한국도로공사

고속도로 건설사업
디지털 혁신전략 수립 연구

최종 보고서

2022. 12.

국립 한밭대학교 HANBAT NATIONAL UNIVERSITY

대한토목학회 KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

연 구 진

연구책임자		
도 명 식	한밭대학교 교수	

참여 연구원					
한밭대학교			대한토목학회		
박 희 성	한밭대학교 교수		이 영 환	인하대학교	교수
김 성 진	한밭대학교 교수		김 동 현	㈜ 아이클롭스	대표
양 승 호	한밭대학교 교수		임 정 현	㈜ 넥시빌	대표
최 승 현	한밭대학교		신 성 진	㈜ 피엠씨지	차장
도 현 철	한밭대학교				
김 재 진	한밭대학교				
송 현 엽	한밭대학교				
정 유 미	한밭대학교				
이 창 우	한밭대학교				
유 채 연	한밭대학교				
박 준 일	㈜ 피엠씨지 대표				

제 출 문

한국도로공사 사장 귀하

본 보고서를 “고속도로 건설사업 디지털 혁신전략 수립연구“과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2022. 12.

연구기관명 : 한밭대학교, 대한토목학회

연구책임자 : 도명식

< 목 차 >

목 차 ····· i

제1장 연구의 개요 ····· 3

1.1 배경 및 목적 ····· 3

1.2 과업의 범위 및 내용 ····· 4

1.3 과업 수행기간 및 절차 ····· 5

제2장 국내외 디지털·스마트기술 도입 및 제도 현황 ····· 9

2.1 국내외 건설부문 정책방향 확인 ····· 9

2.1.1 국내 건설부문 정책방향 ····· 9

2.1.2 국외 건설부문 정책방향 ····· 29

2.2 국내외 스마트건설기술 도입현황 ····· 38

2.2.1 계획/설계 분야 ····· 39

2.2.2 시공분야 ····· 44

2.2.3 유지관리 분야 ····· 49

2.2.4 안전관리 분야 ····· 51

2.3 스마트건설 사업관리 관련 제도 검토 ····· 56

2.3.1 건설사업관리의 업무 범위 및 책임 ····· 56

2.3.2 스마트건설 사업관리 제도 검토 ····· 58

2.3.3 정부 및 공공기관 BIM 관련 제도 및 지침 현황 ····· 61

2.3.4 스마트건설기술과 관련된 국내공공기관 입찰내역서 기술현황 ····· 67

제3장 디지털·스마트기술 도입에 따른 환경변화 분석 ····· 75

3.1 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의 ····· 75

3.1.1 건설정보의 디지털화 사례 조사 ····· 75

3.1.2 건설정보의 디지털화 대상 정의 ····· 79

3.2 건설정보의 효율적인 관리방안 ····· 92

3.2.1 국내외 건설정보 관리 시스템 운영 사례 ····· 92

3.2.2 건설정보의 유지관리 연계방안 ·····93
3.3 건설단계별 기술지도 작성 ·····94
3.3.1 기술지도 작성체계 및 절차 ·····94
3.3.2 스마트건설기술 중요도 조사 및 평가 ·····100
3.3.3 건설단계별 기술지도 작성 ·····105
3.3.4 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 로드맵 ·····112
3.3.5 스마트건설 사업관리 로드맵 ·····119

제4장 건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립 ···123
4.1 스마트건설 사업관리의 정의 및 개념 제시 ·····123
4.2 스마트건설 사업관리 관련 제도 개선 및 변화 방안 ·····125
4.2.1 BIM 활성화 및 디지털화 촉진을 위한 발주방식 제안 ·····125
4.2.2 조달청의 작업분류체계(WBS) 개요 및 구성 ·····129
4.2.3 조달청의 작업분류체계(WBS) 적용방안 및 효과 ·····130
4.2.4 스마트건설 사업관리를 위한 BIM활용 방안 개선 ·····132
4.2.5 스마트건설 사업관리에 따른 데이터 관리 및 납품방식 개선/변화 방안 ···134
4.3 건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표 ·····136
4.4 단계별 세부 실행과제 ·····137
4.4.1 전략과제 실행 로드맵 ·····137
4.4.2 설계 단계 ·····138
4.4.3 시공 및 건설관리단계 ·····145
4.4.4 유지관리 단계 ·····160

제5장 결론 및 정책 제안 ·····169
5.1 결론 ·····169
5.2 정책 제안 ·····170

참고문헌 ·····173

< 표 목 차 >

<표 1-1> 과제 주요 절차 ·····5

<표 1-2> 과업추진절차 ·····6

<표 2-1> 스마트건설기술 로드맵 ·····10

<표 2-2> 스마트 건설 활성화 세부 과제 ·····15

<표 2-3> 건설안전 개발기술 동향 ·····17

<표 2-4> 2020년 성과관리편람 개정 시 가점 사항 반영(개정안건 상정) ·····18

<표 2-5> 드론 활용 분야별 공종 및 수행업무 ·····19

<표 2-6> 드론 활용 세부공종별 적용시기 구분 ·····20

<표 2-7> 안전관련 법정경비 ·····24

<표 2-8> ICT 시공 공종 확대에 따른 기준의 신설·개정 (예시) ·····34

<표 2-9> 싱가포르 TWRPD의 필수 BIM 승인도구 ·····37

<표 2-10> 4대 중점분야별 스마트 건설기술의 수준 비교 및 국내 선도 기술 사례 ···38

<표 2-11> 현대건설 토목분야 스마트건설 수행 현황(2021년 기준) ·····46

<표 2-12> 대우건설 Data & AI분야 2021년 과제 추진 마일스톤 ·····47

<표 2-13> 대우건설 Data & AI분야 2021년 분기별 주요 추진계획 ·····48

<표 2-14> BIM 설계 시 계약 및 법적 개선사항 ·····59

<표 2-15> 건축 BIM 활성화 로드맵 ·····62

<표 2-16> 한국도로공사 BIM 설계평가 기본설계 시 항목 별 배점 변동 ·····63

<표 2-17> 한국도로공사 BIM 설계평가 실시설계 시 항목 별 배점 변동 ·····63

<표 2-18> 사전단계 업무 BIM 설계 시 지침 ·····65

<표 2-19> 계획단계 업무 BIM 설계 시 지침 ·····65

<표 2-20> 보고서 작성단계 업무 BIM 설계 시 지침 ·····65

〈표 2-21〉 설계단계 업무 BIM 설계 시 지침 ……66
〈표 2-22〉 기관별 스마트건설기술 입찰평가 항목 ……68
〈표 2-23〉 기술제안서(스마트건설기술 분야 배점) ……68
〈표 2-24〉 설계단계 스마트건설기술 적정성 평가 ……68
〈표 2-25〉 시공단계 스마트건설기술 적정성 평가 ……68
〈표 2-26〉 국가철도공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준 ……69
〈표 2-27〉 조달청 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준 ……70
〈표 2-28〉 LH 한국토지주택공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준 ……70
〈표 2-29〉 GH 경기도시공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준 ……71
〈표 2-30〉 공공공사 BIM 및 스마트기술 관련 성과품 제출 형식 ……71

〈표 3-1〉 도로공사 프로세스 개발에 활용된 프로세스 체인 사례 ……81
〈표 3-2〉 타당성 조사 단계에서 변환되는 디지털 정보 ……91
〈표 3-3〉 설계 단계에서 변환되는 디지털 정보 ……91
〈표 3-4〉 스마트건설 기술체계 ……101
〈표 3-5〉 스마트 건설기술 평가기준 ……102
〈표 3-6〉 건설단계 및 중점분야별 전문성 확보 샘플 수 ……103
〈표 3-7〉 스마트 건설기술 중점분야 설문조사 분석 주요 결과 ……106

〈표 4-1〉 BIM 활성화 및 디지털화 촉진을 위한 발주방식 ……125
〈표 4-2〉 싱가포르의 ECI 발주방식 및 수행목록 ……127
〈표 4-3〉 ECI 발주방식의 장단점 ……127
〈표 4-4〉 전면 BIM 도입에 따른 측정 정확도 및 측정 밀도 ……132
〈표 4-5〉 BIM 설계 시 계약 및 법적 개선사항 ……133
〈표 4-6〉 BIM As-Is 및 As-Built 모델 성과품의 범위 및 제출방식 개선/변화방안 ….135

〈표 4-7〉 BIM As-IS 및 As-Built 모델 성과품의 범위 및 제출방식 개선 / 변화방안 ····135
〈표 4-8〉 전략과제 실행 로드맵 ·····137
〈표 4-9〉 NYSDOT의 적용 사례 예시 ·····139
〈표 4-10〉 해외 입찰내역서 사례 ·····140
〈표 4-11〉 건설단계별 필요 속성정보 예시 ·····143
〈표 4-12〉 감독·검사 직원의 실시 항목 ·····144
〈표 4-13〉 건설공사 측량 시방서(KCS 10 30 50)의 MG 활용시 측량 방법론 ····146
〈표 4-14〉 일본의 MG/MC를 활용한 기성부분 관리 적용 공종 ·····146
〈표 4-15〉 일본의 기성관리를 위한 MG/MC 정확도 기준 ·····147
〈표 4-16〉 품질관리 및 기성관리사진기준 ·····151
〈표 4-17〉 UAV측량과 일반측량 방법 비교 ·····152
〈표 4-18〉 UAV/시공이력 데이터 기반 작업 흐름도 및 감독 직원의 업무 ·····152
〈표 4-19〉 원격검측 가능 공종비교 예시 ·····153
〈표 4-20〉 각 담당자들의 실시업무 ·····154
〈표 4-21〉 해외 ISO-55001의 자산관리 구축단계 ·····165
〈표 4-22〉 해외 ISO-55000 시리즈 취득 현황 ·····166

< 그 림 목 차 >

<그림 1-1> 전체 과업 수행 절차 ·····5

<그림 2-1> 스마트 건설기술 핵심기술 ·····9
<그림 2-2> 한국판 뉴딜 1.0 분야별 세부과제 투자계획 및 일자리 효과 ·····11
<그림 2-3> 건설산업 BIM 기본지침 ·····12
<그림 2-4> BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵 ·····14
<그림 2-5> 한국도로공사 BIM 사업단계 및 모델 상세수준 ·····21
<그림 2-6> BIM 데이터의 全 생애주기 활용 흐름 ·····22
<그림 2-7> 스마트 트레이닝 마스터플랜 추진 방안 ·····25
<그림 2-8> 스마트건설기술 실용화 로드맵 추진 프로세스 ·····26
<그림 2-9> 중·장기적 유지관리 시스템 전환 ·····27
<그림 2-10> BIM 기반 공정관리 및 기성관리 시스템 개요도 ·····28
<그림 2-11> 세계 각국의 스마트기술 활성화 계획 ·····29
<그림 2-12> 디지털 송달계획 목표연도별 로드맵 ·····31
<그림 2-13> 디지털 송달계획 2021년 목표 로드맵 ·····31
<그림 2-14> WisDOT 프로젝트 단계 별 자동화 기술 통합 사례 ·····32
<그림 2-15> BIM 국제 표준 ISO 19650시리즈 ·····33
<그림 2-16> UK BIM FRAMEWORK TIMELINE ·····33
<그림 2-17> i-Construction 추진 로드맵 ·····34
<그림 2-18> i-Construction 각 종 정책 ·····35
<그림 2-19> i-Construction 확대를 위한 교육정책 ·····35
<그림 2-20> 싱가포르 건설 BIM 프로세스 개요 맵 ·····36

<그림 2-21> VR을 이용한 건물의 내부설계 ·····39
<그림 2-22> 드론을 활용한 측량 ·····40
<그림 2-23> VR기반 계획 및 설계 ·····40
<그림 2-24> 항공사진촬영 공정도 ·····41
<그림 2-25> 디지털 카메라(ADS40/39MP) ·····41
<그림 2-26> BIM 단계별 모델기반 프로세스 ·····42
<그림 2-27> 건설현장 탐사로봇(Doxel) ·····43
<그림 2-28> 한국도로공사 건설현장 드론 활용 ·····43
<그림 2-29> 건설현장 드론 전문서비스(예시) ·····44
<그림 2-30> 건설현장 탐사로봇(Gecko Robotics) ·····44
<그림 2-31> 장비 자동화 & 로봇시공 ·····45
<그림 2-32> IoT 기반 현장 안전관리 개념도 ·····45
<그림 2-33> 대우건설의 건설 맞춤형 AI 개발 주요 과제 현황 ·····47
<그림 2-34> 대우건설의 사업본부 대응 맞춤형 플랫폼 기술 주요 추진 현황 ·····48
<그림 2-35> AVEVA의 자산성능관리(APM) 디지털 전환 사례 ·····49
<그림 2-36> 센서활용 예방적 유지관리 ·····50
<그림 2-37> 드론을 활용한 시설물 모니터링 ·····50
<그림 2-38> 로봇을 활용한 철근작업 ·····51
<그림 2-39> 지게차 접근 경보시스템 ·····52
<그림 2-40> AI 산업안전 영상분석 주요기능 ·····52
<그림 2-41> 안전 관제 플랫폼 주요기능 ·····53
<그림 2-42> 안전 관제 플랫폼 건설현장 중장비 안전관리 ·····53
<그림 2-43> 건설현장 대표 재해예방 스마트안전장비 ·····54
<그림 2-44> 지능형CCTV 휠타입 및 핸디타입 ·····54
<그림 2-45> 스마트건설 안전 플랫폼 ·····54

〈그림 2-46〉 (주)씨엠엑스) 현장맞춤형 안전교육 콘텐츠 구성 ·····55
〈그림 2-47〉 (주)카이토리) 현장맞춤형 안전교육 콘텐츠 구성 ·····55
〈그림 2-48〉 발주기관의 건설사업관리시스템 ·····57
〈그림 2-49〉 스마트건설기술 마당 ·····59
〈그림 2-50〉 국내 BIM 도입 로드맵 연도별 비교 ·····61

〈그림 3-1〉 스마트건설사업단 - 건설업무 디지털화 ·····75
〈그림 3-2〉 스마트건설사업단 - 디지털 트윈 기반 건설 공정 시각화 ·····76
〈그림 3-3〉 스마트건설사업단 - 건설 공정계획 및 관리 최적화 ·····76
〈그림 3-4〉 스마트건설사업단 - 건설현장 실시간 모니터링, 시공상황 관리 ···77
〈그림 3-5〉 현대건설 HIBoard ·····77
〈그림 3-6〉 현대건설 HIBoard 예시 ·····78
〈그림 3-7〉 현대건설 Q-BOX 예시 ·····79
〈그림 3-8〉 업무 프로세스 구축 방향 ·····80
〈그림 3-9〉 과거 도로공사 사업관리 프로세스 개발 결과물 ·····80
〈그림 3-10〉 프로세스 체인 모형 ·····81
〈그림 3-11〉 도로공사 업무 프로세스 구조 파악 결과 ·····83
〈그림 3-12〉 프로세스 설계에 활용된 프로세스 아이콘 ·····83
〈그림 3-13〉 프로세스 재설계 구조 ·····84
〈그림 3-14〉 프로세스 내부검증 및 도로공사 실무진 조정 협의 ·····84
〈그림 3-15〉 타당성 조사 및 설계단계의 디지털 전환 범위 및 대상 ·····90
〈그림 3-16〉 시공단계 업무 흐름 중 디지털 전환 범위 및 대상 ·····91
〈그림 3-17〉 BIM을 활용한 속성 정보 열람 예시 ·····92
〈그림 3-18〉 일본의 스마트건설기술 정보 공유 개요 ·····93
〈그림 3-19〉 건설단계 및 유지관리 단계의 주요한 업무 연계도 ·····94

〈그림 3-20〉 건설자동화 중장기 로드맵 ·····95
〈그림 3-21〉 ICT R&D 기술로드맵 ·····95
〈그림 3-22〉 로드맵 관련 사례 ·····96
〈그림 3-23〉 Emerging technology roadmap (Gartner, 2021) ·····97
〈그림 3-24〉 스마트 건설기술 개발 사업 기획 ·····98
〈그림 3-25〉 국가나노기술지도 ·····98
〈그림 3-26〉 i-Construction BIM/CIM 동향 ·····98
〈그림 3-27〉 스마트 건설기술 종합표 (일부) ·····100
〈그림 3-28〉 설문조사 기초통계 ·····101
〈그림 3-29〉 건설단계 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ① ·····105
〈그림 3-30〉 건설단계 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ② ·····106
〈그림 3-31〉 스마트 건설기술 중점분야 기술로드맵 ·····107
〈그림 3-32〉 설계단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ····108
〈그림 3-33〉 설계단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교 ···108
〈그림 3-34〉 시공단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ····109
〈그림 3-35〉 시공단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교 ···109
〈그림 3-36〉 건설관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ·····110
〈그림 3-37〉 건설관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 ·····110
〈그림 3-38〉 유지관리 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ·····111
〈그림 3-39〉 유지관리 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교 ···111
〈그림 3-40〉 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 로드맵 ·····112
〈그림 3-41〉 디지털 모델링 및 시뮬레이션 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····113
〈그림 3-42〉 장비자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····113
〈그림 3-43〉 OSC 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····114
〈그림 3-44〉 시공(기술)단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도 ·····114

<그림 3-45> 스마트 안전 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····115
<그림 3-46> 스마트 검측 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····115
<그림 3-47> 스마트 품질 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····116
<그림 3-48> 건설관리단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도 ····116
<그림 3-49> 데이터 변환 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····117
<그림 3-50> 점검자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 ·····117
<그림 3-51> 유지관리 플랫폼 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과 118
<그림 3-52> 관리운영단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도 ····118
<그림 3-53> 스마트건설 사업관리 로드맵 ·····119

<그림 4-1> 도로공사 스마트건설 사업관리 (안) ·····124
<그림 4-2> 디지털 기술 기반 도로공사 개요 ·····124
<그림 4-3> 종합심사낙찰제 시공책임형CM 비교 ·····126
<그림 4-4> 시공책임형 사업관리 발주방식 심사기준 및 업무범위 ·····126
<그림 4-5> 통합프로젝트조달(Integrated Project Delivery) 발주방식 ·····128
<그림 4-6> 도로분야 작업분류체계 및 개선 방안 ·····129
<그림 4-7> 향후 조달청·국토부 작업분류체계(WBS) 연계 적용 프로세스 및 개선방안 ·····130
<그림 4-8> 작업분류체계(WBS) 설계변경 내역화면 대비분석 설계 화면 ·····131
<그림 4-9> 지방국토청·건설사 의견 수렴 및 주요 의견에 대한 개선방안 ··131
<그림 4-10> BIM 설계 및 계약 데이터 준비 및 비교확인 프로세스(안) ·····134
<그림 4-11> 비전 및 전략과제 ·····136
<그림 4-12> BIM 설계 기반 계약 문서 제작(안) ·····138
<그림 4-13> 3D 데이터에 대한 품질 관리 프로세스(안) ·····139
<그림 4-14> 3D 데이터 비교 및 검증 프로세스(안) ·····140
<그림 4-15> 스마트건설사업단 객체 중심 표준 기반 프로세스 모식도 ·····141

〈그림 4-16〉 2D 설계와 3D 기반 설계 및 시공 흐름 차이 프로세스 ·····142
〈그림 4-17〉 BIM 모델 작성/활용/갱신 흐름도 ·····142
〈그림 4-18〉 BIM 모델 조사 시 체크 시트 예시 ·····145
〈그림 4-19〉 시공 이력데이터를 활용한 기성관리시 감독직원의 업무프로세스 ·····147
〈그림 4-20〉 정밀도 확인 시험 결과 보고서 예시 ① ·····148
〈그림 4-21〉 정밀도 확인 시험 결과 보고서 예시 ② ·····149
〈그림 4-22〉 완성도 양식 예시 ·····150
〈그림 4-23〉 시공자동화 장비 활용 시 데이터 품질 관리 프로세스(안) ·····150
〈그림 4-24〉 단계모델확인서의 주요요소 ·····155
〈그림 4-25〉 관동 DX・i-Construction 인재육성 센터 ·····157
〈그림 4-26〉 실증 관련 부지 ·····158
〈그림 4-27〉 스마트 안전관리 플랫폼 구축 개념도 ·····159
〈그림 4-28〉 스마트 유지관리 업무체계 구축을 위한 중・장기적 추진 전략 ·····160
〈그림 4-29〉 도로공사 구조물 손상유형별 데이터 댐 구축(목표 개념도) ·····161
〈그림 4-30〉 국내・외 스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발 사례 ·····163
〈그림 4-31〉 도로공사 구조물 손상유형별 데이터 댐 구축(목표 개념도) ·····164
〈그림 4-32〉 ISO-55000시리즈 출판물 ·····165

〈그림 5-1〉 BIM기반 기성관리 시행 프로세스(예시) ·····169

제1장 연구의 개요

1.1 배경 및 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업 수행기간 및 절차

제1장 연구의 개요

1.1 배경 및 목적

■ 정부에서는 디지털화를 국가·산업 혁신을 견인하고 경쟁력을 결정짓는 핵심요소로 정의하였음

- 또한, 안전하고 편리한 국민생활을 위해 SOC 핵심 인프라에 대한 디지털 관리체계를 구축하고 디지털 혁신을 통한 건설생산성 혁신과 안전성 향상을 위한 국가 스마트건설 로드맵을 수립하였음

■ 한국도로공사에서는 국가 R&D, 설계단계 BIM을 통해 스마트건설기술을 도입하기 시작하였음. 따라서, BIM 전면설계 도입, 설계노선의 건설현장 착수시점(2022년 말)이 다가옴에 따라 해당사업 사업관리방안에 대한 구체적 고민 필요

- 스마트 건설기술 개발사업 국가 R&D를 주관하고 있으며 총 사업비 2050억원, 참여기관 수는 156기관에 달함

■ 최근 급격한 스마트건설기술의 발전으로 4차 산업혁명 융복합기술의 발전을 고려하여, 기술의 변화양상과 유망기술에 대한 조사분석이 필요함

- 언택트 문화가 확산됨에 따라 건설산업에서도 비대면 및 무인화 기술이 급부상하고 탈 현장 현상이 가속화 될 전망
- 기능인력의 고령화, 저숙련화, 외국인 근로자 증가 추세는 건설산업의 전반적인 품질저하 및 안전사고 증대 등의 문제가 유발되고 있음

■ 스마트건설기술 도입으로 인해 건설사업 패러다임 변화를 예견하고 건설분야의 적합한 관리체계의 정립과 단계적인 수용방안 필요함

■ 나아가 스마트건설로 인해 발생가능한 건설정보의 디지털 전환 대상을 명확히 정의하고 이를 관리·운영할 수 있는 디지털 혁신전략 수립이 필요함

■ 따라서, 본 과업의 목적은 한국도로공사의 R&D 성과와 BIM의 건설단계 본격적인 도입에 대비하여, 스마트 건설기술의 단계적인 건설현장 적용과 이를 수용하기 위한 사업 관리방식 변화방안, 제도개선 등을 담은 중장기 로드맵을 수립하고자 함

1.2 과업의 범위 및 내용

국내외 디지털 · 스마트기술 도입 및 제도 현황

- 국내외 건설부문 정책방향 확인
- 국내외 스마트건설기술 도입현황 파악
- 스마트건설 사업관리 관련 제도 검토

디지털 · 스마트기술 도입에 따른 환경변화 분석

- 건설정보의 디지털화 사례조사와 한국도로공사 건설관리 업무프로세스 분석을 통한 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의
- 국내외 건설정보 관리 시스템 운영 사례조사를 통한 건설정보의 효율적인 관리방안 마련
- 기존 작성사례 등의 검토를 통한 기술지도 작성체계 및 절차 마련
- 전문가 설문조사를 통한 스마트건설기술의 중요도 조사 및 평가
- (설계, 시공기술, 건설관리, 유지관리) 건설단계별 기술지도 작성

건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립

- 스마트건설 사업관리의 정의 및 개념 제시
- 스마트건설 사업관리 관련 제도 개선 및 변화방안 제시
- 건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표 설정
- 설계, 시공 및 건설관리, 유지관리 단계의 전략과제 도출 및 세부 실행과제 제시

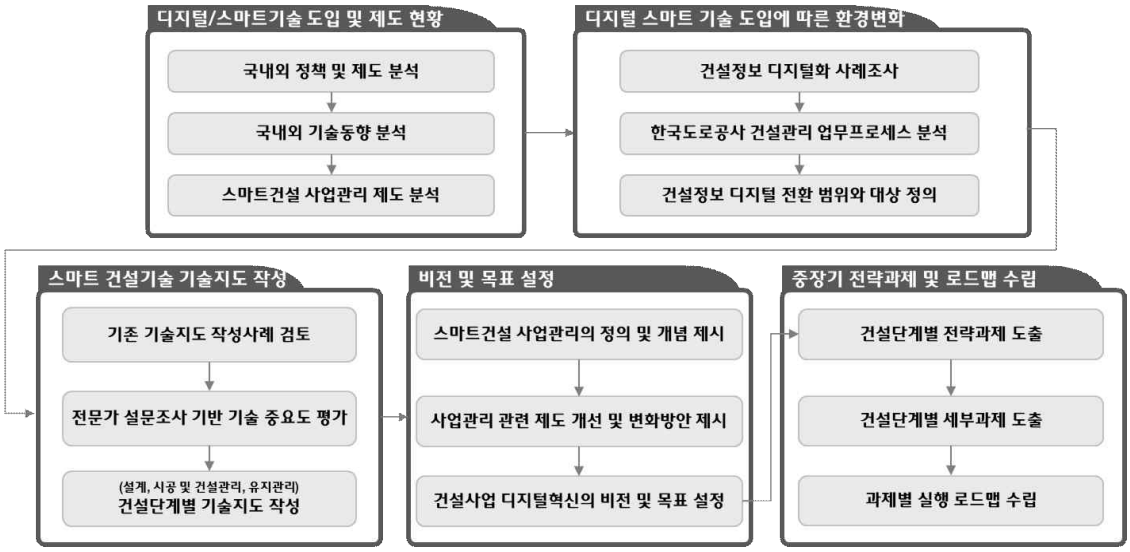
1.3 과업 수행기간 및 절차

■ 과업 수행기간은 12개월로 하고 아래와 같이 5단계의 주요 절차에 따라 수행하였으며, 각 단계별로 발주처 및 외부 전문가의 의견을 청취하여 반영하였음

<표 1-1> 과제 주요 절차

Ⅰ	정책 및 제도 현황	국내 · 외 건설부문 정책조사, 스마트건설기술 도입현황 분석, 사업관리 관련 제도 자료 분석 및 검토
Ⅱ	환경변화 분석	건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의,
Ⅲ	스마트건설기술의 중요도 조사 및 기술지도 작성	전문가 설문조사 수행, 스마트 건설기술의 중요도 조사 및 평가, 건설단계별 기술지도 작성
Ⅳ	건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표 설정	환경변화 분석결과 및 작성된 기술지도를 기반으로 건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표 제시
Ⅴ	중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립	건설단계별 전략과제 및 세부 실행과제 작성

■ 고속도로 건설사업의 디지털 혁신을 위한 중장기 전략과제 도출을 위하여 다양한 방안을 검토하여 최적의 과제를 도출하였으며, 전체 과업 수행 절차는 아래 <그림 1-1>과 같음



<그림 1-1> 전체 과업 수행 절차

<표 1-2> 과업추진절차

세부추진과업		비중	1차년도							2차년도				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
디지털·스마트기술 도입에 따른 환경변화 분석	국내·외 환경변화 진단을 통해 이슈 도출	10	4	3	3									
	디지털·스마트기술 도입에 따른 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의 및 관리방안 제안	15		4	5	6								
건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 실행 로드맵 수립	스마트건설기술의 단계별 도입에 대비한 기술지도 구축	15			1	2	4	4	4					
	디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 도출 및 로드맵 수립	20	2	1	1		3	4	3	3	3			
스마트건설 정착에 필요한 사업관리 변화방안 검토	스마트기술에 인한 건설현장(사업단)의 변화방안, 사업관리모델 정립	20	2	2	2				3	3	4	4		
	스마트기술 건설단계 적용 위한 제도 개선 및 법령개선 사항 발굴	20			1	2	4				4	3	3	3
공정률		계	8	10	13	10	11	8	10	6	11	7	3	3
		누계	8	18	31	41	52	60	70	76	87	94	97	100

제2장 국내외 디지털·스마트 기술 도입 및 제도 현황

2.1 국내외 건설부문 정책방향 확인

2.2 국내외 스마트건설기술 도입현황 파악

2.3 스마트건설 사업관리 관련 제도 검토

제2장 국내외 디지털 · 스마트기술 도입 및 제도 현황

2.1 국내외 건설부문 정책방향 확인

2.1.1 국내 건설부문 정책방향

1) 스마트건설기술로드맵

■ 국토교통부가 2018년에 발표한 스마트 건설기술 로드맵에 의하면 기존 건설기술에 첨단기술인 BIM(Building Information Modeling), 드론, 로봇, IoT(Internet of Things), 빅 데이터, AI(Artificial Intelligence) 등을 융합한 기술을 스마트 건설기술로 정의하고 있음

■ 스마트 건설시장의 규모는 2019년 기준 5400억 달러, 전체시장 4.83% 추정하고 있으며, 2025년의 비중 이 11.3% 성장을 예상 (Ernest&Young,2020). 또한, 건설산업이 타 산업(제조업 3.6% 비해 건설업은 1%)보다 연평균 생산성이 낮은 수준임 (McKinsey & Company, 2017)

■ 현재 단계에서 시간과 인력이 많이 소요되는 기술적 문제들을 해결 및 향상시키고자 국토교통부는 2018년 스마트건설기술 로드맵을 통해4차 산업혁명 기술들을 이용하여 2025년에는 스마트 건설기술 활용 기반을 구축하고, 2030년에는 건설 자동화 완성을 목표로 하고 있음<표 2-1. 참조>



출처 : 국토교통부(2018), 스마트 건설기술 로드맵

<그림 2-1> 스마트 건설기술 핵심기술

<표 2-1> 스마트건설기술 로드맵

단계	중점 분야	핵심기술	추진목표			
			현재	2020	2025	2030
설계	BIM 기반 스마트 설계	지형·지반 모델링 자동화	현장측량 중심 지형정보 수집	융복합 드론 활용 형상정보 수집 및 모델링	형상 모델 및 지반속성 정보 연계	AI 기반 BIM 연계 지반 모델링 자동화
		BIM 적용 표준	BIM S/W 자체표준이나 2D 도면 표준 적용	교량·터널·하천 등 목적물 중심 국제수준 BIM 표준 구축	데이터 교환·공유를 위한 BIM 설계 최적화	축적된 BIM 빅데이터의 활용을 위한 표준 구축
		BIM 설계 자동화	기초 수준 BIM 라이브러리 활용	BIM 라이브러리 기반 설계 부분 자동화	건설 전단계를 고려한 BIM 설계 최적화	AI 기반 BIM 설계 자동화
시공	건설기계 자동화 및 관제	건설기계 자동화	굴삭기·도저·롤러 머신 가이던스 기술 확대 적용	굴삭기·도저·롤러 머신 가이던스 기술 확대 적용	실시간 머신 가이던스, 건설기계 자율이동	건설기계 자동화(AI를 활용한 건설기계 통합 운영 및 관제)
		건설기계 통합 운영 및 관제	굴삭기·도저·롤러 통합운영 및 관제기술 시범적용 (소규모 현장)	굴삭기·도저·롤러 통합운영 및 관제기술 시범적용 (대규모 현장)	센서·IoT 기반 정보 실시간 수집을 통한 건설기계 통합 운영	
	공정 및 현장 관리 고도화	시공 정밀제어 및 자동화	현장타설 방식 중심(습식 공법)	조립시공을 위한 위치 자동제어	조립시공 정밀제어, 부분 자동화	로봇 등을 활용한 조립시공 자동화
		ICT기반 현장 사고 예방	안전관리자의 작업자 관리, 인력중심 안전관리	ICT 기술을 활용한 안전관리 (드론, 3D 스캐너, VR 등)	실시간 센싱 기반 안전관리 (Smart Wearable, 센서 등)	예방적 통합 안전관리
		BIM기반 공사관리	경험에 따른 공사관리	주요 공종 BIM기반 공사관리 (드론, 로봇 실시간 공정체크 등)	가상시공을 통한 리스크 분석·공사관리 효율화	AI기반 공사관리 최적화 (조건에 맞는 최적 공법 검토)
유지 관리	시설물 점검·진단 자동화	IoT 센서 기반 시설물 모니터링	단일 센서를 활용한 단순 정보 수집	지능형(상황감지) IoT 정보수집	대규모·대용량 IoT 정보수집·분석	초연결형 IoT 정보수집·분석
		드론·로봇 기반 시설물 진단	인력 기반의 시설물 점검 (드론 일부 활용)	다종 드론을 활용한 대형 시설물의 신속한 점검	다기능 드론 및 로봇을 활용한 시설물 상태 진단	로보틱드론을 활용한 시설물 자율 점검 및 진단
	디지털 트윈 기반 유지 관리	시설물 정보 통합 및 표준화	개별 정보시스템 및 DB 구축	시설물 정보 표준화 및 통합 관리 시스템	건설 전단계 개방형 통합 DB 및 빅데이터 구축	디지털트윈 기반 스마트 시설물 유지관리
		AI 기반 최적 유지관리	육안점검 및 단순 계측 정보 기반 유지관리 의사결정	데이터 기반의 의사결정 지원시스템	빅데이터·AI기반 예측형 유지관리	

출처 : 국토교통부(2018), 스마트 건설기술 로드맵

2) 한국판 뉴딜 종합계획 1.0

■ 저성장 양극화 심화 대응 및 경제 패러다임 전환 추진, COVID-19 발현 이후 경기 침체 초래 등의 위기 극복과 글로벌 경제 선도를 위한 국가발전전략 수립

■ 한국판 뉴딜은 디지털 뉴딜, 그린 뉴딜을 강력 추진하고 안전망 강화로 뒷받침을 목표로 함

(단위: 국비(조원), 일자리(만개))

	분 야	과 제	'20추~'22	'20추~'25	일자리
총 계			49.0	114.1	190.1
디지털 뉴딜	합 계		18.6	44.8	90.3
	1. D.N.A 생태계 강화	소 계	12.5	31.9	56.7
		[1] 국민생활과 밀접한 분야 데이터 구축·개방·활용	3.1	6.4	29.5
		[2] 1·2·3차 全산업으로 5G·AI 융합 확산	6.5	14.8	17.2
		[3] 5G·AI 기반 지능형 정부	2.5	9.7	9.1
		[4] K-사이버 방역체계 구축	0.4	1.0	0.9
	2. 교육 인프라 디지털 전환	소 계	0.6	0.8	0.9
		[5] 모든 초중고에 디지털 기반 교육 인프라 조성	0.3	0.3	0.4
		[6] 전국 대학·직업훈련기관 온라인 교육 강화	0.3	0.5	0.5
	3. 비대면 산업 육성	소 계	1.1	2.1	13.4
		[7] 스마트 의료 및 돌봄 인프라 구축	0.2	0.4	0.5
		[8] 중소기업 원격근무 확산	0.6	0.7	0.9
		[9] 소상공인 온라인 비즈니스 지원	0.3	1.0	12.0
	4. SOC 디지털화	소 계	4.4	10.0	19.3
		[10] 4대 분야 핵심 인프라 디지털 관리체계 구축	3.7	8.5	12.4
		[11] 도시·산단의 공간 디지털 혁신	0.6	1.2	1.4
		[12] 스마트 물류체계 구축	0.1	0.3	5.5
그린 뉴딜	합 계		19.6	42.7	65.9
	5. 도시·공간 생활 인프라 녹색 전환	소 계	6.1	12.1	38.7
		[13] 국민생활과 밀접한 공공시설 제로에너지화	2.6	6.2	24.3
		[14] 국토·해양·도시의 녹색 생태계 회복	1.2	2.5	10.5
		[15] 깨끗하고 안전한 물 관리체계 구축	2.3	3.4	3.9
	6. 저탄소·분산형 에너지 확산	소 계	10.3	24.3	20.9
		[16] 에너지관리 효율화 지능형 스마트 그리드 구축	1.1	2.0	2.0
		[17] 신재생에너지 확산기반 구축 및 공정한 전환 지원	3.6	9.2	3.8
		[18] 전기차·수소차 등 그린 모빌리티 보급 확대	5.6	13.1	15.1
	7. 녹색산업 혁신 생태계 구축	소 계	3.2	6.3	6.3
		[19] 녹색 선도 유망기업 육성 및 저탄소·녹색산단 조성	2.0	3.6	4.7
		[20] R&D·금융 등 녹색혁신 기반 조성	1.2	2.7	1.6
안전망 강화					
합 계			10.8	26.6	33.9
	1. 고용사회 안전망	소 계	9.3	22.6	15.9
		[21] 全국민 대상 고용안전망 구축	0.8	3.2	-
		[22] 함께 잘 사는 포용적 사회안전망 강화	4.3	10.4	-
		[23] 고용보험 사각지대 생활·고용안정 지원	3.0	7.2	3.9
		[24] 고용시장 신규진입 및 전환 지원	0.9	1.2	11.8
		[25] 산업안전 및 근무환경 혁신	0.3	0.6	0.2
	2. 사람투자	소 계	1.5	4.0	18.0
		[26] 디지털·그린 인재 양성	0.5	1.1	2.5*
		[27] 미래적응형 직업훈련 체계로 개편	0.6	2.3	12.6*
		[28] 농어촌·취약계층의 디지털 접근성 강화	0.4	0.6	2.9

* 인재양성·직업훈련 사업의 취업자수 추정치(훈련인원×취업률)로 디지털·그린 일자리와 일부 중복 가능

출처 : 국토교통부(2020), 「한국판 뉴딜」 종합계획

<그림 2-2> 한국판 뉴딜 1.0 분야별 세부과제 투자계획 및 일자리 효과

3) 건설산업 BIM 기본지침

- 건설의 프로세스와 디지털 정보를 통합하는 협업 시스템 구축을 BIM도입으로 실현하며, 디지털 건설산업을 위해 BIM 데이터 기반 빠르고 정확한 의사결정을 가능하게 하여 생산성 향상 및 위험요인 최소화, 친환경, 안전성 극대화를 달성하기 위한 도입 목표 세움

- 발주자, 계약자(설계, 시공, 유지관리 등), 건설사업 관리자(감리, CM. PM)으로 구분하여 도입 효과를 분석하여 BIM기반 디지털 전환을 통해 통합 관리할 수 있도록 건설산업의 BIM 적용 기본 원칙, 적용절차, 협업체계, 공통표준 등을 국토교통부에서 제시하는 지침을 마련

- 그간 다양하게 표현되어왔던 BIM에 대해 디지털 전환 체계로 시설물의 생애주기별 발생하는 요소를 3차원 모델 기반으로 정보를 통합하여 표준화된 방식으로 협업이 가능한 시스템으로 정의함

- 적용대상은 「건설산업진흥법」 상 모든 건설산업에 적용하며, 설계·시공 통합형 사업에 우선 적용하는 것을 권고



출처 : 국토교통부(2020), 건설산업 BIM 기본지침

<그림 2-3> 건설산업 BIM 기본지침

4) 스마트건설기술 현장 적용 가이드라인

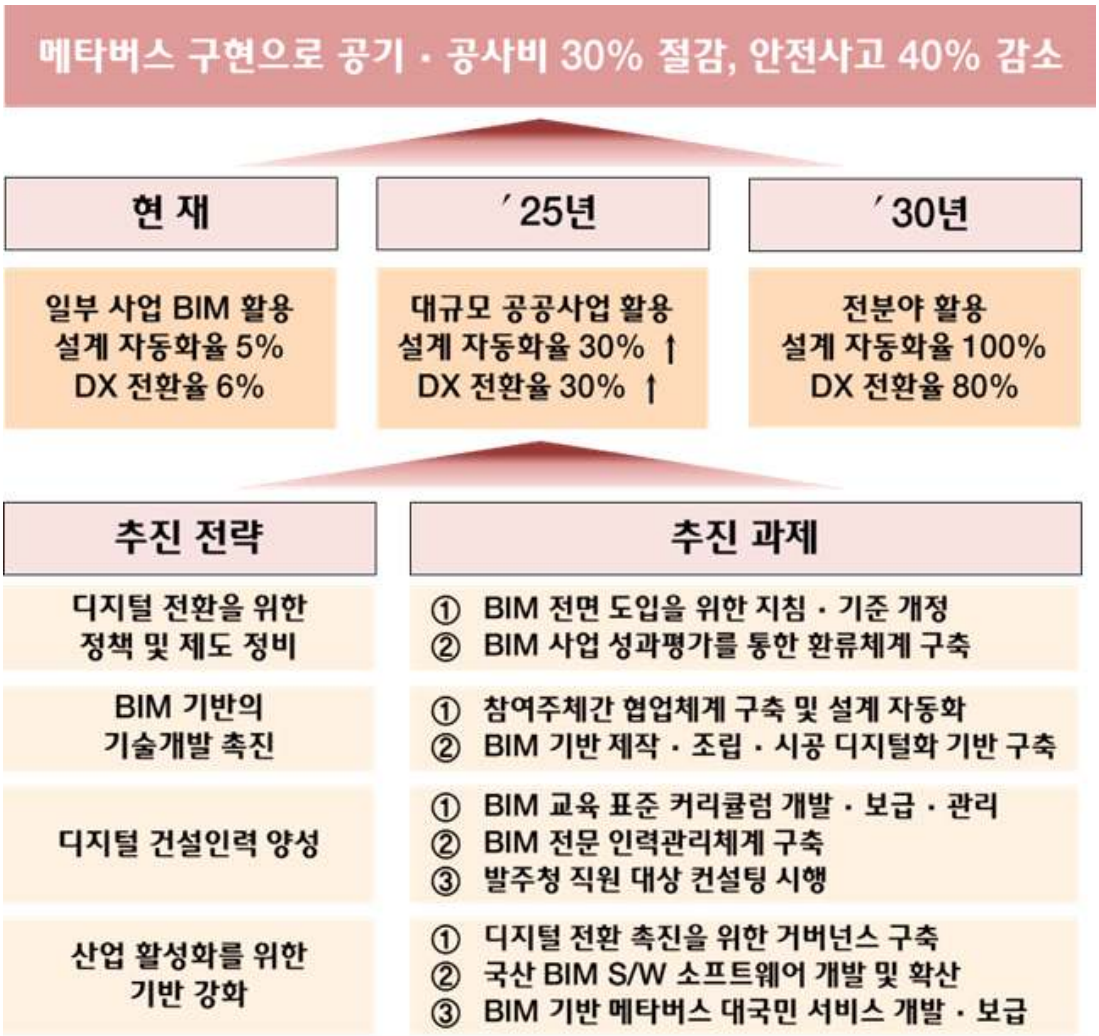
- 스마트건설기술의 활성화와 지속적인 개발을 촉진하여 관련 산업을 발전시키고, 건설공사의 안정성 생산성을 향상시키는 것을 목적으로 수립
- 본 가이드라인은 스마트건설기술을 현장에 적용하기 위한 스마트건설기술 마당 및 활용, 현장 적용 후 사후의견과 피드백으로 구성
- 발주자 또는 계약자가 스마트건설기술을 활용하고자 하는 경우, 원활한 설계/시공 및 발주가 진행될 수 있도록 건설공사에 적용할 수 있는 스마트건설기술의 기본자료를 제공하기 위한 정보공유 시스템인 스마트건설기술 마당(이하, “스마트마당”이라 함)을 구축(‘21.12)
- 발주청은 기술개발촉진과 활성화를 위해 스마트건설기술의 활용을 적극 검토해야 하며, 공사의 입찰 공고, 입찰 안내서 등에 “스마트건설기술 활용 공사”라는 취지를 명기하며, 계획조사, 설계, 시공, 유지 관리에 적용하기 위한 발주, 평가 및 심의, 관리평가, 조정의 역할을 함
- 수급인은 발주청에서 제시한 사항에 근거하여 별도의 스마트건설기술을 제안할 수 있으며, 발주청이 요구하는 스마트건설기술을 우선 반영 및 활용하고 계획·결과를 보고해야 함
- 스마트마당 등록기술의 활용을 위해 발주청은 입찰안내서 작성 시 스마트마당에서 제공하는 기술 설명서, 전문기관 검토 의견서 등의 기술정보를 참고해 스마트건설기술을 선정 시 건설현장 특성을 반영할 수 있음
- 수급인은 스마트마당에 등록된 기술에 대해 발주청과의 협의를 통해 건설공사에 적용할 수 있음
- 등록기술 외 스마트건설기술의 활용을 위해 수급인은 발주청에 스마트마당에 등록되지 않은 기술을 건설공사 적용을 요청할 수 있으며, 발주청이 이를 선정 시 「건설기술진흥법」 제6조에 따른 기술자문위원회 등을 통해 선정

5) BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵

- 현재 국내의 건설산업은 20년째 정체되어 있으며, 제조업의 절반 수준으로 작업대기 및 재작업 등으로 낭비되는 시간이 57% 수준이지만 그에 반해 선진국은 ICT 등 첨단기술들을 융합한 BIM, 시공 자동화 장비·로봇, 첨단 유지관리 기술 등에 주목

하고 있음 (국토교통부, 2021)

■ 이로 인해, 국내도 마찬가지로 향후 정책방향과 계획 등을 정립하는 BIM 기반 디지털 전환 로드맵 수립의 필요성이 증대되고 있는 실정이며, 그에 따른 디지털 전환 로드맵의 정책 추진방향 수립의 필요성이 대두되고 있음



출처 : 국토교통부(2021), BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵

<그림 2-4> BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵

6) 스마트건설 활성화 방안

■ 건설업은 낮은 디지털 비율 등으로 생산성이 낮으며 안전·환경 등의 시대적 과제 고려 시 패러다임 전환이 시급하기에 이러한 문제 해결을 위해 BIM(3차원 건설정보모델링), ICT 자동화 등 스마트 건설이 세계 건설사업의 미래로 급부상

■ 「스마트 건설기술 로드맵(‘18.10)」을 통해 건설기술에 관한 중장기 비전을 제시하는 등 노력하였으며, 성과는 다소 미흡

■ 따라서, 디지털 기반으로 전환하여 글로벌 건설시장을 선도하며 2030년 건설 전 과정 디지털화 및 자동화를 목표로 활성화 방안 수립

<표 2-2> 스마트 건설 활성화 세부 과제

추진과제		세부과제	조치사항
BIM 도입으로 건설산업 디지털화	BIM 전면 도입을 위한 제도 정비	• BIM 표준과 업무절차 및 방법 등을 규정	• BIM 시행지침 제정 • 발주청별 적용지침 제정
		• BIM 적용 가능토록 기준 개정	• 설계도서/시공상세도 작성기준 개정
		• 건설기준 디지털화	• 설계/시공기준 디지털화
		• BIM 설계대가 마련 및 예산지침 반영 추진	• 건설 Eng. 대가기준/건축사 대가기준 개정 및 관계부처 협의
	공공공사 중심으로 건설 전 과정 BIM 도입	• 공공공사 BIM 의무화	• 발주청 대상 공문 시행
		• 발주청 역량 강화	• 발주자 대상 교육 실시 • 공공기관 직원 역량 교육 • 지자체 등 컨설팅 지원
	BIM 전문인력 양성	• 국가전략 산업직종 훈련 확대 및 설계업체 교육비 지원	• 사업 추진
		• 교육기관 커리큘럼에 • BIM 과정 신설 유도	• 교육기관 BIM 과정 신설 유도
		• 기술인 승급교육에 BIM 포함	• 교육 관련 지침 개정
		• 특성화고, 마이스터고 교육과정에 BIM 포함	• 교육과정 편성 가이드라인에 반영
		• 대학교 건설 관련 학과 커리큘럼에 BIM 포함	• 관계부처-학회 간 MOU 체결 및 설명회 개최
	민간부문 확산을 위한 지원 강화	• Eng. 종심제 평가항목에 • BIM 신설	• 건설Eng. 심사기준 개정
		• 국제표준 인증 지원	• 컨설팅 실시
		• SW 제작사들에 대한 업계 요구사항 반영 지원	• BIM 협의회 운영
		• 표준 커리큘럼 개발	• 사업 추진 및 배포
		• 민가 자격제도 국가 공인	• 관련서류 공문 시행
생산 시스템	건설기계 자동화 및 로봇 도입	• 자동화 장비 및 로봇 도입을 위한 건설기준 정비	• 기준정비 로드맵 수립 • 건설기준 제·개정 • MC/MG 시공기준 제정
		• 무인운전에 대한 • 특례인정 근거 마련	• 건설기계 안전기준에 관한 규칙 • 산업안전보건 기준에 관한 규칙 개정 위한 협의 추진
		• SOC 성능시험장 구축	• R&D 사업 추진

선진화 (인력·현장 → 장비·공장)		• 총사업비 자율조정 항목에 스마트 장비 추가	• 총사업비 관리지침 개정을 위한 기재부 협의 추진
		• 공공기관 스마트건설 추진실적 발표	• 보도자료 배포
		• 스마트 장비 상용화 지원	• 온라인 마켓
		• 도입효과가 우수한 Best-Practice 발굴	• 스마트건설 레포트 발간
	제조업 기반의 탈현장 건설 활성화	• 공공주택 발주 확대	• '23년에 1천호 물량 발주 및 발주 확대방안 마련 • 주택도시기금 지원 확대를 위한 기재부 협의 추진
		• 노후학교 임시시설 OSC 발주	• 사업 추진
		• 공공에서의 OSC 발주 지원	• 발주가이드 제작·배포
		• 토목 부분 PC 비중 확대	• 사업 추진
		• 교량 상부 일괄시공 도입 검토	• R&D 기획 추진
		• 용적률 등 완화	• 주택법 개정
		• OSC 관련기준 정비	• 설계, 감리기준 등 개정
			• 공사비 산정기준 마련 성능설계 도입 추진 및 주택법 개정
		• 기술개발 지원을 위한 실증 R&D 추진	• R&D 기획연구 추진
		• 모듈 실적관리 체계 구축	• 건설산업기본법 시행령 개정
		• OSC 브랜드 사업 선정	• 홍보관 운영
	스마트 안전장비 확산	• 스마트 안전장비 무상대여	• 예산 추진
		• 스마트 안전장비 설치비용 간접비 계상	• 건설기술진흥법 시행규칙 개정
		• 첨단장비 활용한 안전점검 등의 근거 마련	• 시설물 유지관리 지침 개정 • 점검 대가기준 및 업체 기술능력 평가기준 개정
		• 안전점검 PQ 평가시 실적 인정범위 확대	• 업체 기술능력 평가기준 개정
스마트 건설산업 생태계 조성	기업성장 지원	• 스타트업 지원시설 확대	• 스마트건설 지원2센터 운영
		• 스마트건설 강소기업 선정	• 100개 선정 및 발표
		• 기술개발 및 기술이전 추진	• R&D 추진
		• 스마트 건설기술 사업화에 필요한 자금 지원	• 국토교통 혁신펀드 운용
		• 우수기술 홍보	• 엑스포/경연대회 개최
	기술 중심의 평가 강화	• 턴키 평가시, 스마트 기술 최소배점 도입	• 대형공사 심의기준 개정
		• Eng. 종심제 평가항목에 스마트 기술 신설	• Eng. 종심제 심사기준 개정
	거버넌스 구축	• 산학연관이 참여하는 법적기구 구성 및 운영	• 건설기술진흥법 시행령 개정
		• 규제 해소를 위한 원스톱 서비스 지원	• 규제혁신 지원센터 운영

출처 : 국토교통부(2022), 스마트 건설 활성화 방안

7) 건설안전 혁신기술 확산 적용방안

■ 교육 및 점검 등 인력중심에서 스마트한 안전관리로의 패러다임 전환 목적과 직접

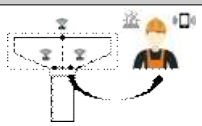
공사 현장에 혁신 안전기술 확산 적용 유도를 위해 추진

■ 정부합동으로 스마트 안전관제기술을 개발하고 IoT · 무인화기술을 활용한 안전사고 예방 시스템을 구축해 공공기관 작업장 안전강화 대책 추진 및 국토교통부는 스마트 안전장비 사용 의무화를 통해 건설현장 추락사고 방지 종합대책을 추진하였으며 2020년 「건설기술 진흥법 시행규칙」을 개정

■ 혁신 안전기술의 선도적 확산 필요성 대두되었으며 '부상 ZERO'를 위해 개인보호구 체결 모니터링, AI안전관리 및 VR 체험 교육, 건설장비 협착 및 전동방지, 과실 사고 방지 기술 확산 적용 방안 마련

■ 자발적 확산 유도를 위해 건설사업단은 산하기관 조직업적평가에서 가점 반영하고 2020년 성과관리편람 개정 시 가점 사항 반영

<표 2-3> 건설안전 개발기술 동향

구분	기술명	개발내용	이미지
2019	코핑 거푸집 볼트 체결 알리미	코핑 거푸집 해체시 볼트 체결유무 확인 시스템	
	백호 버킷 안전핀 체결 알리미	굴삭기 안전핀 체결유무 확인 및 알림 시스템	
	크레인 전도방지 모니터링	과부하 방지를 위한 작업정보 공유 시스템	
	AI 스마트 안전관리 챗봇	음성 · 단어(문장)으로 안전 관련 정보(법, 방침 등) 검색	
	취약근로자를 위한 VR교육 콘텐츠	추락콘텐츠 1종 및 음성 · 외국어 버전 추가	
2018	건설장비 자동정지 시스템	위험구역 접근에 따른 건설장비 시동제어 시스템	
	탈 · 부착식 협착방지시설	전자석을 활용한 건설장비 협착방지시설	
2017	개인보호구 체결 모니터링 시스템	안전모 턱끈, 안전대 체결유무 알림 시스템	

출처: 한국도로공사(2020), 건설안전 혁신기술 확산 적용방안

<표 2-4> 2020년 성과관리편람 개정 시 가점 사항 반영(개정안건 상정)

<table>
<tr><th>평가지표</th><th>평가내용</th></tr>
<tr><td>혁신
안전기술
개발 및
활용실적
지표주관부서
: 품질환경처
건설안전팀</td><td>혁신 안전기술 개발 및 활용실적(현장적용, 대회* 수상)에 따른 가점 부여
* 대회 : 건설안전 혁신대상(품질환경처 주관)
- 가점한도 : 0.2점
- 기술개발 및 활용실적 건수에 따라 절대평가
※ 예시 : 기술개발 1건, 현장적용 2건, 우수상 수상 = 0.05+0.02*2+0.05 = 0.14
<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th rowspan="2">기술개발</th><th colspan="2">현장적용
(공구당 평균)</th><th colspan="3">대회 수상</th></tr>
<tr><th>1건당</th><th>3건 이상</th><th>대상</th><th>우수</th><th>장려</th></tr>
<tr><td>가 점</td><td>0.05점</td><td>0.02</td><td>0.05</td><td>0.1</td><td>0.05</td><td>0.03</td></tr>
</table>
지표주관부서 : 품질환경처 건설안전팀</td></tr>
</table>

출처 : 한국도로공사(2020), 건설안전 혁신기술 확산 적용방안

8) 고속도로 스마트설계 지침

- 고속도로 건설현장에서 업무 효율성 높이기 위해 BIM 전면설계(기본설계, 실시설계, 기본 및 실시설계) 과업을 한국도로공사에서 시행하는 고속도로 건설사업 적용을 원칙으로 드론 영상을 활용해 드론 활용 공종 개발 및 규정화를 통해 가이드라인 정책 추진

- BIM 전문설계 기준은 데이터 상세수준 및 정보수준으로 구분하는 BIM 데이터 표현 수준(LOD, Level of Development)은 형상적 표현의 공종별 수준을 결정하며 BIM 데이터의 속성을 표현하는 수준으로 형상적 표현 외로 구분함

- 스마트설계 기본설계 단계는 노선선정, 출입시설 형식 결정, 무인비행장치 측량, 노선 자문 및 VE 및 주민설명회 활용의 단계가 있으며, 실시설계 단계는 배수 시뮬레이션, 도로주행 시뮬레이션, 경관설계・일조영향 시뮬레이션(선택사항)으로 구분

- BIM 전면설계(기본설계, 실시설계, 기본 및 실시설계) 과업의 적용범위는 도로설계를 위한 구성요소인 교량, 터널 등의 구조물 위치 및 형상과 도로선형(평면 및 종단)을 대상으로 함

- BIM 전면설계와 연관된 스마트설계 성과품은 배수, 주행, 경관, 일조 등 시뮬레이션 결과물을 말하며 BIM 데이터 기반으로 과업목적별 시뮬레이션은을 수행하며 동영상으로 설명이 가능해야 하며 LOD 300수준 이상의 BIM 데이터를 작성해야 함

9) 건설현장 드론 활용 작업 가이드라인

- 고속도로 건설현장에서 업무 효율성 높이기 위해 드론 영상을 활용해 드론 활용 공종 개발 및 규정화를 통해 가이드라인 정책 추진
- 시공업무, 시방서(EXCS), 공사관리규정, 기성업무 관리업무 매뉴얼 등 분석 및 수요부서 인터뷰, 설문조사 거쳐 드론 영상 촬영을 통해 공정의 효율 혹은 정확성 향상시킬 수 있는 공정 선택 및 개발
- 건설의 생애주기인 도로 시공(Construction)에 초점을 맞춰 5개의 공종(공정관리, 시공관리, 안전관리, 품질관리, 환경관리)으로 구분
- 도로 시공에 관련된 모든 공종은 「한국도로공사 공사관리규정」을 준용하였으며, 공종코드는 건설(Construction)의 영문 이니셜 두자리(CN)와 공종별로 부여된 숫자 두자리로 구성하였으며, 분류된 5개 공종에 대해서 12개의 세부 항목을 배치하고 적용시기 특정

〈표 2-5〉 드론 활용 분야별 공종 및 수행업무

도로생애주기 (분야)	공종	수행업무
도로시공 (Construction)	공정관리	드론정사영상과 3D지형모델로 도로공사현장의 주기적 공정관리 DB구축(건설정보시스템), 설계BIM과 3D지형모델을 중첩한 공정관리 3D지형모델의 토공량 산출에 따른 기성산출 및 관리
	시공관리	드론영상 활용 고속도로 건설현장의 공사관리 및 설계적정성 검토 토공, 배수공, 등의 세부공종 진도관리, 드론 영상에 의한 폐기물 불법투기 감시, 장비투입현황, 공사현장관리
	안전관리	안전관리계획서에 따른 정사영상 활용 안전관리 해빙기・풍수해・동절기 대비 드론촬영 사고요인 점검
	환경관리	환경관리 보조자료로 정사영상 및 수치표면모델(DSM) 활용
	용지관리	용지관리 보조자료로 정사영상 및 수치표면모델(DSM) 활용

출처: 한국도로공사(2020), 건설현장 드론활용 공종 및 작업 가이드라인

<표 2-6> 드론 활용 세부공종별 적용시기 구분

도로 생애 주기 (Code)	공종 (Code)	세부공종	적용 코드	적용시기			
				착공 단계	시공 단계	준공 단계	우기 해빙
도로 시공 (CN)	공정관리 (01)	공정관리(A)	CN-01A		◎	◎	
		기성관리(B)	CN-01B		◎	◎	
	시공관리 (02)	토공량 산출(A)	CN-02A		◎	◎	
		비탈면 시공관리(B)	CN-02B		◎	◎	◎
		비탈면 녹화관리(C)	CN-02C		◎	◎	
		배수시설 시공관리(D)	CN-02D		◎	◎	◎
	안전관리 (03)	비탈면 안전관리(A)	CN-03A		◎	◎	◎
		우기철 취약요인 발굴(B)	CN-03B		◎		◎
		해빙기 영향분석(C)	CN-03C		◎		◎
	환경관리 (04)	폐기물 관리(A)	CN-04A		◎		
		침사지 관리(B)	CN-04B		◎		◎
	용지관리 (05)	지장물 조사(A)	CN-05A	◎	◎		

출처 : 한국도로공사(2020), 건설현장 드론활용 공종 및 작업 가이드라인

10) 시공단계 BIM 운영방안

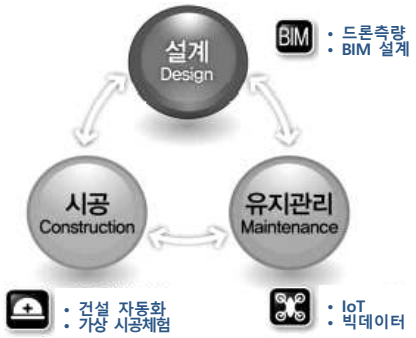
■ 정부를 중심으로 대형 공공공사 전반에 BIM 설계 의무발주를 확대 하는 등 스마트 건설현장을 구축하기 위해 스마트 건설기술의 핵심인 BIM 설계 및 시공기반 구축 필요성에 따른 건설산업에 스마트 건설기술 적극 도입 추진

■ 시공단계에서 기술제안 및 턴키 공사 일부공종(크레인 가설 검토, 공정검토, 교량 주탑부 간섭검토, 터널 굴착 간섭검토)에서 BIM 시범 운영을 진행하였으며, 케이블 교량 시공단계에서 활용할 수 있는 BIM 기술 개발, BIM 기반 공유정보환경 구축 및 스마트 건설기술 개발사업 추진 중

■ 3차원 디지털 건설관리 구축을 위해 BIM 전면설계 대비 시공단계 BIM 특화사업단 운영, 특수구조물 및 안전관리 취약 구조물 등을 대상으로 3차원 가상 시공체험 후 시공, 특화사업단 2개 현장을 대상으로 설계변경 및 시공상세도 작성 시 BIM 모델을 활용하여 BIM 기반 3차원 시공관리 적용

■ BIM 플랫폼 구축을 통해 시공 전(全) 과정에서 생성된 정보를 BIM 데이터와 통합하는 디지털 업무환경 구축 및 시각적 공정관리(4D)와 BIM 모델링 객체와 WBS 체계와 연동을 통해 BIM 기반 Hi-건설 공정·공사비 관리시스템을 구축하였으며, BIM 정보 유지관리 연계 추진

스마트 건설기술 로드맵



* 스마트 건설기술 로드맵('18. 10)

■ (국토부) '25년까지 건설분야

BIM "전면설계" 도입

< BIM 도입단계 >

레벨1	• **전환/병행설계** (2-D/BIM 병행, 설계단계 위주 적용)
레벨 2	• **전면설계** (2-D 없이 BIM 설계, BIM 기반 공정관리)
레벨 3	• **설계자동화** (全 단계 보편 적용, 설계-시공-유지관리)
레벨 4	• **AI 기반 BIM 설계** (全 공정 통합 플랫폼 정착)

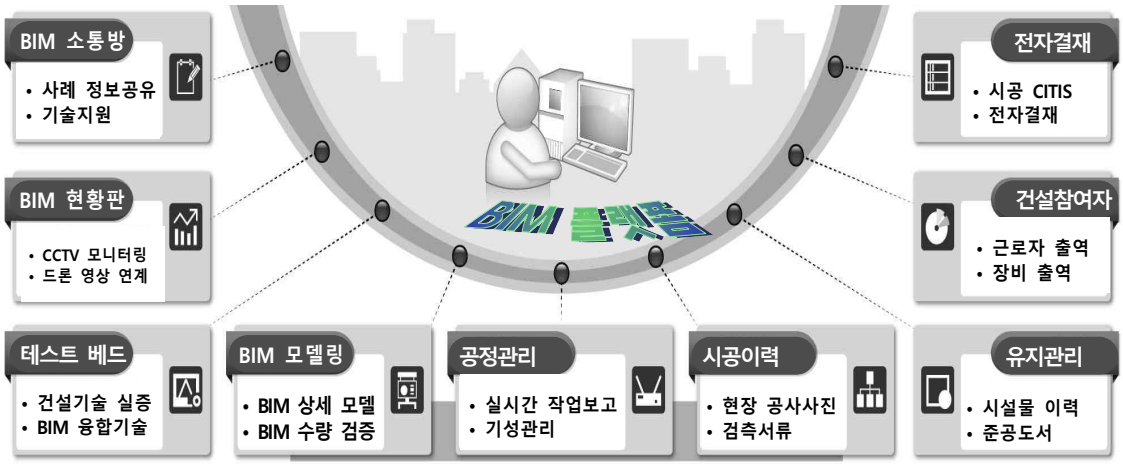
■ (우리공사) '22년부터 BIM을 **사업관리 핵심 TOOL**로 활용

* 설계-시공단계 BIM 추진방향 수립('20. 3, 설계처)

단 기 (~'21년)	• **BIM 전면설계 정착** • **스마트 건설 인프라 조성**	중 기 ('22년~)	• **BIM을 사업관리 TOOL로 활용** • **시공 全 공정에 적용**

BIM 기반 더 똑똑하고 더 안전한 스마트 건설 생태계 구축

3차원 디지털 건설관리	BIM 플랫폼 구축	BIM 활용 기반 구축
• BIM 특화사업단 운영	• 디지털 업무환경 조성	• 기술지원 및 정보공유
• 3차원 가상 시공체험	• BIM 기반 공정관리	• 전문가 양성
• BIM 기반 시공관리	• BIM 정보 유지관리 연계	• BIM 운영 내실화



출처 : 한국도로공사(2020), 건설현장 디지털 사업관리를 위한 시공단계 BIM 운영방안

<그림 2-5> 한국도로공사 BIM 사업단계 및 모델 상세수준

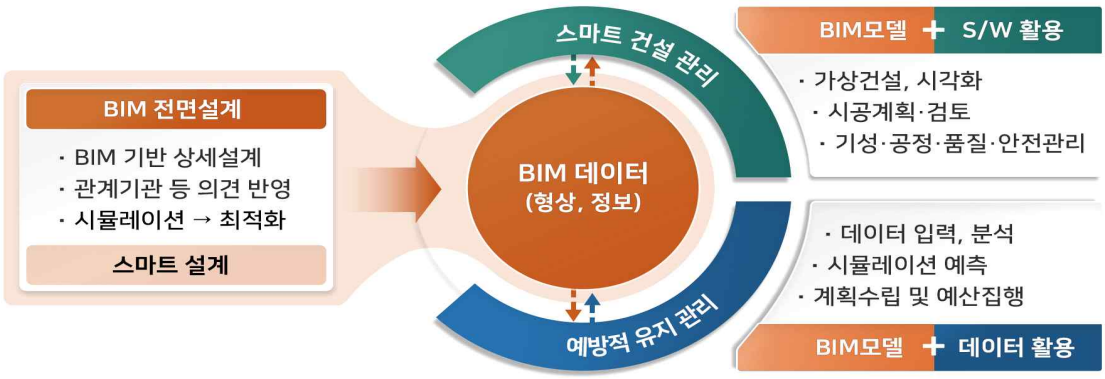
11) 디지털 고속도로 마스터플랜

- 4차 산업혁명의 여러 스마트기술을 운영할 수 있는 디지털 시스템을 구축하여 새로운 패러다임에 대한 전사적 대응 및 정부정책 이행을 위해 고속도로 특성에 맞는 디지털 전환 전략 수립 필요하며 BIM 기반의 디지털 플랫폼을 구축하고 다양한 스마트 건설 기술을 접목하여 고속도로 全주기(설계-시공-유지관리)에 걸친 디지털 전환 추진

- 全 생애주기 단계별 디지털 모델 표준 정립 및 BIM 기술 확산을 위한 고속도로 BIM 전면설계 확대, 디지털 전환을 주도할 사내 BIM 전문인력 양성을 통해 디지털 전환 기반 마련

- 정확하고 투명한 현장운영을 위한 BIM기반 공사관리 시행, 다양한 응용기술을 활용한 스마트 품질관리 및 더 안전한 현장 구현을 위한 IoT기술 연계 안전관리로 스마트 건설관리 전환 수립

- “고속도로 디지털 모델” 시범 구축 및 디지털 트윈 확대 및 유지관리 데이터 연계로 스마트 유지관리 구현 추진



출처 : 한국도로공사(2021), BIM기반 고속도로 全 주기 디지털전환 추진방안

<그림 2-6> BIM 데이터의 全 생애주기 활용 흐름

12) 건설현장 드론 운영방안

- 드론 운영 고도화와 직원역량 내재화 및 활성화 기반 조성을 통해 드론을 활용한 안전하고 효율적인 디지털 건설현장 구축을 목표로 함

- 기존의 시공사 위주의 드론 운영을 비행사고 책임을 명확히 하며 드론 유지관리 비용 절감, 비행·촬영허가 행정이 불필요한 전문 업체(Drone as a Service, DaaS) 및 감독원 위주의 운영의 변화와 기존의 사진과 동영상 위주의 성과물을 3D모델

(도면중첩), 좌표데이터, 체적, 면적 등으로 보다 정확한 분석이 가능한 성과물로 관리

- 이를 통해 기존의 단순 모니터링과 회의 참고자료였던 성과물의 활용을 실시간 측량, 비대면 검측, 시뮬레이션, 물량 자동산출, 첨단기술 융·복합 등으로 폭 넓은 활용 가능

- 드론 전문서비스를 통해 활용 부족한 운영인력 및 인프라를 극복하며, 단순 영상 확인과 모니터링은 직접 운영하되 실시간 안전관리, 영상 가공·분석 필요한 사항 등을 구매대상으로 계획하여 드론 운영 고도화 추진

- BIM, 건설장비 등 스마트 건설기술과 드론 데이터 융·복합을 통한 드론을 활용한 3D 디지털 정보 수집·제공을 추진 중이며, IoT 데이터와 결합 및 AI 분석을 통해 건설현장 위험요인 실시간 인지·예측해 지능형 안전관리 도입

- Lidar, BIM, 적외선 카메라 등을 활용한 고정밀 측량과 시공 상태 확인 가능한 센서 퓨전을 통한 비대면 검측 및 품질 관리를 통한 디지털 건설 전환 추진

- 드론 조종자격 의무 기준 신설, 비행 직원의 온라인 교육 이수(무인동력비행장치 4종), 인재개발원 외부강사 정규교육 편성 및 건설현장 드론 활용 매뉴얼 제공을 통해 직원역량 내재화 계획 추진

- 플랫폼을 통해 드론 정보 활용을 위한 내·외부 시스템 및 사업단에 기체제공 지급 계획을 실행 중이며, 시범사업 및 활용사례 Hi-건설(스마트건설) 등재 등의 정보 공유 및 드론 성과물을 인정·적극 활용을 통해 드론 활성화 기반 조성 마련

- 단기적(‘21년)으로 드론 전문서비스 시범적용 및 피드백, 건설사업단 운영 드론 기체 지급, 드론 정기교육 시행, 건설현장 드론 운영 우수사례발굴, 공유, 스마트 건설기술(BIM) 연계 활용 추진

- 중·장기(‘21년~)과제로 센서 퓨전 스마트 품질 관리 방안 개발, 드론 전문서비스 전체 사업단 확대 적용 검토 후 추진 및 건설사업단 수소 드론 등 구매·운영, 스마트 건설기술 연계 활용, 스마트 건설사업단 R&D 기술 현장 적용 계획 추진

13) 안전비용 설계반영 방안

- 안전관련 제도개선·조직확대 등 안전에 대한 지속적인 노력에도 불구하고 건설현장 안전사고 반복적 발생 및 정부정책·한국도로공사 경영목표 달성을 위한 적극

대응 필요로 안전에 대한 적극적 투자를 통해 현장 변화를 이끌어 낼 수 있는 근본적 방안 마련

■ 「산업안전보건법 제72조」 건설공사 등의 산업안전보건관리비 계상 및 「건설기술진흥법 제63조」 안전관리 비용의 안전관련 법령 기반 통해 지침 마련

■ 안전관리를 위한 필수 인건비 및 안전시설 비용 공사비를 직접계상하며 현장 안전관리 필수 인건비 반영을 위해 현황검토 후 관련법 및 관계부처 의견 반영해 목적별 신호수・유도자 분류 후 각각 인건비를 목적별 혼선 없이 인건비 계산 기준 마련. 또한, 반영된 비용 내에서 시공 시 안전관리계획에 따라 정산하도록 대상공종별 내역 반영

<표 2-7> 안전관련 법정경비

구 분	안전관리비	산업안전보건관리비
관련법령	건설기술진흥법	산업안전보건법
주요목적	공사(목적물 등)에 대한 안전관리	근로자의 건강・산업재해 예방
계상방법	각 항목별 비용을 직접산출 및 계상	대상액(재+직・노+지급자재) × 계상비율(일반공사 2.15%)
세부항목	• 안전관리계획의 작성 및 검토 비용 • 안전점검 비용 • 정기안전점검, 초기점검 • 발파・굴착 등의 건설공사로 인한 주변건축물 등 피해방지대책 비용 • 피해를 최소화하기 위한 사전보강, 보수, 임시이전 등 • 공사장 주변의 통행안전관리대책 • 공사 중 통행안전 및 교통소통을 위한 시설설치 및 신호수 • 계측장비, 폐쇄회로 등 안전 모니터링 비용 • 가설구조물의 구조 안전성 확인 • 무선설비, 무선통신을 이용한 안전관리체계 구축・운용비용 • 스마트안전시설	• 안전관리자 등의 인건비 • 안전관리자, 작업자 보호를 위한 • 개인 보호구 및 장구류 구입비 • 사업장 안전・보건 진단비 • 각종 진단, 검사, 시험, 자문 등 • 안전보건교육비 및 행사비 • 현장 내 교육장 설치비용 포함 • 기술지도비 • 재해예방전문기관 기술지도비용 • 본사 사용비 • 본사 안전 전담조직 운영비(5%이내)

출처 : 한국도로공사(2021), 안전관리 현실화를 위한 안전비용 설계적용방안 검토

14) 스마트 트레이닝 마스터플랜

■ 정부는 건설 全 과정에 스마트 건설기술 도입이라는 목표 제시하였으며, 민・관 협조해 기술개발을 활발히 추진 중이나 현장에서 기술을 활용할 수 있는 인력양성과 제도적 장치 마련은 미흡해 고용노동부(국토교통부)는 스마트 건설기술 역량을

인정하여 고용보험기금으로 지원하는 직업훈련기관으로 ‘도로공사’를 선정하고 인력양성을 추진토록 함



출처 : 한국도로공사(2021), 스마트 트레이닝 마스터플랜

<그림 2-7> 스마트 트레이닝 마스터플랜 추진 방안

15) 스마트건설기술 실용화 로드맵

■ 세계 건설 시장의 스마트 건설로 급속한 전환, 디지털 기술은 데이터 중심 플랫폼·메타버스로 광속 진화 중 이며 기후변화 대응을 위한 탄소중립 기술 확산 추세 대응 위해 스마트건설기술 실용화 로드맵 수립

■ 플랫폼 기반의 스마트 건설기술 운용과 도로사업 적용을 위해 4대 전략, 10개 실행과제 수립

■ 기술개발 및 실증 등 로드맵 추진 전반에 소요되는 예산은 '스마트건설기술 국가R&D' 사업비를 사용하며 68개월간 총 2,050억원(정부출연금 1,418억원 + 민간부담금 632억원)

■ 본사 등 관계부서 (건설본부, 도로처·구조물처·재난관리처,정보처·디지털 고속도로추진단·정보보안센터, 해외사업처, 기술심사처, 도로교통연구원, 인재개발원)의 지원 및 협조를 통해 전사적 지원과 참여 계획 수립



출처 : 한국도로공사(2021), 스마트 건설기술 실용화 로드맵

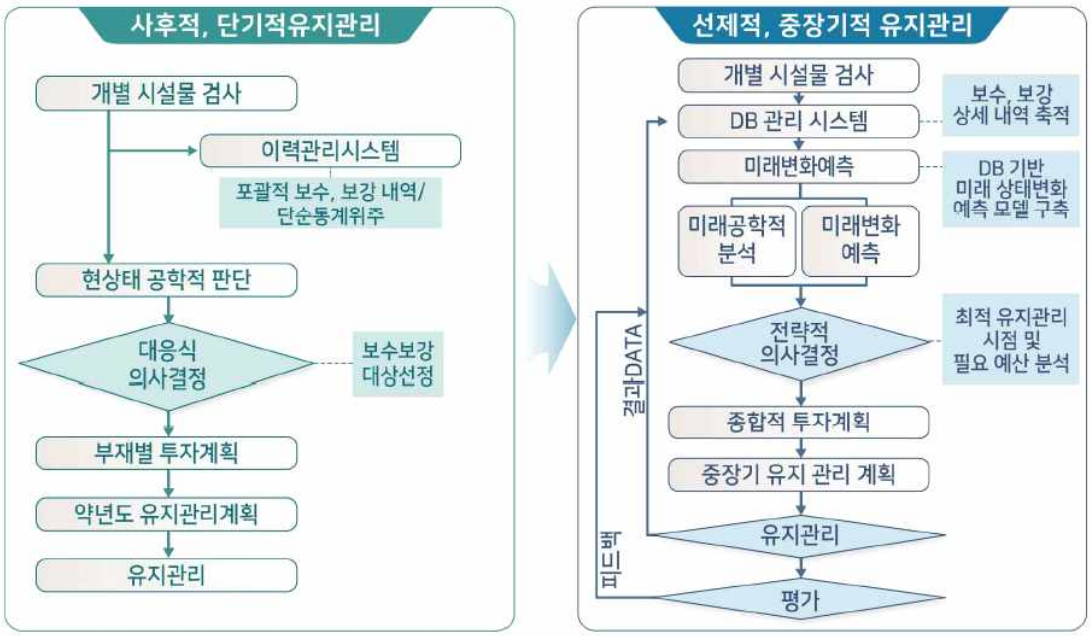
<그림 2-8> 스마트건설기술 실용화 로드맵 추진 프로세스

16) 동광주·광산 BIM 기반 디지털모델 시범구축 보고서

■ 동광주~광산 고속도로 확장공사 구간 중 서광주IC~산월IC구간에 대한 BIM 기반의 디지털 모델을 시범 구축을 하고 향후 스마트 유지관리 실현을 위한 방향 설정과 기반 마련 및 노후화 진행 중인 사회간접 자본에 대한 체계적인 관리 및 시설물 성능 예측을 통한 선제적 대응의 기반 마련하고자 함

■ BIM 기반 유지관리 시스템 구축을 위한 전략으로 기관의 강·약점 및 BIM관련 외부환경 고려해 SWOT 분석 수행 결과, BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵전담조직 및 협의체 구성, 유지관리 BIM 제도화 및 시장 선도, 사업수행체계 구축 및 교육, 고속도로 유지관리 BIM 기술 표준 개발 및 보급이 필요한 것으로 분석됨

■ 고속도로 스마트 유지관리 BIM 기반 디지털 모델의 활용도를 높이기 위해 설계·시공·유지관리 단계 통합을 위한 전 생애주기 확장 BIM 개념 도입 필요, 유지관리 단계 워크플로우 분석 및 스마트 유지관리 기법 개발 필요, 기존 고속도로 디지털 정보 획득의 효율 증대를 위한 개발 연구 수행, 건설산업 생태계 전환을 위한 국산 S/W 기술 확산 환경 조성 정책 제언함



출처 : 한국도로공사(2021), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털모델 시범구축 용역 보고서

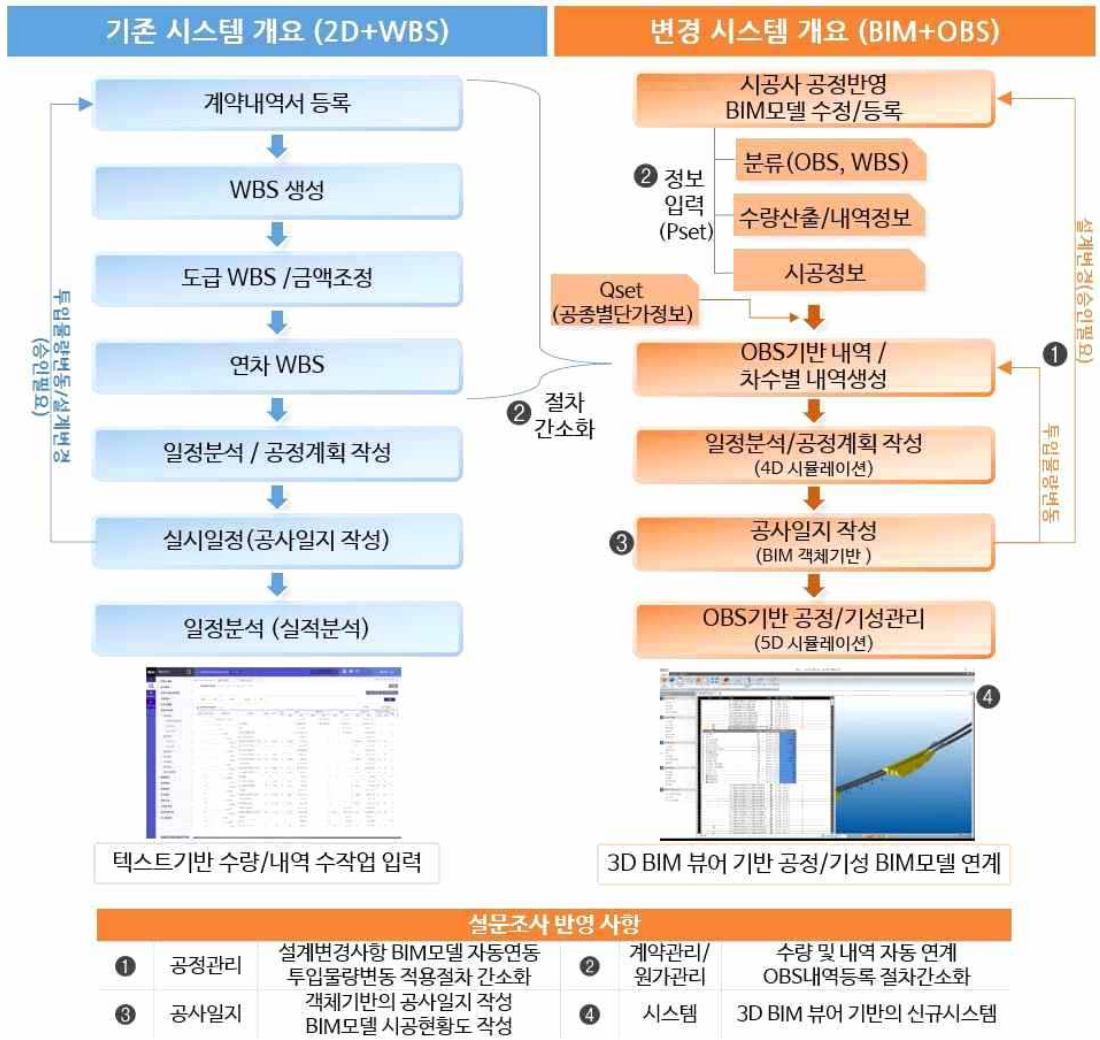
<그림 2-9> 중·장기적 유지관리 시스템 전환

17) BIM 기반 고속도로 건설공사 공정관리체계 구축 연구

■ BIM 전면설계 및 시공단계 BIM 운영 등 고속도로 건설공사의 BIM 활성화·정착을 위해 사업관리 기반이 되는 공정 및 기성관리에 BIM 적용방안이 필요하고, 한국도로공사 건설정보시스템 내 BIM기반 공정 및 기성관리 시스템 구축 방안 제시하여 시스템 개선을 도모함

■ 국내외 건설공사 공정관리 및 기성관리 현황 분석을 통해 일반 건설공사 공정관리, 기성관리 문제점 및 해결방안을 도출하였으며, BIM 기반 고속도로 건설공사 공정관리 및 기성관리 방안을 마련하였음

■ BIM 모델 객체 단위의 공정관리를 위한 복합공종 구성 및 객체 단위 복합공종의 일일 공정관리방안 및 내역서 연계 방안을 제시함



출처 : 한국도로공사(2021), BIM 기반 고속도로 건설공사 공정관리체계 구축 연구

<그림 2-10> BIM 기반 공정관리 및 기성관리 시스템 개요도

2.1.2 국외 건설부문 정책방향

■ 미국은 국가BIM 표준(NBIMS)를 개발 및 적용하여 디지털 업무자동화를 구축하고자 하고 있다. 이를 활용하여 법규 자동체크 개발, 설계정보 품질관리, 건설안전관리, 시공성 검토 등의 디지털 전환 업무를 추진하고 있음

■ 싱가폴은 도시관리 차원의 Virtual Singapore 디지털 트윈 가상도시 구축 및 법제화를 통해 건설생산성 25% 향상을 목표로 하여 BIM 및 공장제작 조립방식을 융합하는 발주방식을 추진 중에 있음

■ 아일랜드는 국가 BIM 위원회에서 건설사업 디지털 전환 로드맵을 2015년 발표하여 리더쉽, 표준, 교육, 조달 등의 4개 항목과 기술, 절차, 제도 등의 3개 중점 분야, 통합, 협업, 모델링의 3개 확산 전략을 구성하여 최종 목표 공기 및 비용 20%절감을 목표로 하는 건설사업 디지털 전환 계획을 추진하고 있음

■ 영국은 Construction 2025을 수립하고자 하고 있으며, 2017년 Centre for Digital Built Britian (CDBB)를 통해 인프라 자산의 디지털화 전략을 제시하여 2025년까지 BIM과 스마트 건설, 인프라 관리의 연계를 아우르는 디지털 혁신방안을 제시하고 정책화하고 있음

■ 독일의 연방 인프라부는 교통 인프라 영역의 디지털 전환을 위한 디지털 설계 로드맵을 15년 발표하고, 건설산업 디지털화 센터를 2020년 설립하여 스마트건설기술 활성화 계획을 수립하였음



<그림 2-11> 세계 각국의 스마트기술 활성화 계획

■ 국제 BIM 표준화 정책의 동향으로 ISO19650은 BIM에 관하여 조직의 정보관리 운영

체제를 위한 표준으로 2018년에 발행되었음. 이의 전신인 BS1192 및 PAS1192-2 등의 표준을 바탕으로 ISO로 승격 되었으며, 이를 기반으로 UAE, 사우디아라비아 등의 국제시장에서는 자국화 시켜 입찰의 기준으로 두고 활용하거나 의무화하고 있는 추세임

■ 추가적으로 각 국가별 스마트건설 정책을 추진하고 있으며, 미국과 싱가폴, 영국 등지에서 BIM 기반의 스마트 건설과 관련하여 로드맵 제시 및 정책화를 추진하고 있음. 또한, 미국과 독일의 경우는 관련 Task Force 기관을 구성하여 스마트건설기술의 적극적인 도입을 도모하고 있으며, 미국, 싱가폴, 영국은 건설공사에 BIM 도입 의무화를 하고 있음 싱가폴의 경우에는 입찰 및 발주제도를 스마트 건설기술 도입에 맞춰 변경계획 및 연구를 추진 중에 있음

1) 미국

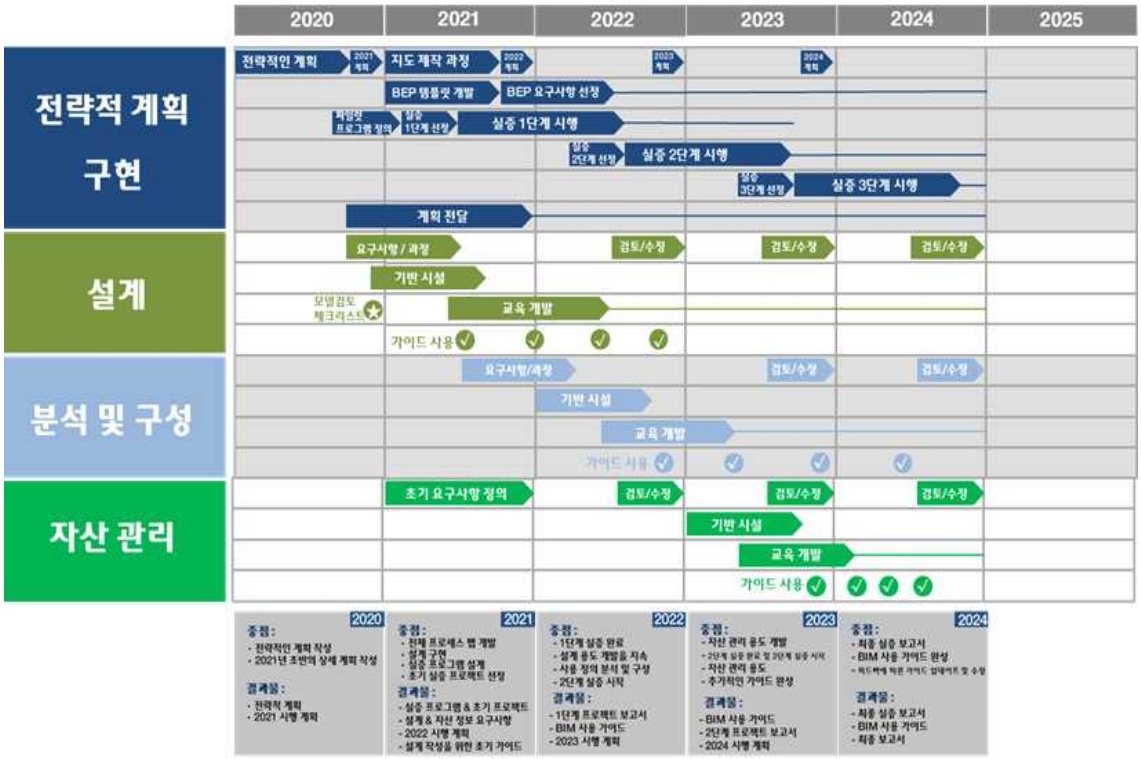
■ 미국 펜실베이니아주 교통부에서는 디지털 딜리버리(디지털 송달)을 추진하기 위해 업계 유수의 컨설턴트와 용역 계약을 통해 5개년 계획을 수립한 바 있음

- 이들은 이해관계자를 참여시키고 전략적 이행 계획을 작성하는 데 도움을 주었음. 또한, 다뤄야 하는 정보 입력과 문서 우려 사항 및 난제를 내·외부 이해관계자와 함께 탐색했으며 그밖에 활용할 기회 분석하였음
- 계획수립과 관련된 연구 팀은 여러 분야의 위원회와 협력하여 더 숙달된 제출 개발 공정과 기술을 평가하는 데 도움을 주었음. 이 프로젝트의 전체적인 목표는 디지털 송달에 필요한 단일 pennDOT 접근법의 지침으로 삼도록 일련의 확실한 정책과 표준, 교육자료를 제공하는 것임

■ PennDOT 로드맵은 ‘디지털 송달 계획’을 추진하는 경로를 도식화했으며, 매년 계획 추진과 관련된 세부 목표를 수립하였음. 매년 사업 정보 제출 절차의 다양한 경우를 수집하여 전년보다 정보 축적의 밀도를 높이고자 함

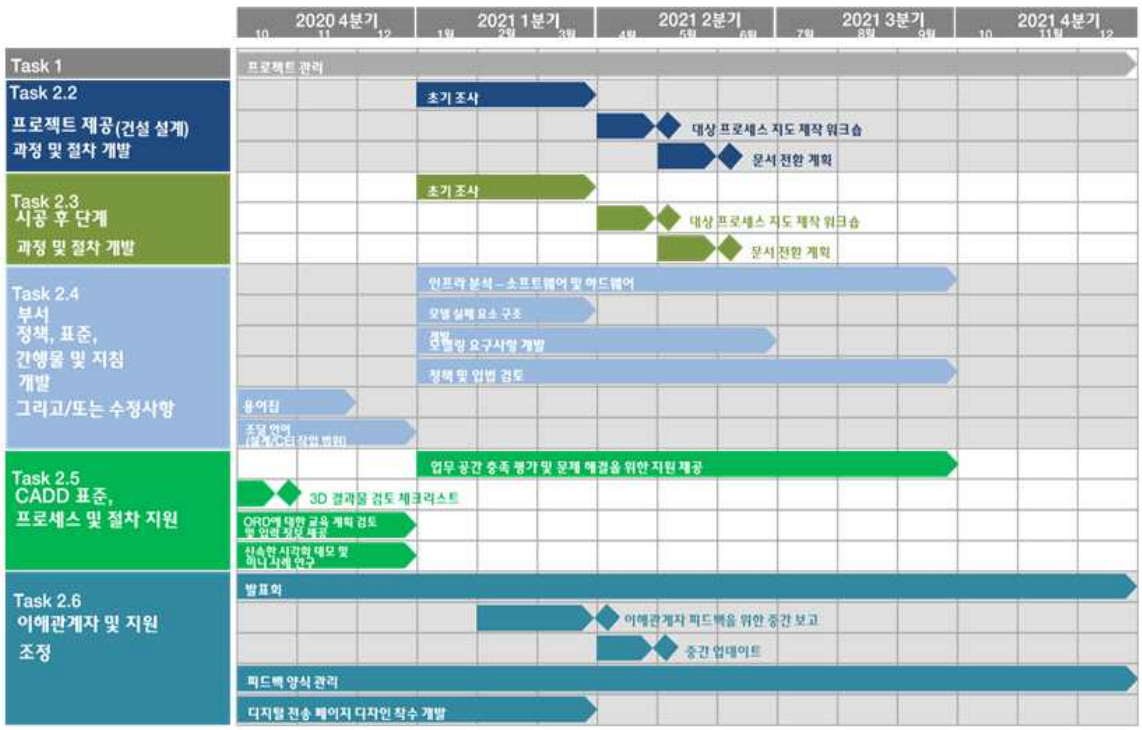
■ ‘디지털 송달’의 장점으로는 모형 기반 설계법 덕분에 협업성과 효과가 높아지고 그에 따라 설계 의도도 더 잘 전달할 수 있게 되었음. 궁극적으로 기존의 2D 도면 중심 접근법은 불가능했던 방식을 통해 효율성을 확보하였음

■ 현재는 설계 내용을 향상하는 것보다 설계도의 세부사항을 작성하는 데 더 많은 시간이 소요되며 모형 기반 설계 접근법에서는 설계 내용을 더 상세하게 추가하는 데 대부분의 공정초기 시간을 사용할 수 있음. BIM을 통해 설계 및 건설 팀은 조기에 문제를 해결해 비용을 절감할 수 있는 것으로 나타남



출처 : PennDOT(2020), Digital Delivery Directive 2025 Final Strategic Plan

<그림 2-12> 디지털 송달계획 목표연도별 로드맵



출처 : PennDOT(2020), Digital Delivery Directive 2025 Final Strategic Plan

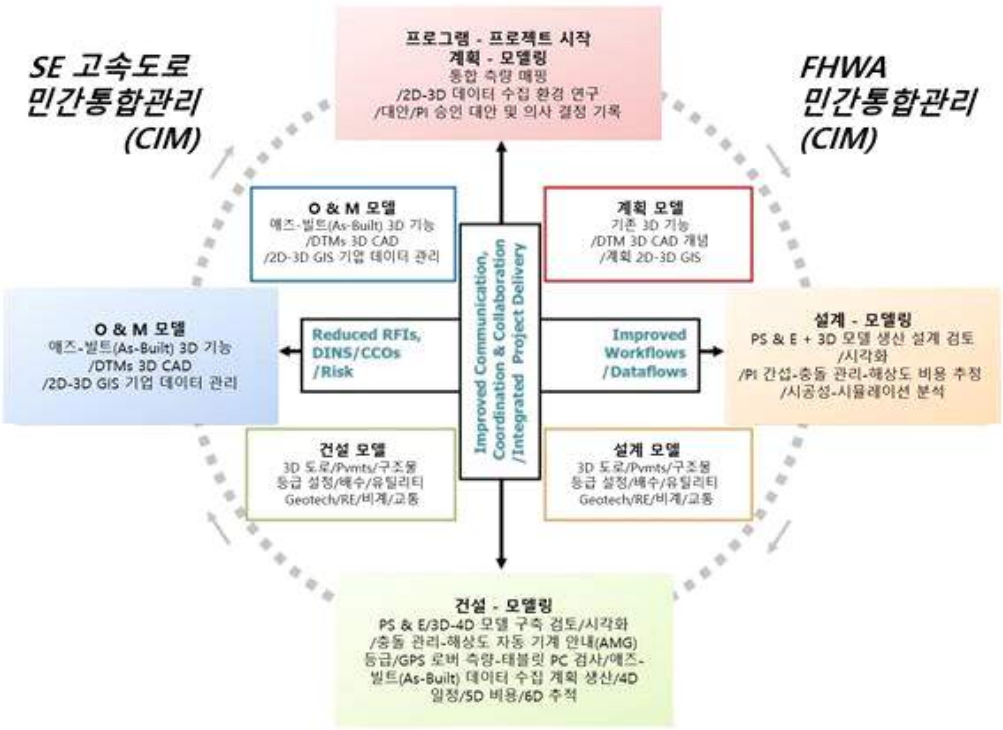
<그림 2-13> 디지털 송달계획 2021년 목표 로드맵

■ 또한, 미국 Federal Highway Administration(FHWA)는 고속도로 건설의 자동화를 구현하기 위해 주 교통부서의 자동화 사례를 수집하고 이를 정리하여 지침을 수립함

■ 목표, 이해관계자, 자본 및 인적 자원에서의 영향을 확인하고 자동화 기술 구현을 위한 변경 수단을 선정하고 자동화 구현을 위한 전략 및 제도를 설명함

■ WisDOT 남동부 고속도로 프로그램 Zoo Interchange는 자동화 및 기술의 기능적 사용에 대한 개요를 제공하고 설계 및 건설 구현을 위한 계획을 수립함

■ 계획, 측량, 설계, 시공 단계에서의 3D 기술의 활용을 통한 자동화 구현 사례를 제시하며 다른 지역 및 국가 기관을 지원하기 위해 3D 기술과 관련된 지침, 사양 및 모범 사례를 개발함



출처 : U.S. Department of Transportation(2019), Automation in Highway Construction Part 2

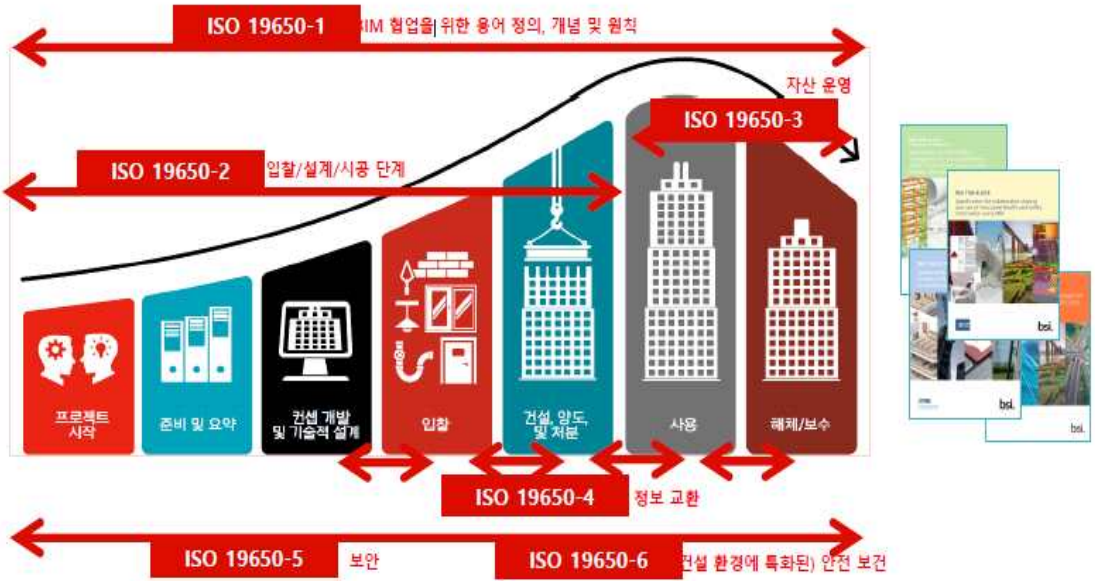
<그림 2-14> WisDOT 프로젝트 단계 별 자동화 기술 통합 사례

2) 영국

■ ISO 19650 시리즈는 2018년 12월 발행된 BIM 국제표준으로서, 유럽표준화기구(CEN)의 회원들은 자국의 국가표준으로 공표 및 중앙정부기관부터 입찰에 해당 기준을 반영하였음.

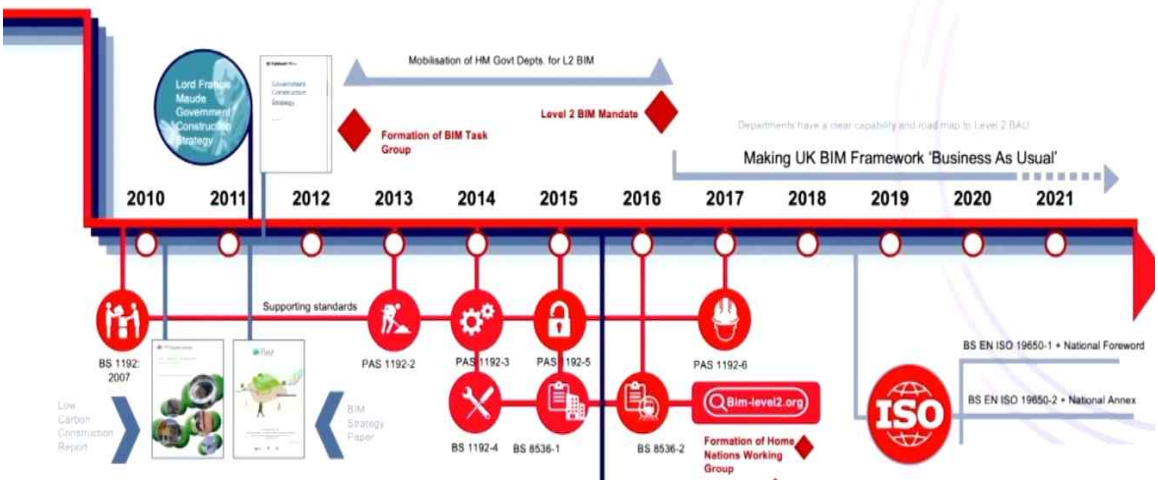
■ 영국 조달청의 경우 ISO19560의 검증 및 인증서를 입찰 근거자료로 활용하고 있으며, 호주, 뉴질랜드, UAE 등은 국가표준 제정 및 프로젝트 선정 시에 활용을 하고 있음

■ 영국에서는 2010년경부터 사업과 조직에 걸쳐서 정보가 연동을 가능하게하기 위해 많은 활동을 해왔음. '영국 BIM 추진단' 은 정부의 2011년 건설 전략의 결과로 창설되었으며, 이에 따라 영국 내에서 일련의 문서와 도구가 표준화되었음



출처 : 허송미(2021), BIM, ISO 19650 표준 및 글로벌 트렌드 소개

<그림 2-15> BIM 국제 표준 ISO 19650시리즈



출처 : UK BIM Alliance(2020), UK BIM Framework timeline

<그림 2-16> UK BIM FRAMEWORK TIMELINE

3) 일본

■ 건설현장의 생산성 향상을 위해 ICT(정보통신기술)을 활용하는 i-Construction정책을 2017년부터 추진하였음

- 크게 4가지로 1)3D 데이터 이용 및 활용, 2)시공시기 평준화, 3)오픈 데이터화에 의한 오픈이노베이션, 4)관민제휴 체제강화로 구분됨. 또한 3D 데이터 이용 및 활용은 ICT 활용을 위한 노력, 현장시공의 효율화로 구분되며, 조사·측량·설계, 시공, 유지관리로 구분하며 로드맵을 추진하였음



출처 : 国土交通省(2018), i-Construction_BIM／CIMの動向

<그림 2-17> i-Construction 추진 로드맵

■ i-Construction을 확대하기 위해 2020년부터 관련 기준을 신설 및 개정하였음

- ICT 시공 공종 확대에 따른 기준류 책정・개정은 세 공종으로 구분이 가능하며, 신규 기준 책정 2개, 기존 기준 개정 1개로 구분되어있음

<표 2-8> ICT 시공 공종 확대에 따른 기준의 신설・개정 (예시)

공종	대응	기준명
ICT지반개량공 (심층 혼합 처리공)	신규 기준 신설	시공 이력 데이터를 이용한 기성부분 관리 요령(안) (슬러리 교반공편) (가칭)
ICT법면공 (취부법 프레임공)	기존 기준 신설	3차원 계측 기술을 이용한 기성부분 계측 요령(안) → 취부법 테두리를 추가
ICT포장공 (수리공)	신규 기준 신설	시공 이력 데이터를 이용한 기성부분 관리 요령(안) ((노면 절삭공)편)(가칭)

출처 : 国土交通省(2021), 基準類の策定・改定の取組

■ i-Construction 활용확대를 위한 각 종 정책을 시행했으며, 주요 공종부터 순차적으로 ICT활용을 위한 기준을 충족하거나 중소기업/지방공공단체 등에서의 ICT 활용/보급 확대를 위한 정책을 마련하였음



출처 : 国土交通省(2021), ＩＣＴ施工の対象工種の拡大に向けた取組

〈그림 2-18〉 i-Construction 각 종 정책

■ 2020년에는 중소 건설업체를 위해 ICT 시공의 지도·조언을 실시할 수 있는 인재·조직을 전국 각지에 육성하는 ICT 시공 기술 지원자 육성 대처를 실시해 국토교통성이 ICT 전문가를 지방에 파견해 「인재·조직의 육성」의 실시를 지원을 통해, i-Construction 인재 교육 환경을 구축하였음

연도	R2(2020년도)	R3(2021년도)	R4(2022년도)	R5(2023년도)	장기목표 (대략 10년)
[사업 전반에 있어서의 향후의 대응 방침]					
BIM/CIM 전략		모델 사무소 등에서 단계별 BIM/CIM 모델 활용 방법의 정리, 충실		관동지정 BIM/CIM 스트라테지의 편지지 만들기	각 사무소에서 하천, 노선 단위로 관동지정 BIM/CIM 전략을 만든다. 이를 바탕으로 BIM/CIM 모델을 조사 · 설계 · 시공 · 유지 관리에 활용
3D를 주로 하는 계약 수법		개정을 위해 모델 사무소 (아라카와 조절 연못, 고후 하천 국도)를 통해 과제 추출을 실시하고 본성이 검토하는 기준 · 요령 등)의 시행 업무 · 시행 공사에 반영			3D모델을 통한 계약으로의 완전한 전환
		2D→3D 계약, 감독 · 검사로의 전환을 위한 시행 실시		3D 모델에 의한 계약 중부 실시	
교육	•BIM/CIM 교육 커리큘럼 만들기	•입문, 초급, 실천의 3단계 연수를 설치 실시한다. •입문 · 초급 연수를 주로 실시해, BIM/CIM의 견문을 전파한다.	•R4년도 중에 중급연수를 설치하여 실시한다. •중급 · 실천 연수를 주로 실시해, 스키 향상을 도모한다.		•모든 소속(국,사무소)의 사업, 관리 등 직원 BIM/CIM 모델을 업무에 활용
환경 정비	•BIM/CIM · DX 지원 환경 정비 •BIM/CIM용 고속 통신망 (관동 지방 정비국 정비)	•인재육성센터 및 본국 DX 설치 •원격 현장 장비 배포(일부) •BIM/CIM용 고속 통신망의 정리비(인터넷 접속) •BIM/CIM 응용 프로그램 확충	•모바일 PC로 전환, WiFi 정비(모델 사무소 등)	•모바일 PC로 전환, WiFi 정비(다른 사무소)	•모든 소속 (국,사무소)에서 사업, 관리 등 담당 직원의 BIM/CIM모델 활용 환경의 정비

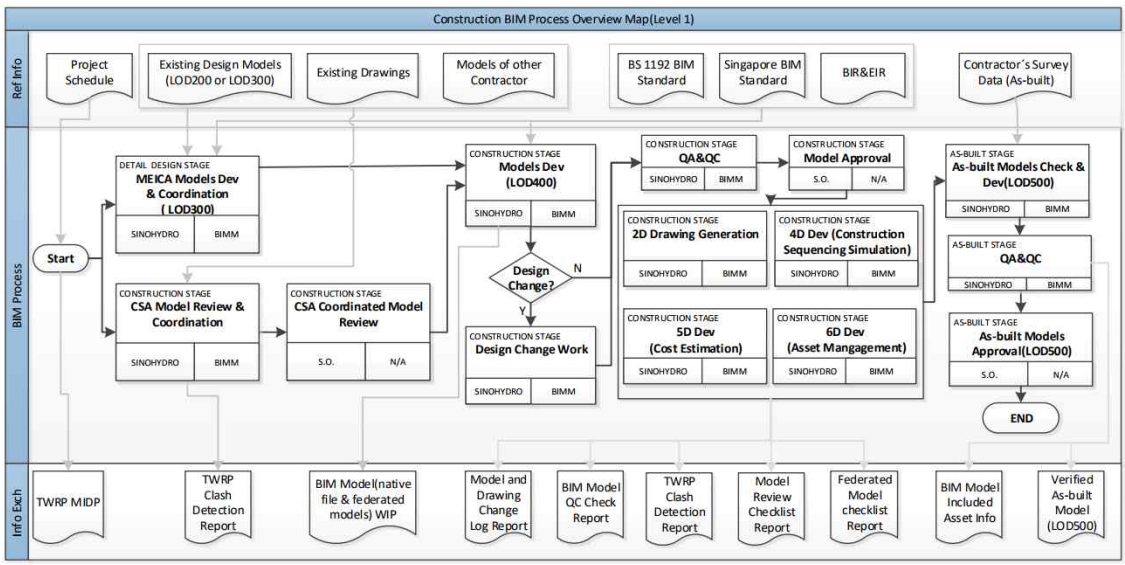
출처 : 国土交通省(2021.07), ＩＣＴ施工の対象工種の拡大に向けた取組

〈그림 2-19〉 i-Construction 확대를 위한 교육정책

4) 싱가포르

■ BIM기반 입찰 사례

- 싱가포르의 Tuas Water Reclamation Plant(TWRT)에서는 입찰시, LOD 400 수준의 BIM 모델을 입찰 참여자에게 제공하고, BIM 모델에서 물량 산출을 실시하여 입찰에 참여하게 함
- 작업물은 BIM을 사용하여 전달되어야 하며 별도의 도면은 제공하지 않아 필요시 입찰자가 BIM 모델에서 추출해서 활용해야 함. 정보 수준은 각종 시설물의 제원 및 규격 정보가 상세히 포함되어 있어 입찰 물량 산정에 무리가 없음. S.O.와 계약자는 2D 도면과 디지털 정보의 교환으로 이루어짐



출처 : ICSP(2022), BIM Execution Plan Compilation and Application in Singapore TUAS Water Reclamation Plant

<그림 2-20> 싱가포르 건설 BIM 프로세스 개요 맵

■ 스마트건설 배점 사례

- 싱가포르 IWMF의 PQM(Price-Quality Method) 가격-품질-생산성 가중치를 50:48:2와 같이 설정한 바 있음. 품질평가는 프로세스 설계 50점, 플랜트 배치 및 건축 10점, 시공성 5점, 핵심공정설계 KPI 및 O&M 보장 10점, 안전/HSE/위험 15점, 조직구조 및 인력 제안 5점으로 총 100점 만점으로 진행됨
- 스마트건설에서의 시공성 평가 항목은 작업 순서, 건설방법론, 제안한 건설의 혁신 및 생산성 향상(프리캐스트 콘크리트, 스키드 장착 장비, 조립식 랙 설치 등)으로 구성됨

■ 생산성 향상 기술 제안 요건 사례

- 싱가포르 TWRP은 생산성을 높일 수 있는 기술로 현장 외에서 건축, 토목, 구조의 요소를 사전 제작하는 것, 프리캐스트 자재의 사용, 현장 콘크리트 공사 시 시스템 거푸집 이용, 현장 노동력 사용의 최소화를 위한 자원 관리 등을 제안하였음

- 싱가포르 N115에서 계약자는 작업 생산성 향상을 위해 기계화 및 판도를 바꾸는 기술사용을 모색해야 함. 건설 작업에 자동화 및 기계화 또는 혁신적이고 효율적인 플랜트 및 기계의 사용의 고려, 조립식 철근의 사용, 프리캐스트 건축 요소 및 시스템 거푸집의 사용, 지하 건설 작업 시 ERSS 설계 및 시공 시 관형 스트럿, 참호 혼합 벽 사용 등의 기술로 건설 작업에 자동화 및 기계화 도입이 이루어져 생산성이 향상될 수 있음을 제시함

■ 전면 BIM 입찰 사례

- 싱가포르 TWRPD은 BIM 정보 모델에는 2D 도면, 3D 모델, 4D 시공 시퀀스, 5D 수량 및 비용 추적, 6D 자산 관리가 담김. 계약자는 승인된 설계로 BIM 모델을 업데이트하고 완료 후 데이터베이스와 준공 모델을 함께 제공해야 하고 설계 완료 시 BIM 모델은 유지하고 준공 데이터로 모델을 업데이트해야 함

<표 2-9> 싱가포르 TWRPD의 필수 BIM 승인도구

디자인/모델링 소프트웨어	버전	기능
Primavera	P6	Construction Scheduling
Microsoft Office	2016	All documentation
SQL Server	TBC	Hosting P&ID database
Bentley Aecosim V8i	SS6	Architectural, Structural +6D COBie
Bentley Aecosim V8i	SS6	MVAC, Electrical, Plumbing, Fire Protection +6D COBie
Bentley Open Plant Modeller V8i	SS6	Process Mechanical, Instrumentation & Controls
Bentley Open Plant P&ID	SS6	P&ID - Process Mechanical, Instrumentation & Controls
Bentley InRoads	SS4	Civil - Site Grading, Roads, Tunnel, Yard Piping, Utilities, Geotech and Site Analysis
Bentley Navigator	V8i and CONNECT	2D Online Design Collaboration/Redlining, 3D Design Collaboration/Clash Detection + 4D Sequencing +5D QTO + 6D Cobie
Adobe Acrobat	11.0+	2D Design Collaboration/Redlining
Autodesk NavisWorks	2017	Delivery of model to the Board/PM + 4D Sequencing + 5D QTO

출처 : BIOSOLIDS AND DIGESTERS VOLUME 2(2022), TUAS WATER RECLAMATION PLANT CONTRACT C4A

2.2 국내외 스마트건설기술 도입현황

■ 2017년에 수립한 제6차 건설기술진흥기본계획(2018 ~ 2022)에 '25년까지 건설정보모델링(BIM), AI 등을 필두로 하는 건설 자동화 기술개발을 목표로 추진하고 있음

■ 한국도로공사의 스마트건설사업단의 4대 중점분야에 대한 국내와 글로벌 수준의 스마트 건설기술 수준을 비교한 사례는 표 <2-10>과 같음

<표 2-10> 4대 중점분야별 스마트 건설기술의 수준 비교 및 국내 선도 기술 사례

중점 개발분야	국내 수준	글로벌 수준
건설장비 자동화 및 관제	MG 수준 장비 자동화 일부 적용 *MG: Machine Guidance ⇨ 위치 정보만 제공, 인간의존	MC 수준의 장비 자동화 및 관제 기술 개발 중(미국, 일본 등) MC:: Machine Control ⇨ 부분자동화, Semi-Auto
도로구조물 스마트 건설	부분적 BIM 기반, 인력 중심 프리팹 설계 및 제조	BIM 기반, 설계-제조-시공 전 단계 프리팹 시범사업 중(영국 등)
스마트 안전 통합 관제	IoT 센서 기반, 부분적 안전관제 시험 적용 중	AI 기반, 현장 통합 안전관제 및 예측기술 도입 중(미국 등)
디지털 플랫폼 및 테스트 베드	건설분야 디지털 정보 통합관리 플랫폼 부재 고속도로 현장 중심으로 스마트 기술 (드론, 토공장비, 안전관제, BIM 등) 일부 시범적용 중	현장별 디지털 정보 통합 플랫폼 시범적용 중(싱가포르 등) 국가 정책에 반영, 시범현장 운영 (영국, 일본, 미국 등)
[국내 선도기업의 기술 개발 및 활용사례] (현대건설) 카타르박물관 BIM 공사관리, 칠레 차카오교량 드론측량, IoT 활용 안전관리 등 (대림산업) 텍사스 플랜트 BIM 공사관리, 공동주택현장 드론측량 및 토공 자동화 등 (GS건설) 싱가폴 지하철 BIM 공사관리, 클라우드 기반 도면관리, 서해선철도 안전관제 등 (삼성물산) 말레이시아 KL118타워 BIM 기반 공사관리, 공동주택 현장 드론측량 등 (지에스아이엘) 스마트 안전관리 시스템(위치파악, 영상활용 현장관리, 센서기반 사고예측 등) (창소프트아이앤아이) 시공/설계용 BIM 소프트웨어 개발(철근, 거푸집 상세모델 제작)		

출처 : 조성민(2020), "스마트 건설"은 건설산업의 미래를 열 돌파구, The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers,

■ BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅 데이터, AI 등 첨단기술을 건설에 융합하여 일부 건설현장에서 설계・시공・유지관리 단계에서 스마트 건설기술 활용

■ 국내 건설 대기업 중심으로 스마트 건설기술 활용에 많은 관심을 가지고 있으나, 단편적 활용에 그치고 있으며 현장 활용은 저조

■ 시공성・안전성 논란이 없는 검증된 기술을 선호하고 새로운 기술에 대한 수용성이

부족한 현실

■ 대기업은 하도급을 통하여 저가시공에 익숙하고 직접 시공하는 중소기업은 비용부담 및 인재 부족 등으로 인한 기술개발 부진

■ 일부 현장에서 설계・시공・유지관리 단계에 스마트 건설기술 활용하고 있으나, 부분적으로 제한되고 있는 실정. 일부 현장에서 측량 및 토공량 산출 등을 드론을 이용한 영상데이터로 활용하고 있으며, BIM 기술은 설계 과정에서만 부분적 적용되고 있음

2.2.1 계획/설계 분야

■ 프리콘방식(Pre-construction) 적용

- 시공책임형 건설사업관리제도로 발주자・설계사・시공사가 설계 단계에서 하나의 팀을 구성하여 설계부터 건물 완공까지 모든 과정을 가상현실(VR)에서 실제와 똑같이 구현하는 선진국형 건설 발주 방식
- 설계단계에서 3D 설계도 기법을 활용한 가상 시공(VR)을 통해 설계 오류와 시공 간섭 등을 체크해 설계 완성도를 높여 설계 변경을 최소화



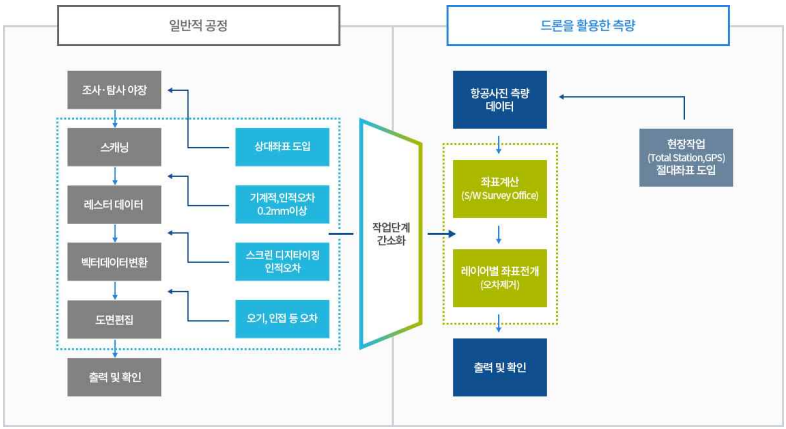
출처 : Arch Daily(2016), NBBJ and Visual Vocal Partner to Create Virtual Reality Productivity Platform

<그림 2-21> VR을 이용한 건물의 내부설계

■ 드론을 활용한 측량 및 Lidar Camera 활용한 건설부지 정보수집

- 고해상도 촬영 영상을 활용하여 지적정보를 포함하는 공간정보 구축에 활용. 도로시설물 조사(접근하기 힘든 시설물의 외관 상태 및 길이, 면적 조사)와 공유지 실태조사(토지의 무단 형질변경 파악 등)에 활용

- 긴 비행시간과 장거리 비행을 활용한 정밀하고 효율적인 측량이 가능하며, 방수 설계를 통한 우천 시에도 대비 가능
- 측량 S/W를 이용, 드론과 카메라 센서와의 연동을 통하여 사용할 수 있게 설계되어 고정확·고정밀 측량을 통하여 고품질 결과 창출
- 적재된 토공 및 자재의 체적을 정확하게 계산하고, 기간별로 측정한 데이터를 비교 및 관리를 통하여 3D 시각화 및 체적관리·비측량 변화 감지



출처 : GIANT DRONE(2020), 드론을 활용한 측량

<그림 2-22> 드론을 활용한 측량

■ VR 기반 대안 검토

- 가상으로 창조된 공간에서 사용자가 접속해 체험을 바탕으로 건축물이나 현장에 대한 피드백을 얻는 용도로 활용. 사용자의 요구에 따라 건축과 설계가 가상공간에서 이루어지며 전자 상거래의 새로운 모델로 활용하고 부분적으로 2, 3차원 캐드와 가상현실기법을 가미하여 활용



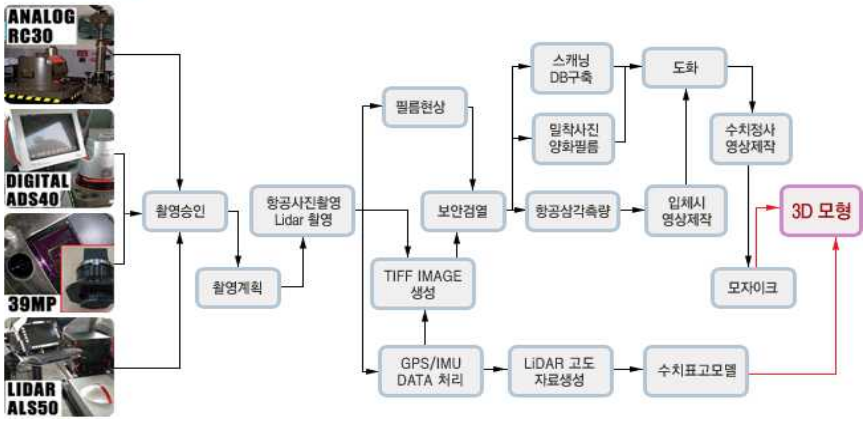
출처 : UNREAL ENGINE(2019), Trezi, https://www.unrealengine.com/

<그림 2-23> VR기반 계획 및 설계

■ 드론을 통한 3차원 측량 시행

- 항공사진촬영은 광범위한 국토지리정보를 수집 처리하여 사실적으로 구현하는 첨단기술. 기존 항공측량으로는 얻기 힘들었던 지리정보를 LIDAR로 획득하여 국토유지관리 전반에 관하여 서비스 할 수 있는 촬영시스템을 구축하였으며 양질의 정보를 제공

- 드론을 통한 공간정보 구축, 드론 촬영관리 시스템 개발 등을 통한 정밀공간정보 구축기술을 확보・적용



출처 : ㈜중앙항업(2020), 『수치지도 및 지리정보 DB구축』

<그림 2-24> 항공사진촬영 공정도



출처 : ㈜중앙항업(2020), 『수치지도 및 지리정보 DB구축』

<그림 2-25> 디지털 카메라(ADS40/39MP)

■ 토목 BIM 설계 ((주)한국인프라)

- 3D BIM 모델을 구축을 기본 계획단계부터 기본・실시설계, 시공 및 운영・유지관리 단계까지 적용 하며, 이를 통해 체계적 및 일관성 있는 정보를 구축된 3D 모델을 기반으로 업무 전체적으로 적용

- 3D 설계 소프트웨어에서 생성된 데이터 모델을 의미하는 3D BIM 모델은 토목 및 도시기반시설, 구조, 설비 및 프로젝트 협업관리 등으로 업무영역별로 구분
- 분야별로 각각 전문화된 상용 3D 설계 Software 로 구성되어 있으며, 각각의 3D BIM 모델들 내에 존재하는 모든 객체들간 상호 호환이 가능
- 3차원기반 정보 운용 환경 프로세스인 토목 BIM은 토목공사의 계획, 설계, 시공, 유지관리의 전 생애주기에 발생하는 요인 정보를 통합해 관리하며, 변경된 정보에 따라 연관 프로세스 정보를 일괄로 재생산 및 공유, 교환, 재배포함

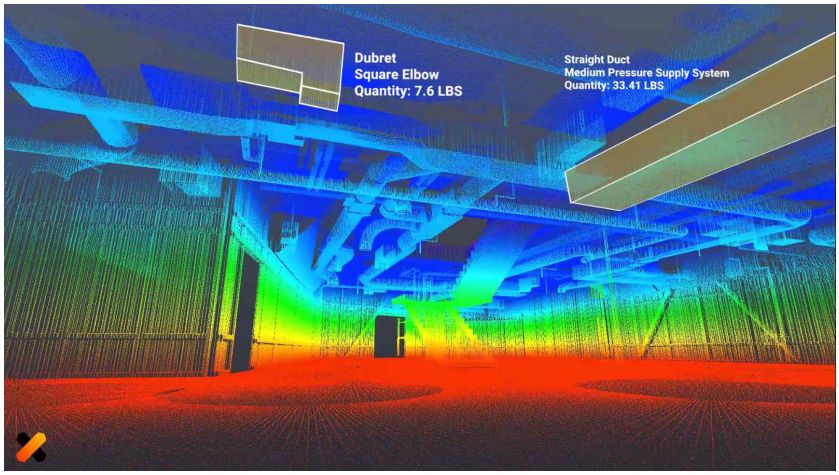


출처 : ㈜한국인프라(2020), 토목BIM 교육 및 컨설팅

<그림 2-26> BIM 단계별 모델기반 프로세스

■ Doxel의 건설현장 탐사로봇

- AI 기반 컴퓨터 비전 소프트웨어를 사용하여 건설 일정, 예산 및 품질에 대한 실시간 피드백을 제공하는 건설현장 탐사 로봇 개발
- 실외용 드론과 실내 추적용 지상 로버로 실시간 진행 상황을 추적하여 건설 생산성 38% 증가(최대 50%까지 증가), 예산 11% 감소
- 생산성 향상 절차 : 자율 로봇이 이미지 촬영 => 레이저 스캔(3D 맵 작성) => 인공지능 측정 진행 및 품질 검사 => 문제를 적시에 파악



출처 : DOXEL(2018), Introducing Artificial Intelligence for Construction Productivity

<그림 2-27> 건설현장 탐사로봇(Doxel)

■ 건설현장 드론 운영(한국도로공사)

- 건설현장 디지털 전환에 따른 드론 수요 증가하고 있고, 스마트 건설기술 융복합을 통한 드론 활용 다변화가 진행중

  ∨ 드론 3D 점군데이터 BIM 연계, 영상 AI 분석, IoT 기술 접목 안전서비스 등

- 한국도로공사의 건설현장 14개 사업단 72개 현장(전체대비 68%)에서 운영중(21년 6월 기준)이며, 도로사업 全분야(설계측량, 안전관리, 교통단속, 사업개발, 홍보영상, 기술개발 등)에서 활용하고 있음



시공확인	공정확인	안전시설 확인	민원관리	기성물량 확인

출처 : 한국도로공사(2021), 건설현장 드론 운영방안

<그림 2-28> 한국도로공사 건설현장 드론 활용

• ‘드론을 활용한 안전하고 효율적인 디지털 건설현장 구축’을 위하여 2021년부터 단계별 추진계획을 수립하여 진행중

  - (단기과제 ‘21년) 「드론 전문서비스」 시범적용, 건설사업단 운영 드론 기체 지급, 드론 정기교육 시행, 건설현장 드론 운영 우수사례 발굴 및 공유, 스마트 건설기술(BIM) 연계 활용

  - (중장기과제 ‘21년~) 센서 퓨전 스마트 품질관리 방안 개발, 「드론 전문서비스」 전체 사업단 확대적용 검토 후 추진, 건설사업단 수소 드론 등 구매 및 운영, 스마트 건설기술 연계 활용, 스마트건설사업단 R&D 기술 현장 적용



출처 : 한국도로공사(2021), 건설현장 드론 운영방안

<그림 2-29> 건설현장 드론 전문서비스(예시)

2.2.2 시공분야

■ 스마트장비 MG(Machine Guidance)

- 설계 도면대로 굴삭 작업 진행하여 운전자는 장비가 서있는 위치에 따라 설계 레벨과 실제 레벨 차이를 모니터로 확인하여 굴삭 작업 진행
- 경험과 직감에 의존했던 작업에서 탈피하고 확실하고 신뢰성 있는 시공을 실현하고 원가절감과 안전 및 고효율 작업 가능
- 실시간으로 측정위치의 좌표 및 레벨 검측이 가능
- 저수지나 곡선이 많은 복잡한 형태의 굴착이나 버켓날이 보이지 않는 장소, 수면 밑 작업에 대해서도 설계면과 같이 고정밀도의 시공 가능



출처 : ㈜영신디엔씨(2020), Smart Construction

<그림 2-30> 건설현장 탐사로봇(Gecko Robotics)

■ 장비 자동화 & 로봇 시공

- 건설 현장의 생산성 향상 및 원가절감을 목표로 건설 공사의 측량 , 설계, 시공계획, 시공, 검사 등의 일련의 공정을 활용하는 기술
- 건설 공사의 조사, 설계, 시공, 감독, 검사, 유지관리 등의 생산 공정에서 ICT (정보통신 기술)를 활용해 각 공정에서 얻어지는 전자 정보로 고효율·고정밀도 시공



건설현장 모형화



장비자동화의 이점

출처 : ㈜영신디엔씨(2019), 건설장비와 IT의 만남

<그림 2-31> 장비 자동화 & 로봇시공

■ IoT(사물인터넷) 기반 현장 안전 관리

- 저전력 블루투스 통신인 BLE통신을 활용해 센서를 통해 얻은 데이터를 스캐너로 전송하고 수집된 센서 데이터를 LTE/5G, Wi-Fi 통신 방식으로 BLE스캐너는 통합 플랫폼에 전송
- 체계적 안전점검 및 예방적 안전관리 강화를 위해 통합 플랫폼 내 수집된 정보기반 위험요인을 판단해 관리자 및 근로자에게 경보 및 알람을 발생해 사전에 잠재적 위험요소 제거



출처 : ㈜지에스아이엘(2017), 스마트 건설 안전관리 시스템

<그림 2-32> IoT 기반 현장 안전관리 개념도

■ 스마트건설기술 시공현장 활용 (현대건설)

- 현대건설은「제조업 기술과 ICT 융복합 기술 접목으로 건설 생산성 향상」을 스마트건설의 지향점으로 설정하였으며, 건설 자동화, 스마트 현장관리, 스마트 안전관리 등을 다양한 현장에서 활용하고 있음

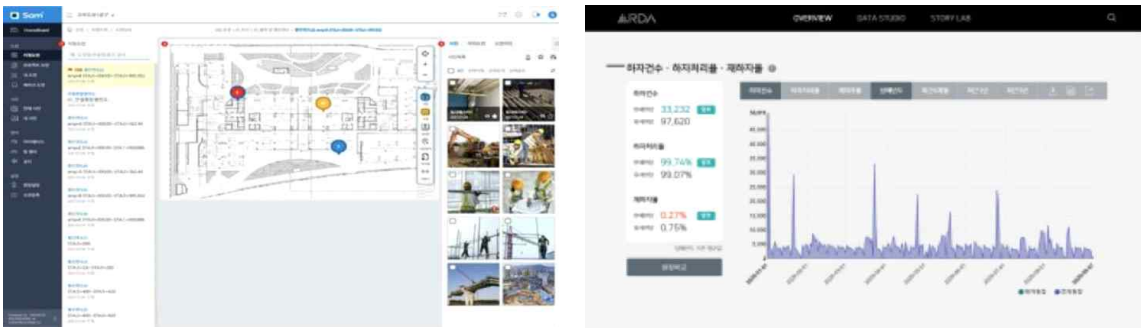
<표 2-11> 현대건설 토목분야 스마트건설 수행 현황(2021년 기준)

구분	기술명	기술개요	적용 현장
디지털 맵핑	드론 측량	드론 기반 시공 현황 모니터링, 토공 측량	12개 현장 (싱가폴 매립공사, 김포파주 2공구 外)
	LiDAR 스캔	레이저스캐너 기반 터널 내공 측량, 검측	6개 현장 (베트남 LPG 저장소, 김포파주 2공구 外)
	MMS	차량 레이저스캐너를 활용한 광역 구간 정밀 현황 측량	2개 현장 (한국타이어 주행시험장 外)
가상 설계 시공	BIM/CDE	3차원 정보 모델 기반의 복잡부 설계 및 시공 계획 검토	15개 현장 (싱가폴 고속도로, 세종포천14공구 外)
	VR 시뮬레이션	VR을 활용한 특수 장비 운용성 검토, 작업 안전 교육	10개 현장 (세종포천14공구, 김포파주 2공구 外)
건설 자동화	MC/MG	컨트롤/가이드를 통한 측량 작업 배제, 생산성 향상	8개 현장 (방글라데시 항만공사, 에코델타시티 外)
	무인 건설 로봇	로봇을 활용한 위험작업 수행 (보호막 도포, 로드헤더)	2개 현장 (싱가폴 항만공사, 대전북연결선 外)
	특수 건설장비	맞춤형 장비 제작 (인버트박스 가설 TBM, 전폭포장장비)	3개 현장 (김포파주 2공구, 한국타이어 주행시험장 外)
스마트 안전	IoT 차량/인력관제	IoT 위치 센서 기반의 근로자/차량 위치 실시간 관제 (Hios)	16개 현장 (필리핀 철도공사, 김포파주2공구 外)
	AI CCTV	AI 영상인식 기반의 안전모 미착용 등의 위험 행동 감지	2개 현장 (행복도시 외곽도로 外)
	재해예측시스템	당사 안전 사고 빅데이터 기반의 맞춤형 재해 예측	34개 현장 (세종포천 14공구, 김포파주 2공구 外)
	스마트 안전봇	360도 전방위 CCTV 모니터링, 비상 방송/알림	4개 현장 (김포파주 2공구, 경주 택지개발 外)
스마트 현장 관리	PC부재 관리	QR코드 기반의 PC 부재 생산/운반/시공 이력 관리	3개 현장 (싱가폴 고속도로, 김포파주 2공구 外)
	모바일 품질관리/검측	콘크리트 품질관리, 자재검수, 검측 보고서 생성/승인	6개 현장 (김포파주 2공구, 부산북항재개발 外)
	스마트 글래스	원격 현장 안전 점검, 원격 검측 (Visual Inspection)	6개 현장 (싱가폴 매립공사, 김포파주 2공구 外)
	모바일 문서 공유	클라우드 기반 도면/문서 관리, 열람, 공유	4개 현장 (세종포천14공구, 김포파주 2공구 外)

출처 : 현대건설(2021) 내부자료, 현대건설 스마트건설기술 소개

■ 스마트건설기술 시공현장 활용2 (대우건설)

- [Data & AI 분야]대우건설은 건설 맞춤형 AI 개발을 통한 데이터 기반 건설 프로젝트 관리 실현을 위한 SAM(Site Camera), ARDA(Apartment Repair Data Analysis)을 추진하고 있음



출처 : 대우건설(2021) 내부자료, 디지털건설팀 업무보고

<그림 2-33> 대우건설의 건설 맞춤형 AI 개발 주요 과제 현황

- 2021년 분기별 과제 추진 마일스톤은 다음과 같이 추진하고 있음

<표 2-12> 대우건설 Data & AI분야 2021년 과제 추진 마일스톤

구분	SAM 2단계	ARDA 2단계
1/4 분기	Sam Mobile 앱부터 순차적으로 현장 적용 App&Web 개발 완료(2월)	1단계 성과품 본부 배포 및 피드백 취합
2/4 분기	토목, 건축 현장 본격 적용 미디어 기능 추가	스마트 서치 기능 개발을 위한 단어 체계 구축 및 DB 설계 고도화
3/4 분기	운영 안정화 확보 & 적용 확대 하자, Issue tracking 기능 기획 / 개발	사전 점검 하자 이미지 수집 및 라벨링 작업
4/4 분기	딥러닝 사진 인식 연구 연계를 통한 사진 자동 Tag 기능 추가	사전 점검 하자 이미지 자동 분류 엔진 개발

출처 : 대우건설(2021) 내부자료, 디지털건설팀 업무보고

- [Drone 분야] 드론 측량 및 시설물 점검 등 공간정보 콘텐츠 개발로 수주 기여 및 시공기술 생산성 향상

  ∨ 현장기술지원 153건 : 2019년 월평균 2.55건(2016.1. ~ 2020.12. 기준)

  ∨ 입찰수주지원 15건 : 연 평균 3건(2016.1. ~ 2020.12. 기준)

  ∨ 토목 20건, 건축 4건(2020.12. 기준)

- [Platform Business 분야] 대우건설은 사업본부 대응 맞춤형 플랫폼 기술 개발 및 실현을 위한 COCO(Cowork of Construction), 스마트건설국책과제(건설기계자동화)을 추진하고 있음



출처 : 대우건설(2021) 내부자료, 디지털건설팀 업무보고

<그림 2-34> 대우건설의 사업본부 대응 맞춤형 플랫폼 기술 주요 추진 현황

- 2021년 분기별 주요 추진계획은 다음과 같음

<표 2-13> 대우건설 Data & AI분야 2021년 분기별 주요 추진계획

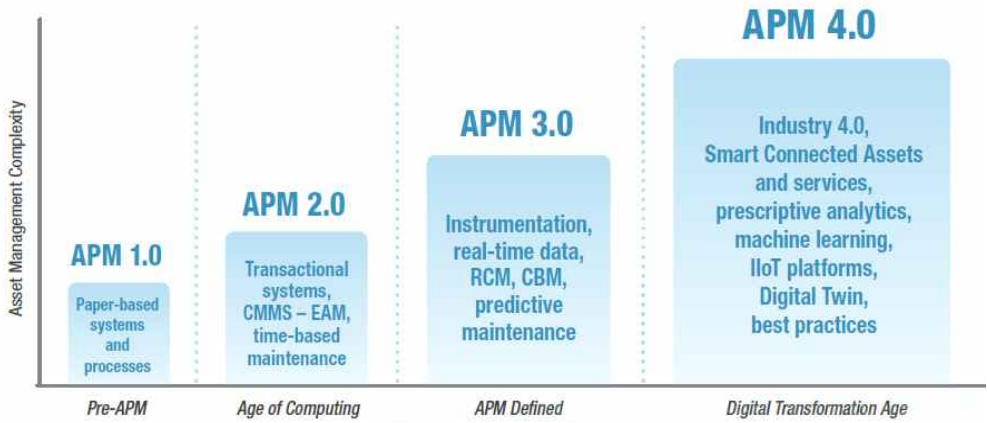
구분	1/3분기	2/3분기	3/3분기
IoT 스마트홈	스위치, 배기팬운전서비스개발	적용성 및 효과검토	유관부서 협력
수익형 인도어팜	푸르지오주택분양관TB추진	수익형인도어팜모델개발	유관부서협력방안수립
스마트 안전	안전관제최적화, 고도화추진	품질안전실 Smart Safety 시스템개발협업	스마트안전설계기준수립
건설 자동화 (OSM 고도화)	품질간소화전용어플개발	고속도로현장OSM구축	현장MC장비운영

출처 : 대우건설(2021) 내부자료, 디지털건설팀 업무보고

2.2.3 유지관리 분야

■ AVEVA Group (영국)

- 4차 산업 환경변화를 대응하기 위한 자산성능관리4.0 가이드라인을 제공하여 디지털 기술의 통합적 적용 제안
- 성능 중심의 자산관리와 지능화로 시설자산가치를 향상시켜 생애주기비용의 선제적으로 예측하고 효율성 제고와 건설데이터 플랫폼과 일원화 강조



<그림 2-35> AVEVA의 자산성능관리(APM) 디지털 전환 사례

■ GE Group (미국)

- 산업에 첨단 기술 도입으로 보수/보강, 점검, 유지관리 등을 확대할 경우 전(全) 산업에 걸쳐 1%의 효율성 향상을 기대
- 미국의 산업 규모를 고려할 경우 약 150조원의 재원 저감 효과 유발 → 국내 건설업 규모를 고려할 경우 약 1~1.5조원의 재원 저감 효과 기대

■ 주요 유지관리 국제표준(Global Standard) 동향

- 시설자산관리의 글로벌기준(ISO55000시리즈, PASS 55, IIMM 등)으로 관리범위 확장과 시설물 유지관리의 패러다임 변화에 선제적 대응
- 선진국(미국, 일본, 유럽 등)은 안전을 담보하면서 비용 최소화를 위해 국제 표준 기반의 성능중심의 유지관리정책으로 급속한 기반시설 노후화 대비
- 점검·모니터링, 열화예측과 진단, 보수·보강 등 안정성 위주 유지관리 정책에서 이용자의 사용성, 구조물 내구성 등 종합적 생애주기관리로 전환하는 추세

■ 센서활용 예방적 유지관리

- AI 기술과 데이터 축적으로 유용한 데이터만 분류하고 분석하여 사고원인 등 유의미한 통계적 결과 산출하거나 불꽃이나 연기 인식, 누수 인식 등을 활용하여 건물 안전관리에 기여
- IoT 하드웨어로 감시하는 환경과 기기의 상태를 실시간 측정하며 LoRa, Cat-M1, NB-IoT, Wifi 등 현장의 통신환경에 알맞은 최적화된 IoT 통신기술을 지원하여 실시간으로 위험요소 관리



화제감지센서 및 누수감지센서



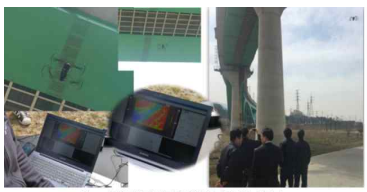
구조물 균열 붕괴 사전 감지 센서

출처 : ㈜풍산FNS(2019), 초장대 교량의 동적변위 실시간 정밀계측 기술

<그림 2-36> 센서활용 예방적 유지관리

■ 드론을 활용한 시설물 모니터링

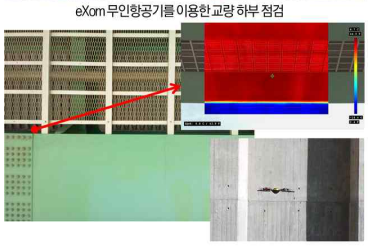
- 건물 상태점검, 구조물 손상 평가, 도시모니터링, 도로상태평가 등에서 활용
- 드론을 통해 획득한 영상정보를 3D model로 재구성하여 건물의 기울기 및 각종 균열을 측정하여 건물의 안전을 진단



eXom 무인항공기를 이용한 교량 하부 점검



근접 촬영을 이용한 나사 결함 점검



열적외선 센서를 이용한 구조물 열화 분석



수직 비행을 이용한 교각 크랙 점검과 3차원 모델링

출처 : 국토교통부(2017), 무인항공기를 활용한 도로관리 효율화 방안

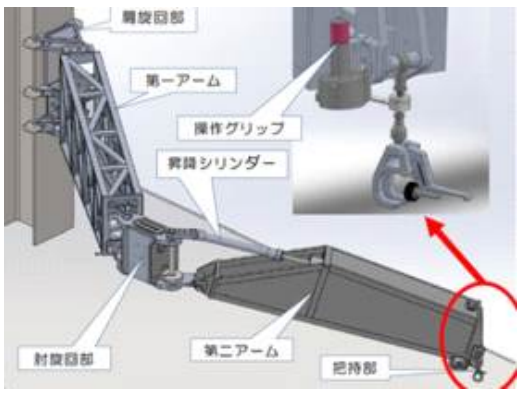
<그림 2-37> 드론을 활용한 시설물 모니터링

2.2.4 안전관리 분야

■ ICT를 활용한 안전관리시스템

- 온라인 매뉴얼: 설비점검 등에 작업순서 등의 정보를 온라인으로 열람으로 기계설비나 작업을 숙지하지 못한 작업자가 다양한 정상작업에서 PDA(Personal Digital Assistant)를 활용
- 설비 점검 지원: 산업재해로 연결되는 점검 누락 방지를 위해 IC Tag 및 PDA를 활용하여 기계설비의 점검개소를 자동적으로 표시함 및 동시에 과거 점검이력을 기반 문제가 있는 경우에 경고를 발생시킴
- 대화식 문제 대처: 산업재해로 연결 되는 문제(Trouble) 발생 시에 적절한 대처방법을 대화식으로 제공위해 PDA를 활용
- 동시다극 통신: 다방면으로 동시 전달 가능하도록 1개 회선을 통해 다수와 대화 가능한 전화 네트워크 및 PDA, IP(Image Processing) 활용해 사업장을 벗어난 장소에서도 기계설비 운전상황 등의 화상정보를 포함시킨 정보 전달
- 사람과 설비의 식별・위치검출: 휴먼 에러(Human Error) 및 사업장에 익숙지 못한 근로자의 위험 및 위해 장소 출입에 의한 위험, 위해 기계설비 등의 접근방지를 위해 IC Tag를 활용





출처 : 일본 시미즈건설(2016), 철근작업 지원용 로봇개발

<그림 2-38> 로봇을 활용한 철근작업

■ Proxipi의 접근경보 시스템

- Magnetic field transmission을 이용한 외부환경에 의한 오작동을 최소화하는 지게차 접근 경보시스템
- 지게차 : ECU, 안테나 및 경보유닛 설치 / 작업자 : 배지(Badge)소지

- 작업자의 배지가 차량의 지정 반경(약 15m)내 위치시 차량 운전자 및 작업자에게 경고

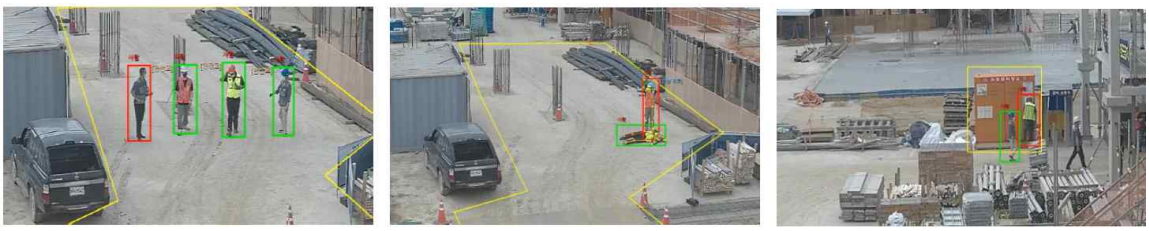


출처 : OPSYSELEC, http://www.opsyselec.com/fr/produit/proxipi

<그림 2-39> 지게차 접근 경보시스템

■ AI솔루션(㈜인텔리빅스)

- 최신 현장 영상을 토대로 학습된 딥러닝 영상분석 엔진을 탑재한 산업안전 기반 AI 영상분석 이벤트를 통해 작업자의 행동이나 상태를 AI가 실시간으로 관찰
- 작업자의 위험 상황이 발생했을 시 현장관리자에게 신속하게 제공함으로써 골든타임 확보 및 2차사고 예방



안전장비 미착용 감지
안전모 등 개인 안전장비의 미착용 상태로 현장 진입 시 알람 발생

긴급상황 감지
작업자 쓰러짐,달리기,SOS행위 인식

위험구역 침입 감지
개구부 낙상, 중장비 근접, 출입 통제 구역 침입 시 알람 발생



중장비 협착 감지
중장비 작업 반경 이내 작업자 또는 차량 진입 시 알람 발생

화재 감지
연기, 불꽃 감지를 통한 화재, 특정 시설 온도 등을 통해 위험상황 알림

출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-40> AI 산업안전 영상분석 주요기능

■ 안전관제플랫폼

- (㈜휴랜) 스마트폰 기반 안전관리 플랫폼으로 현장관제, 작업자 관리 등 사용자 중심의 플랫폼 및 어플리케이션 기술 고도화 추진



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-41> 안전 관제 플랫폼 주요기능

- (㈜무스마) 건설현장의 주요 중장비의 움직임 데이터를 수집하여 주변 작업자 및 중장비간의 협착, 충돌을 예방하고 원격 모니터링 가능



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-42> 안전 관제 플랫폼 건설현장 중장비 안전관리

■ 스마트안전장비(㈜한림기술)

- 무선통신과 센서기술을 융합한 사물인터넷(IoT) 기반 스마트안전기술과 딥러닝 기반 지능형CCTV

- 중·소규모 건설현장 특화 스마트 안전장비로 현장과의 소통으로 안전한 공사현장 구축



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-43> 건설현장 대표 재해예방 스마트안전장비

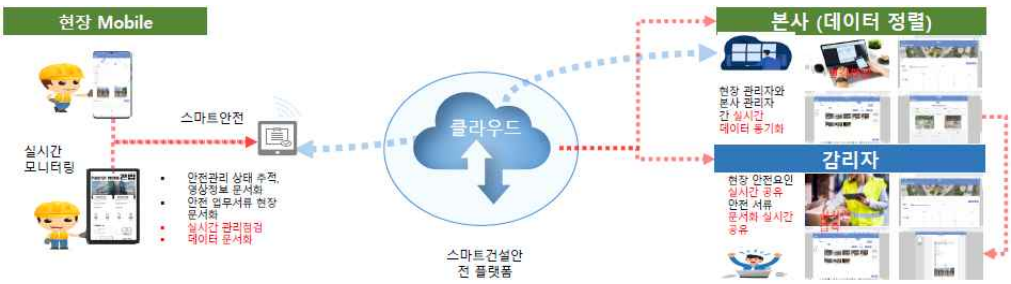


출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-44> 지능형CCTV 휠타입 및 핸디타입

■ 안전업무플랫폼(㈜씨엠엑스)

- 건축, 토목 등 건설현장에 특화된 스마트건설안전플랫폼으로 현장-본사-감리자간 소통하여 안전한 현장 구축



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-45> 스마트건설 안전 플랫폼

■ MR안전교육

- (㈜씨엠엑스) 현장 맞춤형 안전교육 콘텐츠로 현장데이터를 취득하여3D 공간생성, 안전교육 콘텐츠에 적용



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-46> (㈜씨엠엑스) 현장맞춤형 안전교육 콘텐츠 구성

- (㈜카이토리) 건설현장을 리얼한 CG그래픽으로 VR안전교육 및 360 파노라마 유형의 현장사진을 활용해서 현장 맞춤형 안전교육이 이루어질 수 있는 안전교육 콘텐츠 생성



출처 : 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진

<그림 2-47> (㈜카이토리) 현장맞춤형 안전교육 콘텐츠 구성

2.3 스마트건설 사업관리 관련 제도 검토

2.3.1 건설사업관리의 업무 범위 및 책임

■ 건설기술진흥법 제39조

- 발주청: 설계 · 시공 관리의 난이도가 높고 발주청의 기술인력이 부족하여 원활한 공사 관리가 어려우며 이 외 원활한 수행을 위하여 필요하다고 인정되는 건설공사에서 건설엔지니어링사업자의 건설사업관리를 허가함
- 건설엔지니어링사업자: 건설사업관리(시공단계에서 품질 및 안전관리 실태의 확인, 설계변경에 관한 사항의 확인, 준공검사 등 발주청의 감독 권한대행 업무 포함)를 하고 보고서를 소속 건설기술인이 작성하여 발주청에 제출. 건설사업관리를 수행하는 건설엔지니어링사업자는 시공이 설계도면 및 시방서의 내용에 적합하게 이루어지고 있는지 확인하고 품질시험 및 검사 여부 확인, 건설자재 · 부재의 적합성의 확인의 업무를 수행함
- 건설사업관리의 세부 업무 내용 및 업무 범위 등 제1항부터 제3항까지의 규정에 따라 건설사업관리를 수행하는 데 필요한 사항은 대통령령으로 정함 (건설기술진흥법 시행령 제 59조)

■ 건설산업기본법 (법률 제 18823호) 제2조 8호

- 건설사업관리란 건설공사에 관한 기획, 타당성 조사, 분석, 설계, 조달, 계약, 시공관리, 감리, 평가 또는 사후관리 등에 관한 관리를 수행하는 것을 말함

■ 건설기술진흥법 시행령 제59조

- 건설사업관리 등의 시행, 시공단계의 건설사업관리계획 등, 설계 등의 표준화, 설계 및 시공 기준, 건설 기준의 관리, 건설공사 공사비 산정기준, 공사기간 산정기준, 건설공사의 시행 과정, 건설공사의 타당성 조사, 설계도서의 작성 등, 건설엔지니어링 및 시공 평가 등, 건설공사의 사후평가, 사후평가 관리 등, 건설공사 등의 부실 측정, 건설공사현장 등의 점검, 건설공사의 품질관리, 품질관리 비용의 계상 및 집행, 품질 검사의 대행 등, 건설공사의 안전관리, 소규모 건설공사의 안전관리, 스마트 안전 관리 보조·지원, 안전관리비용, 건설공사의 안전관리조직, 건설공사의 안전교육 등을 포함함

■ 건설사업관리시스템

- 발주기관 및 설계·시공·감리의 건설업체간 온라인 공유 및 업무 처리

지원하기 위한 시스템으로 도로 건설사업 전 과정에서 발생되는 각종 정보(도면, 문서 등) 제공

- 실시간으로 건설현장의 공사현황 및 계약정보 등의 정보를 체계적 관리, 업무보고 및 통계자료를 파악하여 효율적인 사업관리와 의사결정을 위해 발주기관에 지원하는 시스템



출처 : 국토교통부(2021), 건설사업정보시스템

<그림 2-48> 발주기관의 건설사업관리시스템

2.3.2 스마트건설 사업관리 제도 검토

■ 스마트건설기술 활성화제도(국토교통부고시 제 2021-1283호)를 제정하여 스마트건설기술의 활용 촉진, 심사기준 조정, 스마트건설기술 마당의 활용을 위한 제도를 마련함

① 스마트건설기술 활용 촉진 (스마트건설기술 활성화 지침 제 10조)

- 발주청은 건설공사를 발주하려는 경우에 스마트건설기술의 활용을 적극적으로 검토하여야 함
- 발주청은 스마트건설기술을 적용하는 건설공사를 발주하려는 경우에 활용목적, 적용대상 및 범위를 명확하게 하여 입찰 공고, 입찰안내서 등에 제시해야 함
- 발주청은 필요하다고 인정하는 경우 스마트건설기술마당에 등록된 기술 외의 스마트건설기술도 적용할 수 있음
- 발주청은 입찰안내서 등에 스마트건설기술의 적용을 제시하지 않은 건설공사 단계에 대해서도 건설사업참여자가 스마트건설기술을 제안하면 해당 기술의 활용을 적극 검토해야 함

② 스마트건설기술 심사기준 조정 (스마트건설기술 활성화 지침 제 10조)

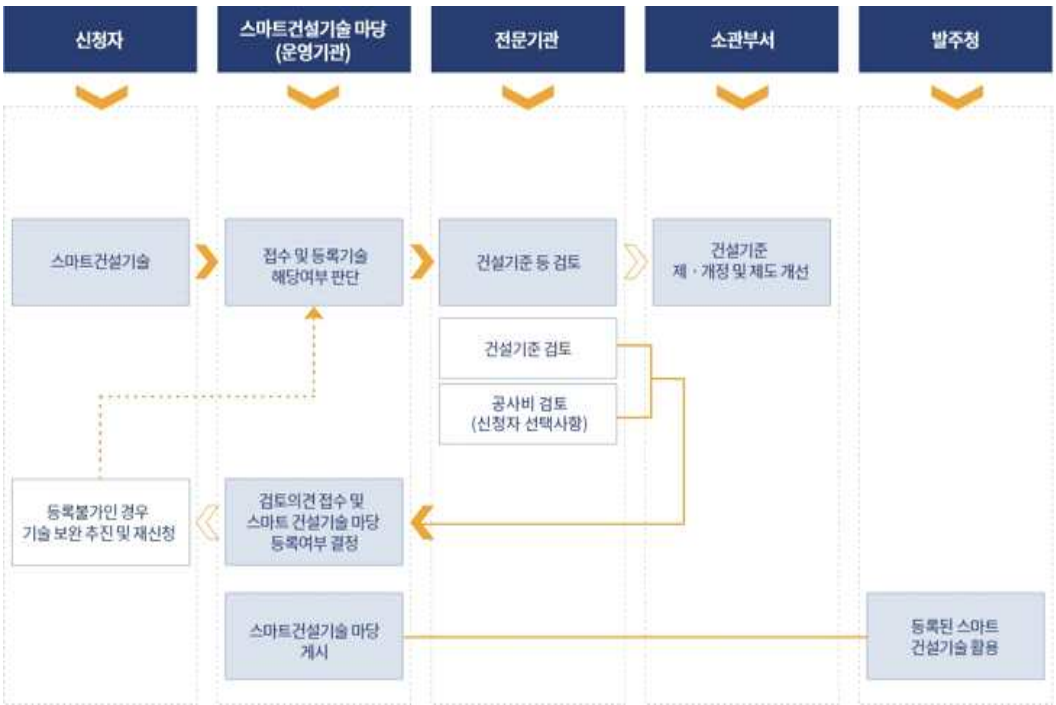
- 발주청은 스마트건설기술이 적용되는 일괄입찰, 대안입찰 또는 기술제안입찰공사의 설계점수 또는 기술제안 점수에 대하여「건설기술진흥업무 운영규정」제32조제2항제1호에 따라 평가항목 중 스마트건설기술 도입에 해당하는 항목의 배점을 공사의 특성 및 내용 등을 고려하여 조정할 수 있음
- 발주청은 「(계약예규) 공사계약 종합심사낙찰제 심사기준」의 제4조제2항에 따라 공사의 특성·내용 및 당해 공사가 속한 시장상황 등을 고려할 때 스마트건설기술의 적용이 필요하다고 인정할 경우에는 기획재정부장관과 협의하여 심사항목에 대한 배점한도를 가·감 조정하거나 심사항목을 추가 또는 제외할 수 있음
- 발주청은 스마트건설기술의 적용을 고려하여 심사기준 별표2제4호가목에 따른 시공평가결과를 심사하기 위해 「건설기술용역 및 시공 평가지침」제18조제2항에 따라 평가항목과 배점을 변경할 수 있음

③ 스마트건설기술 마당 (스마트건설기술 활성화지침 제 2~9조)

- 스마트건설기술을 활용하고자 하는 발주청 또는 스마트건설기술을 적용하는 건설사업 참여자 등에게 스마트건설기술의 자료를 제공하기 위한 정보공유 시스템

■ 정부 및 공공기관 스마트건설 사업관리 제도 현황

- 정부 및 공공기관의 스마트건설 시행표준지침, 로드맵 목표, 발주제도, 인센티브, 대가기준, 의무화에 대한 항목을 국토교통부, 한국철도시설공단, LH 토지주택공사, 그리고 한국도로공사 총 4개 기관 별 발표 내용을 분석하였음
- 국토교통부와 LH 토지주택공사, 한국도로공사 등은 시행표준지침를 마련하기 위한 계획을 수립하고 있으며 의무화를 추진 중임. 로드맵의 경우 모든 공공기관이 발표하여 스마트건설기술의 활성화를 도모하고 있으며 발주제도 역시 각 기관마다 스마트건설기술의 평가 항목을 마련하고 방식을 정리하고 있는 것으로 나타남



출처 : 한국건설기술연구원(2021), 스마트건설기술 마당 등록절차

<그림 2-49> 스마트건설기술 마당

<표 2-14> BIM 설계 시 계약 및 법적 개선사항

구분	국토교통부	한국철도시설공단	LH 토지주택공사	한국도로공사
시행 표준 지침	발주, 설계, 시공단계별 BIM 시행지침 제정 및 BIM설계도면 작성 위한 표준지침 마련	-	설계지침을 통해 스마트 시스템 도입 등 기준 수립	고속도로 스마트 설계 지침을 통해 전면설계 성과품납품에 필요한 기본 요구사항을 정하고, BIM 기반 스마트설계 지침 마련 BIM 설계평가 업무에 필요한 사항을 규정한

구분	국토교통부	한국철도시설공단	LH 토지주택공사	한국도로공사
				고속도로 BIM 설계평가 기준 마련
로드맵 목표	18년 스마트 건설기술 로드맵 발표, 25년 스마트 건설기술 활용기반 구축, 30년 건설자동화 완성 목표 IoT, 드론, 빅데이터, 로봇, 디지털트윈을이용한 설계 및 유지관리 기술	1단계~5단계 BIM 로드맵 통해 단계별 Process 제안함으로 협업 절차, 발주 및 관리절차 순차적 발전 고안	단지품질고도화 및 스마트시티 구축 플랫폼을 위한 단지부문 BIM(LH Civil-BIM) 설계 추진방안과 로드맵 수립・시행	BIM 마스터플랜(2014) 스마트건설기술 실용화 로드맵(스마트 건설사업단, 21.08)
발주제도	스마트 건설기술을 적용한 일반공사도 일괄입찰(턴키), 기술제안입찰 대상에 포함 설계와 시공단계까지 전 과정에 BIM기반 스마트 건설기술이 적용된 경우와 시설물 유지관리에 적용된 경우 스마트건설공사로 선정 『건설기술진흥업무 운영규정(훈령)』의 설계 평가항목 지표 및 배점기준에 스마트건설기술에 대한 평가 항목 신설	1단계 : 기존 발주 및 사업관리 방식 활용 2단계 : 최저가 낙찰, 유사효과 발주방식지양, 프리콘용역 3단계 : 기술력 평가 가점 제도 및 확립 4단계 : 발주자 설계 및 시공 참여 방식 발주, 제조업 생산방식 지원 방식 발주 5단계 : 신뢰할 수 있는 품질, 공사비용, 기간 안전 정보 기반 용역자 선정 정보에 기반 공사 리스크 예측 및 관리	BIM 설계, 3차원 상세 지형지층용역대가 마련 BIM 설계용역 과업내용서 마련 LH 공동주택의 BIM발주를 위한 설계도서 요구사항 및 모델 상세수준 등에 대한 발주기준 제안	입찰에 참여한 설계엔지니어링 업체의 PQ(종심제)반영 점수를 반영하며, 평가 주관부서가 통보해야함 BIM 보고서 상 각 공종별 BIM 데이터 평가 / LOD 기준 : (상) 350이상, (중) 300이상, (하) 200이하 설계 추진시 BIM 활용에 따라 적용계수를 달리하여 평가 (11회 이상:1.0, 10~9회:0.97, 8~7회:0.80, 6회이하:0.87)
인센티브	‘신기술 활용 ' 고유지표 신설 국토관리청의 고유지표 2개 중 1개에 10% 수준 성과지표(건설신기술 활용)포함 건설신기술 활용 우수 직원 대해 매년 장관 표창(10점) 실시	-	싱가포르 “$250 million Construction Productivity and Capability Fund (CPCF)” 의 사례를 연구하고 벤치마킹	설계평가 기준에서 전문인력 구성1)과 프로그램 구비항목2) BIM 프로그램을 직접시행시 가점 사업책임 1.1배, 분야책임 1.05배
대가기준	실비정액 방식 지급하되 개별 시설별점진적 BIM설계 대가기준	-	2D설계에서 BIM 설계로 변환 시 발생하는 설계 작업 내용 및	-

구분	국토교통부	한국철도시설공단	LH 토지주택공사	한국도로공사
	마련		투입인력을 비교 분석	
의무화	설계-시공-유지관리 전주기 걸친 BIM사용 의무화	-	19년 단위설계조직별 신규 발주물량의 30%이상 의무화, 19년 이후 단위설계조직별 신규 발주물량의 50% 이상 시행	20년 이후 국내·외 신규고속도로 사업에 전면 도입

출처 : 국토교통부 (2018), 건설 생산성 혁신 및 안정성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵
LH 토지주택연구원 (2020), LH 공동주택의 BIM 활성화 전략 수립
한국철도시설공단 (2018), 철도 BIM 2030 로드맵
주 1) 전체 인력대비 BIM 전문가 비율(20%~40%)
주 2) 전체 인력대비 전용프로그램 보유율(15~30%)

2.3.3 정부 및 공공기관 BIM 관련 제도 및 지침 현황

■ 국내 BIM 기본 및 시행지침 체계

- 2020년 12월, 발표된 국토교통부 건설산업 BIM 기본지침을 발표하고, 현재는 세부 기준을 담고 있는 BIM 시행지침 발표를 기다리고 있는 상황으로 이에 따라 발주처에서도 세부 기준에 맞는 적용지침 제공 예정

■ 기관별 BIM 추진계획

- 한국철도공사에서 국내 공공기관인 조달청, 한국도로공사, 한국시설안전공단, 한국 수자원공사, 빌딩스마트 코리아의 BIM 도입 로드맵을 연도별로 비교하고 이를 도식화함



출처 : Yonsei University (2017), Building informatics Group

<그림 2-50> 국내 BIM 도입 로드맵 연도별 비교

■ LH공사, 조달청 BIM 적용 의무화(공공) 및 설계 지원(민간)대상 건축물 확대계획

- 2020년 12월 국토교통부에서 발표한 2030 건축 BIM 활성화 로드맵에서 LH공사 및 조달청에 대해 ‘BIM 적용 의무화(공공) 및 설계 지원(민간)대상 건축물 확대계획’을 발표하였음
- 적용확대를 위해 건축 산업 생산성 향상을 위한 공공 건축물 대상 단계별 BIM적용 의무화 및 민간 건축물 대상 설계 지원으로 지원 대상 확대를 시행함
- 공공건축물의 경우 22년부터 건축행정시스템에 제출하며, 민간건축물의 경우 24년부터 관계전문기술자 협력 대상 건축물, 상주 감리 대상 건축물은 27년부터 (공동주택은 LH, 공공 발주 사업은 조달청 BIM 적용 확대 및 의무화 추진 내용 준용), 30년부터는 연면적 5백㎡ 이상 건축물에 대해 단계적 제출을 요구함
- 지침/기준 개선 방면에서 23년부터 BIM관련 기존, 신규 기준·지침의 제·개정 추진으로 BIM 도입·정착 및 활성화 도모함
- 설계·시공 단계별 BIM 모델 작성수준 수립, BIM 적용 의무화 시행에 따른 발주처 별 가이드라인 제·개정 및 BIM 모델 제출 지침(BIM 도서 납품 및 인허가 절차, BIM 도서 납품 목록, 허가권자 BIM 도서 검토 매뉴얼 등)을 마련함

<표 2-15> 건축 BIM 활성화 로드맵

<table>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="3">단기 (~’ 23)</td><td colspan="3">중기 (~’ 26)</td><td colspan="4">장기 (~’ 30)</td></tr>
<tr><td>‘21</td><td>‘22</td><td>‘23</td><td>‘24</td><td>‘25</td><td>‘26</td><td>‘27</td><td>‘28</td><td>‘29</td><td>‘30</td></tr>
<tr><td>공동주택
(LH)</td><td>신규 공모
25%</td><td colspan="2">신규공모
50%</td><td colspan="7">신규공모
100%</td></tr>
<tr><td>공공건축물</td><td colspan="10"><table><tr><th>조달청 맞춤형서비스 설계관리 사업 및 공공건축사업 사업비 규모(원)</th><th>적용단계</th><th>적용범위</th></tr><tr><td>300억 이상</td><td>계획·중간·실시</td><td>모든 공종</td></tr><tr><td>200억~300억 미만</td><td>계획·중간·실시</td><td>건축, 구조</td></tr><tr><td>100억~200억 미만</td><td>계획</td><td>건축</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>민간
(설계 지원)</td><td>-</td><td colspan="3">관계전문기술자 협력 대상 건축물 (연면적 1만m^2 이상 등)</td><td colspan="4">상주감리 대상 건축물 (연면적 2천m2 이상 등)</td><td>연면적 5백 m^2 이상</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통부 건축정책관(2020), 건축 BIM 활성화 로드맵 ‘21 ~ ‘30

■ 한국도로공사 BIM 설계평가 기준 개정안

- 2021년 12월 한국도로공사 BIM 설계평가 기준 개정안을 발표하였으며, 기본설계 시 전문인력 구성과 전용 프로그램 구비 항목(BIM 설계 기반 구축)에 대한 배점이 증가하였으며, 전문인력과 전용 프로그램 구비 점수의 산출기준이 변경됨

<표 2-16> 한국도로공사 BIM 설계평가 기본설계 시 항목 별 배점 변동

평가 항목	변경 전	변경 후	증감
BIM 설계 기반 구축	30	40	+10(↗)
대안노선 검토	40	30	-10(↘)
스마트설계	20	15	-5(↘)
과업충실도	10	15	+5(↗)
감점	-2	-1	변동

평가 항목	변경 전	변경 후
전문인력 구성	- BIM운용전문가 자격증 취득 기술자 - 업체별 자체 실무 교육 불인정	- BIM 관련 자격증 취득 기술자 - 민간자격증 인정(등급무관), 관련학회 및 공공기관 급 이상에서 시행하는 교육만 인정
전용 프로그램 구비	- 평가시점, 연 단위 이상 계약 기준	- 평가시점, 연 단위 이상 계약(보유) 기준 - BIM프로그램은 성과품 작성이 가능하며 데이터 공유 및 교환용 표준파일 포맷을 지원하여야 함
감점	- 감독원 불시 방문 후 점검	- 감독원 불시 방문 또는 불시 시연 요청

출처 : 한국도로공사(2021), 고속도로 BIM 전면설계 평가기준 개정안

- BIM 설계평가 기준 개정안 실시설계의 1차 및 2차를 통해 BIM 기반 구축 항목이 새로 추가(30점) 되었으며, 전문인력 구성과 전용 프로그램 구비와 같은 설계 기반에 관련된 배점을 증가시키고, 모델링 수준이나 시뮬레이션, BIM 활용실적, 상세 설계 BIM 모델링과 스마트 설계에 대한 배점(기준)을 축소시킴

<표 2-17> 한국도로공사 BIM 설계평가 실시설계 시 항목 별 배점 변동

평가 항목	변경 전	변경 후	증감
BIM 설계 기반 구축	30	40	+10(↗)
대안노선 검토	40	30	-10(↘)
스마트설계	20	15	-5(↘)
과업충실도	10	15	+5(↗)
감점	-2	-1	변동

출처 : 한국도로공사(2021), 고속도로 BIM 전면설계 평가기준 개정안

■ 국토교통부 시행지침 및 BIM 설계 대가기준

- 2021년 국토교통부에서 건설기술용역 대가 등에 관한 기준 일부 개정안을 발표하였음

- 스마트 건설기술 확대에 따라 BIM 설계 적정 대가기준을 마련하여 엔지니어링 기술자가 적정대가를 지급받을 수 있도록 하고자 함
- 기술 발전 등에 따라 설계 분야의 신규 업무를 추가 반영하였으며, 도로 분야 기본 및 실시설계의 BIM 적용 기준 인원 수 및 업무정의 신설, 지하차도 기준인원수를 신설함
- 국토교통부 '건설기술용역 대가 등에 관한 기준'에 따라 업무 단계는 크게 사전단계, 계획단계, 설계단계, 보고서 작성단계 4가지로 분류하였으며, 각각의 단계에 따라 해당하는 업무를 배정함
- 사전단계에서는 BIM설계를 통한 서류의 간소화와 더불어 촬영, 사진모델링 결과 및 기타 측량성과로 얻어지는 자료를 바탕으로 작성 및 검토 진행하며, 소프트웨어 환경 신설 및 서류의 데이터화를 통한 성과물 배포 및 협업 절차가 용이함
- 계획단계에서는 노선 및 도로 계획 시 일부의 조사가 아닌 3D 도면 및 도로정보 등을 포함한 도로의 기하구조기준에 따른 도로선형 형상을 작성하며, 외부 간섭물의 영향인자를 도면에 대입하여 시뮬레이션 진행, 도로 · 터널 · 교량 등의 주행성 검토 및 사전재해영향평가 결과를 토대로 3D 지형모델에 대입하여 진행하는 시뮬레이션을 통한 유역분석 및 자연재해 피해 저감 검토가 가능함
- 설계단계에서는 선형설계 시 계획 선정된 선형 형상 및 지면에 BIM 데이터 정보 기입으로 선형 불량구간 등에 대한 시거와 운전자의 시인성 등 기하구조를 검토하며, 배수공, 소구조물공, 포장공, 출입시설, 부대시설, 하천, 터널, 지반, 교량에 있어 BIM 모델 작성을 통한 좌표 측정, 동선의 간섭 확인, 데이터의 연계 가능으로 전반적 설계의 분석, 서류, 구조계산에 있어 소요되는 시간을 감소함
- 계획단계에서는 노선 및 도로 계획 시 일부의 조사가 아닌 3D 도면 및 도로정보 등을 포함한 도로의 기하구조기준에 따른 도로선형 형상을 작성하며, 외부 간섭물의 영향인자를 도면에 대입하여 시뮬레이션 진행, 도로 · 터널 · 교량 등의 주행성 검토 및 사전재해영향평가 결과를 토대로 3D 지형모델에 대입하여 진행하는 시뮬레이션을 통한 유역분석 및 자연재해 피해 저감 검토가 가능함
- 보고서 작성단계에서는 BIM 수행보고서, 간섭 검토 보고서, 시뮬레이션 검토 보고서 등 소프트웨어 상의 분석 및 시행 데이터의 사용으로 서류의 간소화 및 BIM 모델 작성 후 자동 도면 추출로 데이터의 전자 납품이 가능함

<표 2-18> 사전단계 업무 BIM 설계 시 지침

사전단계 업무 BIM 설계 시	
과업착수준비 [착수준비, 과업수행계획서에 관한 업무]	BEP(BIM Execution Planning) 작성
측량성과검토	지형 데이터 검토(3D 구현자료)

출처 : 한국도로공사(2021), 고속도로 BIM 전면설계 평가기준 개정안

<표 2-19> 계획단계 업무 BIM 설계 시 지침

계획단계 업무 BIM 설계 시		
노선계획 [최적노선 결정, 노선결정, 출입시설관련 업무]	BIM 모델 작성	도로의 기하구조기준에 따른 도로선형 형상 작성
	외부간섭 (지장물 등)	본선 및 유 · 출입시설 계획 기반시설 황단통과 시설물과의 근접 시 간섭 검토
	시뮬레이션	도로계획 검토 시 사전 문제점 도출 문제 검증을 위한 도로주행성 검토
교량계획	BIM 모델 작성	타당성조사에 따른 검토된 형식의 3D 모델 작성
	시뮬레이션	주변환경을 고려한 교량경관 시뮬레이션 차량 또는 선박운행 간섭 가능성 검토 시뮬레이션을 통한 교량 시 · 종점 및 경간장 검토 계획 등
터널계획	BIM 모델 작성	3D 지형지층모델과 연계 검토
	시뮬레이션	비교 노선 별 터널계획 BIM 데이터 작성 비교 노선 별 터널계획 시뮬레이션
기타계획	BIM 모델 작성	기타구조물 계획구간의 비교 노선 별 주요구간 기타구조물 3D 모델 작성
	시뮬레이션	최적위치, 형식, 규모 등 시각적 · 정량적 검토
BIM 기반 각종 사전평가 성과 검토	필요 시 사전에 수행된 평가결과자료로 활용	사전재해영향평가 결과를 시뮬레이션하여 재해영향요인별 저감방안 수립 업무 등 검토 홍수로 인한 하천범람, 시간별 수위 및 물의 흐름 시뮬레이션 검토 3D 지형모델을 통한 유역분석 등

출처 : 국토교통부(2021), 건설기술용역 대가 등에 관한 기준 일부 개정안

<표 2-20> 보고서 작성단계 업무 BIM 설계 시 지침

보고서 작성단계 업무 BIM 설계 시		
수량 산출서	자동물량 및 연동물량	3차원의 모델에서 직접 추출하는 방식 기존 수량산출 방식과 자동방식을 혼용하는 방식
기본 및 실시설계 도면 [설계도면 편집 및 전산화 업무]	BIM 모델 작성 후 자동 도면 추출	전자도면 작성 전자납품 등 설계도서의 전산화 설계도면 취합
BIM 개방형 포맷 작성 및	BIM 모델	개방형 형식으로 변환

데이터 검토 [BIM 모델 및 속성정보 업무]	및 속성정보	BIM 성과품의 원본 및 개방형 형식 데이터에 대한 품질관리 수행
기본 및 실시설계 보고서 [공사개요, 조사, 계획, 상세설계, 사업비 분석, 부록 관련 업무]	기본 및 실시설계 보고서 산출물에 포함	BIM 수행보고서 간섭 검토 보고서 시뮬레이션 검토 보고서
지질 및 지반조사 보고서 [조사개요, 조사내용, 조사결과, 성과분석, 부록 관련 업무]	지질 및 지반조사 보고서 산출물에 포함	지질 및 지반조사 내용의 시추주상도 검토 지층모델로부터 사업현장의 지층 분석 자료 제공

출처 : 국토교통부(2021), 건설기술용역 대가 등에 관한 기준 일부 개정안

<표 2-21> 설계단계 업무 BIM 설계 시 지침

설계단계 업무 BIM 설계 시		
선형설계 [노선검토를 통한 최적노선 결정 및 현황도 재표정 기반의 평면 및 종단선형 설계 업무]	BIM 모델 작성	계획선정(평면, 종단, 횡단)된 선형 형상에 직선, 공선, 완화곡선 등의 BIM 데이터 정보 기입 유 · 출입 시설과 교량, 터널 형상의 위치 및 데이터 정보 기입 선형 BIM 모델 작성
	외부간섭에 대한 검토 및 시뮬레이션	선형 불량구간 등에 대한 시거와 운전자의 시인성 등 기하구조 검토 도로정보를 연계한 시뮬레이션 구현으로 적정성 설계정보 도출
비탈면 안정공 [비탈면 경사결정, 비탈면 보호공 업무]	BIM 모델 작성	BIM 모델 작성을 통한 경사도분석 등 지형분석과 지질분석
	시뮬레이션	위 내용을 결합한 사면 안정성 검토 결과 시뮬레이션
소구조물공 설계 [소구조물공 설계(암거) 업무]	BIM 모델 작성	최적의 위치, 형식, 규모 등을 시각•정량적 검토
포장공 설계 [포장구조 결정, 포장두께 결정 업무]	BIM 모델 작성	동상방지층, 보조기층, 시멘트 안정처리필터층 콘크리트 포장, 아스팔트 콘크리트 포장 경화증 포장, 빈배합콘크리트, 경계석 등
하천설계(이설) [제방, 토공 및 호안설계, 유속 및 소류력,	BIM 모델 작성	하천선형에 연계된 평면선형, 종단선형, 횡단, 토공, 제방의 하천 본체 하천시설(물받이), 제방시설(제체성토) 보시설(본체), 취수시설(취수탑본치)

홍수량 및 홍수위, 배수능력, 호안 및 구조물 형식, 세굴영향 검토 업무]		수문시설(문기둥) 하천보호공(세굴방지, 호안), 제방도로
출입시설 설계 [평면교차로, (단순)불완전 입체교차로, 완전 입체교차로(인터체인지) 설계 업무]	BIM 모델 작성	계획 검토에 의한 BIM 모델 작성
	출입시설의 외부간섭 검토	입체 교차로구간의 진• 출입 차량의 동선에 의한 간섭 검토
	시뮬레이션	도로주행 시뮬레이션을 통해 입체교차로 형식 결정을 위한 비교, 검증 및 안정성 입증 및 검토
부대시설 설계 [부대시설 설계, 교통안전시설 설계 업무]	표준도 기반의 BIM 모델 작성	교통표지판, 시선유도표지 가드레일, 중앙분리대, 방호벽, 낙석방지시설 가드펜스, 미끄럼방지시설, 교통안전시설 충격흡수시설, 긴급제동시설 등
지반 설계 [지반조사 성과분석, 구조물 기초설계, 연약지반개량 설계, 가시설 설계, 제방 관련 업무]	BIM 모델 작성	지형, 지층 데이터는 측직계와 수준점을 기준으로 측량한 지반고정보, 좌표정보, 표고정보를 포함 지반조사 DATA를 토대로 지층모델을 구축하고, 3D지형과 통합하여 기초설계와 절토, 성토, 터파기 설계에 활용
터널설계 [방수 및 배수설계, 공법선정, 내공단면의 결정, 콘크리트 라이닝 설계, 터널단면해석, 가시설 설계, 구조물공, 갱문설계, 환기계획, 부대시설 계획업무]	BIM 모델 작성	선정된 환기방식, 굴착방법에 따라 다양한 형태의 BIM 모델을 작성. 굴착, 강지보, 숏콘크리트, 록볼트, 콘크리트라이닝, 방수 및 배수, 보조공, 갱문 및 개착터널, 기타에 대한 모델링 BIM 데이터 작성 시 철근가공 및 조립수량 산출을 실시하고, 일부 철근 모델링이 필요 없는 경우 LOD 수준을 낮추어 작성

출처 : 국토교통부(2021), 건설기술용역 대가 등에 관한 기준 일부 개정안

2.3.4 스마트건설기술과 관련된 국내공공기관 입찰내역서 기술현황

■ 세부 평가 항목에는 스마트 건설기술 도입의 적정성, 계획・설계 분야에서 스마트 건설기술의 적정성, BIM 단계별 수행방안, BIM 및 시공 상세 작성자 전담배치 및 전문성, 스마트건설기술의 활용방안 및 기술 제안이 있으며, 이 중 스마트건설기술이 계획・설계・시공 분야에서의 적정성이 있는지 판단하고, 활용방안 및 기술을 제안하는 항목을 평가하는 기관이 가장 많음

<표 2-22> 기관별 스마트건설기술 입찰평가 항목

구분	국가철도공사	조달청	LH	GH
스마트 건설기술 도입의 적정성	●			
계획 · 설계 분야에서 스마트 건설기술의 적정성	●			●
시공 분야에서 스마트건설기술의 적정성	●			●
BIM 단계별 수행방안			●	
BIM 및 시공 상세 작성자 전담배치 및 전문성		●		
스마트건설기술의 활용방안 및 기술 제안		●		●

<표 2-23> 기술제안서(스마트건설기술 분야 배점)

구분	평가 요소
스마트 건설기술	- 설계단계 스마트건설기술 적정성 - 시공단계 스마트건설기술 적정성 - 기타 스마트건설기술에 대한 자유로운 기술제안

<표 2-24> 설계단계 스마트건설기술 적정성 평가

평가요소	주요 평가 내용
설계단계 스마트 건설기술의 적정성	- BIM 업무수행계획 및 품질관리계획의 적정성 - 각 설계단계별 BIM 데이터 활용방안 적정성 (BIM 기반의 설계오류 검토, 데이터 작성방안, 간섭검토 및 구조물 구조 계산 등)

<표 2-25> 시공단계 스마트건설기술 적정성 평가

평가요소	주요 평가 내용
시공단계 스마트 건설기술의 적정성	- BIM 업무수행계획 및 품질관리계획의 적정성 - 각 설계단계별 BIM 데이터 활용방안 적정성 (BIM 기반의 설계오류 검토, 데이터 작성방안, 간섭검토 및 구조물 구조 계산 등)

출처 : 국가철도공단 (2021), 평택_오송 2복선화 제1공구 건설공사 입찰안내서
조달청 (2021), 평택평화예술의전당 입찰안내서
한국토지주택공사 (2020), 입찰안내서_동작구 종합행정타운
한국토지주택공사 (2021), 입찰안내서_천안역세권 혁신지구
경기주택도시공사 (2021), 입찰안내서_고양 일산테크노벨리 조성공사

■ 스마트건설기술 관련 국내 공공기관의 입찰내역 시 추가적인 공사계약의 조건이 필요함. 공사비에 BIM을 통한 구조 계산 등 현황파악과 품질관리 비용과 발주자 요청사항 및 관련규정, 설계・시공상 필요한 조사・검사・진단・시험・검토・계측 비용을 포함함

■ BIM System 구축을 통해 실시설계 및 시공 또는 이와 유사한 용도 등의 구축 비용과 RFID, QR 기술 등이 적용된 현장관리 시스템 구축 및 자료 저장 관리에 소요되는 비용 또한 공사비에 포함함

■ BIM 뷰어 등 별도 시스템을 활용하여 관련정보를 확인할 수 있도록 연계하여 진도관리, 사업비 관리 등 공사 관리 등을 계약상대자의 부담으로 구축 하고, 시스템 운영요원 확보 후 이를 수행하는데 그 운용으로 예상되는 비용을 공사비에 포함함

■ BIM과 관련된 시스템의 운영 관련 과업 기간 이후 최소 1년간 운영하기 위한 비용도 공사비에 포함함

■ 발주기관에 따라 평가내용 및 배점이 상이하나 일반적으로, 스마트건설기술 평가는 시공관리사항 분야에서 스마트건설기술의 도입 및 신기술/공법 도입의 적정성으로 나뉘어 평가가 이루어지고 있음

■ LH의 입찰내역서 등에 따르면 스마트건설기술과 신기술 및 신공법 도입에 대한 범위 및 개념의 제시가 명확하지 않아 평가에 어려움이 있으며, 평가 배점 및 내용의 경우 도입 및 적정성에 대한 부분이 5점에서 10점 내외이며 BIM 도입에 대한 부분이 주를 이루고 있음

■ 최근에는 토목시공부터 구조, 토질 및 기초, 도로, 환경 외에 스마트 건설기술의 전문분야를 도입하여 기술 배점을 하는 추세임

〈표 2-26〉 국가철도공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준

구분	철도계획	토목구조	토질 및 기초	토목시공	스마트기술	합계
배점	25	19	18	23	15	100

분야 및 배점	평가항목		배점
스마트 건설기술 (15)	스마트 건설기술 도입의 적정성	- 건설 전 과정(설계, 시공, 유지관리 등)에 첨단기술을 적용하여 개발된 공법, 장비, 시스템 적용의 적정성 - 정보통신기술(ICT), 드론 · 로봇 등 스마트 건설기술 도입의 적극성	6
	계획 · 설계 고도화를 위한 스마트 건설기술의 적정성	- 국내외의 BIM 기반 구조물설계 자동화 기술 사례 수집 및 검토, 설계 반영의 적정성 - 설계 자동화 등 BIM 기반 스마트 설계, 지형 · 지반 모델링 자동화 기술 반영의 적정성	5
	시공 및 유지관리 고도화를 위한 스마트 건설기술 적정성	- ICT 기반 현장 안전사고 관리, BIM 기반 공사관리계획 - IoT 센서 기반 시설물 모니터링 등 시설물 점검 · 자동화 기술 적용의 적정성	4

출처 : 국가철도공단 (2021), 평택_오송 2복선화 제1공구 건설공사 입찰안내서

<표 2-27> 조달청 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준

구분	건축계획/인테리어	건축구조	건축시공 및 건설관리	기계 및 기계소방	전기/정보통신 (전기소방)	토목/조경	합계
배점	25	11	29	15	13	7	100

분야 및 배점	평가항목		배점
건축시공 및 건설관리 (29)	조직구성 및 전문성, 배치, 운영관리 적정성 (8)	BIM 및 시공 상세 작성자 전담배치 및 전문성	1 (가중치 12.5%)
	스마트건설기술 활용방안 제안 (5)	스마트 건설기술(시공관리, 검측, 안전, 노무자 관리 등)의 도입의 적정성	2.5 (가중치 50%)
		3D기반의 BIM 및 클라우드 협업 환경 구축 방안	2.5 (가중치 50%)

출처 : 조달청 (2021), 평택평화예술의전당 입찰안내서

<표 2-28> LH 한국토지주택공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준

분야	개발계획	재무계획	가격평가	총점
배점	550	250	200	1000

분야	계획의 적정성	품질 향상방안	사업성 재고방안	총점
배점	300	100	150	550

분야 및 배점	평가항목		배점
품질 향상방안 (100)	공기단축 방안의 적정성 (50)	① 공기단축을 위한 체계적인 공정표와 효율적인 통합관리계획 제시 ② 우선시공(Fast Track) 실시설계 기간확보 및 관련기관 협의계획 ③ 한국철도공사 부지 내 시설물에 대한 대체시설물 설치 및 이전계획까지 고려한 ④ BIM 수행계획	2건 이상

출처 : 한국토지주택공사(2021), 입찰안내서_천안역세권 혁신지구,

<표 2-29> GH 경기도시공사 스마트건설기술 관련 평가 배점 기준

분야	토목 시공	토목 구조	토질 및 기초	도로	상하 수도	조경	환경	스마트 건설 기술	합계
배점	20	25	15	10	10	5	5	10	100

분야 및 배점	평가요소 및 주요 평가내용		배점
스마트 건설기 술 (10)	설계분야 스마트건설기 술의 적정성	① BIM 업무수행계획 및 품질관리계획의 적정성 ② 각 단계별 BIM 데이터 활용방안 적정성	4
	시공분야 스마트건설기 술의 적정성	① BIM을 활용한 공정관리 계획 적정성 ② 시공 및 준공 BIM 활용목표 및 범위 적정성 ③ 덤프 등 건설기계 자동화 및 통합관제시스템 도입 방안 ④ 머신가이던스, 사전시공 VR 등 스마트 건설기술 도입 방안	4
	기타 스마트건설기 술에 대한 자유로운 기술 제안	① PMIS와 연계한 BIM 시스템 구축 방안 ② 스마트건설기술 교육 홍보실 구축 및 교육훈련 방안 ③ 기타 스마트건설기술 도입을 통한 고도화 방안의 적정성	2

출처 : 경기주택도시공사 (2021), 입찰안내서_고양 일산테크노벨리 조성공사,

■ 실시설계 완료 후 BIM 및 스마트기술과 관련된 도서를 제출해야 하는데, 주로 BIM 모델링 및 보고서를 요구하며, 규격과 수량은 각 공공기관별로 차이가 있음

■ BIM 모델링의 경우 수량의 경우 대부분 1 set이며 원본파일을 원칙으로 조달청과 GH는 S/W 파일과 IFC포맷 형식이 필요하며, 국가철도공사는 CD의 규격을 사용함

<표 2-30> 공공공사 BIM 및 스마트기술 관련 성과품 제출 형식

공공기관명	도서명	규격	수량	비고
국가철도공 단	BIM 모델링	CD	1식	-
	BIM 보고서	A4 210 X 297	20 (제한쪽수 없음)	- 양면 인쇄
조달청	BIM 모델	S/W파일형식 IFC포맷형식	1Set	- 원본파일 - BIM계획 참조
LH	실시설계단계 BIM 결과보고서		5부 (CD 5부)	- 입찰안내서 안내된 결과물 (공종별 BIM데이터 포함)
	시공단계 BIM 업무수행계획서			
GH	BIM 모델 (모델원본, 통합모델)	S/W파일형식 IFC포맷형식	1Set	- 원본파일 - BIM계획 참조
	BIM 수행 결과보고서 (수량, 간섭, 이력관리 등)	A4 210 X 297	5부	- 양면 인쇄 - 좌철 제본

출처 : 조달청 (2019), 시설사업 BIM 적용 기본지침서

제3장 디지털·스마트기술도입에 따른 환경변화 분석

3.1 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의

3.2 건설정보의 효율적인 관리방안

3.3 건설단계별 기술지도 작성

제3장 디지털 · 스마트기술 도입에 따른 환경변화 분석

3.1 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상 정의

3.1.1 건설정보의 디지털화 사례 조사

■ (스마트건설사업단) : 플랫폼 기반 서비스-건설업무 디지털화(Paperless)

• 스마트건설 디지털 플랫폼 기반 서비스 구축 계획 추진

① 건설현장 자재관리

- 건설현장 자재 반입관리 디지털 및 Paperless화 추진
- 자재 반입 프로세스 개선(5단계 → 3단계) 및 서류 간소화
- 반입현황 DB화로 자재 수급 현황 자동관리(입고대장, 자재수불부 전산화)

② 시추조사 및 지반정보 관리

- 시추계획, 조사, 주상도 작성 과정의 디지털화 및 지반정보 관리
- 웹 기반의 시추 기록지 작성을 통한 시추주상도 자동 생성 및 시추 기록 관리
- 표준관입시험 시 IoT센서를 연동한 향타횟수 자동 측정 및 기록



출처 : K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리기술 개발

<그림 3-1> 스마트건설사업단 - 건설업무 디지털화

③ BIM 기반 공정관리 시각화

- BIM 기반의 건설 공정 계획 및 관리
- BIM 모델과 연계한 공정 계획 및 공정 진행 상황 관리
- BIM 기반의 공정(4D)관리 및 기성(5D)관리 등

④ AR 기반 건설정보 제공

- AR을 통한 건설 객체(장비, 인력) 인식 및 정보 제공
- 플랫폼 내 데이터(근로자 정보, 공정 진행상황)와 연계하여 실시간 정보 제공
- AR 기반 4D모델 시각화를 위한 BIM정보 경량화 알고리즘 개발



출처 : K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리기술 개발

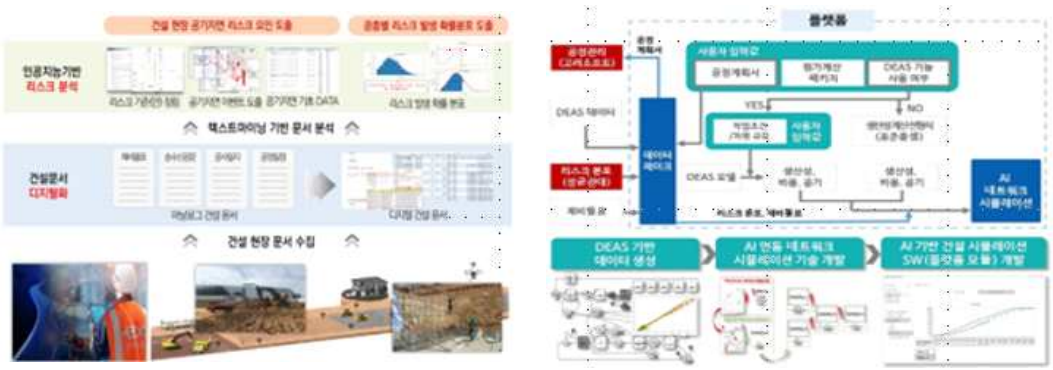
<그림 3-2> 스마트건설사업단 - 디지털 트윈 기반 건설 공정 시각화

⑤ 건설 공기지연 리스크 예측

- 건설 공종별 공기지연 리스크 발생 확률 분포 도출
- 기 건설 프로젝트 자료의 분석(텍스트마이닝 등)을 통한 공기지연 요소 도출
- 공종별 공기지연 리스크 발생 확률 도출

⑥ 공정계획 최적화

- 리스크 및 현장 조건을 반영한 시뮬레이션을 통해 최적 공정계획 도출
- 토공, 포장공 건설자원(인력, 장비) 변동에 따른 생산성 변화 시뮬레이션
- AI 기반 최적 공정 시뮬레이션을 통한 공기 및 비용 최적화 공정계획 도출



출처 : K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리기술 개발

<그림 3-3> 스마트건설사업단 - 건설 공정계획 및 관리 최적화

⑦ 건설현장 실시간 통합관제

- 건설현장 시공상황, 공정진행 현황 등 관리를 위한 실시간 통합관제
- (환경정보 및 안전관리) 기상, 소음, 대기 상황 등 환경정보 표출 및 안전구역 설정, 위험 상황 발생 이벤트 관리
- (현장관리) 장비·인력 실시간 위치, 투입 현황 및 CCTV, 360도 카메라를 통한 현장 관리 등
- (공정관리) BIM기반 공정 계획 시뮬레이션, 드론 촬영 모델을 활용한 공정 진행 상황 파악



출처 : K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리기술 개발,

<그림 3-4> 스마트건설사업단 - 건설현장 실시간 모니터링, 시공상황 관리

■ (현대건설) : HIBoard

- 시스템/DB 연동이 어려운 스마트건설기술 솔루션은 바로가기 링크로 연동
- VR, CDE, HIoS, HIAround, PC부재 이력관리등의 기능 제공
- CDE는 상용 프로그램 등을 활용(Autodesk BIM360, Bentley Projectwise등)



<그림 3-5> 현대건설 HIBoard

■ (대우건설) : OSM, COCO, 딥러닝 기반 건설도면 지능화, Q-BOX

- OSM : 실시간 현장관리를 통한 공사현장의 안전 및 품질확보
- COCO : 현장이슈나 위험요소관리. 작업일보, 사진대지 등을 모바일환경을 활용하여 작성/관리



<그림 3-6> 현대건설 HIBoard 예시

• 딥러닝 기반 건설도면 지능화

① 기술(시스템)개요

- 딥러닝기술 기반 플랜트 배관 계장도면자동 정보 추출 기술
- 실무 프로세스 혁신, 설계 자산 정보화

② 개발효과

- 배관계장도기반 설계 초기 성과품을 자동으로 작성
- 초기 설계 성과품 자동 생성으로 프로세스 혁신, 생산성 향상-수작업으로 이루어지던 작업을 자동화하여 비용, 시간 절감-초기 설계 물량 산출 자동화로 빠른 프로젝트 의사결정 지원-단순 도면, 설계 성과품 프로젝트별 설계 자산

정보화

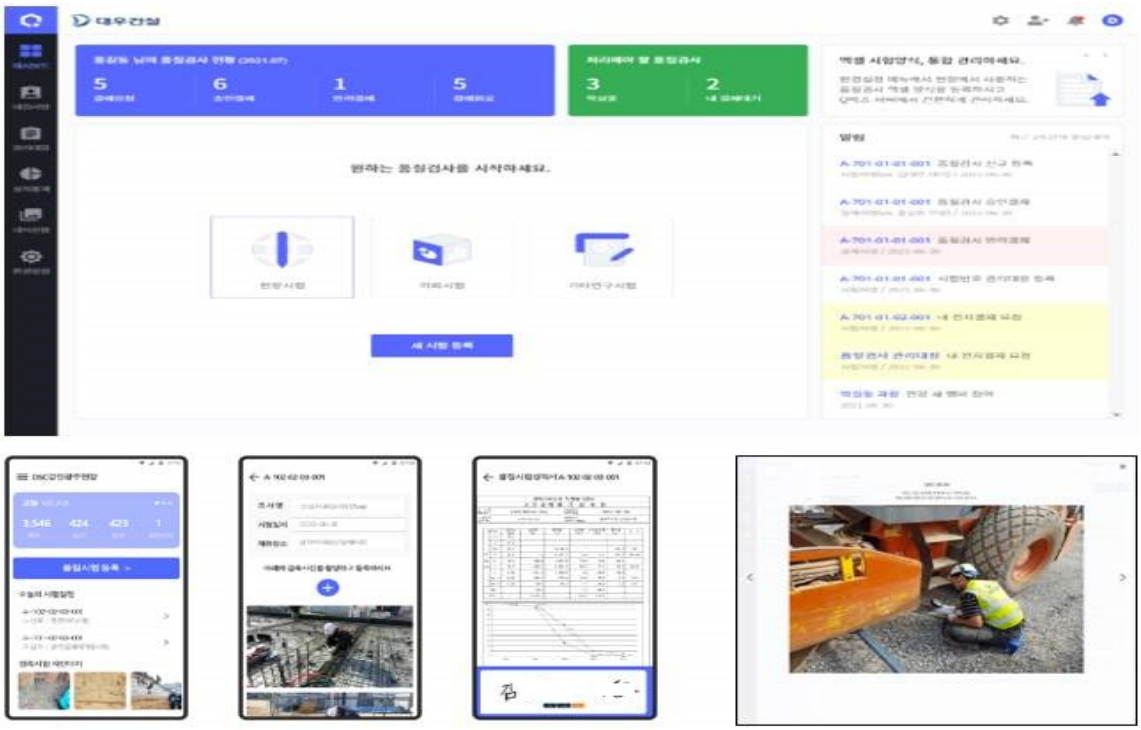
• Q-BOX(현장 품질문서 관리 자동화)

① 기술(시스템)개요

- 현장 품질관리 업무의 50%이상이 페이퍼 워크 → 80% 이상 디지털화 가능
- PC버전은 품질 시험 계획 - 수행 - 관리대장 작성 - 실적 취합 - 결재 - 기성청구서류 작성 등의 전 과정을 디지털화
- 모바일 버전은 각자 추진 중인 품질시험의 생성 - 진행 - 결재 - 관련사진 촬영 및 사진대지전송 등의 현장실무 위주의 기능 구현

② 개발효과

- 품질업무 80% Paperless, 업무생산성 30% 이상 향상 예측(정량화 평가 수행 예정)



<그림 3-7> 현대건설 Q-BOX 예시

3.1.2 건설정보의 디지털화 대상 정의(도로공사 건설관리 업무 프로세스 분석)

■ 건설 스마트 기술 적용 가능성 및 디지털화 대상을 정의하기 위해서 현 도로공사 건설사업관리 업무 흐름(프로세스)을 파악해야 함

■ 도로공사 건설사업관리 업무 프로세스 분석 방향은 <그림 3-8>과 같음



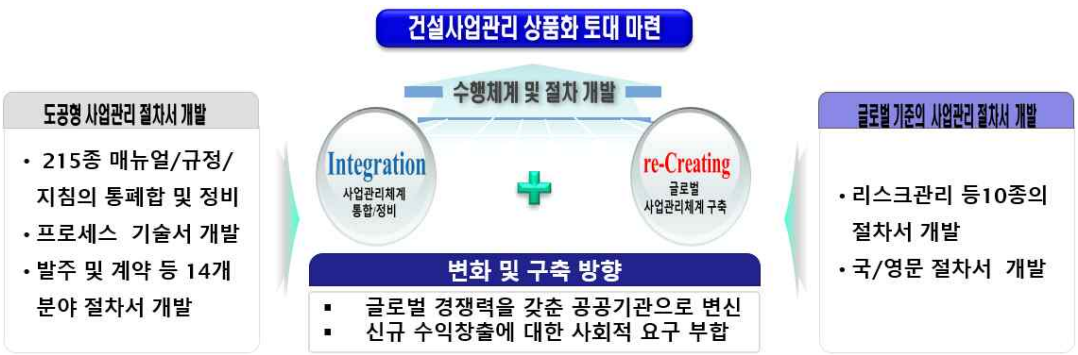
<그림 3-8> 업무 프로세스 구축 방향

■ 우선 도로공사의 과거 건설 분야 사업관리 프로세스 개발 용역 산출물과 공사감독 필수 업무절차를 검토한 뒤 파악된 업무 프로세스 구조를 기반으로 현 도로공사 프로세스를 설계하고 검토 및 조정함. 검토 및 조정된 프로세스를 기반으로 스마트 적용 가능성이 있는 대상을 정의하는 방향으로 연구를 진행하고자 함

- 도로공사 업무 프로세스 구조 파악

  - 과거 도로공사는 각 부서 간 중복 및 분산된 매뉴얼, 업무기준, 지침 등의 통폐합을 위해 개발한 도공형 사업관리 프로세스(절차)와 해외 등 신규시장에 사업관리자의 역할로 단위 사업에 적용할 수 있는 기능별 글로벌 사업관리 프로세스(절차)를 개발한 사례가 있음

  - 본 연구에서는 도공형 사업관리 프로세스를 대상으로 검토를 진행함



<그림 3-9> 과거 도로공사 사업관리 프로세스 개발 결과물

- 도공형 사업관리 프로세스 구조 파악

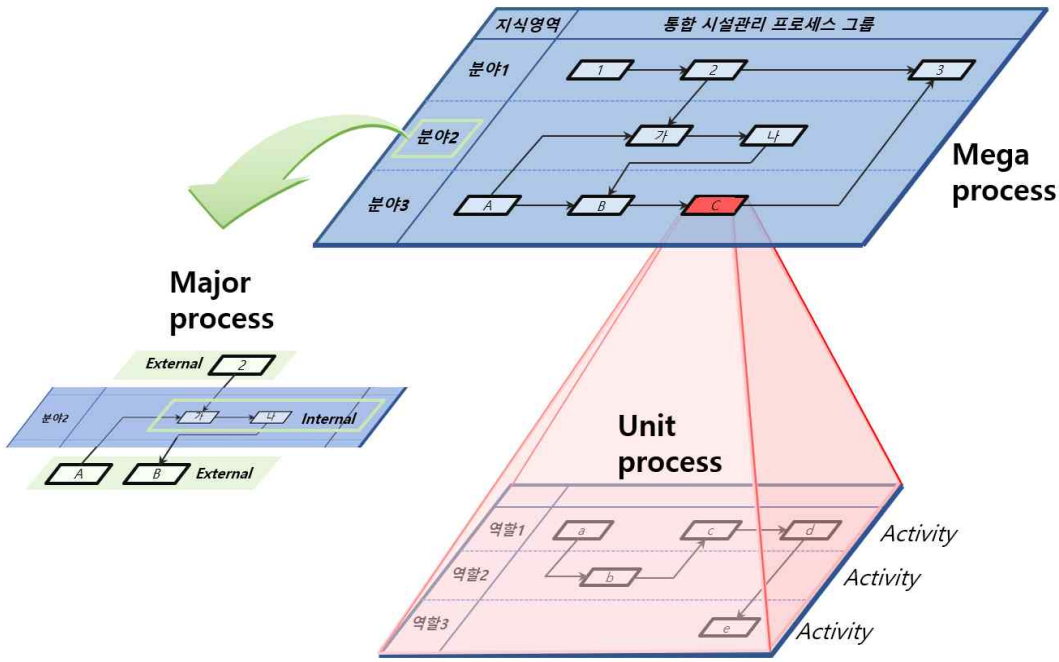
  - 업무 프로세스는 상세함(Detail)의 정도에 따라 프로세스 수준(Level)이 정의됨

  - 프로세스 체인을 정의하는 업무는 프로세스 수준의 명칭과 템플릿 정의를 위해 선행되는 중요한 초기 업무임

  - 도공형 사업관리 프로세스의 체인은 업무 수행 기능조직과 주요한 사업관리 업무 산출물의 작성, 검토, 승인 등을 고려하여 아래와 같이 정의됨

〈표 3-1〉 도로공사 프로세스 개발에 활용된 프로세스 체인 사례

프로세스 수준	프로세스 명칭	설명	적용 여부
Mega Level	Mega Process	최상위 프로세스	적용
Sub Level	Major Process	상위 분야별 프로세스	적용
	Minor Process	하위 분야별 프로세스	×
	Unit Process	최하위 프로세스	적용
	Elementary Process		×
업무활동 명칭	업무활동 명칭	설명	적용 여부
업무 활동	Activity	업무 활동(작성,검토,승인)	적용
	Task	직무	×
세부 단계	Step	업무 세부단계	×

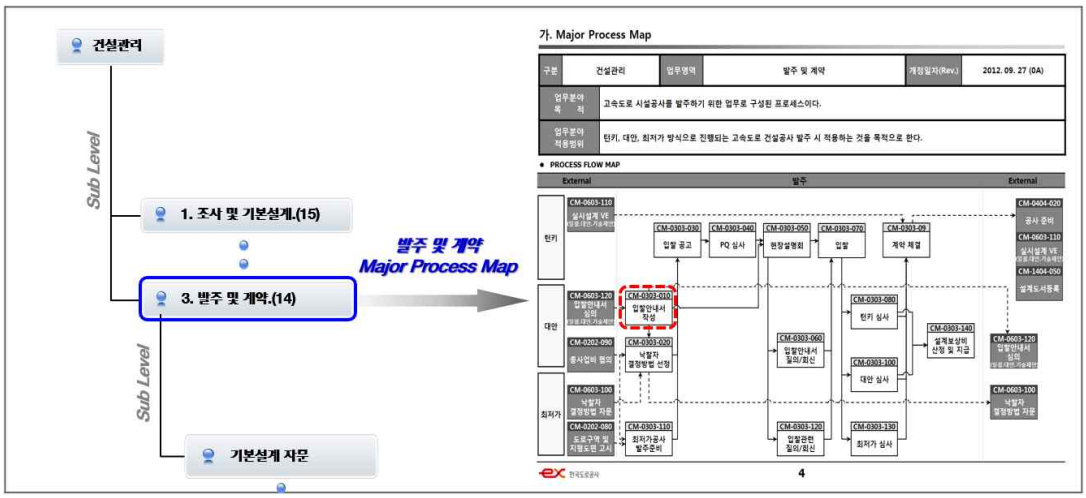


〈그림 3-10〉 프로세스 체인 모형

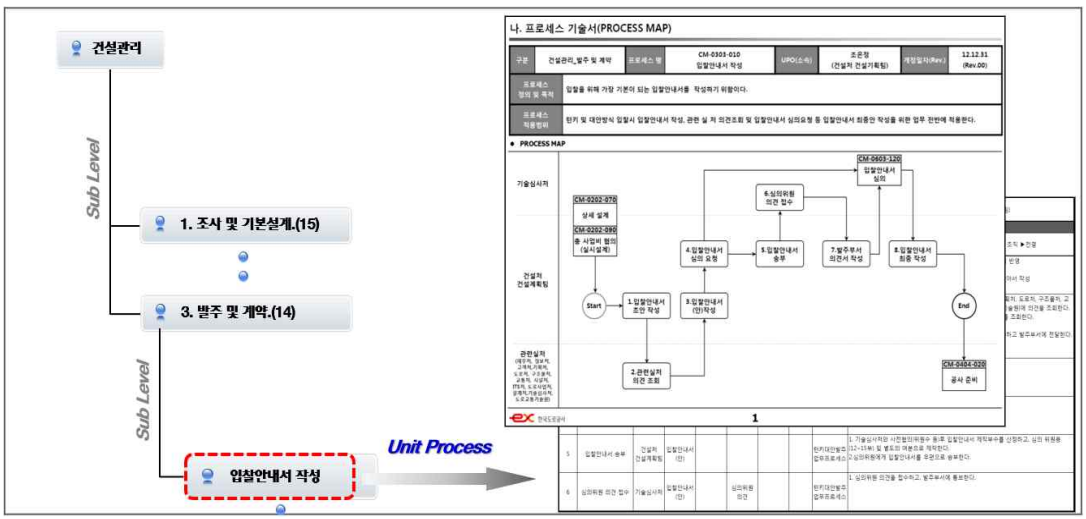
- 도공형 사업관리 업무 프로세스는 건설사업관리 분야를 Mega 프로세스, 업무 분야별로 Major 프로세스, 중요 산출물을 작성하고 검토 및 승인할 수 있는

단위별로 Unit 프로세스를 구성함

- 총 14개 업무분야 중 5개(조사 기본설계~준공 및 이관)의 건설사업관리 Major 업무 프로세스 파악



- 총 72개 유닛 프로세스의 Input~output 업무 흐름 및 산출물(결과물) 파악



• 도로공사 업무 프로세스 구조 파악 결과

- 과거 도공형 사업관리 업무 프로세스 중 조사 및 기본설계 업무에서 15개, 실시설계에서 9개, 발주 및 계약 업무에서 14개, 착공 및 시공업무에서 19개, 준공 및 이관에서 15개 총 72개 건설사업관리 업무 프로세스를 파악

- 연구 초기에 제공된 감리관리, 공정관리, 민원관리, 교량공, 터널공,

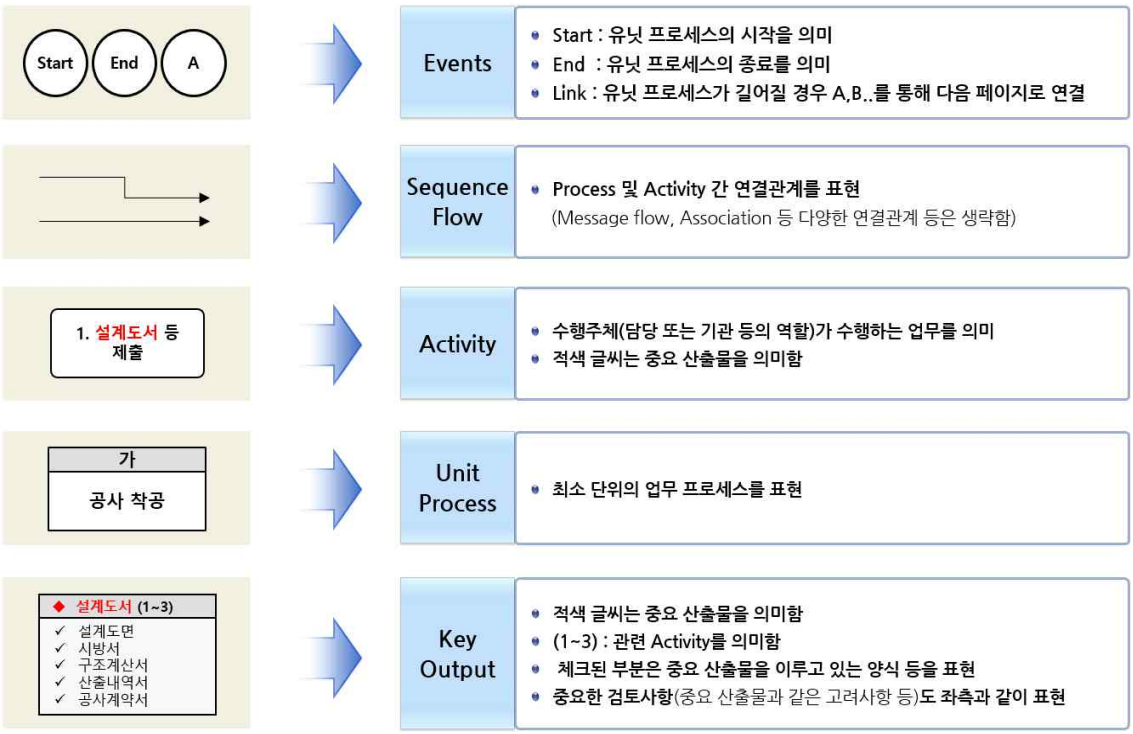
설계변경관리 등 공사감독 필수 업무절차 27항목을 기준으로 업무 현황을 파악함



<그림 3-11> 도로공사 업무 프로세스 구조 파악 결과

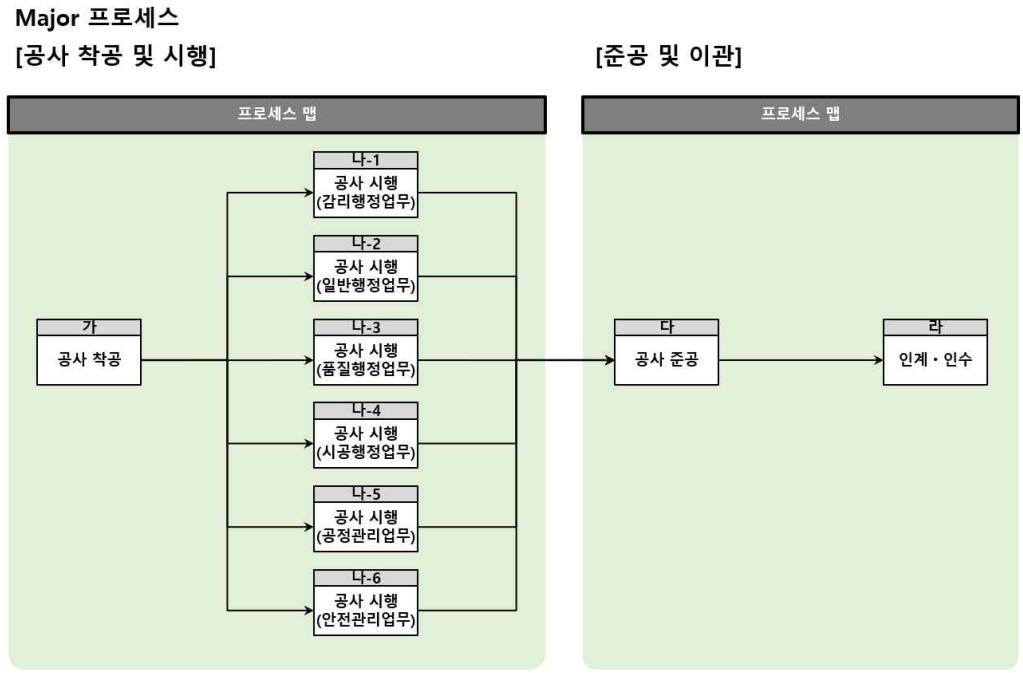
- 프로세스 설계

  - 상기 과정에서 파악한 도로공사 사업관리 업무 프로세스 구조 및 내용을 기반으로 최신 도공 건설관리 프로세스를 재설계를 진행함



<그림 3-12> 프로세스 설계에 활용된 프로세스 아이콘

- 프로세스 재설계는 크게 공사착공, 공사시행, 공사준공, 인계·인수의 업무분야로 정리하였고, 상기의 프로세스 아이콘을 활용하여 재설계함



<그림 3-13> 프로세스 재설계 구조

- 검토 및 조정

- 우선 재설계 과정을 거친 결과물을 내부 협의를 통하여 프로세스를 보완하였고, 정리된 프로세스 결과물을 도로공사 실무진과 협의를 통해 프로세스를 조정함

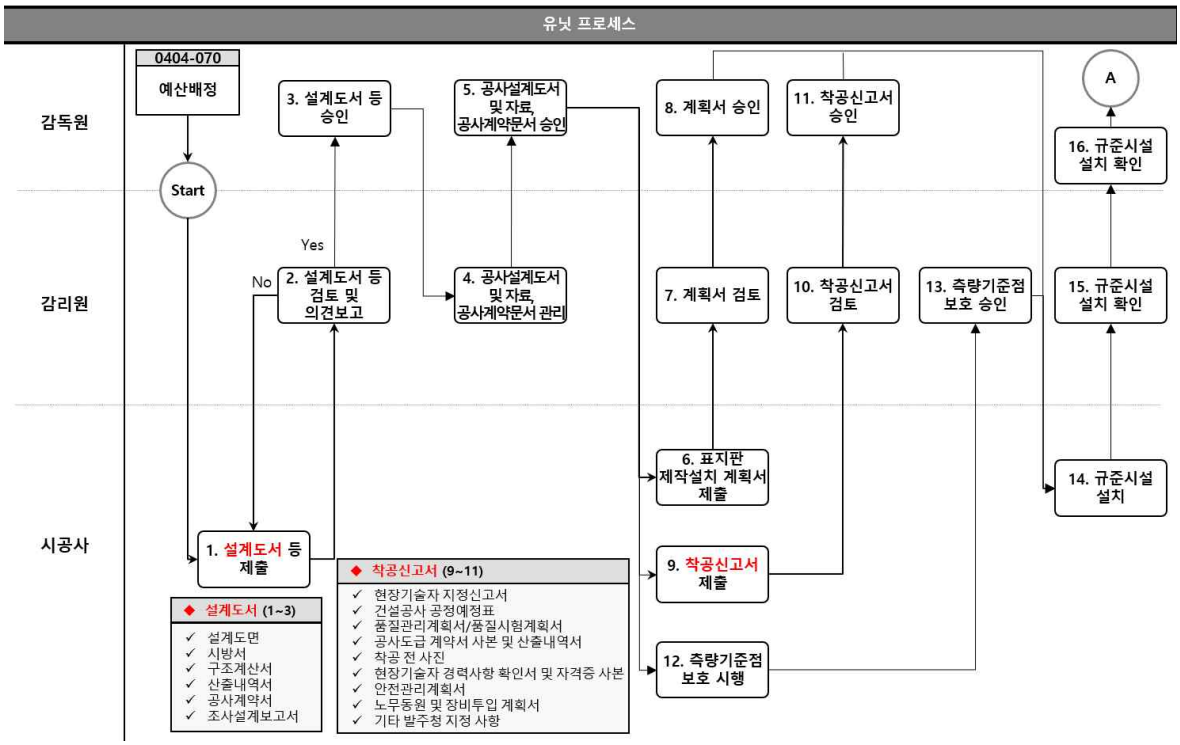


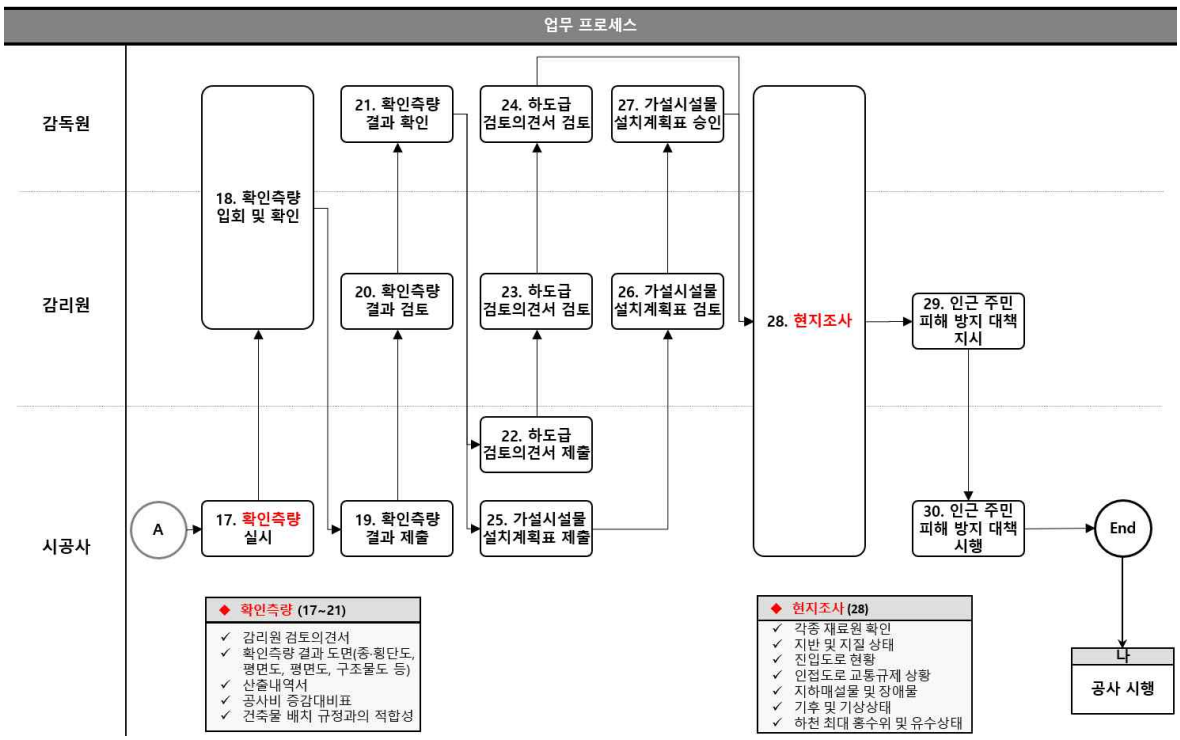
<그림 3-14> 프로세스 내부검증 및 도로공사 실무진 조정 협의

- 프로세스 확정

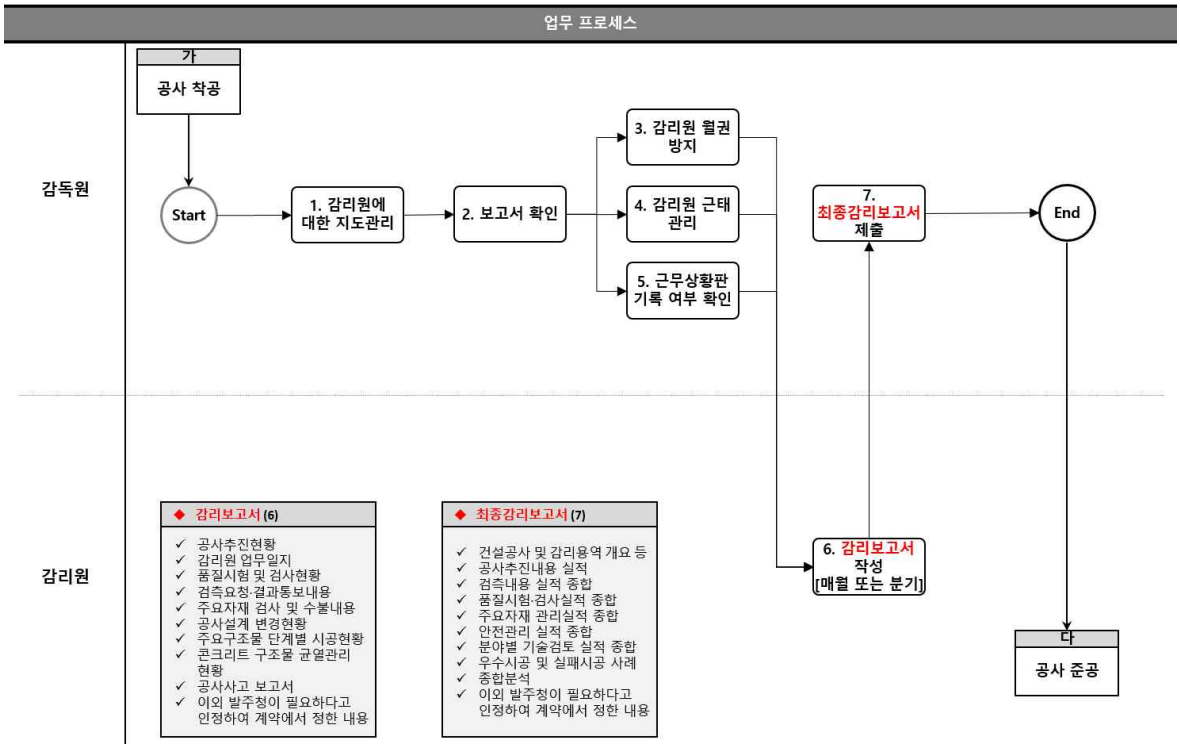
  - 도로공사 현 사업관리 업무를 프로세스화 하여 정리한 결과는 아래와 같음

① 공사 착공

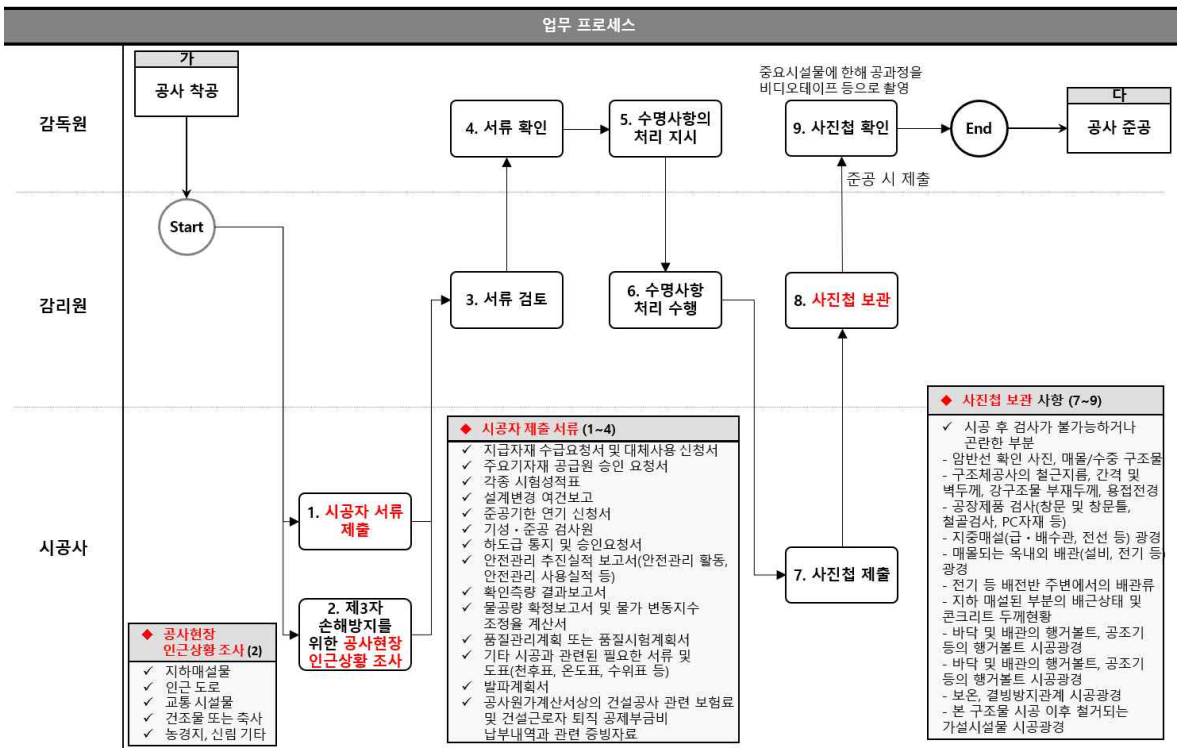




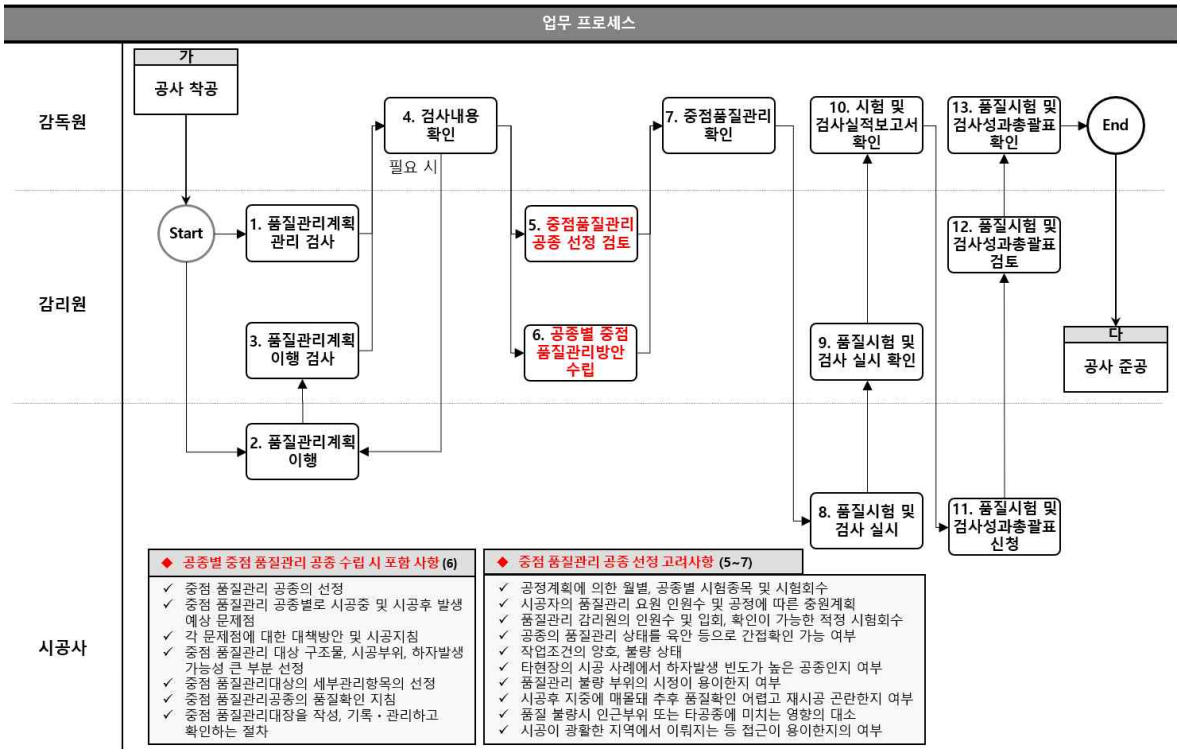
② 공사 시행_감리행정업무



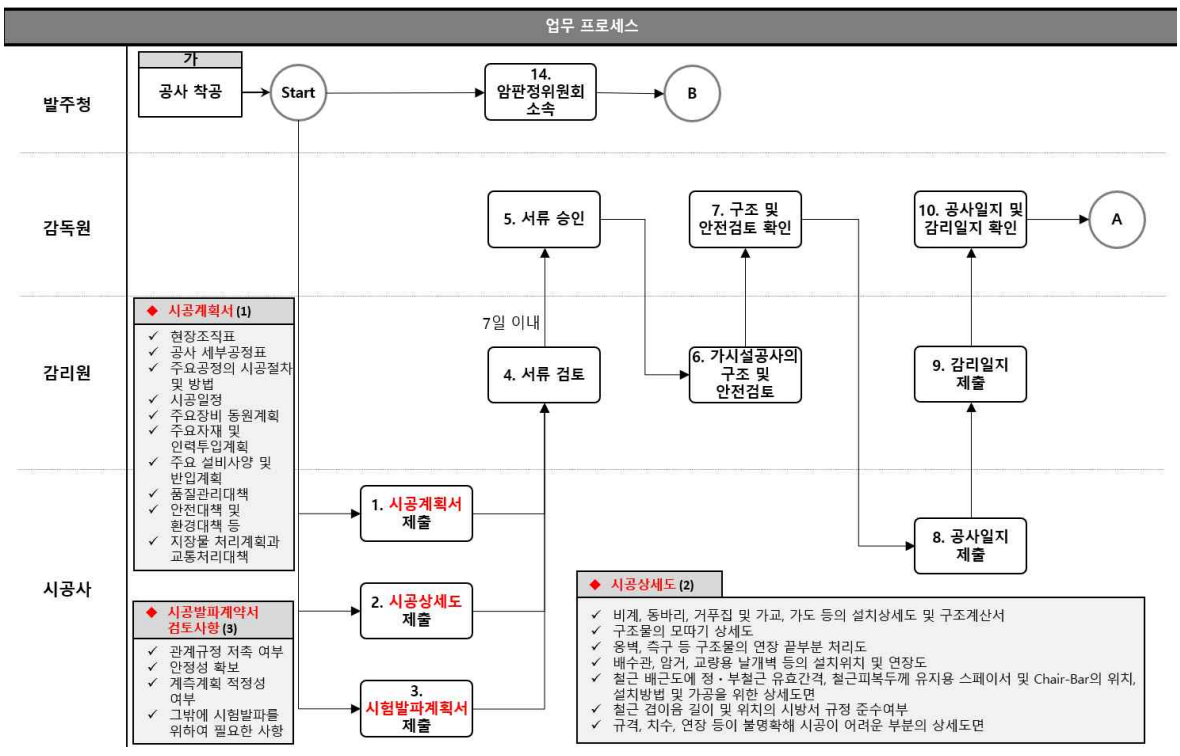
②-1 공사 시행_일반행정업무



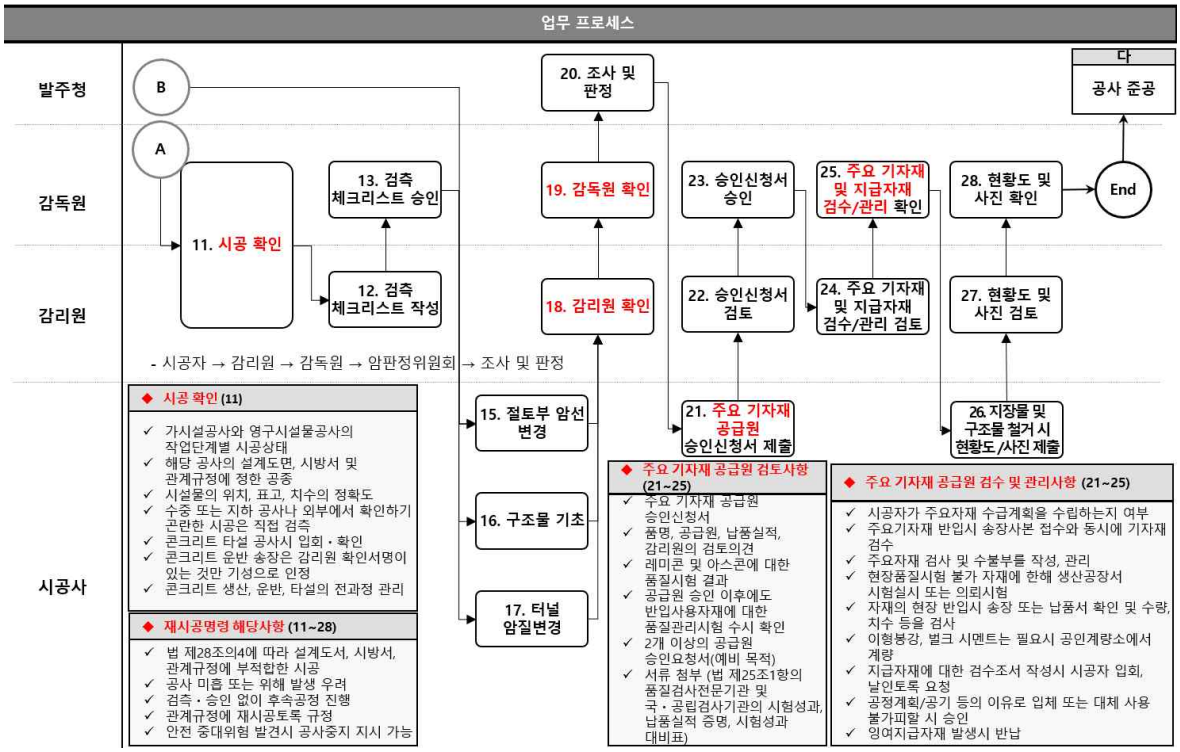
②-3 공사 시행_품질관리업무



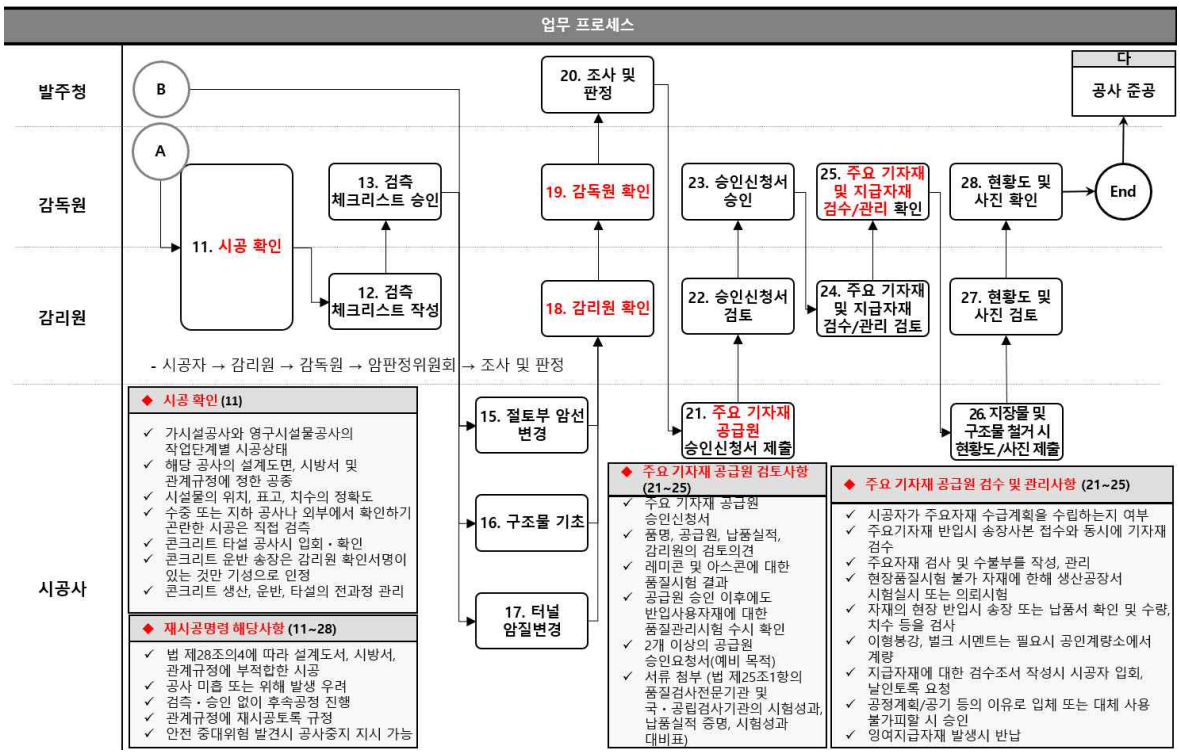
②-4 공사 시행_시공관리업무 (1/2)



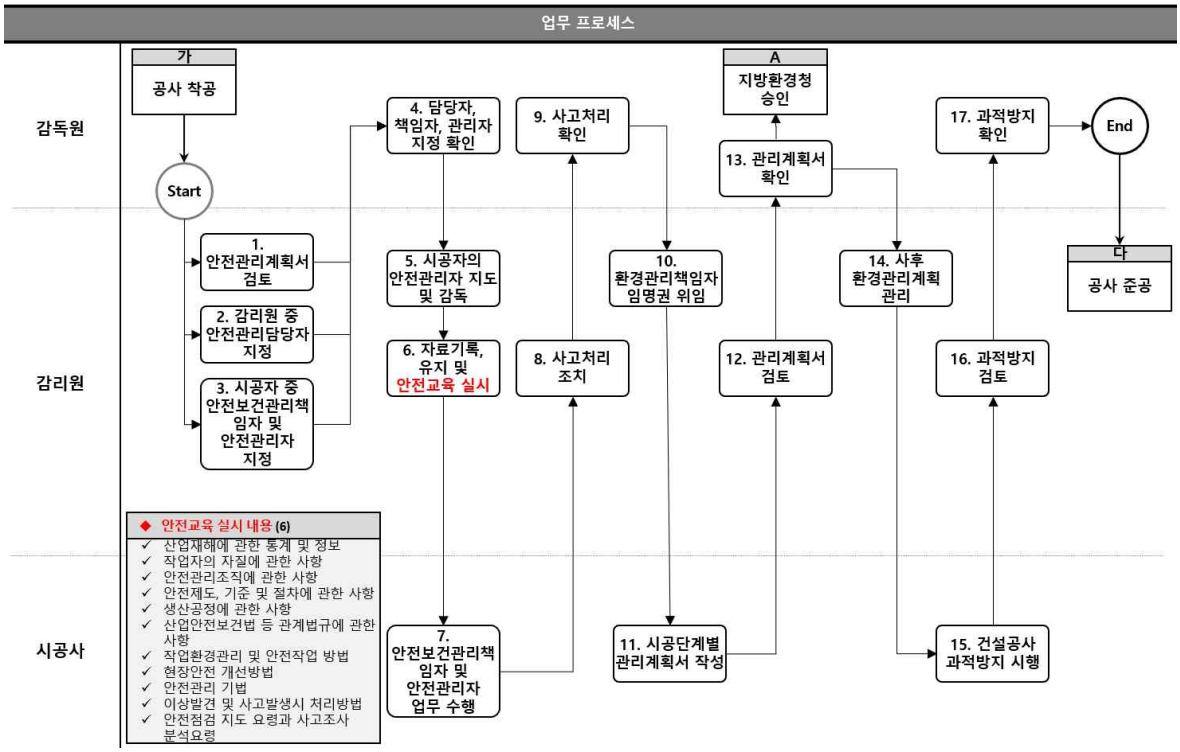
②-5 공사 시행_시공관리업무 (2/2)



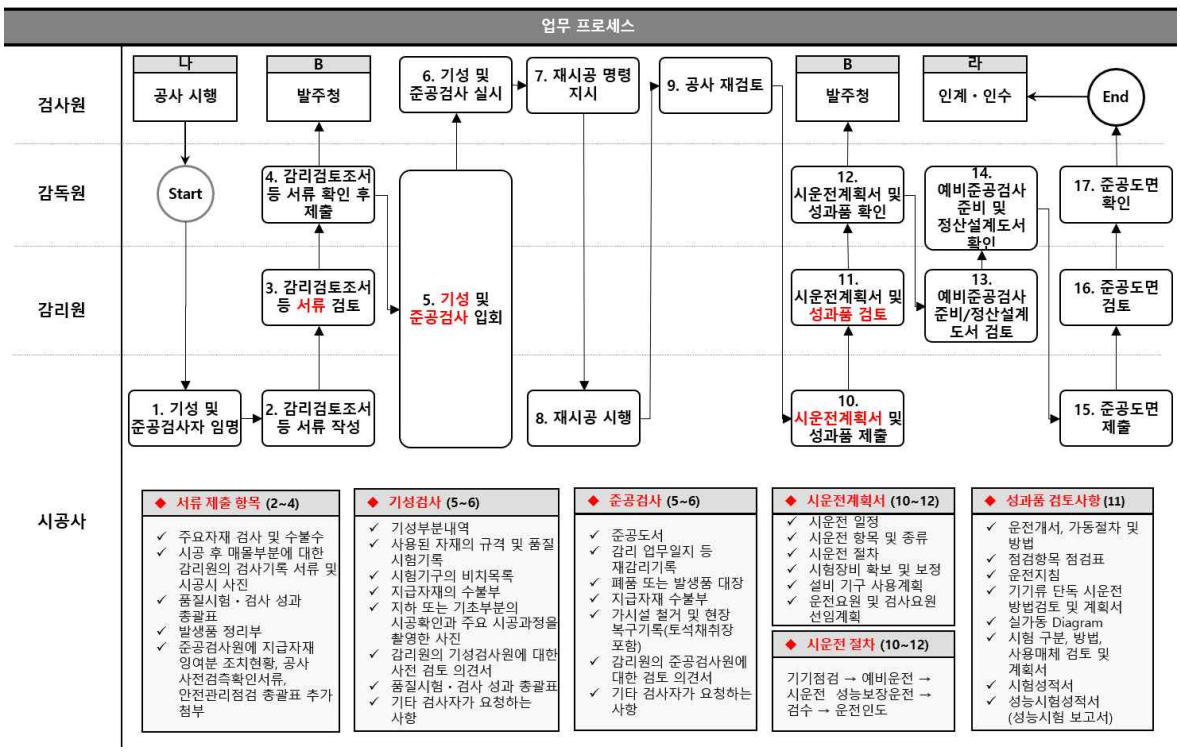
②-6 공사 시행_공정관리업무



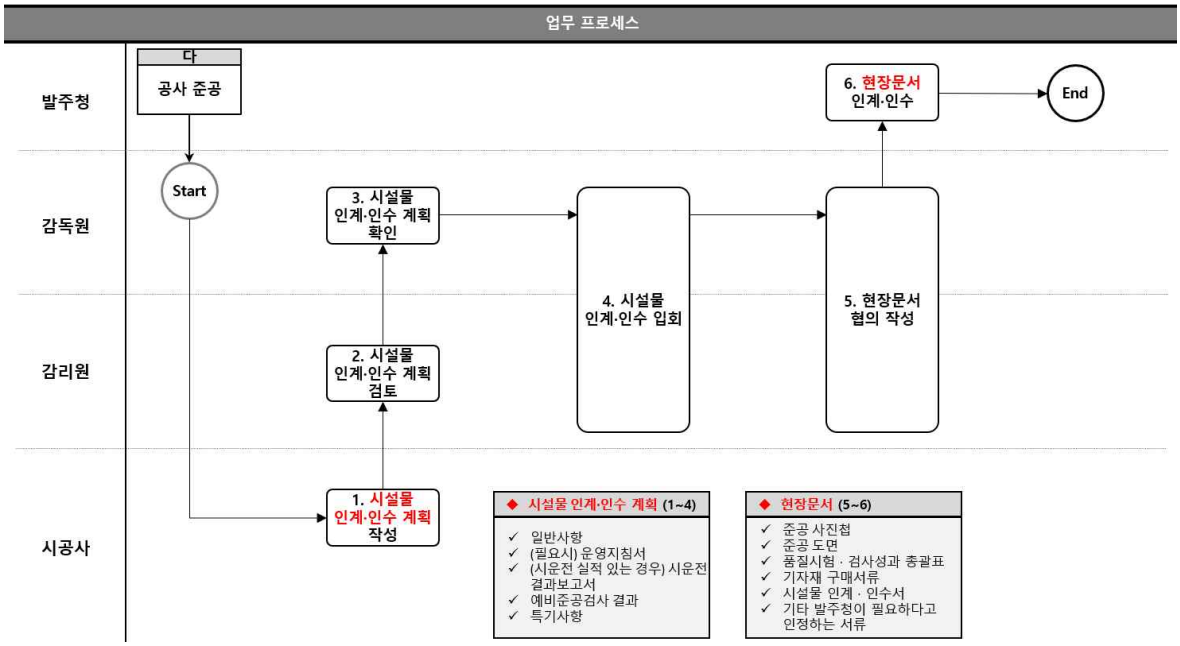
②-7 공사 시행_안전관리업무



③ 공사 준공

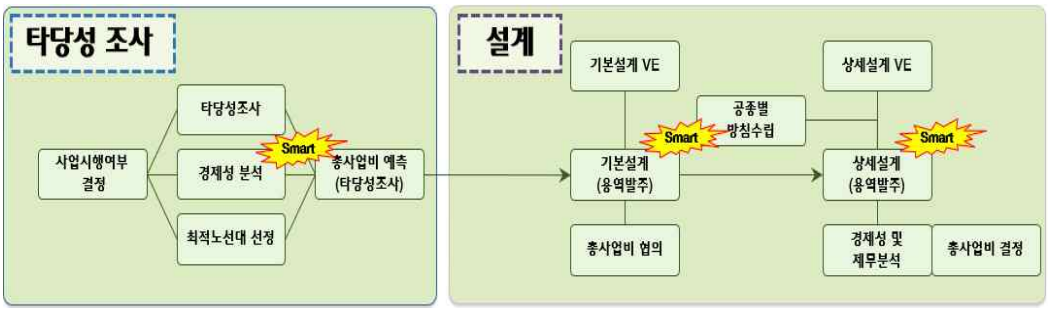


④ 인계·인수



• 디지털 전환 범위 및 대상 선정을 위한 업무 프로세스의 분석 결과는 다음과 같음

- 타당성 조사 및 설계 단계는 아래와 같은 업무 흐름으로 진행되고 있으며, 디지털 전환 대상은 크게 세 부분(경제성 분석, 기본설계, 상세설계)으로 분석됨



〈그림 3-15〉 타당성 조사 및 설계단계의 디지털 전환 범위 및 대상

- 타당성 조사 단계에서는 경제성 분석 및 총사업비 예측(타당성 조사) 업무 수행 시 디지털 정보는 아래와 같이 변환될 수 있다고 판단됨

<표 3-2> 타당성 조사 단계에서 변환되는 디지털 정보

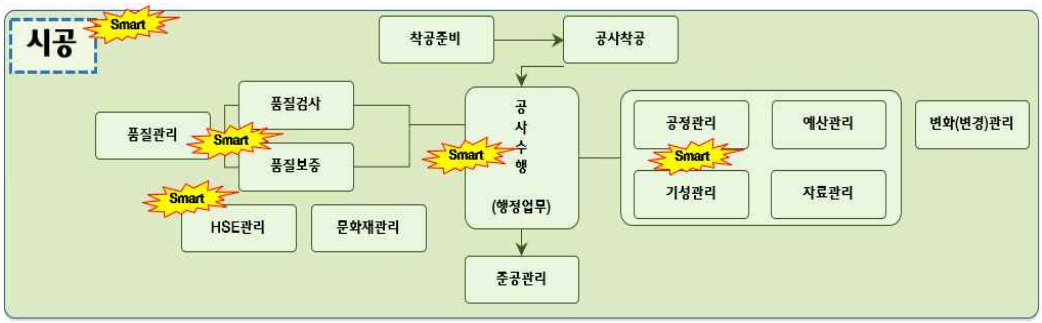
주요 필요 정보(산출물)	
AS-IS 정보	교통수요예측, 시설규모 산정, 경제성 및 재무분석서, 경제성평가 결과, IRR, NPV, PBP 등 (내부 수익률, 순현재가치, 회수기간) 설계보고서, 타당성조사 사업비 산출서, 설계도면자료, 총사업비 예측 보고서
TO-BE 정보 (스마트 기술 적용 예상 데이터)	환경·생태 검토 계획 모델, 이용·관리 검토 계획 모델, 경제·시공 검토 계획 모델, 교통수요예측, 시설규모 산정, 3D Conceptual Design, 설계수량, 용지면적, 교통수요예측, B/C, NPV, IRR

- 설계 단계에서는 주로 기본설계와 상세설계 업무 수행 시 디지털 정보는 아래와 같이 변환 될 수 있다고 판단됨

<표 3-3> 설계 단계에서 변환되는 디지털 정보

주요 필요 정보(산출물)	
AS-IS 정보	설계기준서, 도로(선형, 토공, 포장, 출입시설, 부대시설)기본설계 구조(교량, 터널)기본설계 기타(건축, 기계, 전기, 조경)기본설계 2D설계도면(위치도, 일반도) 및 수량/물량 산출 공종별상세설계도면, 구조설계 적정성 평가서 실시설계도서 (설계도면, 수량산출, 설계내역 및 각종 계산서)
TO-BE 정보 (스마트 기술 적용 예상 데이터)	3D Basic Design 토공(암 노출 및 토질별노출면분석모델) 설계 포장(포장면의 지형면모델) 설계 구조물(비탈면, 옹벽, 안전성 모델) 설계 시설물, 식재, 건축물 등 관련 설계 30%, 60%, 90% 3D Modeling Data

- 시공 단계는 아래와 같은 업무 흐름으로 진행되고 있으며, 공사관리-품질관리-안전관리-기성 및 공정관리 등의 업무에 스마트 적용이 가능한 것으로 분석됨



<그림 3-16> 시공단계 업무 흐름 중 디지털 전환 범위 및 대상

3.2 건설정보의 효율적인 관리방안

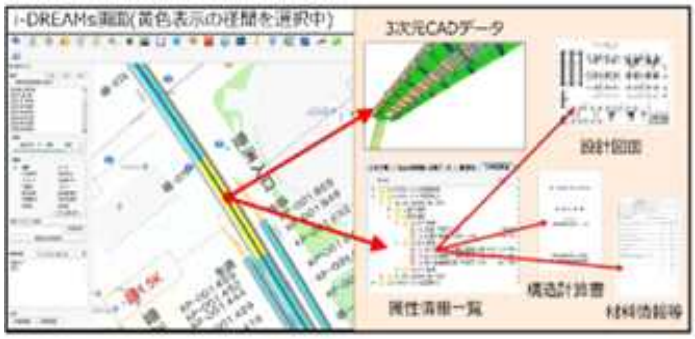
3.2.1 국내외 건설정보 관리 시스템 운영 사례

■ 국토교통부의 건설사업정보화(CALS)사업에 의해 개발된 건설사업정보시스템 5종 및 건설정보표준 6종이 활용되고 있음

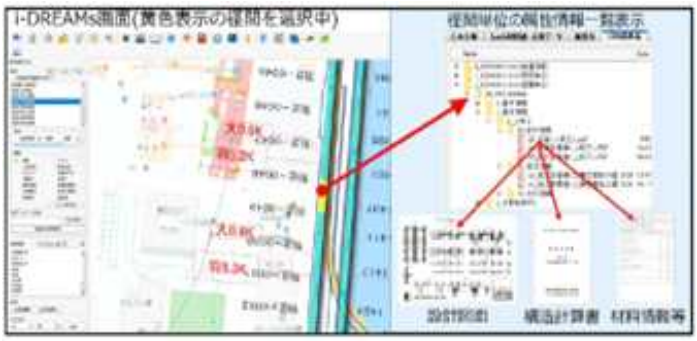
- 건설사업정보화시스템(5종) : 건설사업관리, 시설물유지관리, 건설인허가, 용지보상, 건설사업정보포털시스템
- 건설사업표준(6종) : 전자도면작성표준, 도면정보교환표준, 전자문서표준, 건설정보분류체계 적용기준, 디지털수량산출정보 교환표준, 건설정보모델(BIM) 작성·납품 공통기준

■ 건설사업의 생산성 및 효율성 향상, 투명한 행정 실현을 위해 전 단계의 건설사업 디지털화 및 건설사업 수행절차개선을 목표로 함

■ 일본의 수도고속도로(주)의 경우 BIM 운용을 위해 스마트 인프라 매니지먼트시스템(i-DREAMs)의 GIS 플랫폼과 연계하여 사용하기 위한 계획 수립



(a) 3차원 모델로부터의 속성 정보 열람 이미지



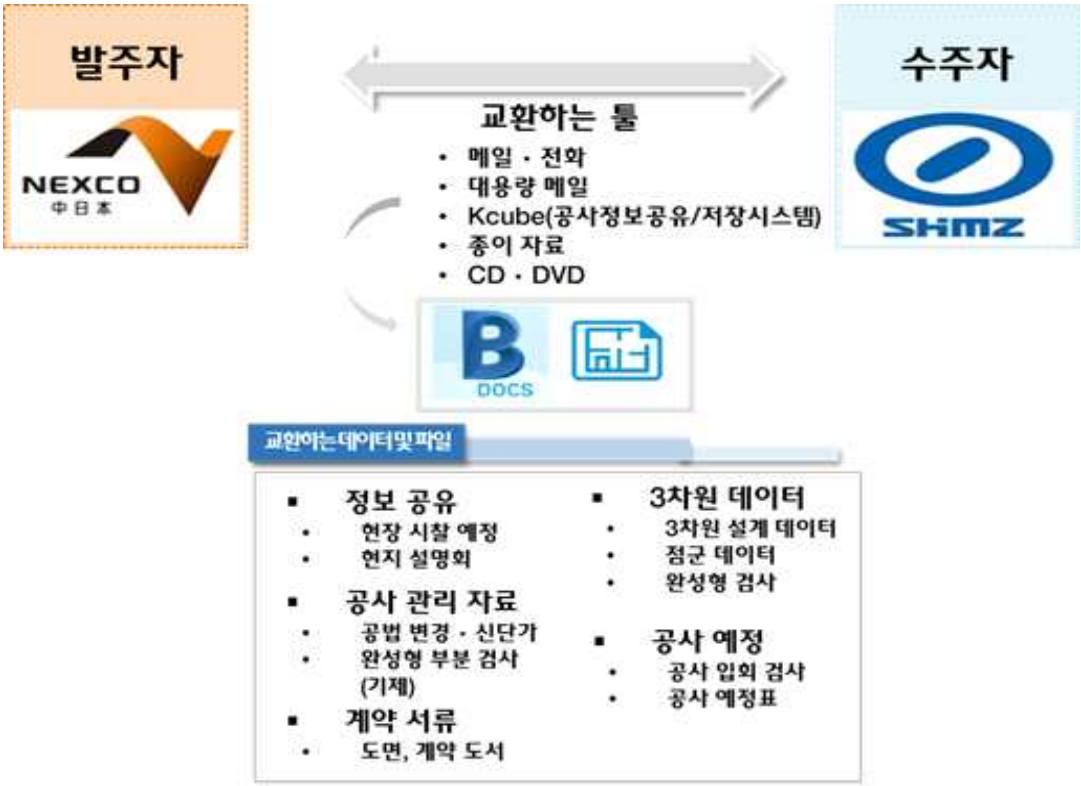
(b) 2차원 모델로부터의 속성 정보 열람 이미지

출처 : 首都高速道路株式会社(2021.07), 首都高速道路でのCIM導入ガイドライン

<그림 3-17> BIM을 활용한 속성 정보 열람 예시

■ 일본 NEXCO의 경우 스마트건설기술을 전면적으로 활용한 효율적인 공사관리를 위한 목표를 수립하여 대처하고 있으며, 정보 공유 플랫폼으로서 상용 프로그램인 BIM 360 docs를 활용

■ 품질관리를 위한 서류는 Kcube를 활용하여 문서출력 등을 최소화



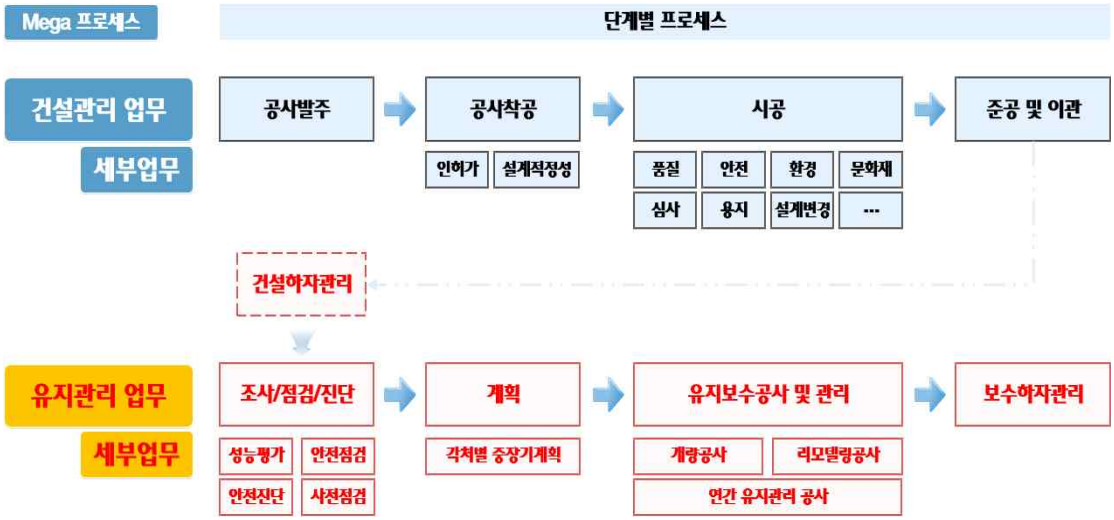
출처 : NEXCO中日本 (2021.03), ＩＣＴをフル活用し受発注者が協調して工事管理の効率化 · 高度化を目指す

〈그림 3-18〉 일본의 스마트건설기술 정보 공유 개요

3.2.2 건설정보의 유지관리 연계방안

■ 건설 수행 단계에서 발생하는 여러 정보(데이터)는 유지관리 업무를 수행하는데 중요한 필요 요소임. 건설정보가 유지관리 단계에서 적절하게 연계가 되어 있음을 확인하기 위해서는 건설단계의 업무와 유지관리 단계의 업무 및 데이터의 흐름을 살펴볼 필요가 있음

■ 건설관리 단계에서 발생하는 정보는 준공 및 이관 업무를 수행하면서 모두 저장되는데 유지관리 업무의 시작점인 건설 하자관리 업무에 Input 되는 부분이 불명확함



<그림 3-19> 건설단계 및 유지관리 단계의 주요한 업무 연계도

■ 건설정보가 유지관리 단계에 적절하게 연계되기 위해 아래와 같은 방안을 제안함

- 건설관리에서 연계되어야 할 자료(데이터)의 구체화 필요
- 건설 단계와 유지관리 단계에서 정보(데이터)를 연계할 수 있는 프로세스(절차) 필요 (데이터 생산 및 보관/ 연계 등의 명확한 역할 및 책임사항[Roles and Responsibilities] 정의 필요)
- 개선된 프로세스(절차) 기반으로 도로공사 건설 CTTIS 시스템에 건설정보를 유지관리 단계에서 활용할 수 있도록 시스템 개선 필요

3.3 건설단계별 기술지도 작성

3.3.1 기술지도 작성체계 및 절차

■ 주요 절차1: 기술지도·기술로드맵 유사사례 조사 및 분석

- 기술지도와 기술로드맵의 유사사례를 조사 및 분석하여 유형화하고 유형별 특성을 정리
- 기술지도의 형식, 구조, 작성방법 등에 대한 기본방향을 결정
- 스마트 건설기술과 관련된 상세 기술요소에 대한 자료 수집

① 유형1

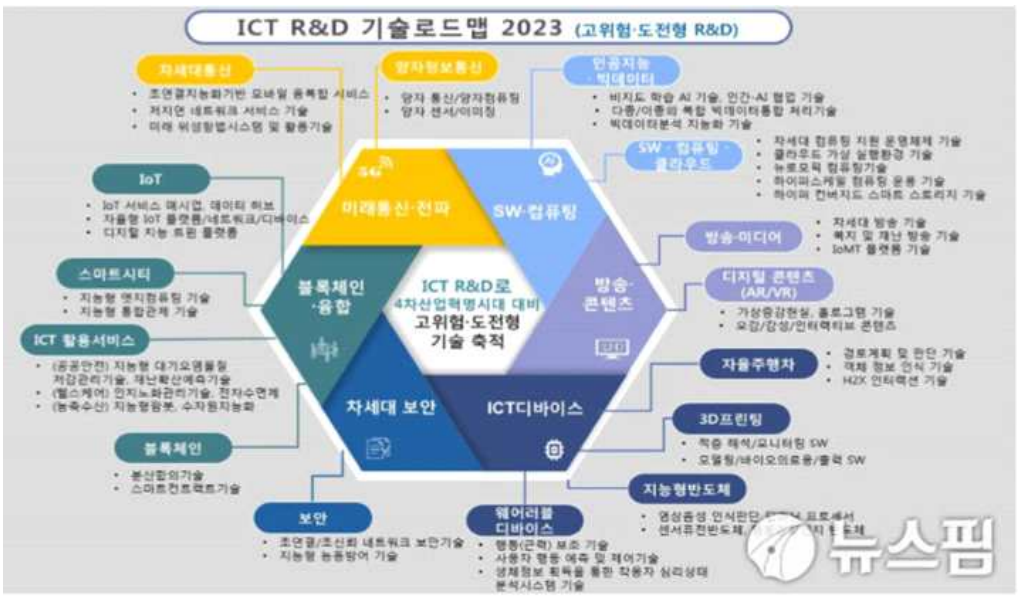
- 건설기술연구원 건설자동화 중장기 로드맵(2019), 정보통신기술진흥센터 ICT R&D 기술로드맵(2018) 등의 사례를 조사

- 기술분야를 중심으로 기술지도가 구성
- 분야의 경우 중점분야와 세부분야로 세분되기도 함
- 분야별로 달성해야 하는 목표가 세부기술요소로 제시
- 일부 사례에서는 세부기술요소가 적용단계로 구분되어 제시되기도 함



출처 : 건설기술연구원(2019), 건설기술연구원 건설자동화 중장기 로드맵

<그림 3-20> 건설자동화 중장기 로드맵



출처 : 정보통신기술진흥센터(2018), ICT R&D 기술로드맵

<그림 3-21> ICT R&D 기술로드맵

② 유형2

- 국토교통부 디지털 전환 단계별 목표(2021), 국토교통부 스마트 건설기술

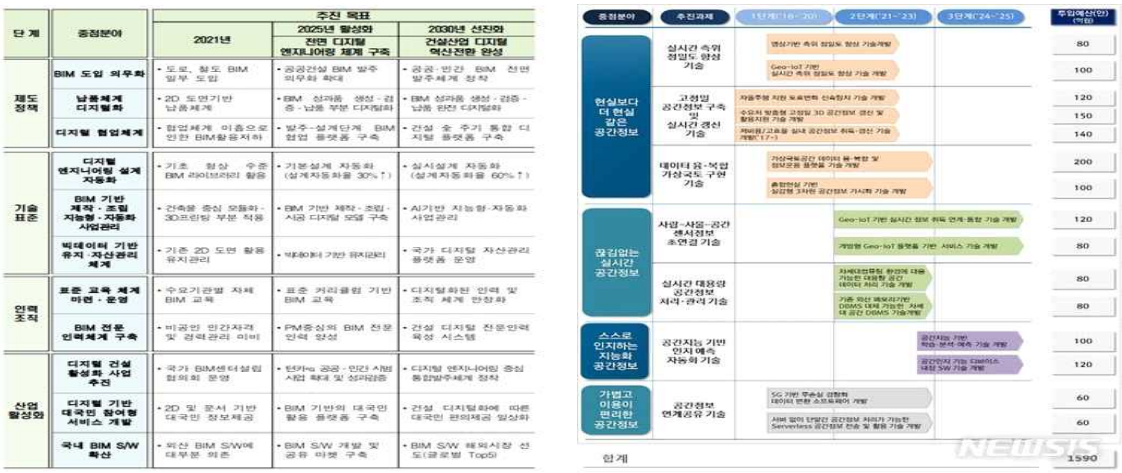
로드맵(2018), 국토교통부 공간정보 기술 로드맵(2017), Gartner Emerging technology roadmap (2021) 등의 사례를 조사

- 분야와 시기를 주요 기준으로 기술지도가 구성
- 분야의 경우 중점분야와 세부분야로 세분되기도 함
- 일부 사례에서는 해당 기술의 적용단계를 추가로 구분하기도 함
- 시기별로 해당 분야에서 달성해야 하는 목표를 제시



단계	중점분야	핵심기술	추진 목표			
			현재	20□	22□	23□
설계	BIM기반 스마트 설계	• 지형 · 지반 모델링 자동화	• 현장측량 중심 지형정보 수집 • 지형·지반정보 2D 도면 관리	• 융복합 드론 활용 형상정보 수집 및 모델링	• 형상 모델 및 지반속성 정보 연계	• AI 기반 BIM연계 지반 모델링 자동화
		• BIM 적용 표준	• BIM S/W 자체표준이나 2D 도면 표준 적용	• 교량·터널·하천 등 목적물 중심 국제수준 BIM 표준 구축	• 데이터 교환·공유를 위한 BIM 표준 구축	• 축적된 BIM 빅데이터의 활용을 위한 표준 구축
		• BIM 설계 자동화	• 기초 수준 BIM 라이브러리 활용	• BIM 라이브러리 기반 설계 부분 자동화	• 건설 全단계를 고려한 BIM 설계 최적화	• AI 기반 BIM 설계 자동화
시공	건설기계 자동화 및 군체	• 건설기계 자동화	• 굴삭기·도저·롤러 에신 가이던스 기술 시범 적용	• 굴삭기·도저·롤러 에신 가이던스 기술 확대 적용	• 실시간 에신 가이던스, 건설기계 자율이동+크레인(포장·전공기계)	• 건설기계 자동화 (AI를 활용한 건설기계 통합 운영 및 군제)
		• 건설기계 통합 운영 및 군제	• 굴삭기·도저·롤러 통합운영 및 군제기술 시범적용(소규모 현장)	• 굴삭기·도저·롤러 통합운영 및 군제기술 상용화(다규모 현장)	• 센서·IoT 기반 정보 실시간 수집을 통한 건설기계 통합 운영	
	공정 및 현장관리 고도화	• 시공 정밀제어 및 자동화	• 현장타설 방식 중심(슈식 공법), 모듈·Prefab 방식조립도 활용	• 조립시공을 위한 위치 자동제어	• 조립시공 정밀제어, 부분 자동화(정밀정합 이음부 타설 등)	• 로봇 등을 활용한 조립시공 자동화
		• ICT 기반 현장 안전사고 예방	• 안전관리자의 작업자 관리, 육안점검 등 인력중심 안전관리	• ICT 기술을 활용한 안전관리 (드론, 3D Scanner, VR 등)	• 실시간 센싱 기반 안전관리 (Smart Wearable, 센서 등)	• 예방적 통합 안전관리 (위험 예측, 장비-인력 통합관제)
		• BIM기반 공사관리	• 경험에 따른 공사관리	• 주요 공종 BIM 기반 공사관리 (드론·로봇 실시간 공정체크 등)	• 가상시공을 통한 리스크 분석·공사관리 효율화	• AI 기반 공사관리 최적화 (조건에 맞는 최적 공법 검토)
유지관리	시설물 점검 진단 자동화	• IoT 센서 기반 시설물 모니터링	• 단일 센서를 활용한 단순 정보 수집	• 지능형(상황감지) IoT 정보수집	• 대규모·대용량 IoT 정보수집 분석	• 초연결형 IoT 정보수집·분석
		• 드론·로봇 기반 시설물 진단	• 인력 기반의 시설물 점검 (드론 일부 활용)	• 다종 드론을 활용한 대형 시설물의 신속한 점검	• 다기능 드론 및 로봇을 활용한 시설물 상태 진단	• 로보틱드론을 활용한 시설물 자율 점검 및 진단
	디지털트윈 기반 유지관리	• 시설물 정보 통합 및 표준화	• 개별 정보시스템 및 DB 구축	• 시설물 정보 표준화 및 통합 관리 시스템	• 건설 全단계 개방형 통합 DB 및 빅데이터 구축	• 디지털트윈 기반 스마트 시설물 유지관리
		• AI 기반 최적 유지관리	• 육안점검 및 단순 계측 정보 기반 유지관리 의사결정	• 데이터 기반 의사결정 지원 시스템	• 빅데이터·AI 기반 예측형 유지관리	

(a) 스마트 건설기술 로드맵



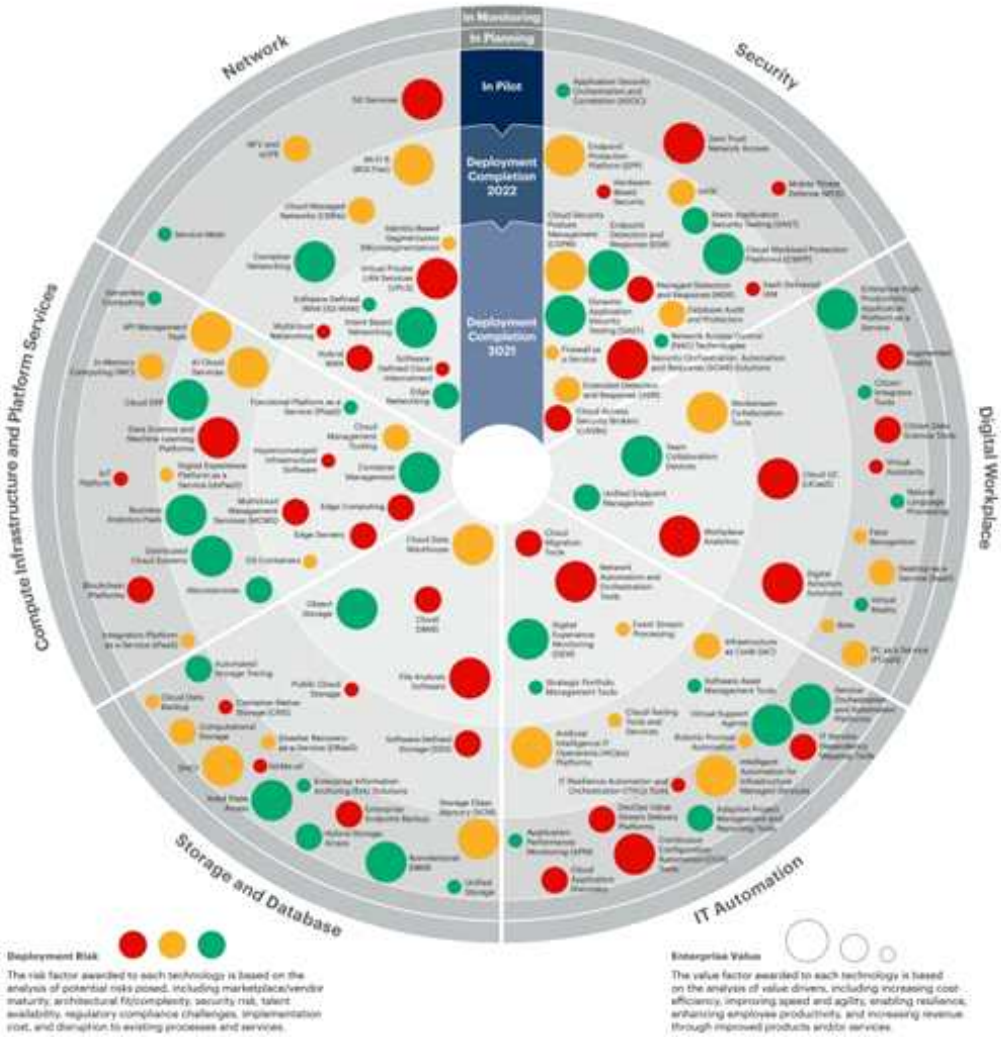
단 계	중점분야	추진 목표		
		2021년	2025년 활성화 전면 디지털 엔지니어링 체계 구축	2030년 산진화 건설산업 디지털 혁신전환 완성
제도 정책	BIM 도입 의무화	• 도로, 철도 BIM 일부 도입	• 공공건설 BIM 발주 의무화 확대	• 공공·민간 BIM 전면 발주체계 정착
	납품체계 디지털화	• 2D 도면기반 납품체계	• BIM 설계품 생성 · 검증 · 납품 부분 디지털화	• BIM 설계품 생성 · 검증 · 납품 완전 디지털화
	디지털 협업체계	• 협업체계 미흡으로 인한 BIM활용저하	• 발주-설계단계 BIM 협업 플랫폼 구축	• 건설 全 주기 통합 디지털 플랫폼 구축
기술 표준	디지털 엔지니어링 설계 자동화	• 기초 형상 수준 BIM 라이브러리 활용	• 기본설계 자동화 (설계자동화율 30% ↑)	• 실시설계 자동화 (설계자동화율 60% ↑)
	BIM 기반 계작 · 조립 지능형 · 자동화 사업관리	• 간속물 중심 모듈화 · 3D프린팅 부분 적용	• BIM 기반 제작 · 조립 · 시공 디지털 모델 구축	• AI기반 지능형 · 자동화 사업관리
	빅데이터 기반 유지 자산관리 체계	• 기존 2D 도면 활용 유지관리	• 빅데이터 기반 유지관리	• 국가 디지털 자산관리 플랫폼 운영
인력 조직	표준 교육 체계 마련 · 운영	• 수요기관별 자체 BIM 교육	• 표준 커리큘럼 기반 BIM 교육	• 디지털화된 인력 및 조직 체계 안정화
	BIM 전문 인력체계 구축	• 비공인 민간자격 및 경력관리 미비	• PM중심의 BIM 전문 인력 양성	• 건설 디지털 전문인력 육성 시스템
산업 활성화	디지털 건설 활성화 사업 추진	• 국가 BIM센터설립 협의회 운영	• 턴키·Pq 공공 · 민간 시범 사업 확대 및 성과관리	• 디지털 엔지니어링 중심 통합발주체계 정착
	디지털 기반 대국민 참여형 서비스 개발	• 2D 및 문서 기반 대국민 정보제공	• BIM 기반의 대국민 활용 플랫폼 구축	• 건설 디지털화에 따른 대국민 편의제공 일상화
	국내 BIM S/W 확산	• 외산 BIM S/W에 대부분 의존	• BIM S/W 개발 및 공유 마켓 구축	• BIM S/W 해외시장 선도(글로벌 Top5)

(b) 디지털 전환 단계별 목표

(c) 공간정보 기술 로드맵

출처: a-국토교통부(2018), 스마트 건설기술 로드맵, b-국토교통부(2021), 디지털 전환 단계별 목표
c- 국토교통부(2017), 공간정보 기술 로드맵

<그림 3-22> 로드맵 관련 사례

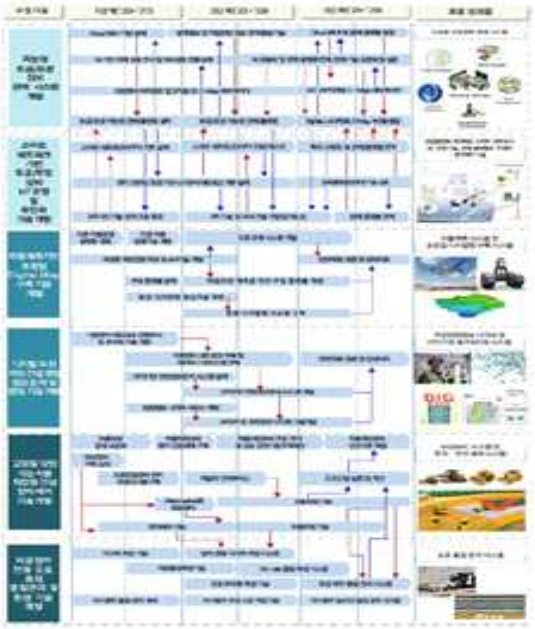


출처: Gartner Emerging technology roadmap (2021)

<그림 3-23> Emerging technology roadmap (Gartner, 2021)

③ 유형3

- 국토교통과학기술진흥원 스마트 건설기술 개발사업 기획(2019), 관계부처 합동 국가나노기술지도(2018), 일본 국토교통성 i-Construction BIM/CIM 동향(2018) 등의 사례를 조사
- 분야와 시기를 주요 기준으로 기술지도가 구성
- 분야의 경우 중점분야와 세부분야로 세분되기도 함
- 시기별로 해당 분야에서 달성해야 하는 목표를 제시
- 시기별로 제시된 목표 및 세부기술요소 사이의 선후 관계를 제시하여 기술간의 연계성 파악에 용이



<그림 3-24> 스마트 건설기술 개발 사업 기획



<그림 3-25> 국가나노기술지도

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2019), 스마트 건설기술 개발사업 기획
관계부처 합동(2018), 국가나노기술지도



출처: 일본 국토교통성(2018), i-Construction BIM/CIM 동향

<그림 3-26> i-Construction BIM/CIM 동향

④ 사례분석 종합

- 본 과제의 기술지도 및 기술로드맵은 유사사례의 유형별 특성을 고려하여 두 가지 종류로 구분하여 작성

▷ 유형1은 분야별 목표만을 제시한 가장 단순한 형태로 분야별 발전 방향만을

제시

▷ 유형2는 시기별 구분이 추가되어 분야별・단계별 목표 설정이 가능함

▷ 유형3은 세부기술별 선후관계 정보가 추가되어 상세한 계획이 가능하지만, 매우 복잡한 구조를 보임

- 이에 본 연구에서는 세부기술별 선후관계를 포함하여 가장 상세한 정보를 담고 있는 유형3 형태의 기술지도 및 기술로드맵 작성을 최종 목표로 하되, 기술분야별로 목표달성 시기를 제시하고자 유형2 형태의 기술 성숙도 로드맵을 함께 제안하고자 함

■ 주요 절차2: 스마트 건설기술 종합표 작성

- 스마트 건설기술 기술지도 및 기술로드맵 작성을 위한 기초자료로 스마트 건설 관련 세부기술을 대상으로 한 기술 종합표를 작성
- 스마트건설 관련 세부기술을 리스트업하고 관련 기본 정보를 기입
- 문헌조사를 통한 스마트건설 관련 세부기술 리스트업
- 연구진 자체 워크숍, 전문가 자문 등을 통하여 세부기술에 대해 브레인스토밍 작업을 수행
- 위의 과정을 통해 스마트건설 세부기술에 대해 체계적으로 정리
- 스마트건설 관련 세부기술을 종합하여 위계별로 그룹핑
- 최종적으로 스마트 건설기술을 핵심기술, 중점분야, 건설단계별로 위계화 (요소기술 < 핵심기술 < 중점분야 < 건설단계)
- 기술 종합표에는 세부기술별로 요소기술(BIM / IoT센싱 / AI / MG・MC / AR・VR / OSC / UAV 등), 기술목적(스마트 설계 / 스마트 시공 / 스마트 행정 등), 관련 공종(공통 / 토공 / 구조공 / 터널공 / 포장공 등), 적용주체(시공사 / 감독원 등) 등의 정보를 추가적으로 제시함으로써 향후, 본 기술 종합표가 다양한 목적으로 사용될 수 있도록 기획함
- 예를 들어서, 스마트 건설기술 중 UAV가 활용되는 기술을 확인하고자 할 때, 기술 종합표의 요소기술 정보에서 해당 항목을 선택할 수 있음

■ 주요 절차3: 스마트 건설기술 종합표 작성

- 스마트 건설기술 관련 전문가, 실무자를 중심으로 설문조사 및 심층 인터뷰를 수행
- 스마트 건설기술 종합표 상의 중점분야, 핵심기술 등에 대하여 상세 질문

- 중점분야별・핵심기술별 중요도, 적용가능성, 기술의 선후관계 등을 파악

공정	중점분야	핵심기술	세부기술	요소기술	목적	공종	대상
설계	BIM 설계	전면 BIM 설계	목적물 중심 국제수준 BIM 표준 구축		스마트 행정	공통	감독원
			데이터 교환 및 공유를 위한 BIM 표준 구축		스마트 행정	공통	감독원
			BIM 빅데이터 활용을 위한 표준 구축		스마트 행정	공통	감독원
	설계 자동화	AI 자동화 설계	건설 전단계 BIM 설계 최적화	BIM/CIM	스마트 설계	공통	시공사
			AI기반 BIM 설계 자동화	BIM/CIM	스마트 설계	공통	시공사
시공 (시공기술)	장비자동화	장비 위치관제 기술	건설장비 IoT 센서 네트워크 운영 기술	IoT/센싱	스마트 건설기술	공통	시공사
			무선통신 장애지역 고정밀 WPS	IoT/센싱	스마트 건설기술	공통	시공사
			빅데이터 기반 최적 경로 네비게이션 기술	AI/시뮬레이션	스마트 건설기술	공통	시공사
			AI기반 관제상황 인지/판단 기술	AI/시뮬레이션	스마트 건설기술	공통	시공사
		장비 원격시공 및 자동화 기술	건설장비 머신 가이던스 기술	MG/MC	스마트 건설기술	공통	시공사
			건설장비 자율주행 및 작업 기술	MG/MC	스마트 건설기술	공통	시공사
			무인화 시공을 위한 AR/VR 원격조종 기술	MG/MC	스마트 건설기술	공통	시공사
			무인 크레인을 활용한 교량가설기술	MG/MC	스마트 건설기술	구조공	시공사
			머신러닝 기반 TBM 스마트 운용 기술 (자동운전 시스템)	MG/MC	스마트 건설기술	터널공	시공사
			지능형 다짐 및 포장 자동화 기술	MG/MC	스마트 건설기술	포장공	시공사
		통합 위치관제 시스템			스마트 행정	공통	시공사
	디지털 모델링 및 시뮬레이션	디지털장비 활용 스캐닝	지형정보 수집을 위한 지상 무빙플랫폼	MG/MC	스마트 건설기술	공통	시공사
			지능형 군집 드론 시스템	UAV/TLS	스마트 건설기술	공통	시공사
			구조물 대상 고정밀 측량기술	UAV/TLS	스마트 건설기술	공통	시공사
		건설현장 디지털 모델링 및 시각화 기술	현장관리 디지털 트윈 모델 생성 모듈	BIM/CIM	스마트 건설기술	공통	시공사
			정밀지도 - BIM - 현장측량결과 연계기술	BIM/CIM	스마트 건설기술	공통	시공사
			AR/VR 활용 현장정보 시각화 기술	AR/VR	스마트 건설기술	공통	시공사
			현장 작업자 공정 정보활용 제고를 위한 AR 플랫폼	AR/VR	스마트 건설기술	공통	시공사
			디지털트윈 기반 건설자원(장비,인력,자재) 시각화	BIM/CIM	스마트 건설기술	공통	시공사
		시공 시뮬레이션 기술	CPS 기반 작업계획 시뮬레이션 기술	AI/시뮬레이션	스마트 건설기술	공통	시공사
			AI 기반 공정계획 시뮬레이션 기술	AI/시뮬레이션	스마트 건설기술	공통	시공사
		CPS 기반 통합 플랫폼			스마트 행정	공통	시공사
	OSC	프리팹 제작 및 시공 기술	프리팹 설계 및 제작지원 모델링기술	OSC/프리팹	스마트 설계	구조공	시공사
			프리팹 제조기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			프리팹 고정밀 생산 자동화 시스템	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			프리팹 강거더교 조립시공 기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			프리팹 구조 선형연동 기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
		OSC 품질관리 기술	프리팹 부재 품질관리를 위한 변형률 시각화/해석 기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			프리팹 부재 변형 모니터링 IoT센서 기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			프리팹 부재 시공품질 관리 기준 개발	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
			사용자재 공급관리 공정연계기술	OSC/프리팹	스마트 건설기술	구조공	시공사
		프리팹 관리 시스템 (금형, 배근, 계측, 데이터 등)			스마트 행정	구조공	시공사

<그림 3-27> 스마트 건설기술 종합표 (일부)

3.3.2 스마트건설기술 중요도 조사 및 평가

■ 스마트 건설기술 설문조사 개요

① 설문조사 개요

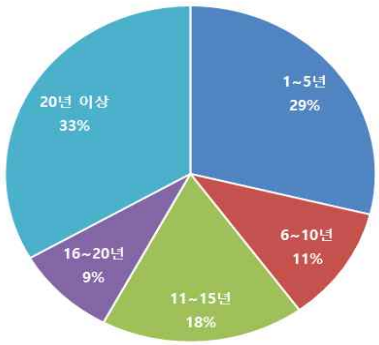
- 설문조사 기간: 2022년 8월 12일 ~ 2022년 8월 31일
- 설문조사 대상: 공사발주기관, 설계사, 시공사, 연구소 및 학교 등에 소속된 관련 분야 전문가
- 설문 부수: 총 46부

② 설문 대상자 특성

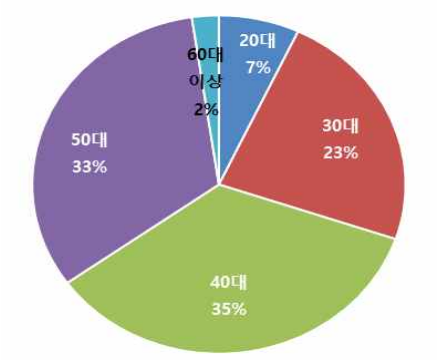
- 소속기관의 경우, 설문 설계 단계에서부터 기관 성격별로 균형을 맞추려 하였으며, 연구소/학교가 33% 가장 많고, 시공사가 13%로 가장 적게 조사됨
- 설문 대상자의 경력연수는 다양하게 분포하며, 연령대는 대부분 30~50대에 해당
- 응답자의 82%가 스마트 건설기술 관련 프로젝트 수행경험이 있음



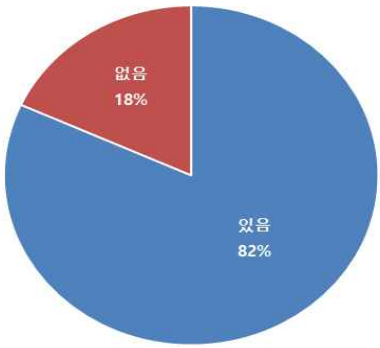
(a) 설문 대상자 소속기관 성격



(b) 설문 대상자 경력년수



(c) 설문 대상자 연령대



(d)스마트건설기술 관련 프로젝트 수행경험

<그림 3-28> 설문조사 기초통계

■ 스마트건설 기술체계

- 스마트 건설기술 종합표에 따라서 스마트건설 관련 세부기술을 위계별로 그룹핑

<표 3-4> 스마트건설 기술체계

건설단계	중점분야	핵심기술
설계	BIM 설계	· 전면 BIM 설계
	설계 자동화	· AI 자동화 설계
시공 (시공기술)	장비 자동화	· 장비 위치관제 기술 · 장비 원격시공 및 자동화 기술
	디지털 모델링 및 시뮬레이션	· 디지털장비 활용 스캐닝 · 시공 시뮬레이션 기술 · 건설현장 디지털 모델링 및 시각화 기술
	OSC	· 프리팹 제작 및 시공 기술 · OSC 품질관리 기술
건설관리 (사업관리)	스마트 안전관리	· 위험요인 인지기술 · 근로자 안전교육 시뮬레이션 기술 · 건설장비 및 근로자 위험 경고 기술
	스마트 검측관리	· 형상계측 및 관리 기술 · 실시간 시공과정 확인기술 · 디지털장비 활용 원격검측 기술
	스마트 품질관리	· 센싱기반 시공품질 모니터링 기술 · 디지털장비 활용 품질관리 기술 · 품질시험 디지털화
유지관리	데이터 변환	· 공정별 연계 정보 정의 · 핵심정보 디지털화 방안
	점검 및 진단 자동화	· 센싱기반 시설물 모니터링 기술 · 드론 및 로봇 기반 시설물 진단 기술
	유지관리 플랫폼	· 유지보수 BIM 대쉬보드 · BIM/GIS 자산관리 시스템

■ 스마트 건설기술 평가기준

- 스마트 건설기술별 도입 필요성과 도입 현실성을 전문가 설문조사를 통해 평가
- 도입 필요성은 '도입 기대효과' 및 '도입 시급성' 에 대한 질문을 통해 평가
- 도입 현실성은 기술의 '현재 건설현장 적용수준' 및 '향후 적용 가능성' 에 대한 질문을 통해 평가

<표 3-5> 스마트 건설기술 평가기준

평가 항목		질문 내용 (귀하의 현장 (발주처/시공사/협력사) 또는 연구/용역의 경험을 토대로 답하여 주십시오.)
도입 필요성	도입 기대효과	각 스마트 건설기술이 현장에 도입되었을 시에 효율성 ·생산성 ·안전성 등의 측면에서 기존 현장에 비해 얼마나 개선효과가 있을 것으로 생각하십니까? (1:매우 낮음 ; 3:중간 ; 5:매우 높음)
	도입 시급성	각 스마트 건설기술의 현장 도입에 대한 시급성에 대해서는 어떻게 생각하십니까? (1:매우 낮음 (장기적으로는 필요) ; 3:중간 ; 5:매우 높음 (최대한 빠르게 필요))
도입 현실성	건설현장 적용수준	현재 국내에서 기 개발 및 실용화되어 건설현장에서 적용 중인 스마트 건설기술의 상용화 및 적용수준에 대해 어떻게 생각하십니까? (1:매우 낮음 ; 3:중간 ; 5:매우 높음)
	향후 적용 가능성	현재 기술수준, 정부 및 기업의 투자 역량·우선순위 등을 고려하였을 때, 각 스마트 건설기술별 향후 현장 적용 가능성을 어떻게 생각하십니까? (1:매우낮음 (10년 이후 장기적 가능) ; 3:중간 (5년 내외 가능) ; 5:매우 높음 (즉시 가능))

■ 스마트 건설기술 설문 분석개요

- 스마트 건설기술 위계별로 별도의 분석을 수행
- 건설단계(설계단계 / 시공단계(시공기술) / 건설관리단계(사업관리) / 유지관리단계)별 분석
- 중점분야별 분석
- 핵심기술에 대한 선후관계 분석
- 각 단계별로 스마트 건설기술의 도입에 따른 기대효과, 도입 시급성, 현재 건설현장 적용수준, 향후 적용 가능성을 설문 (5점 척도)
- 설문 응답결과를 중심으로 스마트 건설기술 위계별 기술 로드맵을 제시

▷편향되지 않은 결과의 도출을 위해, 분석 종류별로 응답완료 설문 중에서 분석에 적합한 응답지에 대한 샘플링 작업을 수행

■ 스마트 건설기술 설문분석을 위한 샘플링

- 스마트 건설기술 중점분야별 중요도, 현재 수준 등에 대한 객관적 비교를 위한 샘플링
- 건설단계별 스마트 건설기술 중요도 파악을 위한 샘플링
- 편향 되지 않은 결과의 도출을 위해 건설단계별 전문성 중 “매우 낮음” 이 있는 응답은 제외
- 소속기관별 관심사 차이에 따른 편향 발생을 예방하기 위해, 소속기관에 따라 각 5부씩, 총 20부를 추출
- 건설단계별 중점 분야 간 추진전략 도출을 위한 샘플링
- 정확한 평가를 위해 해당 건설단계의 전문성이 “보통” 이상인 응답만을 필터링
- 중점분야 내 핵심기술별 선후관계 도출을 위한 샘플링
- 정확한 평가를 위해 해당 중점분야에 대해 특화된 전문성이 있다고 체크한 응답만을 필터링

<표 3-6> 건설단계 및 중점분야별 전문성 확보 샘플 수

건설단계	샘플 수	중점분야	샘플 수
설계	26	장비 자동화	8
시공(기술)단계	31	디지털 모델링 및 시뮬레이션	15
건설관리단계	30	OSC	3
유지관리단계	28	스마트 안전관리	21
-		스마트 검측관리	12
		스마트 품질관리	6
		데이터 변환	10
		점검 및 진단 자동화	14
		유지관리 플랫폼	18

■ 스마트 건설기술 설문조사 분석방법

① 건설단계별 분석

- 각 건설단계별로 스마트 건설기술의 도입에 따른 기대효과, 도입 시급성, 현재 건설현장 적용수준, 향후 적용 가능성에 대해 설문한 결과를 분석
- 설문 응답결과를 중심으로 건설단계별 스마트 건설기술의 도입 로드맵을 제시

② 중점분야별 분석

- 각 스마트 건설기술 중점분야별로 도입 필요성 및 도입 현실성에 대한 응답결과를 종합적으로 고려하여 기술 도입 로드맵을 제시
- BIM 중점분야는 기술수준 발전보다는 정부 정책에 따른 적용 수준 확대 양상을 분석
- 스마트 건설기술 중점분야별 전면 적용시점을 정확히 예상하는 것은 매우 어려움
- 국토부의 2018년 '스마트 건설기술 로드맵'과 2022년 '스마트건설 활성화 방안'을 참고하여 기준 분야를 설정하고 상대 비교를 수행

▷해당 자료들에서는 2030년까지 BIM 전면 적용과 함께 건설자동화를 목표로 하고 있음

▷ 그에 따른 기술발전의 동반이 예상되므로, '장비 자동화' 중점분야가 2030년에 전면 도입되는 것으로 가정

▷ 이를 기준으로 타 중점분야의 발전 속도, 전면 도입 시점을 상대적으로 추정

▷ 국토교통부의 목표대로 2030년에 절대적으로 건설자동화가 달성될 것으로 예상하는 것은 아니며, 그 시점을 기준으로 중점분야별 상대적 속도 차이를 예상하려는 목적임

- 주요 수치 추정을 위한 설문 문항 선택

▷ 중점분야 기술의 현재 적용수준 추정: 설문 항목 중 '현재 적용수준' 문항을 활용

▷ 중점분야 기술의 발전 속도 추정: 설문 항목 중 '도입 시급성' 문항과 '적용 가능성' 문항을 함께 활용

③ 핵심기술 선후관계 분석

- 중점분야별 핵심기술에 적용순서에 대한 문항의 응답결과를 활용
- 핵심기술별 도입 순서를 제시

3.3.3 건설단계별 기술지도 작성

■ 스마트 건설기술 건설단계별 기술로드맵

① 설계단계

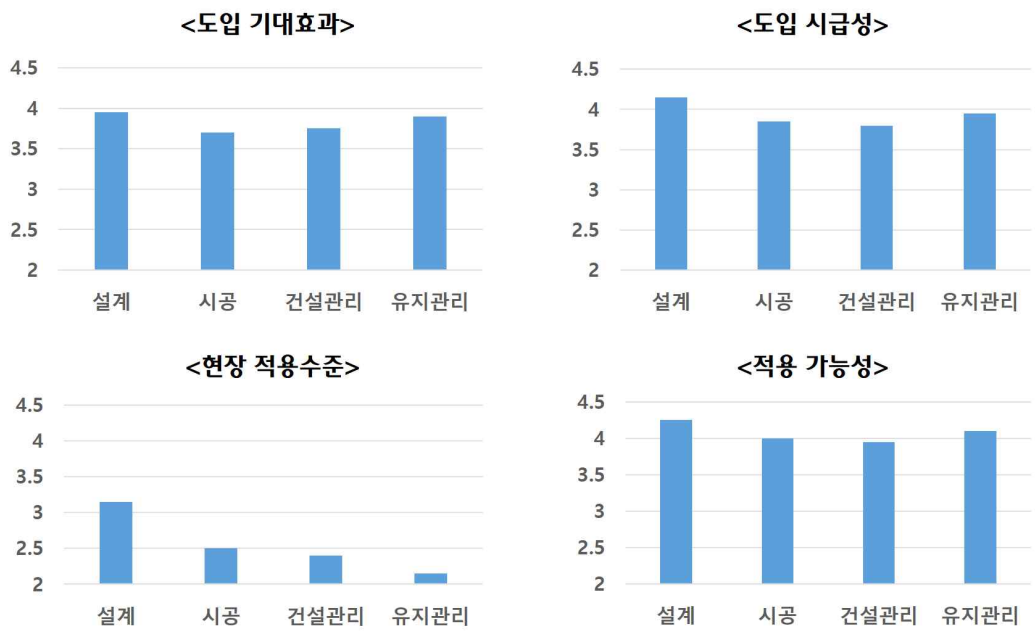
- 스마트건설기술 도입에 따른 높은 기대효과 및 시급성
- 상대적으로 높은 현재 현장 적용수준과 미래 적용 가능성
- 단기&중기 과제로 설정하여 우선적으로 개발 및 적용

② 시공단계(시공기술) 및 건설관리단계(사업관리)

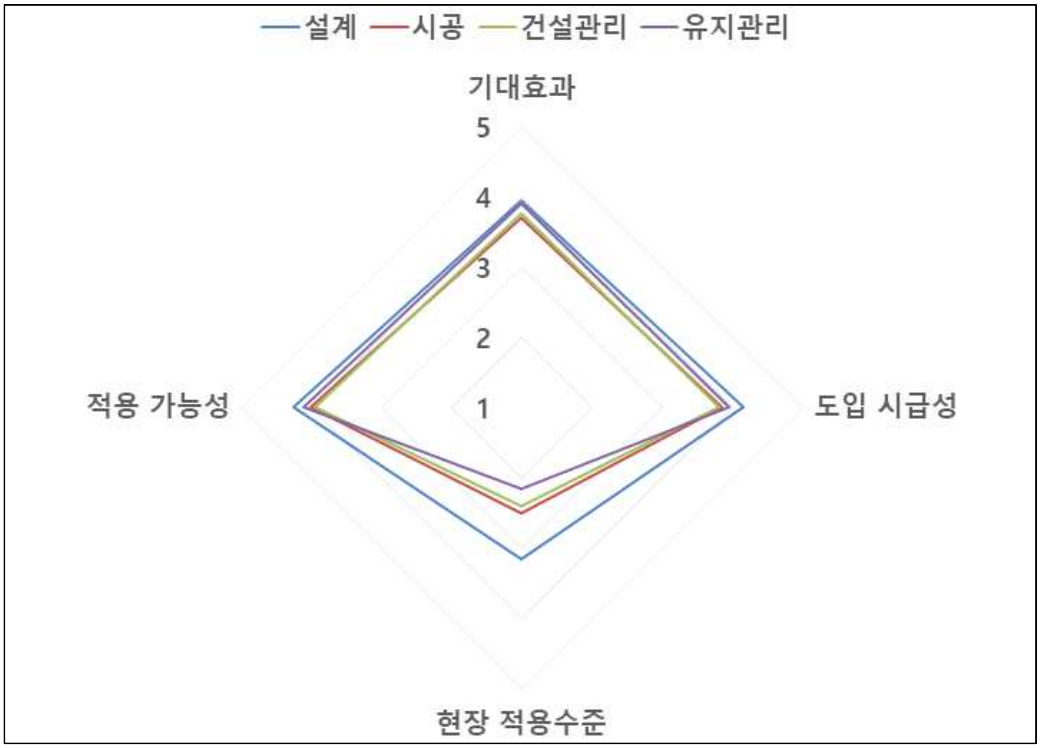
- 스마트건설기술 도입에 따른 상대적으로 낮은 기대효과 및 시급성
- 현재 현장 적용수준도 미비하며, 미래 적용 가능성도 상대적으로 떨어짐
- 단기적으로는 관련 기초기술 개발에 치중하고 중기&장기 과제로 설정하여 장기적 관점에서 개발 및 적용

③ 유지관리단계

- 스마트건설기술 도입에 따른 높은 기대효과 및 시급성
- 현재 현장 적용수준이 매우 낮지만, 미래 적용 가능성은 높게 평가
- 단기&중기&장기 과제로 설정하여 초기단계부터 체계적으로 준비



<그림 3-29> 건설단계 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ①



<그림 3-30> 건설단계 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 ②

■ 스마트 건설기술 중점분야별 기술로드맵

① 스마트 건설기술 중점분야 설문조사 분석의 주요 결과

- '장비자동화' 분야가 2030년에 100점에 도달하는 것을 기준으로 상대 비교
- 설계단계의 중점분야인 'BIM 설계' 의 경우, 본 분석에서는 제외

<표 3-7> 스마트 건설기술 중점분야 설문조사 분석 주요 결과

건설 단계	중점분야	현재기술 적용수준 (100점 만점)	예상 발전 속도 (점/년)	목표달성 기간 (100점 도달, 년)	목표달성 예상년도 (년)
설계	설계 자동화	39.4	8.7	7.0	2029
시공	장비 자동화	37.5	9.1	6.9	2029
	디지털 모델링	32.8	8.4	8.0	2030
	OSC	35.2	8.5	7.6	2030
건설 관리	스마트 안전관리	50.0	9.8	5.1	2027
	스마트 검측관리	41.9	9.2	6.3	2028
	스마트 품질관리	41.9	9.0	6.4	2028
유지 관리	데이터 변환	38.4	9.6	6.4	2028
	점검 및 진단 자동화	43.8	9.9	5.7	2028
	유지관리 플랫폼	38.4	9.4	6.6	2029

② 스마트 건설기술 중점분야 기술로드맵(기술 성숙도 시기 예측)

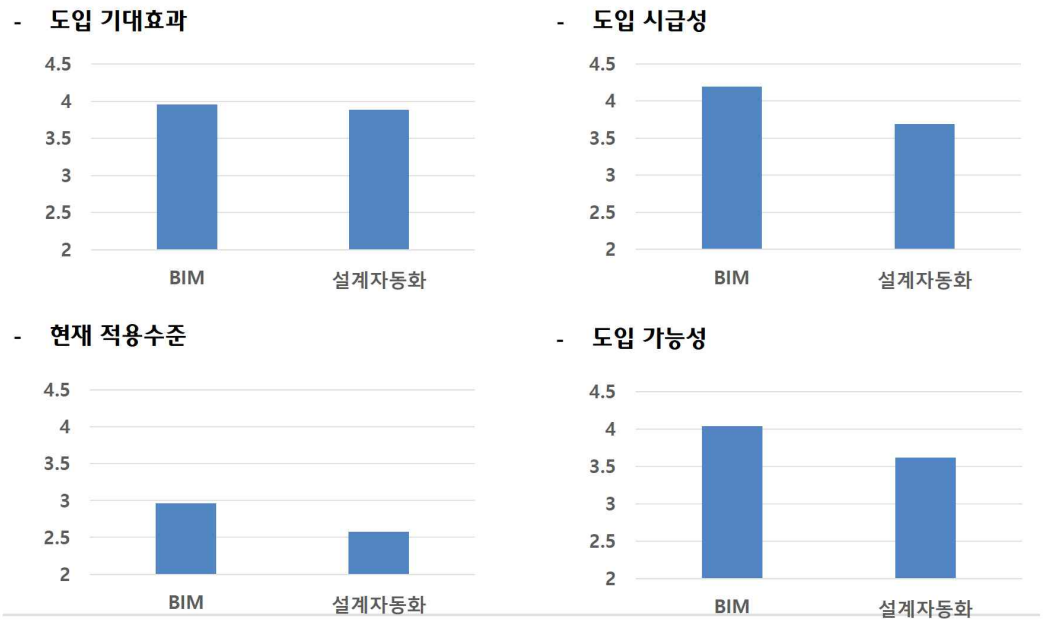
- BIM 중점분야의 경우, 기술발전보다는 기술의 적용수준의 문제로 보고, 국토부(2022)의 '스마트 건설 활성화 방안' 에서 제시된 BIM 적용 목표수준을 기준으로 제시함
- 스마트 건설기술 중점분야별 설문 분석결과 '장비자동화' 분야의 성숙시점이 가장 늦은 것으로 나타남
- 다음으로는 OSC, 설계자동화 중점분야가 기술 성숙시점에 늦게 도달할 것으로 예상됨
- '장비자동화' 분야는 현재 기술적용 수준이 가장 낮은 것으로 나타남
- '스마트안전' 분야는 현재 기술적용 수준이 스마트 건설기술 중점분야 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 그에 따라서 기술 성숙시점 또한 가장 이른 시기에 도달할 것으로 나타남
- 유지관리 단계의 '점검자동화' 중점분야 역시 이른 시기에 기술 성숙이 이루어질 수 있을 것으로 예상됨



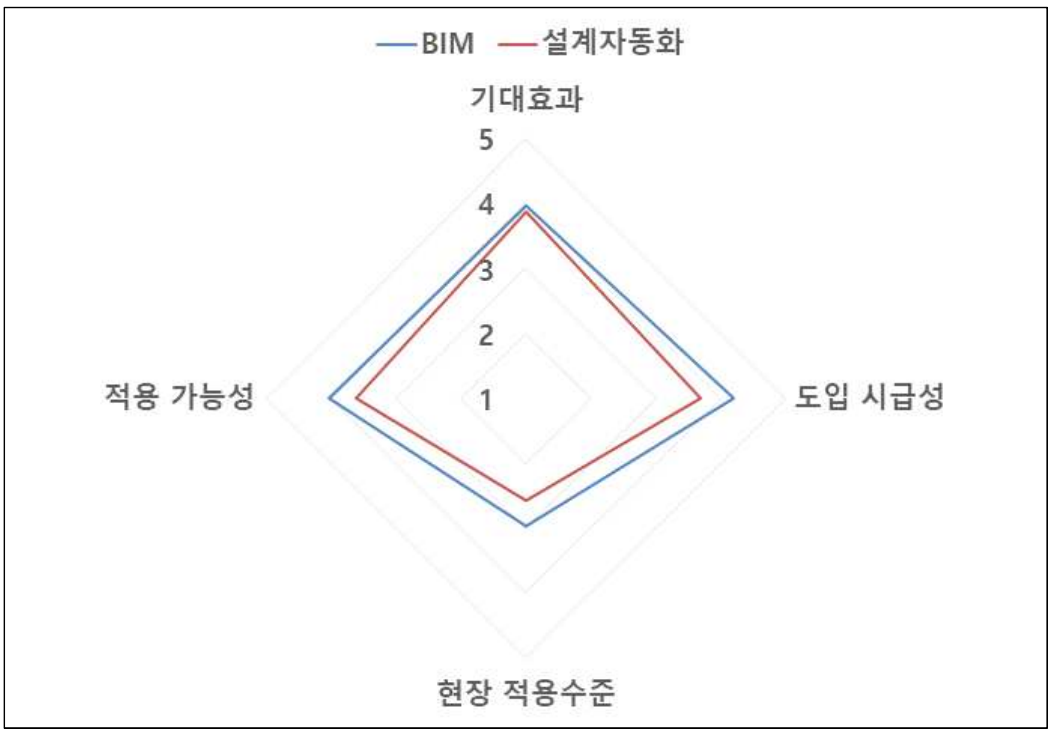
<그림 3-31> 스마트 건설기술 중점분야 기술로드맵

③ 설계단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 설문응답 결과

- 도입 필요성 및 현실성 모두에서 BIM 중점분야가 설계자동화 중점분야에 비해 더 높은 평가를 받음
- 설계단계에서는 BIM 관련 기술이 기본적으로 우선 적용되어야 함



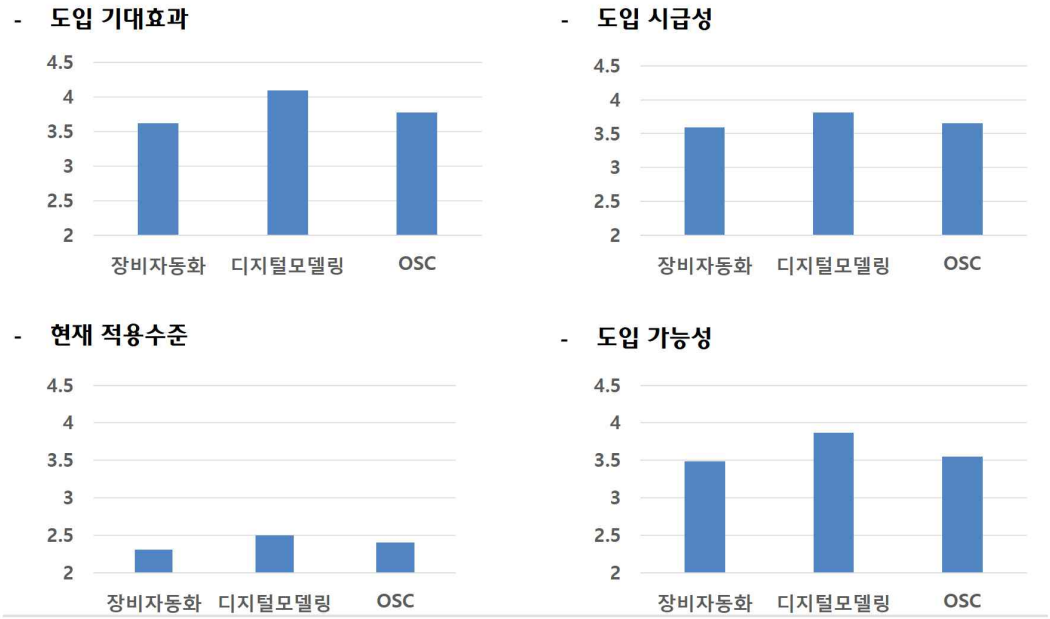
<그림 3-32> 설계단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과



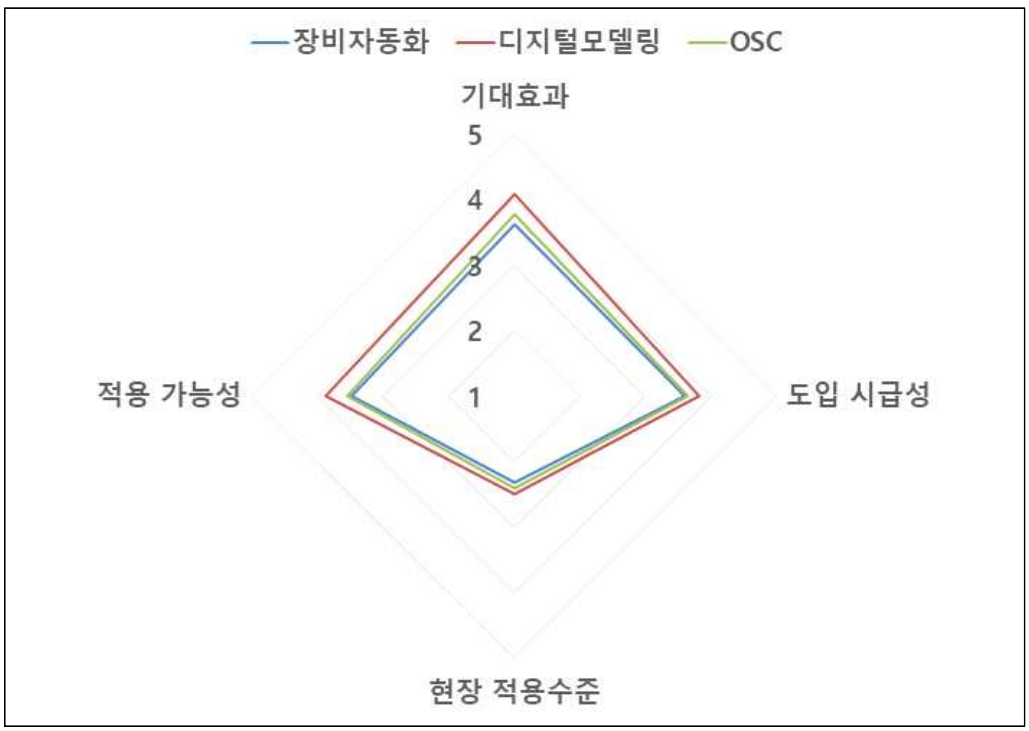
<그림 3-33> 설계단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교

④ 시공단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 설문응답 결과

- 도입 필요성 및 현실성 모두에서 디지털모델링 중점분야가 가장 높은 평가를 받았으며, OSC, 장비자동화 중점분야 순으로 평가받았지만 그 차이는 크지 않음
- 시공단계에서는 디지털모델링 관련 기술이 기본적으로 우선 적용되어야 함



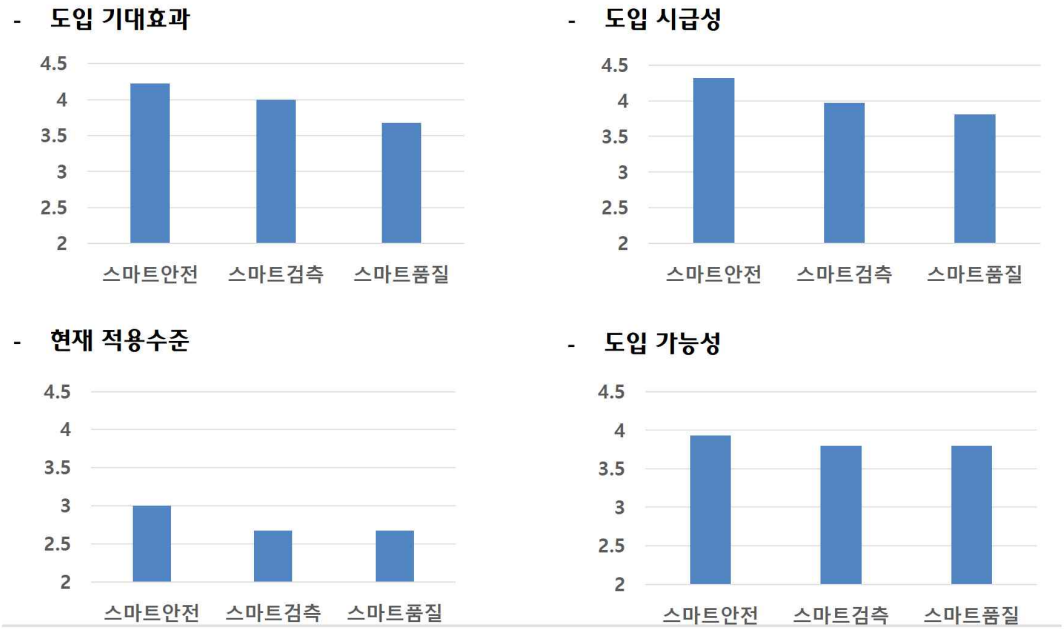
<그림 3-34> 시공단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과



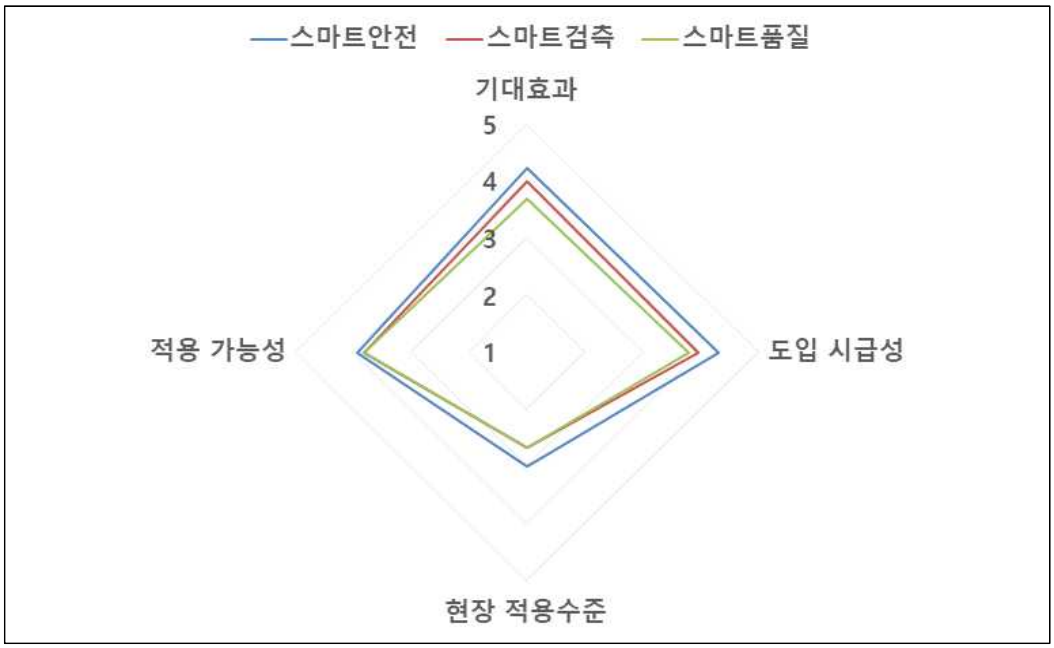
<그림 3-35> 시공단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교

⑤ 건설관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 설문응답 결과

- 도입 필요성 및 현실성 모두에서 스마트안전 중점분야가 가장 높은 평가를 받았으며, 스마트검측, 스마트품질 중점분야 순으로 평가받았음
- 건설관리단계에서는 스마트안전 분야가 가장 우선적으로 적용될 필요가 있음



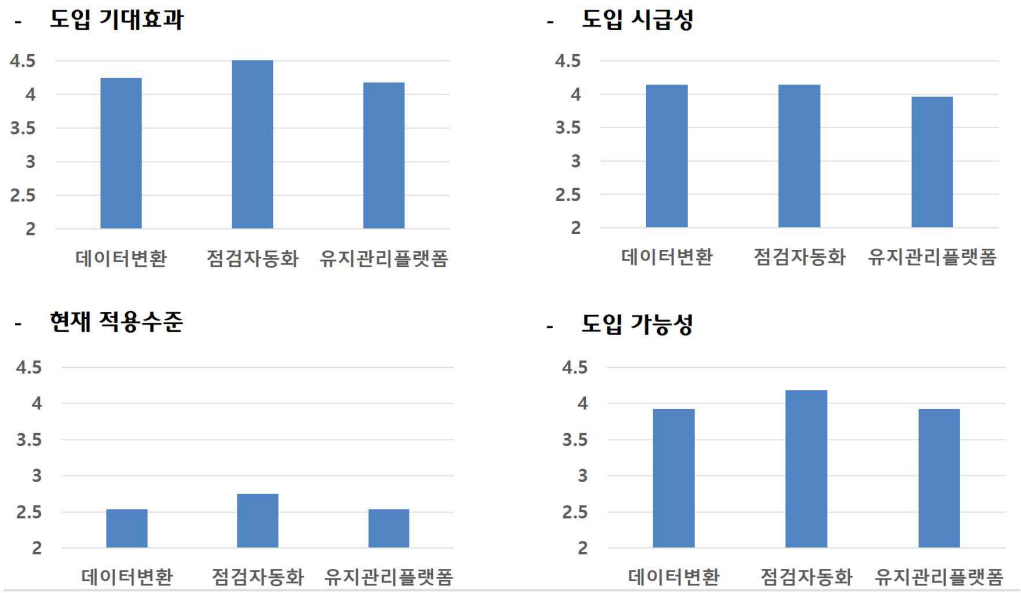
<그림 3-36> 건설관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과



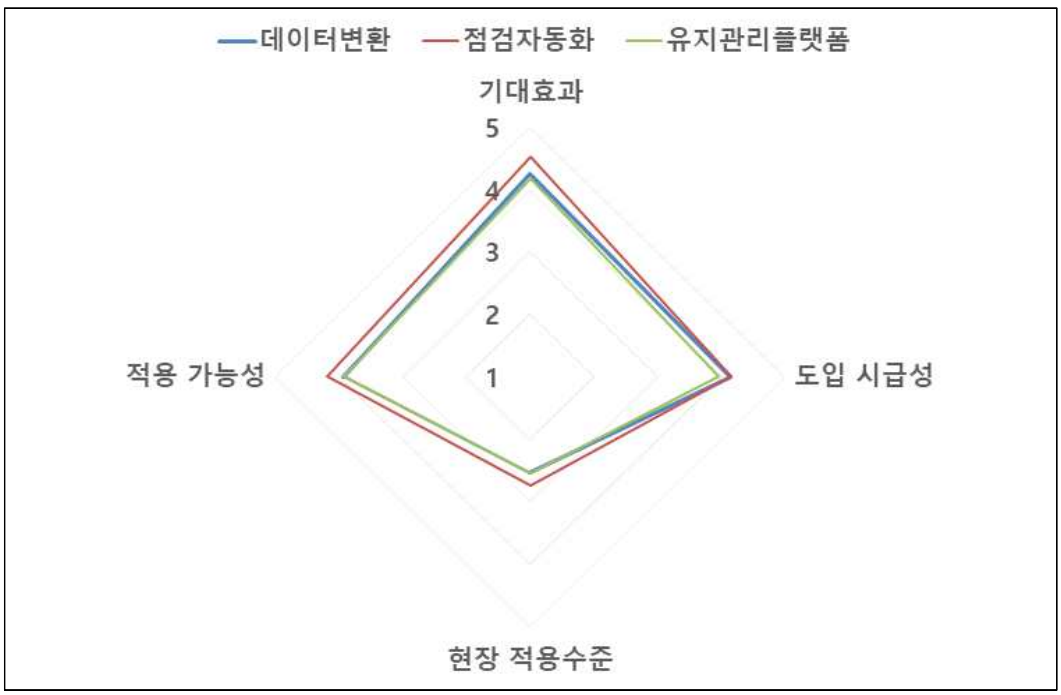
<그림 3-37> 건설관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교

⑥ 유지관리단계 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 설문응답 결과

- 도입 필요성 및 현실성 모두에서 점검자동화 중점분야가 가장 높은 평가를 받았으며, 데이터변환, 유지관리플랫폼 중점분야 순으로 평가받았음
- 유지관리단계에서는 점검자동화가 가장 주요한 분야로서 다루어져야 함



<그림 3-38> 유지관리 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과

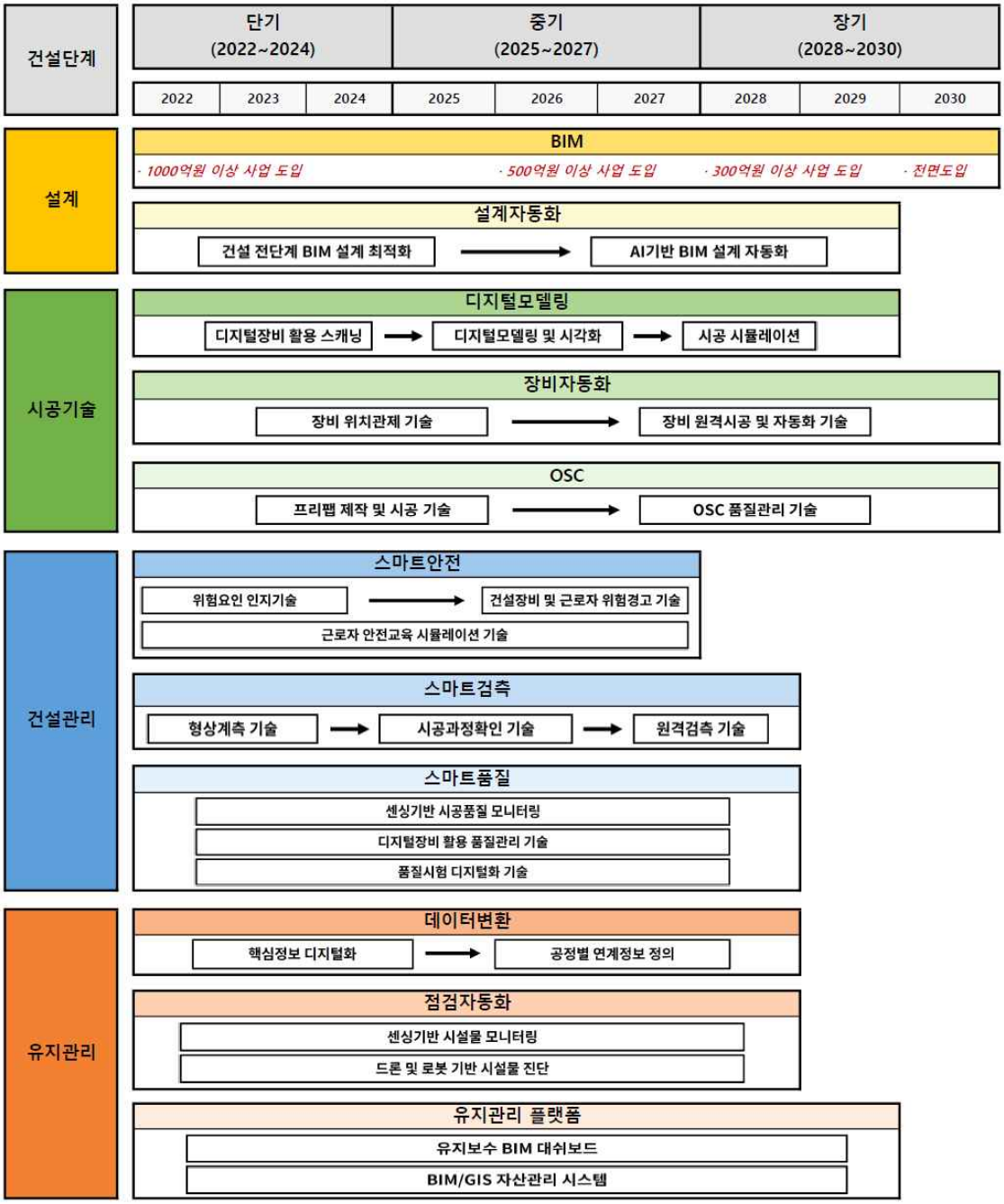


<그림 3-39> 유지관리 중점분야 스마트 건설기술 도입 필요성 및 현실성 응답 결과 비교

3.3.4 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 로드맵

■ 스마트 건설기술 중점분야별로 핵심기술 개발 사항을 반영한 기술로드맵

- 중점분야별 핵심기술 선후관계에 대한 설문 응답 결과를 활용
- 선후관계에 대한 상세 응답결과 분석결과는 건설단계별 상세 설명부문에서 제시

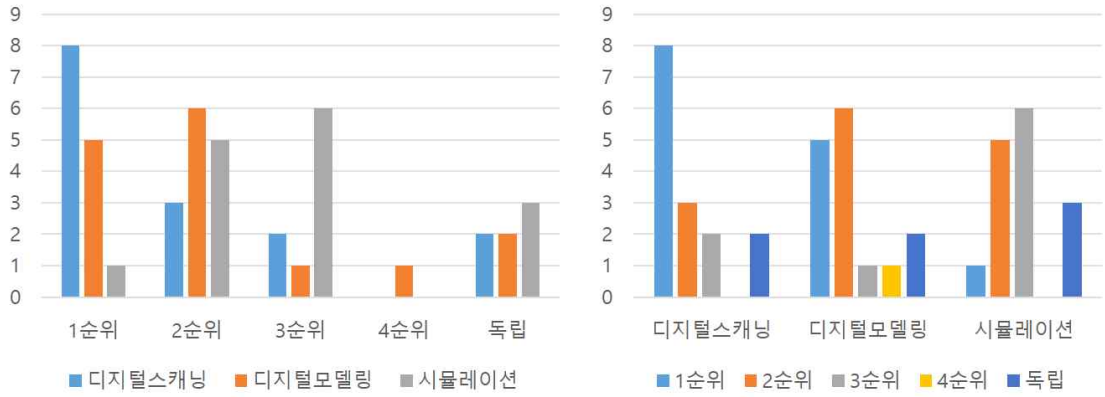


<그림 3-40> 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 로드맵

■ 시공(기술)단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

① 디지털 모델링 및 시뮬레이션 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

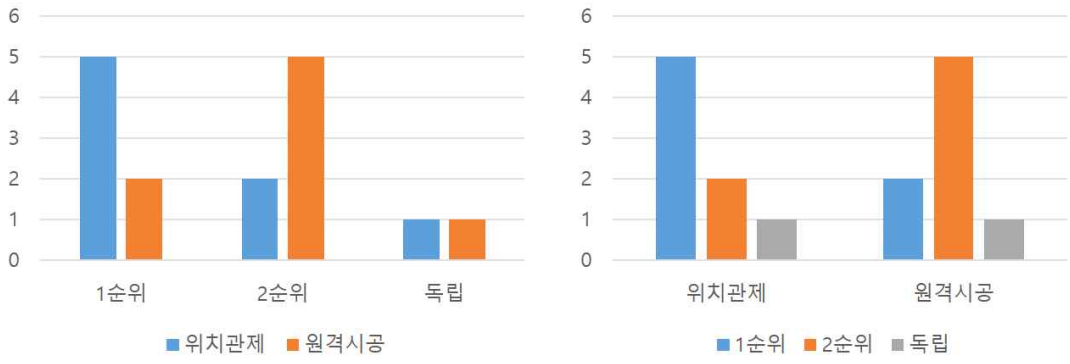
- 핵심기술 중 디지털스캐닝 기술이 우선적으로 적용된 후 디지털모델링 기술이 적용되고, 마지막으로 시공 시뮬레이션 기술이 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 디지털장비 스캐닝 → 모델링&시각화 → 시공 시뮬레이션 순서로 진행하는 것이 바람직



<그림 3-41> 디지털 모델링 및 시뮬레이션 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

② 장비자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

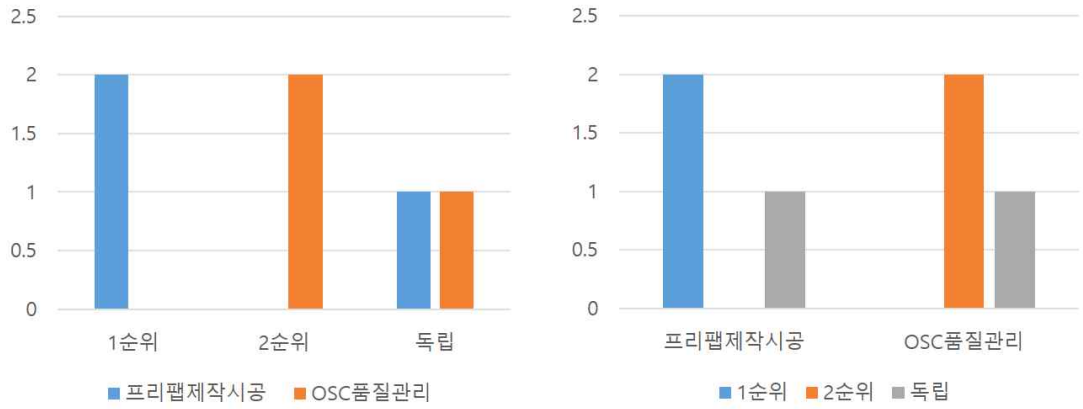
- 핵심기술 중 위치관제 기술이 원격시공 기술에 비해, 우선적으로 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 위치관제기술 → 원격시공기술 순서로 진행하는 것이 바람직



<그림 3-42> 장비자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

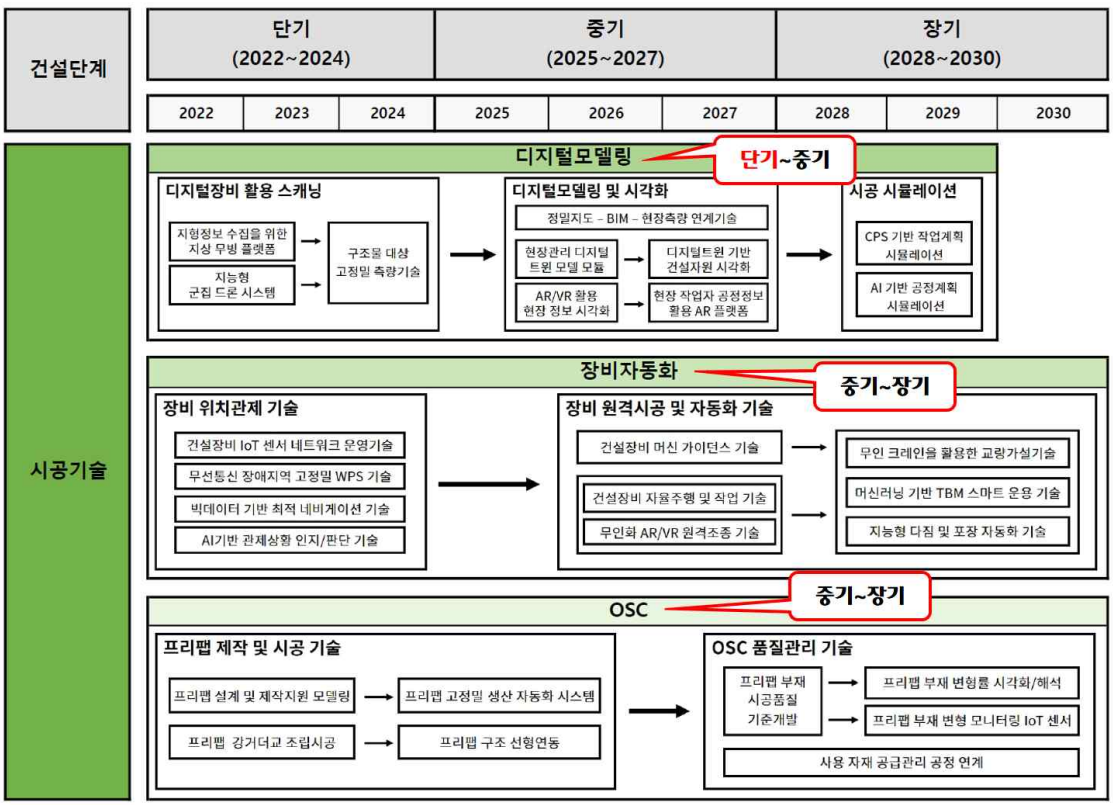
③ OSC 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

- 핵심기술 중 프리팹 제작 기술이 OSC 품질관리 기술에 비해, 우선적으로 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 프리팹 제작 및 시공기술 → OSC 품질관리 기술 순서로 진행하는 것이 바람직



<그림 3-43> OSC 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

④ 시공(기술)단계 스마트 건설기술 핵심기술 개발 기술지도

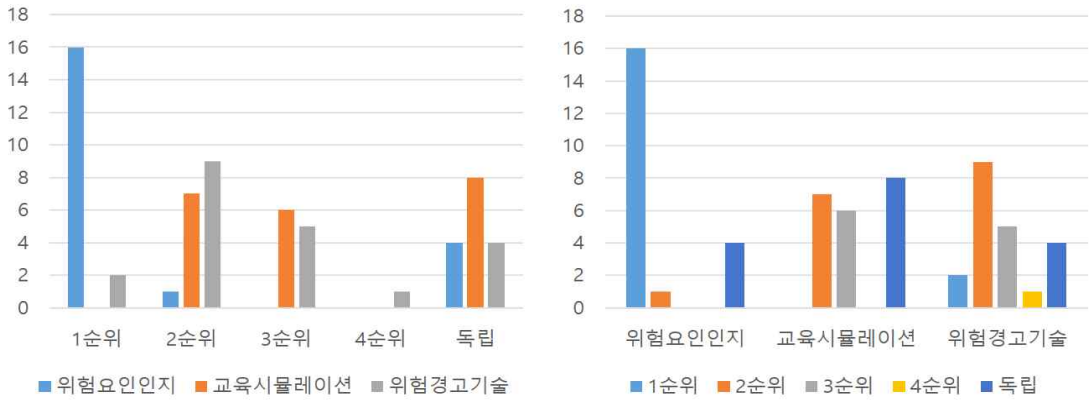


<그림 3-44> 시공(기술)단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

■ 건설관리단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

① 스마트 안전 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

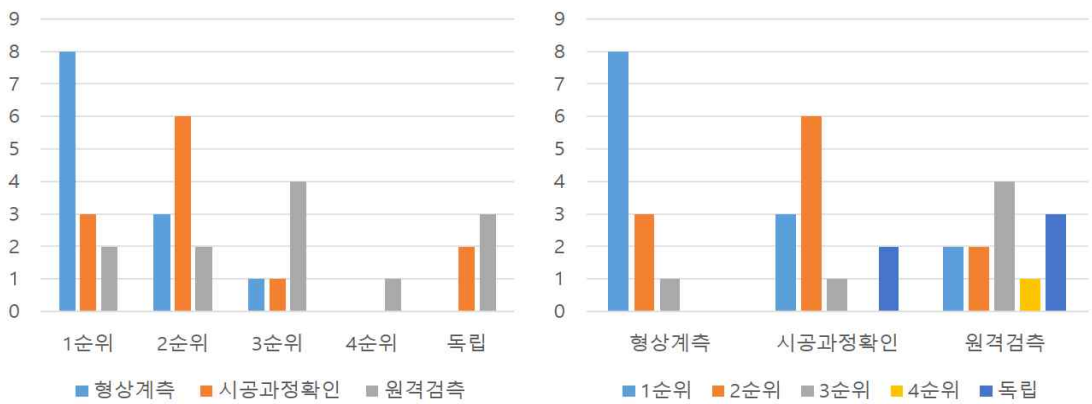
- 핵심기술 중 위험요인 인지기술이 우선적으로 적용된 후 건설장비 및 근로자 위험경고 기술이 적용되고, 근로자 안전교육 시뮬레이션 기술은 독립적으로 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 위험요인 인지기술 → 건설장비 및 근로자 위험경고 기술 순서로 진행하고, 근로자 안전교육 시뮬레이션 기술은 별도로 진행하는 것이 바람직



〈그림 3-45〉 스마트 안전 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

② 스마트 검측 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

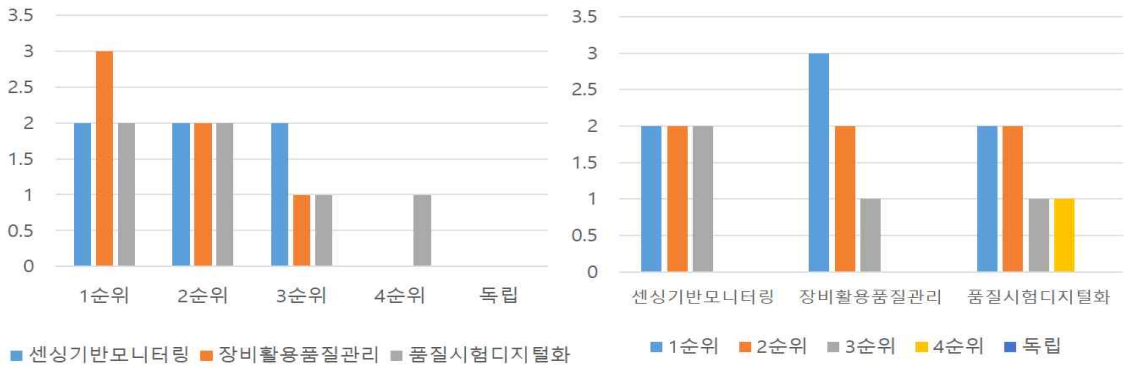
- 핵심기술 중 형상계측 기술이 우선적으로 적용된 후 시공과정 확인기술이 적용되고, 마지막으로 원격검측 기술이 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 형상계측 기술 → 시공과정 확인기술 → 원격검측 기술 순서로 진행하는 것이 바람직



〈그림 3-46〉 스마트 검측 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

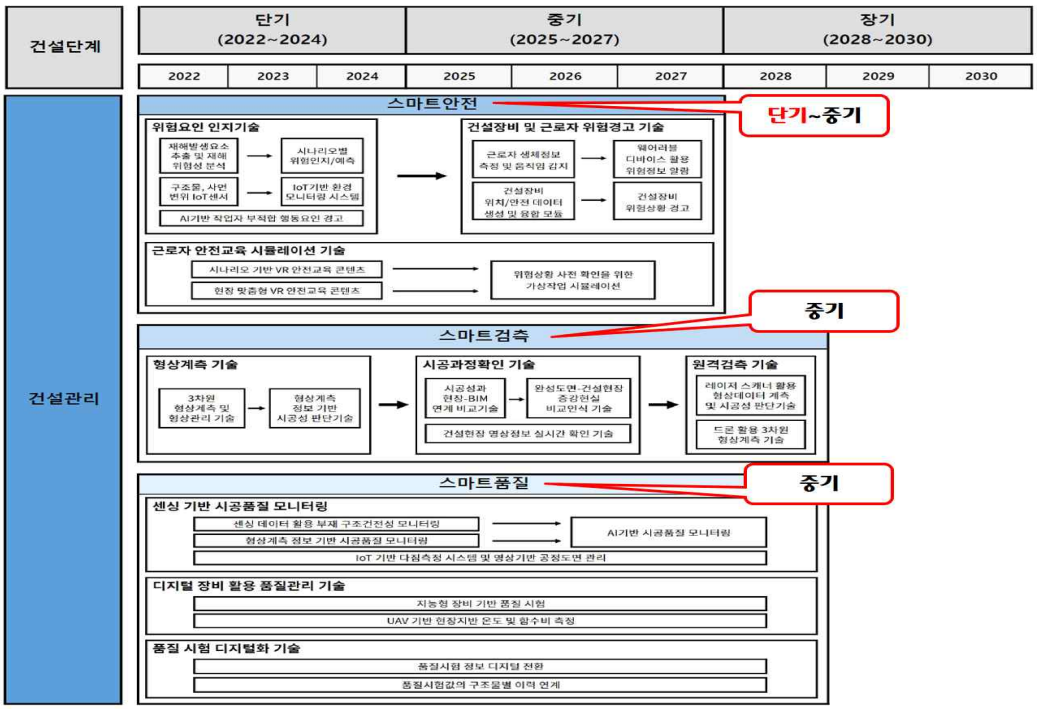
③ 스마트 품질 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

- 핵심기술 중 우선순위에 대한 뚜렷한 차이가 있는 것으로 평가받지 않음
- 디지털 장비활용 품질관리 기술이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났으나, 센싱 기반 시공품질 모니터링 기술 및 품질 실험 디지털화 기술과 비교하여 그 차이가 크지 않았음
- 센싱 기반 시공품질 모니터링 기술, 디지털 장비활용 품질관리 기술, 품질 실험 디지털화 기술이 독립적으로 진행되는 것이 바람직



〈그림 3-47〉 스마트 품질 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

④ 건설관리단계 스마트 건설기술 핵심기술 개발 기술지도

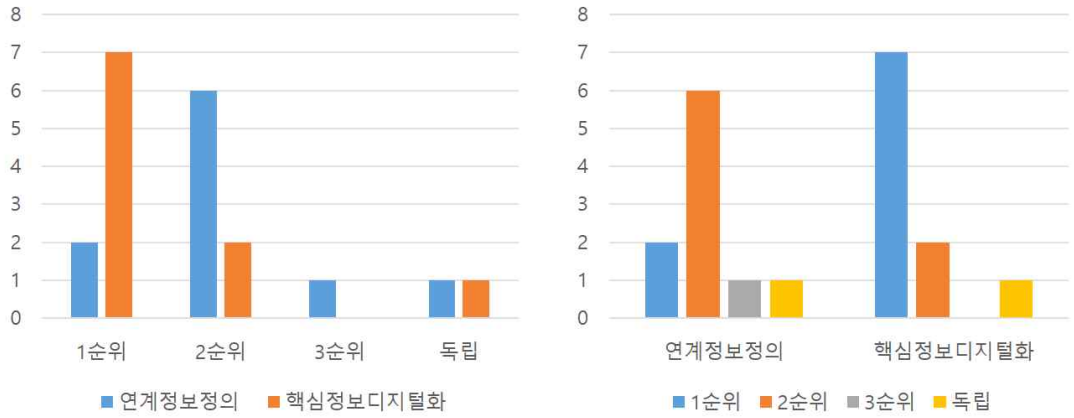


〈그림 3-48〉 건설관리단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

■ 관리운영단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

① 데이터 변환 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

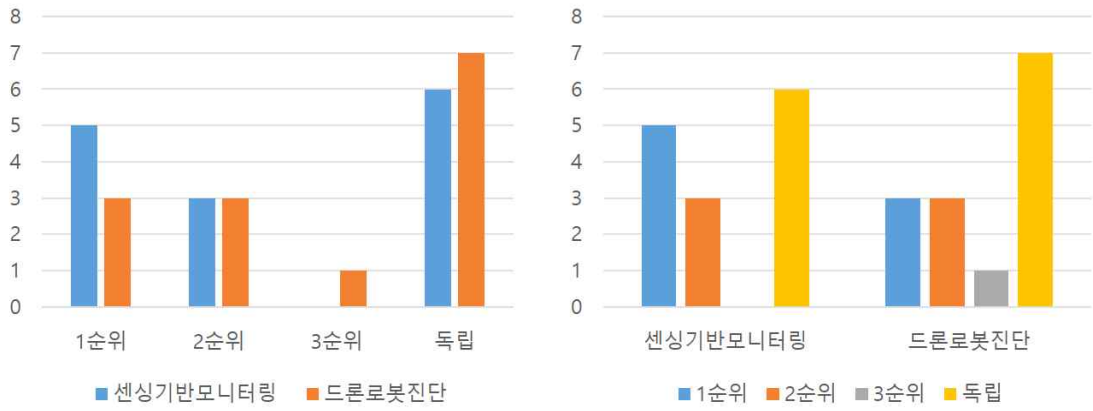
- 핵심기술 중 핵심정보 디지털화 기술이 공정별 연계정보 정의 기술에 비해, 우선적으로 적용되어야 하는 것으로 평가받음
- 핵심정보 디지털화 → 공정별 연계정보 정의 순서로 진행하는 것이 바람직



<그림 3-49> 데이터 변환 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

② 점검자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

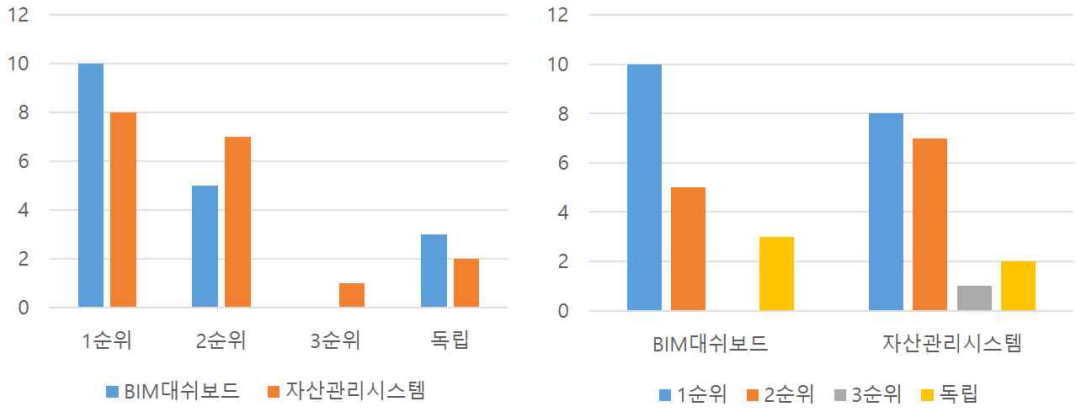
- 핵심기술 중 센싱 기반 시설물 모니터링 기술과 드론 및 로봇 기반 시설물 진단 기술 모두에서 독립적 진행 항목이 가장 높게 평가받음
- 센싱 기반 시설물 모니터링 기술과 드론 및 로봇 기반 시설물 진단 기술이 독립적으로 진행되는 것이 바람직



<그림 3-50> 점검자동화 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

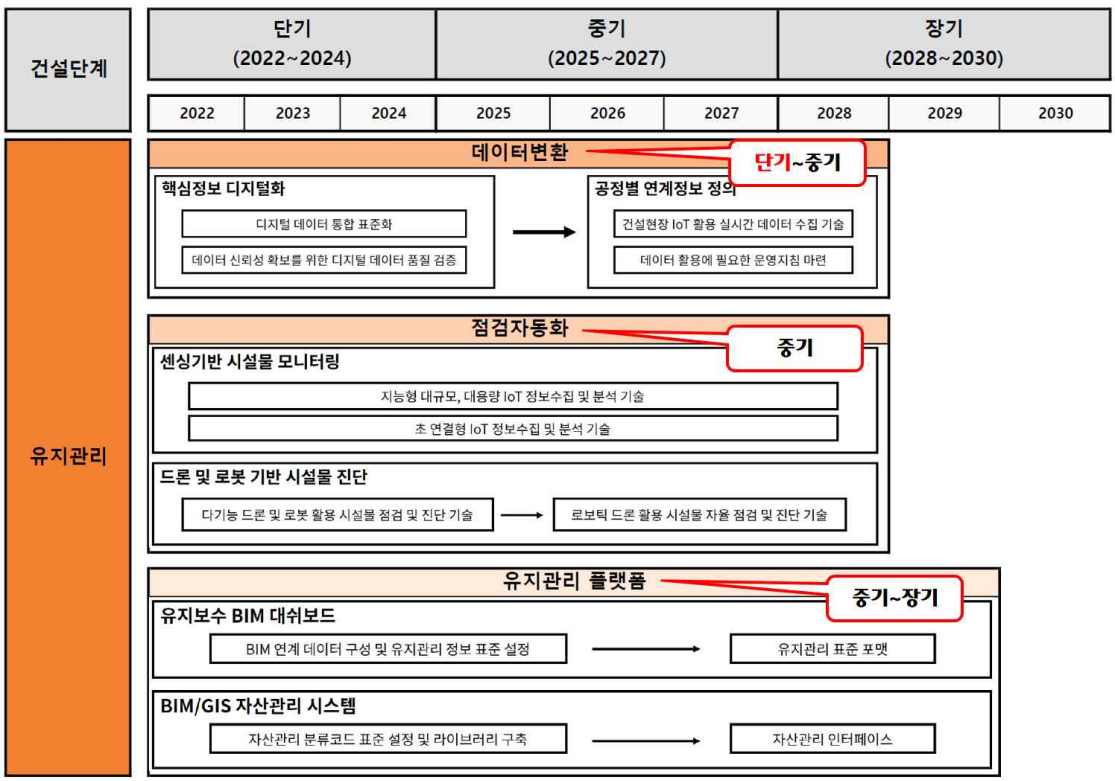
③ 유지관리 플랫폼 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

- 핵심기술 중 우선순위에 대한 뚜렷한 차이가 있는 것으로 평가받지 않음
- BIM 대쉬보드 기술이 가장 우선순위가 높은 것으로 나타났으나, 자산관리 시스템 기술과 비교하여 그 차이가 크지 않았음
- BIM 대쉬보드 기술, 자산관리 시스템 기술이 독립적으로 진행되는 것이 바람직



<그림 3-51> 유지관리 플랫폼 중점분야 핵심기술 선후관계 설문 응답 결과

④ 관리운영단계 스마트 건설기술 핵심기술 개발 기술지도



<그림 3-52> 관리운영단계 스마트 건설기술 중점분야별 핵심기술 개발 기술지도

3.3.5 스마트건설 사업관리 로드맵



<그림 3-53> 스마트건설 사업관리 로드맵

제4장 건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립

4.1 스마트건설 사업관리의 정의 및 개념 제시

4.2 스마트건설 사업관리 관련 제도 개선 및 변화 방안

4.3 건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표

4.4 단계별 세부 실행과제

제4장 건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립

4.1 스마트건설 사업관리의 정의 및 개념 제시

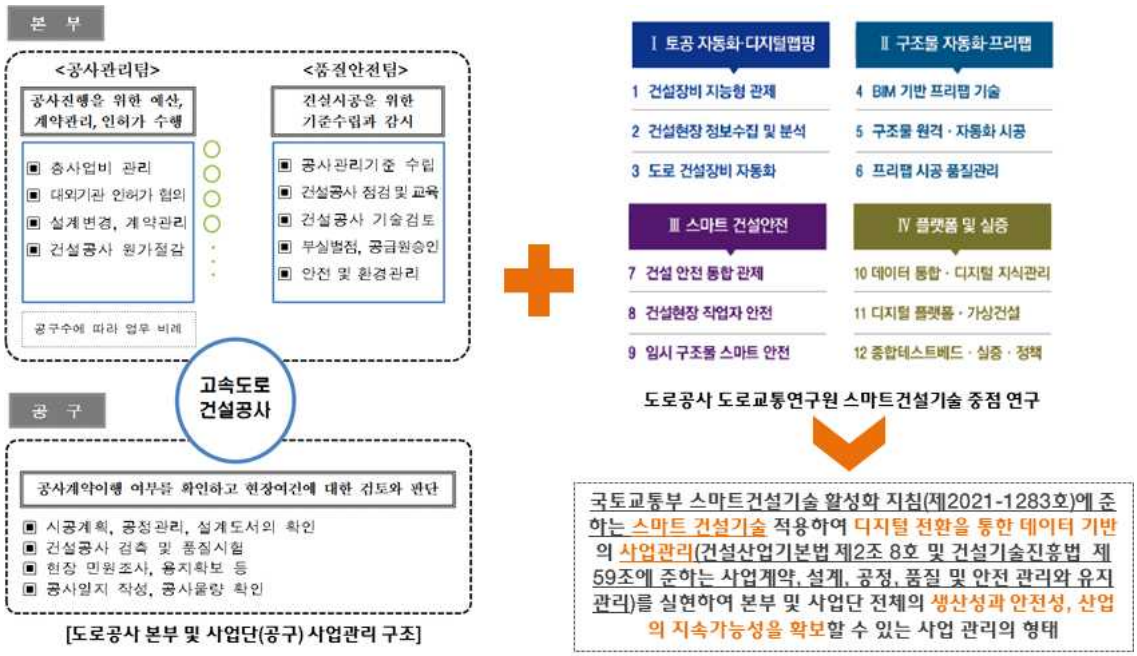
- 국토교통부고시 제2021-1283호 스마트건설기술 활성화 지침에 의거하여 ‘스마트건설기술’이란 공사기간 단축, 인력투입 절감, 현장 안전 제고 등을 목적으로 전통적인 건설기술에 로보틱스, AI, BIM, IoT 등의 첨단 디지털 기술을 적용함으로써 건설공사의 생산성, 안정성, 품질 등을 향상시키고, 건설공사 모든 단계의 디지털화, 자동화, 공장제작 등을 통한 건설 산업의 발전을 목적으로 개발된 공법, 장비, 시스템 등을 말함

- 본 연구에서는 국내외 디지털 · 스마트기술의 도입에 따른 정책, 도입 사례와 더불어 현재 도로공사 건설관리 업무 프로세스 분석, 건설단계별 기술지도 작성, 전문가 및 현장근로자의 설문을 통해 스마트건설기술의 중요도 조사 및 평가를 진행함

- 일반적으로 스마트건설기술은 크게 7가지로 실시간 검측 및 모니터링 기술, 데이터 기반 설계 및 현장관리, 3D 모델링 및 BIM, 3차원 계측 기술 및 품질관리 기술, 위치 데이터 활용 기술 및 장비 자동화 기술, 터널 굴착 자동화 및 지하 유틸리티 검측 기술, 원격/자동 시공 기술임

- 연구 성과의 구현 및 활성화를 위해 기존 도로공사의 본부 및 사업단의 사업관리구조를 검토하고 도로교통연구원의 스마트건설기술 중점 연구를 적용하여 도로공사 스마트건설 사업관리(안)을 제시하고 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립을 통해 건설사업의 디지털혁신을 구체화시키고자 함

- 최종적으로 국토교통부고시에 준하는 스마트 건설기술을 적용하여 디지털 전환을 통한 데이터 기반의 사업관리(건설산업기본법 제2조 8호 및 건설기술진흥법 제 59조에 준하는 사업계약, 설계, 공정, 품질 및 안전 관리와 유지 관리)를 실현하여 본부 및 사업단 전체의 생산성과 안정성, 산업의 지속가능성을 확보할 수 있는 사업관리의 형태로 구현하고자 함



<그림 4-1> 도로공사 스마트건설 사업관리 (안)



출처:http://www.smartconstruction.kr/storage/app/images/709faeae0b358cc963e472ef0ae1b952.pdf

<그림 4-2> 디지털 기술 기반 도로공사 개요

4.2 스마트건설 사업관리 관련 제도 개선 및 변화 방안

4.2.1 BIM 활성화 및 디지털화 촉진을 위한 발주방식 제안

■ 건설사업의 발주방식에는 목적에 맞는 각각의 발주방식이 존재하고 있으며, 정책과제도, 환경의 변화를 도모함에 따라 스마트건설 사업관리에 합당한 발주방식을 제안하고자 함

■ 국내의 턴키(Trun-Key) 제도는 발주자 입장에서 보면 설계참여도가 낮고 품질관리의 한계점이 있으며, 스마트건설기술 도입 자체가 낙찰 사업자에 달려있음

■ 더불어 BIM 전면 설계는 비용적, 구조적 문제 등으로 도입이 어려우며 실질적인 조기참여 및 협력이 어려워 싱가포르의 ECI, 미국의 IPD 방식처럼 기본설계 이후의 단계가 아닌 개념/기초설계 단계에서부터의 시공사 및 컨설턴트의 참여 독려가 가능한 발주방식의 도입이 필요함

■ 스마트건설기술 도입 및 효율의 극대화를 위해서는 설계단계에서부터 발주자와 시공자의 조율과 설계자체에 기술 도입의 의도가 접목이 되어야 함

■ 건축 분야에서 CM@Risk를 통해 기본설계 이후 시공사가 참여하나 여전히 스마트기술 도입과 효율적인 활용엔 한계가 있어 설계부터 공사/유지관리 단계까지 BIM의 효율적인 활용을 위해서는 그 정보와 데이터의 연속성이 중요하므로, 각각의 건설사업단계에 구애 받지 않을 수 있도록 기초설계단계부터 BIM 전면설계로 진행이 되면서 이해당사자의 사업성공을 위한 통합적 관점의 발주방식이 필요함

<표 4-1> BIM 활성화 및 디지털화 촉진을 위한 발주방식

발주방식	• 시공책임형 사업관리 (CM@Risk)
	• 조기시공사참여 (Early Contractor Involvement; ECI)
	• 통합프로젝트조달 (Integrated Project Delivery; IPD)

■ 시공책임형 사업관리(CM@Risk) 발주방식

- 종합심사낙찰제 대상사업의 실시설계 단계에서 시공자를 먼저 선정하고, 시공자가 주도하여 설계 참여 및 시공을 수행하는 방식으로 실시설계금액 확정 이후 시공계약 체결, 공사 중 확정금액 이상의 계약변경이 제한됨

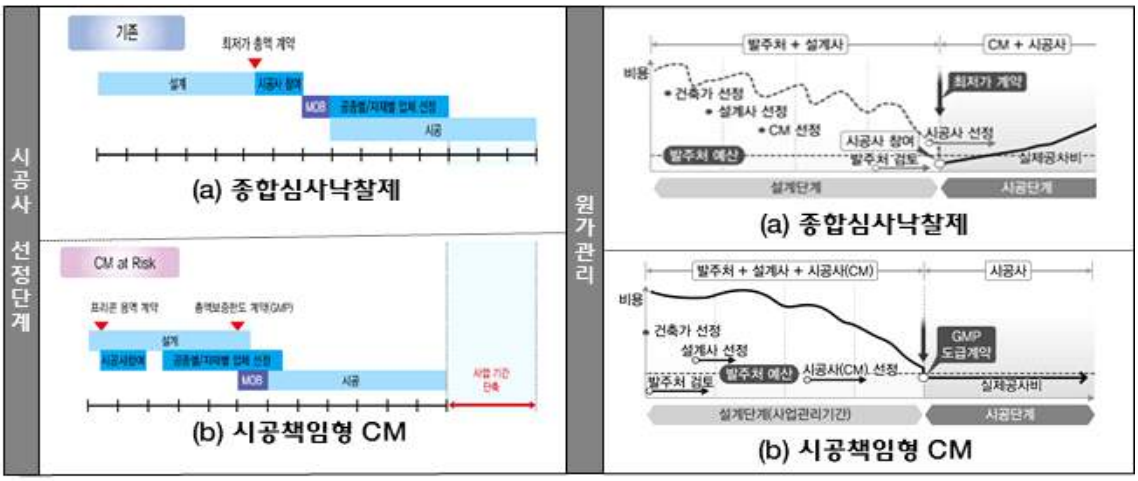
- 또한 설계단계에서 시공자가 참여하여 설계품질을 향상하고 시공단계 설계변경을 최소화하는 한편 시공자의 책임시공을 유도할 수 있으며, 건설사의

다양한 시공노하우와 기술을 실시설계단계에 반영 가능함

- 이를 통해 시공자 주도 시공환경을 조성할 수 있으며, 다양한 민간의 스마트건설기술 촉진과 발굴이 가능함

- 현재 심사기준에서 종합심사낙찰제 대비 정량적 부문에서 전문성에 높은 점수를 배점하며 기존에 없던 정성적 부문에서 역량, 사업관리계획, 시공계획에 대해 각각 배점을 부여해 심사를 진행함

- 업무범위에서도 설계 관리, 공사비 관리, 시공 계획 수립에서의 주요 업무에서 발주처, 설계사, 시공사 별로 분류함



출처 : 한국건설관리학회 특집, 제17권 제3호 조상우(2016), CM at Risk 도입과 시사점 - 미국 건설산업의 혁신 및 시사점

<그림 4-3> 종합심사낙찰제 시공책임형CM 비교

구 분		종심제		시공책임형CM		비 고
		심사항목	배점	심사항목	배점	
계		100점		100점		
정 량	소계	정 량	50점	정 량	60점	
	공사(사업) 수행 능력	전문성	29점	전문성	50점	
		역 량	20점	역 량	9점	
		일자리창출	1점	일자리창출	1점	
		사회적책임	가점2점	사회적책임	가점2점	
가 격		입찰금액 적정성	50점	입찰금액	20점	
정 성		-	-	역 량	20점	수자원 공사 28점
				사업관리계획	12점	
				시공계획	8점	
계약신뢰도		기술자 투입계획 등	감점	기술자 투입계획 등 (시공계획 위반)	감점	

주요 업무			발주처	설계사	시공사	비 고
설계 관리	설계서 작성			○	△	
	설계서 검토 및 대안 제시		◎	△	○	
	설계서 승인(변경사항 포함)		○			
	VE	1) VE 요소 발굴	◎	◎	○	
		2) VE 검토	◎	◎	○	
		3) VE 승인	○			
	시방서 작성			○	◎	특기시방서 (신공법 등 VE제안 관련) 시공사 작성
	시공성 검토			△	○	
	설계사합동회의체(BRM)		△	◎	○	
공사비 관리	전체 공사비관리		◎	△	○	
	공사비 산출 및 견적			○	◎	.설계가산출 : 설계사 .실행예가산출 : 계약상대자
시공 계획 수립	공정계획 수립 및 최적화		△		○	.인력, 자재/장비 등
	공사수행계획 수립				○	
	자재 구매조달 계획		△		○	

<그림 4-4> 시공책임형 사업관리 발주방식 심사기준 및 업무범위

■ 조기시공사참여(Early Contractor Involvement; ECI) 발주방식

- 설계단계에서부터 시공업체의 참여를 독려하여 시공성을 고려한 높은 품질의 설계안을 도출하고 원가절감, 공사관리 방안을 검토할 수 있도록 하는 방식으로 BIM기반의 시공간섭, 시공성 고려 설계 등을 사전에 검토할 수 있어 전면 BIM 설계에 적합한 모델임

- 설계안이 없으므로 발주자와 시공자의 신뢰관계가 매우 중요하게 적용되며 싱가포르에서는 4가지 방식의 ECI 모델(DN, ECI-DB, ECI-DDB, DBB-ECI)을 도입하고 컨설턴트를 고용하여 설계개요부터 입찰참여 및 스마트시공기술 제안 등에 관여함

- 다음 표는 ECI 발주방식의 개요와 장단점에 대해 서술함

<표 4-2> 싱가포르의 ECI 발주방식 및 수행목록

모델	ECI 발주방식	투입되는 건설 이해관계자
1	Design & Build (D&B)	설계개요(Design brief)에 기반하여 전 영역(Arch, C&S, MEP)의 설계를 수행
2	Design Development & Build (DBB)	건축의 개념설계(Concept design)에 기반하여 C&S, MEP의 상세설계를 수행
3	Design Bid Build with Early Contractor involvement (DBB-ECI)	전체 디자인(full design)에 기반하여 대안설계 솔루션을 제공
4	Design Bid Build - Progressive Project Information (DBB-ECI-PPI)	전체 디자인(full design)에 기반하여 누락된 정보, 상호충돌, 디자인 간섭 등을 강조

출처: Singapore(2018), Guide for early contractor involvement procurement method for public sector construction project"

<표 4-3> ECI 발주방식의 장단점

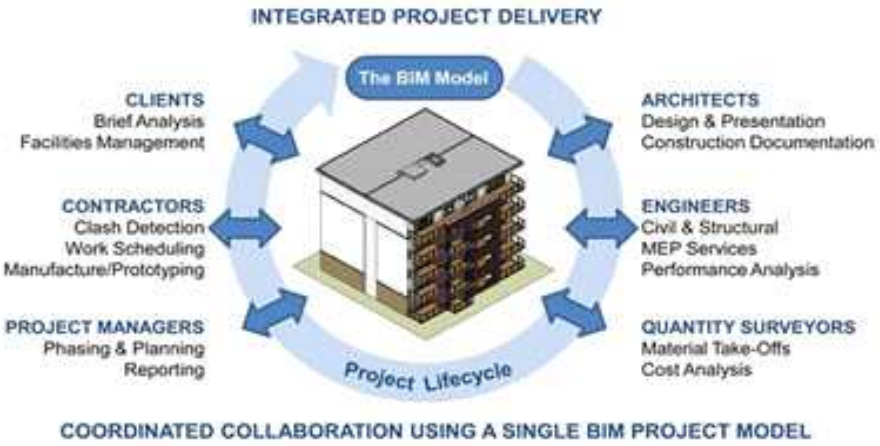
모델	ECI 발주방식	장점	단점
1	D&B	- 설계에 대한 시공사의 많은 관여 가능 - 시공사의 설계관여로 잠재적 비용 절약 - 더 긴 입찰 기간에도 불구하고 더 짧은 공사 기간으로 인한 잠재적 시간 절약	- 발주자의 PM 능력이 떨어진다면 외부 컨설턴트를 고용하여 도움을 받아야함 - 컨설턴트가 설계에 대해서 통제하기 때문에 발주자는 설계의 통제 권한이 없음
2	DBB	- 발주자는 건축부문 개념설계에 대한 통제권을 보유함 - 신공사의 설계 개입으로 기술적으로 효과적인 솔루션이 고려됨 - 시공사의 설계관여로 잠재적 비용 절약 - 더 긴 입찰 기간에도 불구하고 더 짧은	- 시공사의 C&S, MEP 측면의 개입에 제한이 있음

		공사 기간으로 인한 잠재적 시간 절약	
3	DBB -ECI	- 발주자는 기본 입찰용 전체 디자인에 대한 통제권을 보유 - 입찰 후가 아니라 입찰 단계에서 설계 개선을 통해 시공사의 설계개입을 허용 - 시공사의 설계관여로 잠재적 비용 절약 - 더 긴 입찰 기간에도 불구하고 더 짧은 공사 기간으로 인한 잠재적 시간 절약	- 입찰 기간 동안 발주자와 컨설턴트가 좀 더 개입해야 함 - 시공사의 설계개입은 D&B와 DBB보다 더 제한적임
4	DBB -ECI -PPI	- 발주자는 전체 설계에 대한 통제권을 가짐 - PPI 단계에서 시공사의 설계 오류에 관련된 개입이 가능 - 시공사는 해당 프로젝트의 세부사항에 대하여 좀 더 많은 시간의 검토가 가능 - 시공단계에서 RFI의 횟수를 줄임으로써 시간을 절약할 수 있음	- 시공사의 개입은 주로 RFI를 최소화하는 것으로 제한되며 D&B 및 DBB-ECI에 비해 개입이 더욱 제한됨

출처: SPM Professional Technical Talk Series ECI, Tech Wooi Sin Arcadis Project Management Pte Ltd

■ 통합프로젝트조달(Integrated Project Delivery) 발주방식

- 인적자원, 시스템, 물적자원, 사업구조와 시행 등 모든 전 과정을 통합하여 참여자들이 각각의 고유 기능을 동원하여 최적의 프로젝트 결과를 내기 위한 발주방식으로 다자간 계약을 바탕으로 발주자, 건축사, 시공사 모두가 하나의 팀을 구성한다고 볼 수 있으며, 이를 통해 효과적인 사업성과를 기대 가능함



출처: https://sites.google.com/site/dt775group4/home/integrated-project-delivery

<그림 4-5> 통합프로젝트조달(Integrated Project Delivery) 발주방식

- BIM 전면설계를 가능하게 하며, 최종적인 목표가 공동의 프로젝트 성공이므로, BIM기반으로 시공성, 품질, 안전, 공정 및 기성 등에 대한 모든 내용을 합의하며 설계가 진행 가능함

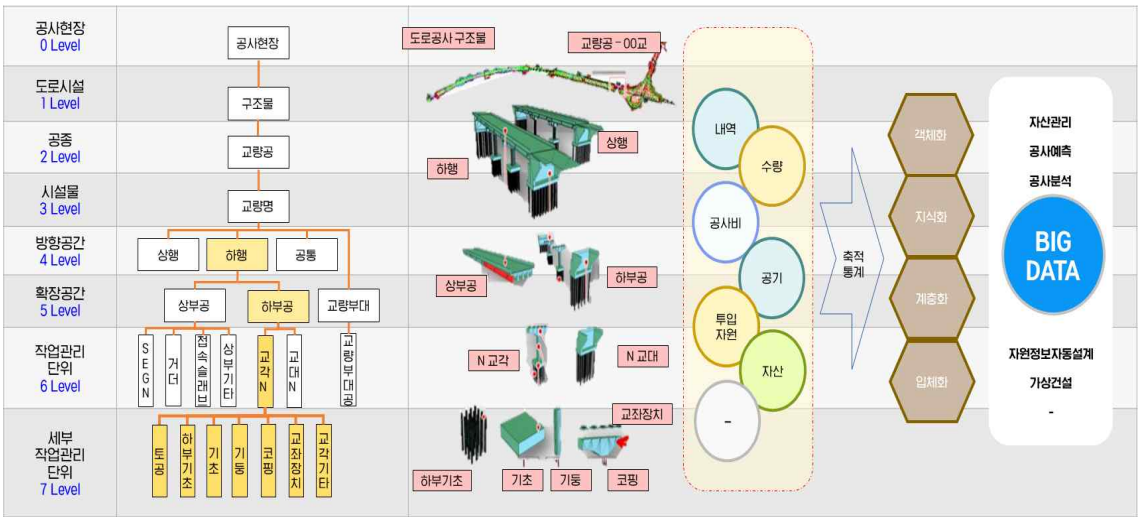
- 또한, 모든 사업 참여자의 동의하에 스마트기술의 사용을 독려하거나 의존할 수 있도록 하고, 여기서 얻어지는 모든 데이터가 공동으로 사용되어지고 오픈되므로 운용 가능한 데이터 교환 시스템이 요구됨. 사업 시작부터 논의가 되므로 시공단계 기술적용이 용이하다고 볼 수 있음

4.2.2 조달청의 작업분류체계(WBS) 개요 및 구성

■ 시설물 완성에 필요한 세부공종 및 내역을 통합하는 정보분류체계로 목적물을 공간 및 부위별로 분류하는 작업분류체계(WBS, Work Breakdown Structure)는 개념적 분류체계인 CBS(Cost Breakdown Structure)와 달리 시설·공간·부위 등으로 구성된 물리적 분류체계임

■ 지방국토청은 건설사업관리시스템을 통해 내역분류체계(CBS)에 따라 공사비를 관리하나, 실제 공정과의 연계 관리 및 기성근거 확보 등의 한계가 발생해 공사 진척과 공사비가 별개로 관리되는 기존 관리체계를 개선하여 작업분류체계(WBS) 기반 공정·공사비 정보의 통합적인 관리가 필요함

■ 세부 작업관리 단위는 작업분류체계의 최하위에 위치하며 공사비 항목과 연계를 통해 공정/공사비 관리가 가능하며, 기존 내역체계에서 확인이 어려운 세부 작업관리 단위별 공정/공사비의 관리가 가능함



출처 :한국건설기술연구원(2022.10), 국토부 건설사업정보화(CALS) 및 작업분류체계(WBS) 적용 현황

<그림 4-6> 도로분야 작업분류체계 및 개선 방안

■ 작업분류체계 적용 없이 공종별로 구분하여 내역을 통해 집계하는 방식에서 작업분

류체계 최하위 작업 단위별로 분리하여 내역작성, 레벨별(작업분류체계의 레벨은 총 7단계로 공종별 수량을 부위별로 구분하여 세부적으로 산출하고, 작업 단위별로 수량을 집계하여 재활용함)로 운영함

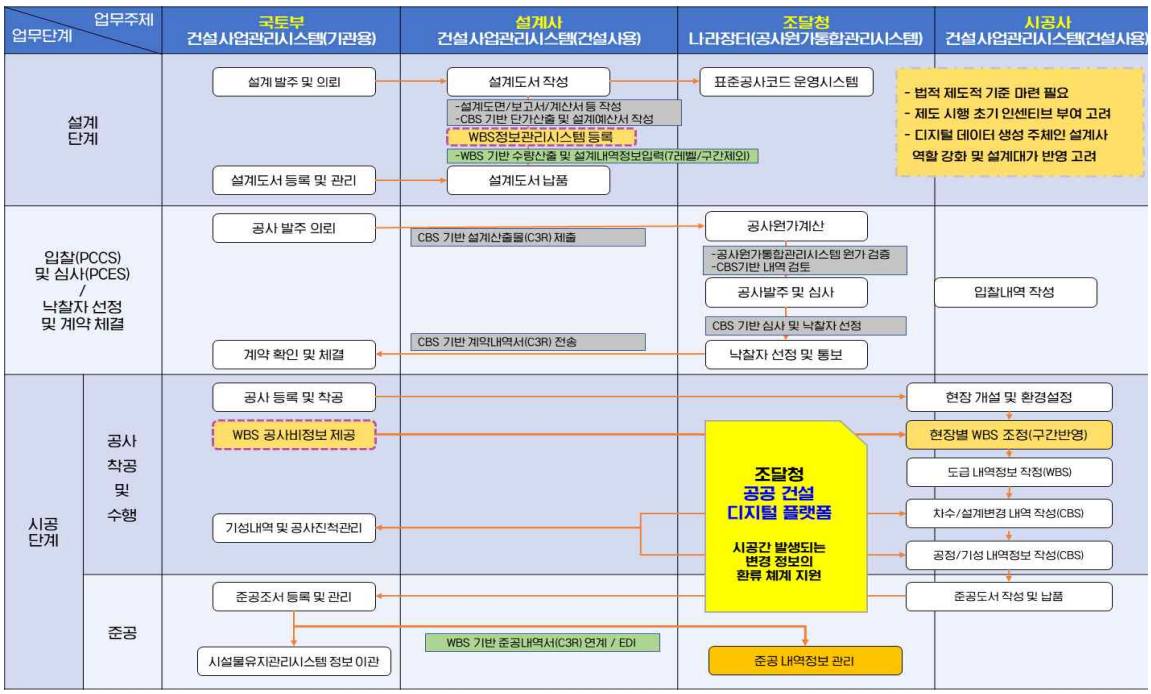
■ 이후 작업분류체계(WBS)와 내역분류체계(CBS) 연계로 세부 작업 단위별 수량과 내역을 관리하며, 이를 BIM 객체모델과 연계하여 확장 응용이 가능함

4.2.3 조달청의 작업분류체계(WBS) 적용방안 및 효과

■ 작업분류체계(WBS)는 설계단계 및 시공단계를 통해 적용됨. 설계단계에서 수량산출서와 설계내역서를 작성하고 있으며, 수량산출서에는 공종, 부위, 공간, 수량정보를 모두 포함하지만, 설계내역서에는 공종, 수량정보만 포함되어 있음

■ 시공단계에서는 이를 바탕으로 물량분개를 진행하지만, 내역서를 바탕으로 공종정보, 부위정보, 공간정보, 수량정보가 포함된 물량분개를 재작업 함

■ 이와 같이 공정 및 공사비의 개별 관리와 물량분개의 이중 작업이 이루어지고 있으며, 설계에서 시공단계의 공사비 정보 연계 및 작업분류체계 기반의 공정·공사비에 대한 관리가 별도로 진행되어 이에 대한 개선이 필요함



출처 :한국건설기술연구원(2022.10), 국토부 건설사업정보화(CALS) 및 작업분류체계(WBS) 적용 현황

<그림 4-7> 향후 조달청·국토부 작업분류체계(WBS) 연계 적용 프로세스 및 개선방안

■ 위의 프로세스는 기존 및 현재 개선하고자 하는 국토부, 설계사, 조달청, 시공사의

업무단계에 따른 공정을 보이며, 설계단계에서는 설계사가 WBS 정보관리시스템을 통해 수량산출 및 설계내역정보 입력 과정이 추가되었으며, 시공단계에서 국토부는 WBS 공사비정보 제공을 통해 시공사가 구간이 반영된 현장별 WBS를 조정하게 하여 이중 작업에 대한 문제를 해결하였음

■ 또한, 기존 작업분류체계 프로그램과 건설사업정보시스템을 통합하고 기능개선을 통해 정보관리, 사업개요 작성, 수량/단가 정보 생성 및 조회 등이 가능하며, WBS 기반의 설계변경 내역 대비 분석이 가능함

코드	하위 코드	명칭	금액		증감
			당초	변경	
A0102		04.구조물공	254,158,557,928	252,481,873,998	-1,676,683,930
10	A010201	G.옹벽공	254,158,557,928	252,481,873,998	-1,676,683,930
A010201		G.옹벽공	254,158,557,928	252,481,873,998	-1,676,683,930
10	A01020101	06.거푸집	17,060,949	82,822,177	65,761,228
20	A01020102	07.강관비계	89,295,714	5,523,265	-83,772,449
30	A01020103	09.철근가공조립	5,873,690	267,411,634	261,537,944
40	A01020104	10.콘크리트타설	156,959,350	252,122,961,613	251,966,002,263
50	A01020105	23.스페이서	253,886,176,306	1,269,153	-253,884,907,153
60	A01020106	26.콘크리트양생	1,305,763	451,154	-854,609
70	A01020107	40.판넬식 옹벽	451,154	1,435,002	983,848

출처 :한국건설기술연구원(2022.10), 국토부 건설사업정보화(CALS) 및 작업분류체계(WBS) 적용 현황

<그림 4-8> 작업분류체계(WBS) 설계변경 내역화면 대비분석 설계 화면



출처 :한국건설기술연구원(2022.10), 국토부 건설사업정보화(CALS) 및 작업분류체계(WBS) 적용 현황

<그림 4-9> 지방국토청・건설사 의견 수렴 및 주요 의견에 대한 개선방안

4.2.4 스마트건설 사업관리를 위한 BIM활용 방안 개선

■ BIM 설계 시 계약 및 법적 제도 개선

- 스마트건설 사업관리를 위해 BIM 활용 시 계약, 제도, 교육환경, 기성 공정관리 업무절차, 성과품의 품질관리 및 제출방식에 대한 개선 및 변화가 필요함
- 계약 및 법적 제도에 대해 BIM 모델 및 2D모델의 불일치 또는 품질 문제 발생 시 책임소재가 여전히 불분명하여 품질 향상을 위한 대비책이 부족하기 때문에 모델의 불일치 상황 발생 시 어떤 모델이 우선시하는지에 대한 장치와 더불어 품질확인 시 조사항목에 대한 세분화가 필요함
- 계약당사자간 모델 호환 및 접근범위에 대한 명확한 지침 및 제도개선이 필요하며 기존 건설 계약서 관리시스템에서 확장이 가능해야 함
- 또한 BIM 데이터 품질 일관성을 유지하고 시공자 및 발주자 모두에게 필요한 모든 정보를 포함하며 BIM 데이터의 밀도 또는 세부 수준, 데이터의 형식, 위치좌표 기준 등에 관한 지침 개선 또는 정책 및 지침이 필요함

■ BIM 전문 교육 프로그램 개선

- 발주자, 시공자 및 설계자 각 조직의 인식개선이 필요하며. BIM 소프트웨어를 활용한 3D, 4D, 5D 모델 설계뿐만 아니라 이를 활용하여 시공단계에서 직접적인 관리를 할 수 있는 인력 양성 프로그램의 필요

■ 전면 BIM 도입에 따른 공정/기성관리 업무절차 변화 방안

- 공정/기성관리 업무절차 변화방안에 대해 객체분류체계(OBS)기반의 공정 및 기성관리의 디지털화를 위해서는 건설객체 속성의 상세 분류가 필요함
- 이에 따라 필요한 객체의 분류, 객체의 공통정보, 설계 및 시공정보 등의 데이터베이스화 및 BIM 환경 또는 사업관리 플랫폼에서 확인 할 수 있는 시스템이 필요하며 건설공사 디지털화에 따른 시공자동화장비 활용과 연계한 위치데이터 측정 및 검측의 정확도 기준이 필요하며 이를 OBS와 연계할 수 있어야 함
- 일본의 경우 국토교통성에서 디지털화에 따른 기성관리를 위한 정확도 및 정밀도 기준을 제시하고 있으나 OBS 연계는 아직 진행되지 않고 있음

<표 4-4> 전면 BIM 도입에 따른 측정 정확도 및 측정 밀도

측정 정확도	측정 밀도
MC・MG 굴착기, 불도저, 롤러 (① and ② 실시) ① 실제로 땅깎기・깎기 작업 실시 방법 - 비탈면 또는 소단의 정밀도 확인 - 수평・연직 방향(△x,△y,△z) 각 ±50mm이내 ② 스마트건설기계의 작업 장치 위치를 계측 - 연직방향(△z) 각 ±50mm 이내	기성신청 가능 높이를 측정 - 1점 이상 / 1㎡(1m×1m)

출처 : 일본 국토교통성(2021)

<표 4-5> BIM 설계 시 계약 및 법적 개선사항

조사 내용	BIM 모델의 좌표로 확인	BIM 모델의 치수, 주석 등을 확인	3D 도면의 치수, 주석 등을 확인	BIM 모델의 치수계측에 의한 확인	BIM 모델 외관 확인	BIM 모델의 단면 절단에 의한 확인	BIM 모델의 간섭 체크로 확인
협의 사항은 반영되었는가	-	-	-	-	-	-	-
설계 계산서의 결과가 올바르게 도면에 반영되는가 (특히 응력계산, 안정계산 등의 결과가 적용범위를 포함하여 정합하고 있는가)	-	-	-	-	-	-	-
용지 경계를 확인할 수 있어 설계와 모델의 좌표치가 일치하는가	●	●	●	●	-	-	-
계획 고수위를 확인할 수 있어 설계치와 일치하고 있는가	-	-	●	-	●	-	-
지하수위를 확인할 수 있어 설계치와 일치하고 있는가	-	-	●	-	●	-	-
추정 암반선을 확인할 수 있어 설계치와 일치하고 있는가	-	-	●	-	●	-	-
주상도를 확인할 수 있어 설계치와 일치하고 있는가	-	-	●	-	●	-	-
건축 한계가 확인할 수 있고 디자인 조건과 일치하는가	-	●	●	●	●	-	●
3차원 모델의 형상 치수가 설계 값과 일치하는가	-	●	●	●	-	-	-

출처 : 일본 국토교통성(2021), BIMCIM 등 전자납품요령(안) 및 해설서

4.2.5 스마트건설 사업관리에 따른 데이터 관리 및 납품방식 개선/변화 방안

■ BIM 데이터 품질 확인지침의 필요

- 스마트건설기술을 활용해 설계 및 시공 시 도면 및 데이터에 대해 설계 프로파일을 수정하여 수량 개선 및 연계에 대한 문제를 해결하고, 건설 중인 데이터를 관리하기 위한 프로세스 개발 및 시스템화가 필요함

- 계약서 작성 시 3D 모델과 계획의 일관성 및 객체의 품질과 설계 의도 반영에 대한 부분이 중요함.

- 미국의 경우 뉴욕주 교통부에서 BIM 설계 및 계약 데이터 준비 및 비교 확인 프로세스(안)을 제안하여 사용함



출처: U.S. Department of Transportation(2017), Utilizing 3D Digital Design Data in Highway Construction

<그림 4-10> BIM 설계 및 계약 데이터 준비 및 비교확인 프로세스(안)

■ BIM As-Is 및 As-Built 모델 성과품 범위 및 제출방식 개선/변화방안

- 싱가포르의 TUAS Water Reclamation Plant 사업의 전면 BIM설계 입찰 내역서는 BIM 설계 계획, BIM모델, 시공단계의 As-Is 모델, 시공 후 As-Built 모델의 성과품 제출에 대한 내용을 상세히 기재하고 있으며, 이 데이터를 유지관리와 연계하기 위해 가이드라인을 함께 제시함

- 일본 국토교통성의 경우 21년도 전자납품요령 및 해설서를 제작 배포하였으며, BIM 모델 조사 시 체크 시트, BIM모델 작성 사전 협의, 인계서 시트, BIM실세 계획서, BIM실시(변경) 계획서, BIM 실시 보고서를 포함하였고, 상세 BIM모델(구조물이나 지형 등의 각 BIM 모델), 통합 BIM 모델과 이미지 동영상 모두 포함하여 성과품을 제출하도록 함

<표 4-6> BIM As-Is 및 As-Built 모델 성과품의 범위 및 제출방식 개선/변화방안

As-Is 성과품 범위 및 제출 (시공단계 - 매달 제출)	As-Built 성과품 범위 및 제출 (시공 완료 후 제출)
승인된 디자인, 시공내역, 설계변경에 관한 모델사항 포함 (3D)	As-built 모델 및 모든 공사관련 된 모델과 보고의 최종승인본 제출
6개월 동안의 달 단위의 작업내용을 나타내는 모델 사항 포함 (4D)	As-Built 모델과 도면 제출 필요 1) Native 파일 포맷 형태의 As-Built BIM 모델 - 최종 설계 및 시공사항에 대한 시공사 승인 필요, 유지관리부의 요청 내용이 반영되어야 함 2) 모든 입찰관 내용의 데이터베이스 (입찰단계부터 필요) 3) A1 사이즈의 최종 판넬 1부 4) 요구되는 각 포맷형태의 As-built 모델
매달 공사내역의 기성에 관한 내용을 포함 (5D)	
해당 기간 동안의 모든 공사내용이 포함된 모델 매달 제출 (6D)	
간섭분석 보고 제출	
각 모델의 품질 및 내용을 분석할 수 있는 체크리스트 제출	모든 As-built 모델 자료는 공사의 내용을 담은 모든 DVD-R 미디어 파일과 함께 제출
2D 도면 및 PDF 포맷의 공사일지 등	발주청의 최종 As-built 모델 승인 후 발주청으로 귀속됨

출처: Guide for early contractor involvement procurement method for public sector construction project, Singapore

<표 4-7> BIM As-IS 및 As-Built 모델 성과품의 범위 및 제출방식 개선 / 변화방안

BIM/CIM 모델		조사		설계		시공	저장 파일 형식	성과품 내용
		측량	지질	예비	상세			
지형 모델	지형 모델	◎	·	△	◎	◎	J-LandXML 및 원본 파일	측량 성과의 3차원 지형 모델 (실측 1/200~1/2,500)
	광역 지형 모델	•		△	△	△	J-LandXML 및 원본 파일	수치지도(국토 기반 정보) (1/25,000~1/50,000)
지질·토질 모델	볼링 모델	·	◎	·	·	·	오리지널 파일 ·볼링 모델	•
	기타 모델	•	△	△	△	△	원본 파일	준3차원 단면도나 서페이스 모델 등의 3차원 지반 모델
토공 형상 모델	토공 형상 모델	•	•	·	·	·	J-LandXML 및 원본 파일	토공부의 설계 토공 횡단 형상(성토·절토)을 연결한 3차원 모델
	선형 모델	·	△	·	·	·	J-LandXML 및 원본 파일	도로 선형, 하천 선형, 구조물 선형
구조물 모델		·	·	◎	◎	◎	IFC2X3 및 원본 파일	설계·시공의 대상 구조물이나 3차원 모델
통합 모델		·	·	◎	◎	◎	원본 파일	각종 툴로 작성한 BIM/CIM 모델에 포함된 3차원 모델을 통합하여 경쾌하게 동작할 수 있는 3차원 모델

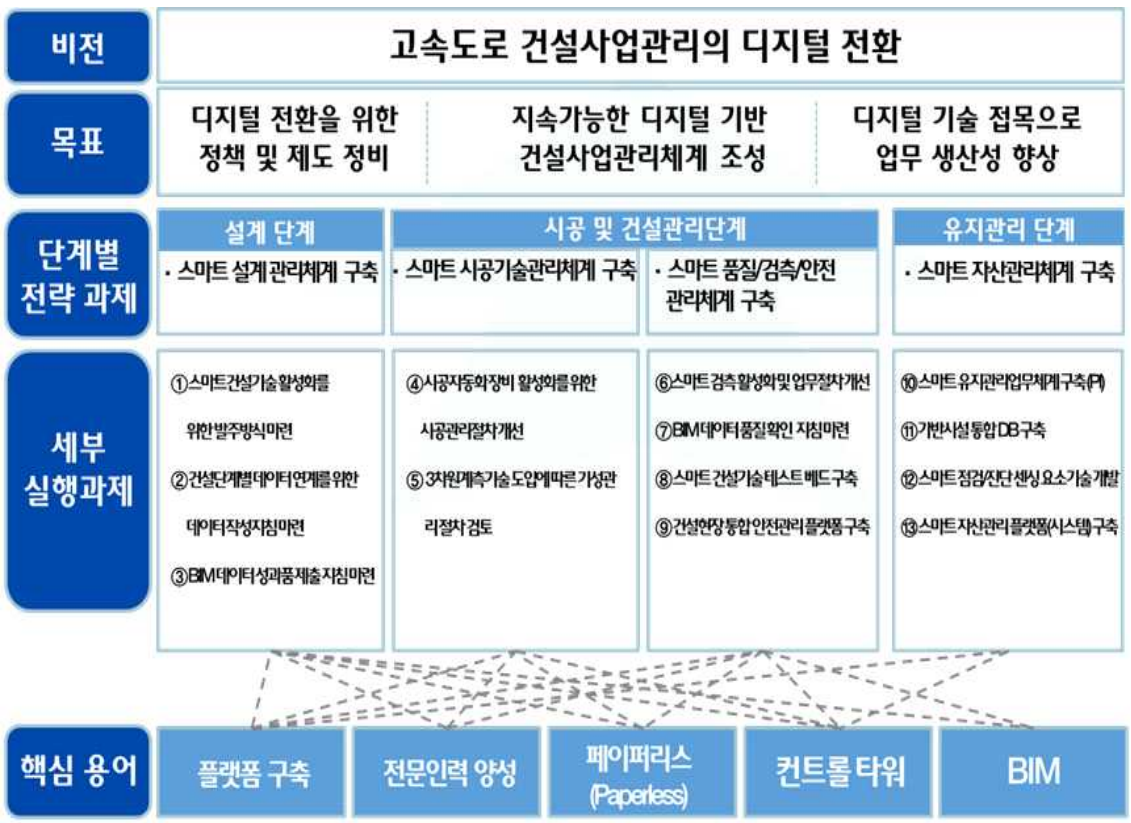
출처 : BIMCIM 등 전자납품요령(안) 및 해설서, 일본 국토교통성(2021)

4.3 건설사업 디지털혁신의 비전 및 목표

■ 본 혁신전략의 비전은 「고속도로 건설사업관리의 디지털 전환」으로 설정함

■ 혁신전략의 목표 달성을 위하여 스마트 설계관리체계 구축, 스마트 시공기술관리체계 구축, 스마트 품질/검측/안전 관리체계 구축, 스마트 자산관리체계 구축의 4대 전략과제 및 13개 세부 실행과제를 설정함

- **스마트 설계관리체계 구축** : ①스마트 건설기술 활성화를 통한 발주방식 마련, ②건설단계별 데이터 연계를 위한 데이터 작성지침 마련, ③BIM 데이터 성과품 제출 지침 마련
- **스마트 시공기술관리체계 구축** : ④시공자동화 장비 활성화를 위한 시공관리절차 개선, ⑤3차원계측기술 도입에 따른 기성관리절차 검토
- **스마트 품질/검측/안전 관리체계 구축**: ⑥스마트 검측 활성화 및 업무절차 개선, ⑦BIM 데이터 품질 확인 지침마련, ⑧스마트건설기술 테스트 베드 구축, ⑨건설현장 통합 안전관리 플랫폼 구축
- **스마트 자산관리체계 구축** : ⑩스마트 유지관리업무체계 구축, ⑪기반시설통합 DB구축, ⑫스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발, ⑬스마트 자산관리플랫폼/시스템 구축



<그림 4-11> 비전 및 전략과제

4.4 단계별 세부 실행과제

4.4.1 전략과제 실행 로드맵

■ 「고속도로 건설사업관리의 디지털 전환」을 위한 전략과제별 세부 실행과제의 실행 로드맵은 4장의 각 관리단계별 기술지도에서의 기술별 우선순위 선정결과와 스마트건설 사업관리 로드맵의 내용을 기반으로 <표 4-8>과 같이 설정하였음

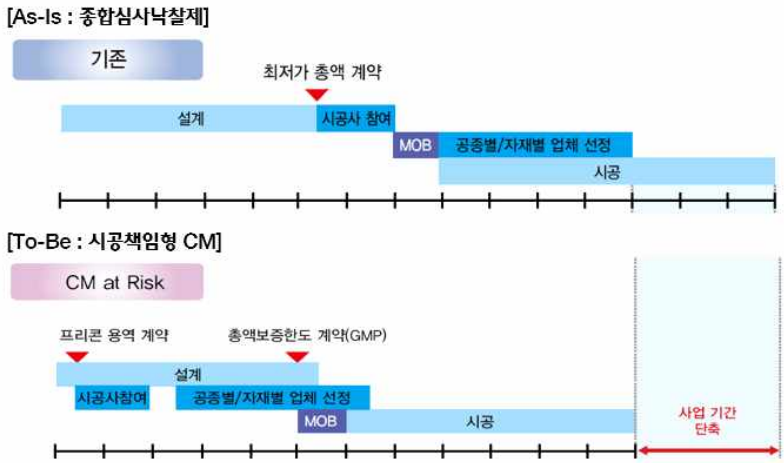
- 단계별 전략과제는 설계단계, 시공 및 건설관리 단계, 유지관리 단계로 구분했으며, 연차별로 단기・중기・단기로 설정하였음

<표 4-8> 전략과제 실행 로드맵

단계별 전략과제		단기			중기			장기		
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
설계 단계	스마트 설계관리 체계구축		①스마트 건설기술 활성화를 통한 발주방식 마련							
				②건설단계별 데이터 연계를 위한 데이터 작성지침 마련						
				③BIM 데이터 성과품 제출 지침 마련						
시공 및 건설 관리 단계	스마트 시공기술 관리체계 구축				④시공자동화 장비 활성화를 위한 시공관리절차 개선,					
				⑤3차원계측기술 도입에 따른 기성관리절차 검토						
	스마트 품질/검측/안전 관리체계 구축		⑥스마트 검측 활성화 및 업무절차 개선							
				⑦BIM 데이터 품질 확인 지침마련						
				⑧스마트건설기술 테스트 베드 구축						
					⑨건설현장 통합 안전관리 플랫폼 구축					
유지 관리 단계	스마트 자산관리 체계구축		⑩스마트 유지관리업무체계 구축							
				⑪기반시설통합 DB구축						
			⑫스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발							
					⑬스마트 자산관리플랫폼/시스템 구축					

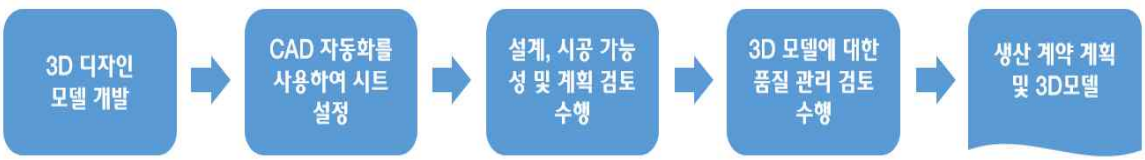
4.4.2 설계 단계

실행과제 1) 스마트건설기술 활성화를 위한 발주방식 마련

개 요 및 필 요 성	• 종합심사낙찰제 대상사업의 실시설계 단계에서 시공자를 먼저 선정하고, 시공자가 주도하여 설계 참여 및 시공 수행 실시설계금액 확정 이후 시공계약을 체결하며, 공사 중 확정금액 이상의 계약변경이 제한됨
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 현재, 국토부(건설정책과)는 『시공책임형 CM』 시범사업 운영 중이며, 향후 주관부처인 기재부 협의를 통해 시범사업 확대를 위한 특례 승인을 추진하고, 국가계약법령에 CM@R 적용 근거를 마련할 계획 (현행 국가계약제도와 다른 내용으로 시범사업 추진 시 기획재정부의 승인이 필요함)
기대효과	• 설계단계에서 시공자가 참여하여 설계품질을 향상하고 시공단계 설계변경을 최소화하는 한편, 시공자의 책임시공을 유도할 수 있으며, (건설안전 등 실질적인 시공사 주도 시공환경 조성) 건설사의 다양한 시공 노하우와 기술을 실시설계단계에서의 반영이 가능함 (다양한 민간의 스마트건설기술 촉진과 발굴 가능)

■ (미국) BIM 설계 기반 계약단계 변화예측

- 3D 모델을 사용하여 계획 작성 및 고속도로 건설 자동화에 유용한 3D 데이터를 출력하는 주요 관행으로서 일관성 있는 계약 계획 및 모델 제작과 효율적 검토를 위한 프로세스를 통해 계약 문서를 제작함



<그림 4-12> BIM 설계 기반 계약 문서 제작(안)

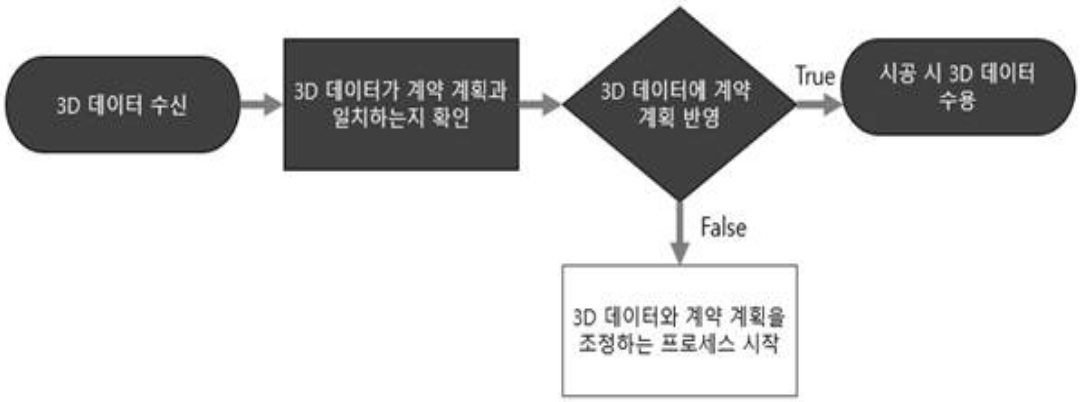
<표 4-9> NYSDOT의 적용 사례 예시

NYSDOT 규격	내용
섹션 625-3.02	계약 관리 계획에 대한 요구사항으로 Contractor가 Resident Engineer에게 AMG 사용 의향을 통지하는 방식
섹션 625-2.06	Contractor가 Resident Engineer와 inspectors의 사용을 위해 GPS 장비와 훈련 제공, 공급될 장비의 종류와 수는 입찰 품목에 포함됨. Inspectors는 Contractor가 사용하는 것과 동등한 장비를 사용해야 함
섹션 109-01	현장 조사와 CADD를 사용하여 지불 금액을 측정할 수 있도록 명시적으로 허용. Engineer는 문서/데이터(계약서 계획서, 단면, CAD 파일 등)에서 측정하거나 테이프나 휠과 같은 적절한 장치로 측정하거나 완료된 작업의 현장 조사를 통해 측정하는 방법을 선택함

출처 :Automation in Highway Construction Part 1 (2018)

■ (미국) 계약 데이터와 BIM 설계 데이터 비교 확인 절차

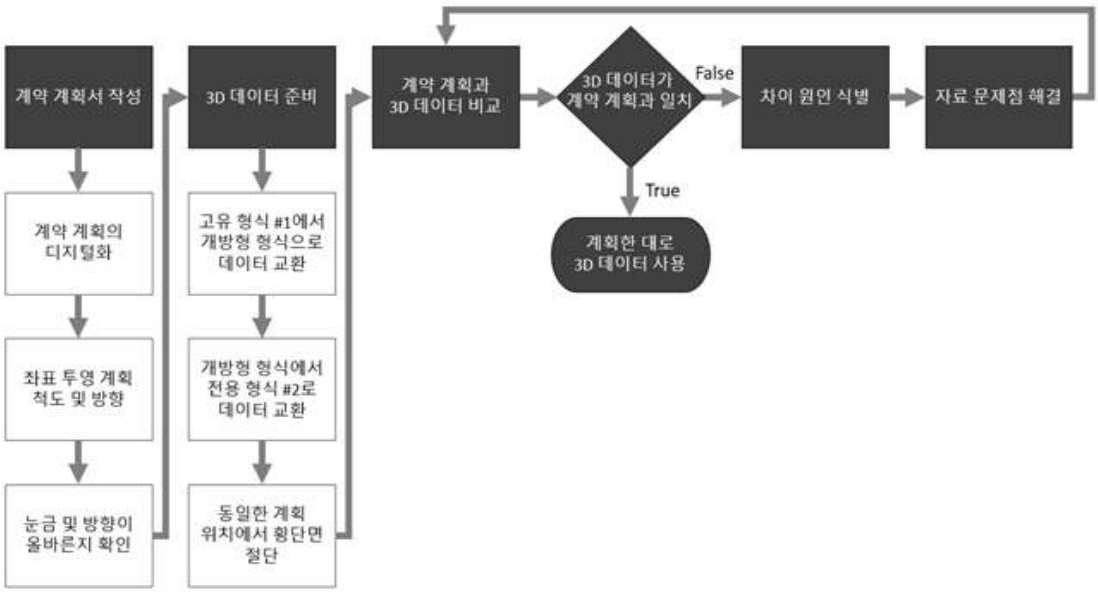
- 계약 데이터와 BIM 설계 데이터 비교 확인 절차 중 일부로서, 설계 데이터와 계약 계획의 일치 여부를 확인하고 데이터 비교 검증 프로세스 및 관리체계를 제시함
- 설계 데이터와 계약 계획의 일치 여부를 확인하는 프로세스에서, 작성 과정에 오류가 없었는지 설계별로 전달된 자료에 계약계획서와 3D 자료의 차이 여부를 확인함



출처: U.S. Department of Transportation(2017), Utilizing 3D Digital Design Data in Highway Construction

<그림 4-13> 3D 데이터에 대한 품질 관리 프로세스(안)

- 데이터 비교 검증 프로세스 및 관리체계는 시공계획과의 일치 여부, 수량산출, 시공성 검토 및 시공 포장의 평활도 결과 예측 등을 위해서는 계약, Alignments 및 Profiles, 2D/3D Strings, As-planned 측량지면 및 예측되는 지표면 등에 관련된 데이터들이 필요함



출처: Utilizing 3D Digital Design Data in Highway Construction, 2017

<그림 4-14> 3D 데이터 비교 및 검증 프로세스(안)

■ (싱가포르 TWRP) 입찰 시 BIM 정보 모델 및 승인도구

- BIM 정보 모델에는 2D 도면, 3D 모델, 4D 시공 시퀀스, 5D 수량 및 비용 추적, 6D 자산 관리가 담겨있으며, BIM 승인 도구는 건설업자가 작업을 납품하기 위해 사용하는 설계/모델링 소프트웨어를 제시함

<표 4-10> 해외 입찰내역서 사례

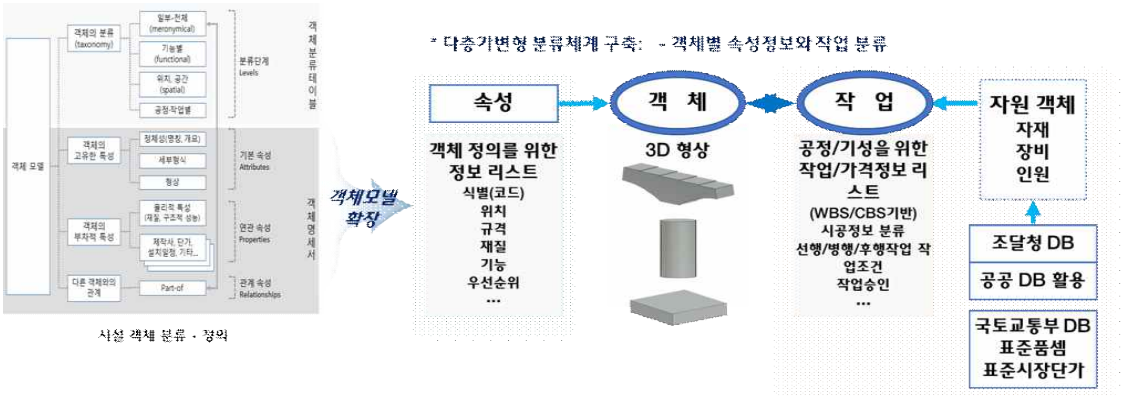
구분	BIM 기반 입찰사례	스마트건설 배점 사례	생산성 향상 기술 제안 요건		전자문서관리시스템 지정 사례
대상 사례	싱가포르 TWRT	싱가포르 IWMF	싱가포르 TWRP	싱가포르 N115	필리핀 MCRP
주요 내용	• 입찰시, LOD 400 수준의 BIM 모델을 입찰 참여자에게 제공 • 정보 수준은 각종 시설물의 제원 및 규격 정보가 상세히 포함되어 있어 입찰 물량 산정에 무리 없음. • S.O.와 계약자는 2D 도면과 디지털 정보의 교환으로 이루어짐	• 가격-품질-생산성 가중치(50:48:2) • 시공성 평가 항목은 작업 순서, 건설방법론, 제안한 건설의 혁신 및 생산성 향상으로 구성	• 생산성을 높일 수 있는 기술로 현장 외에서 건축, 토목, 구조의 요소 사전 제작 등을 제안	• 계약자는 작업 생산성 향상을 위해 기계화 및 판도를 바꾸는 기술 사용을 모색해야함	• 계약자는 디지털 전자 정보 관리 시스템을 구축하고 구현해야 함 • 계약자는 소프트웨어 사용에 대한 교육을 제공해야 함 • 사업 문서 관리를 위한 절차 제출 필요

실행과제 2) 건설단계별 데이터 연계를 위한 데이터 작성지침 마련

개 요 및 필 요 성	• BIM 활용 업무 또는 공사에서 각 건설단계별로 작성된 BIM 모델을 활용/갱신하여 다음 공정에 활용할 수 있도록 BIM 모델의 작성(속성정보의 연계)가 필요함.
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 단계별(공종별) 고속도로 디지털전환 우선순위 선정, 공종(구조물)별 BIM 모델 기준 정립 및 모델링 라이브러리 구축, 설계 · 시공 · 유지관리 단계 통합을 위한 전 생애주기 확장 BIM 구축, 기존 고속도로의 디지털 정보 획득 효율 증대를 위한 개발 연구임
기대효과	• 점검이력 및 결과가 3D로 시각화되어 (3D BIM 연계) 제공됨으로 점검자의 능률/숙련도 향상, 준공 후 설계도서, 안전점검 종합보고서를 BIM 기반 성과품으로 납품 및 관리, BIM 기반 성과품 관리체계 구축을 통한 미입력 데이터 필드 최소화 및 데이터 무결성 해결 가능

■ (국내) 스마트건설 수행 시 데이터 작성지침 현황

- 한국도로공사의 고속도로 스마트 설계지침에 따르면 각 단계별 BIM 데이터의 활용성, 투입시간, 용량 등을 고려하여 설계수준에 맞는 BIM 데이터의 표현수준(LOD)을 결정하고 있음



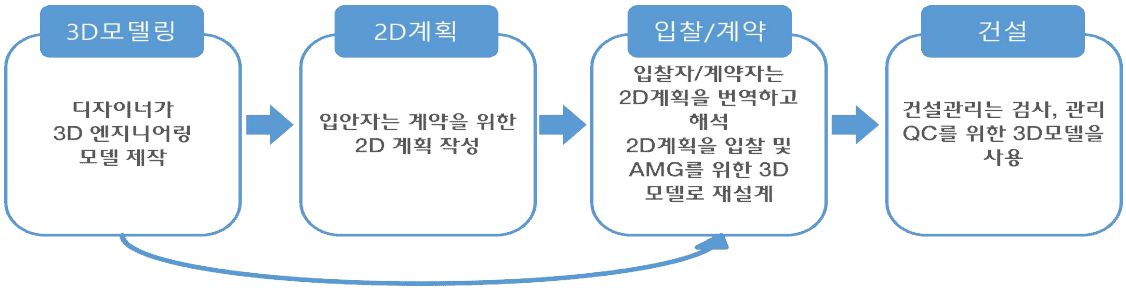
출처 : 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 및 지식 관리 기술 개발, K-스마트건설포럼 발표자료(2022)

<그림 4-15> 스마트건설사업단 객체 중심 표준 기반 프로세스 모식도

■ (미국) 디지털 BIM 모델 기반 설계(Design) 단계

- 공사과정 (설계-시공-유지보수)에서 수집되는 모든 정보를 3D데이터 표현을 통해 자동화를 실현하고, 정확하고 정밀한 시공 문서 및 3D준공 계획 작성, 엔지니어링 분석 및 비전문가도 이해하기 쉬운 시각화, 시공 전 문제 감지, 충돌 해결 어플리케이션(ex 유틸리티), AMG 및 수량 계산이 가능함

- BIM 설계 데이터의 적용 분야로 3D모델 검토, 설계/시공 가능성 검토, 계약문서, 건설 엔지니어링을 위한 가공조사, CAD 데이터 및 검사, 지하 유틸리티 위치 확인기술, 3D데이터 검토 프로토콜 구현, 계약문서 및 입찰 참조 문서를 만드는 프로세스, 도로설계를 제시함

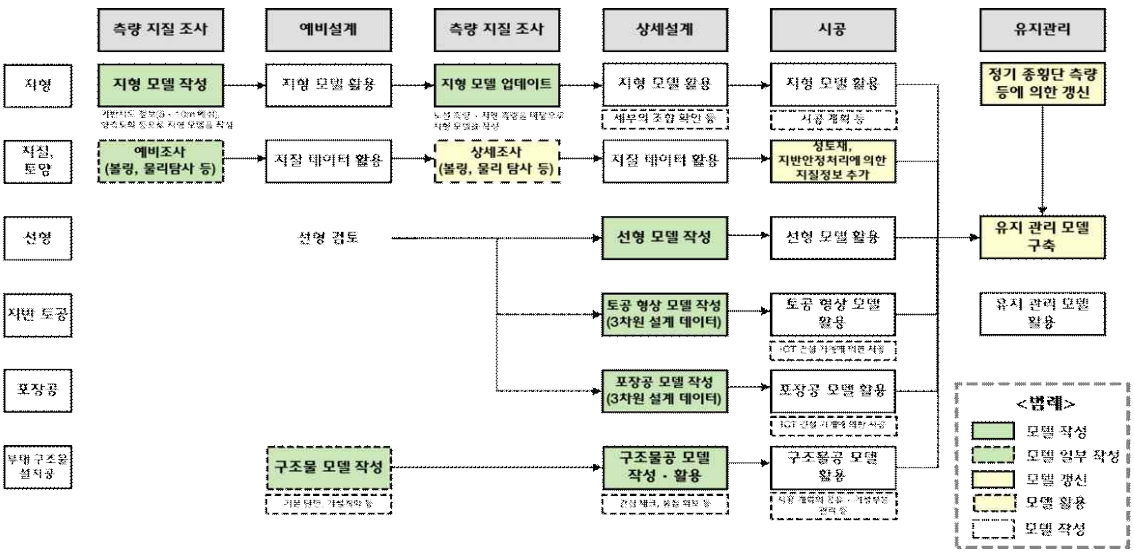


출처 : U.S. Department of Transportation(2018), Automation in Highway Construction Part 1 (2018)

<그림 4-16> 2D 설계와 3D 기반 설계 및 시공 흐름 차이 프로세스

■ (일본) BIM 모델 작성을 위한 흐름도 및 속성정보

- 국토교통성은 BIM 활용 업무 또는 공사의 모든 공정에서 작성된 BIM 모델을 활용/갱신하여 다음 공정에 활용할 수 있도록 BIM 모델을 작성함



출처 : BIM 활용가이드라인(안) 제5편 도로편, 일본 국토교통성 (2021)

<그림 4-17> BIM 모델 작성/활용/갱신 흐름도

- 설계 시 형상과 각 단계에서 부여하는 속성 정보를 포함하여 데이터 교환이 가능한 BIM모델을 구축하는 것이 가장 바람직함
- 모델 상세도(안)의 개념에 준하여, 각 건설단계별 필요한 속성정보 및 LOD는 발주처와 협의하여 결정해야 함

<표 4-11> 건설단계별 필요 속성정보 예시

속성항목	부재유형별 속성정보		설계시		시공시		유지관리시	
	콘크리트	강구조물	콘크리트	강구조물	콘크리트	강구조물	콘크리트	강구조물
부재정보	ID	ID	O	O	O	O	O	O
	구조물 명칭	구조물 명칭, 설계조건	O	O	O	O	O	O
	부재명칭 1,2,3	부재 명칭, 치수	O	O	O	O	O	O
	-	단면 치수, 이음형식, 재질	O	O	O	O	O	O
제작정보	-	선형 좌표값, 캠버 값, 용접 방법	O	O	O	O	O	O
시공절차	단위수량	-	O	O	O	O	O	O
품질관리기준정보 (1)	기준(강도)	-	O	O	O	O	O	O
	압축 강도	-	O	O	O	O	O	O
품질관리기준정보(2)	단위중량 · 수량, 콘크리트 온도	(공장)강재 · 볼트 · 용접재료 규격			O	O	O	O
	타설시 외기온, 물 시멘트 비율	부재 명칭, 용접재료, 재료회사			O	O	O	O
	슬럼프, 염화물 함량, 공기량	도장 사양, 부재 명칭, 도료명 , 도료회사			O	O	O	O
	-	(현장)현장 이음, 예비 시험, 도장 사양			O	O	O	O
	-	부재 명칭, 도료명, 도료 회사			O	O	O	O
	-	무수축 모르타르, 압축 강도, 생김새			O	O	O	O
	-	지간장, 굴곡, 거리			O	O	O	O
제품 인도 시 품질시험 결과 (밀 시트 정보)	시멘트 종류, 생산자, 배합량	-			O	O	O	O
	세골재 종류, 산지, 배합량	-			O	O	O	O
	조골재 종류, 산지, 배합량, 최대치수	-			O	O	O	O
	혼화제 종류, 상품명, 배합량	-			O	O	O	O
	플랜트 이름, 제조일, 제조업체명	-			O	O	O	O
가설시	-	가설 방법, 시공 절차			O	O	O	O
강교 제작 결과	-	용접 · 도장 시험 결과, 도급품질검사 결과			O	O	O	O
파일첨부(엑셀 시트 등)	파일링크 1,2,3	가조 측정결과, 볼트 시험 결과			O	O	O	O
교량기본정보	교량관리번호						O	O
점검이력정보	점검시기, 점검 업무명, 점검업자, 점검 구분, 점검대상 부재						O	O
손상유형정보	손상유형/정도, 대책구분의판정, 건전도 진단						O	O
손상 상황 정보	손상도면 및 사진						O	O
보수 및 보강 이력정보	보수시기, 보수대상부재, 보수공법						O	O
점검 대장 등 첨부	파일링크 1,2,3						O	O

출처 : BIM 활용가이드라인(안) 제5편 도로편, 일본 국토교통성 (2021), 재정리

실행과제 3) BIM 데이터 성과품 제출 지침 마련

<table>
<tr><td>개 요
및
필 요 성</td><td>• 각 건설단계별 정확한 BIM 모델의 연계는 사업 전반의 정보 공유를 원활하게 함. 따라서, BIM이 활용되는 사업을 대상으로 제출한 성과품의 작성 및 제출 방법 등을 지침으로 마련 필요</td></tr>
<tr><td>실행목표
개 념 도</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">BIM/CIM 모델
(CIM_MODEL)</th><th colspan="2">조사</th><th colspan="2">설계</th><th rowspan="2">시공</th><th rowspan="2">저장 파일
형식</th><th rowspan="2">성과품 내용</th></tr>
<tr><th>측량</th><th>지질</th><th>예비</th><th>상세</th></tr>
<tr><td rowspan="2">지형 모델
(조경)</td><td>지형 모델</td><td>◎
: 필수</td><td>·
: 조건부
필수*1</td><td>△
: 임의*2</td><td>◎
: 필수</td><td>◎
: 필수</td><td>J-LandXML
및 원본 확입</td><td>측량 성과의 3차원 지형 모델
(실측 1/200~1/2,500)</td></tr>
<tr><td>광역 지형 모델</td><td></td><td></td><td>△
: 임의*3</td><td>△
: 임의*3</td><td>△
: 임의*3</td><td>J-LandXML
및 원본 확입</td><td>수치지도(국토 기반 정보)
(1/25,000~1/50,000)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지질 · 토질
모델
(지리학적)</td><td>불량 모델</td><td>·
: 조건부
필수</td><td>◎
: 필수</td><td>·
: 조건부
필수*4</td><td>·
: 조건부
필수*4</td><td>·
: 조건부
필수*4</td><td>오리지널 확입
· 불량 모델</td><td></td></tr>
<tr><td>기타 모델</td><td></td><td>△
: 임의*5</td><td>△
: 임의*5</td><td>△
: 임의*5</td><td>△
: 임의*5</td><td>원본 확입</td><td>준3차원 단면도나 세퍼이스 모델 등의 3차원 지반 모델</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도공 형상
모델
(조절_기하학)</td><td>토공 형상 모델</td><td></td><td></td><td>·
: 조건부
필수*7</td><td>·
: 조건부
필수*7</td><td>·
: 조건부
필수*7</td><td>J-LandXML
및 원본 확입</td><td>토공부의 설계 토공 형단 형상(성토 · 절토)을 연결한 3차원 모델</td></tr>
<tr><td>선형 모델</td><td>·
: 조건부
필수*6</td><td>△
: 아무거나</td><td>·
: 조건부
필수*6</td><td>·
: 조건부
필수*6</td><td>·
: 조건부
필수*6</td><td>J-LandXML
및 원본 확입</td><td>도로 선형, 하천 선형, 구조물 선형</td></tr>
<tr><td colspan="2">구조물 모델
(STRUCTURAL_MODEL)</td><td>·
: 조건부
필수*8</td><td>·
: 조건부
필수*8</td><td>◎
: 필수</td><td>◎
: 필수</td><td>◎
: 필수</td><td>IFC2X3
및 원본 확입</td><td>설계 · 시공의 대상
구조물이나 3차원 모델</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>·
: 조건부
필수*9</td><td>·
: 조건부
필수*9</td><td>◎
: 필수</td><td>◎
: 필수</td><td>◎
: 필수</td><td>원본 확입</td><td>각종 툴로 작성한 BIM/CIM 모델에 포함된 3차원 모델을 통합하여 경제적
계 등작할 수 있는 3차원 모델</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>주 요
추진내용</td><td>• 단계별(공종별) 고속도로 디지털전환 우선순위 선정
• 공종(구조물)별 BIM 모델 기준 정립 및 모델링 라이브러리 구축</td></tr>
<tr><td>기대효과</td><td>• 점검이력 및 결과가 3D로 시각화되어 (3D BIM 연계) 제공됨으로 점검자의 능률/숙련도 향상
• 준공 후 설계도서, 안전점검 종합보고서를 BIM 기반 성과품으로 납품 및 관리 가능</td></tr>
</table>

■ (일본) BIM 활용 공사에서 제출된 성과품의 감독/검사 절차

- 공사에 관한 정보의 집약화・가시화를 위해 BIM 및 3차원 데이터를 적극적으로 활용하고, 정보를 쌍방으로 공유할 수 있도록 정보 공유 시스템 등 활용 추진

<표 4-12> 감독・검사 직원의 실시 항목

실시절차	감독직원의 실시항목	검사직원의 실시항목
BIM 활용 공사 착수	(1) 계약내용 파악 및 대여자료 확인 (2) 사전 협의 실시 (3) BIM 실시계획서 수령	(1) BIM 실시 계획서
BIM 활용에 관한 공사비 적산	(1) BIM 활용 공사에 소요되는 비용 (2) 기술 제안 사항의 취급 (3) 적산 방법	
BIM을 활용한 시공상황 등 확인	(1) 시공 상황 확인 및 파악 등 (2) 공정 파악 및 공사 촉진 지시 (3) 대외 조정 (4) 공사의 안전에 관한 사항	(2) BIM 활용 현황
기성검사 준비 및 실시	(1) BIM 실시 보고서 (2) BIM 관련 성과품 (3) 공사 성적 평정	(3) BIM 실시 보고서 (4) BIM 관련 성과품 (5) 공사 성적 평정

출처 : BIM 등 전자납품요령(안) 및 해설서, 일본 국토교통성(2021)

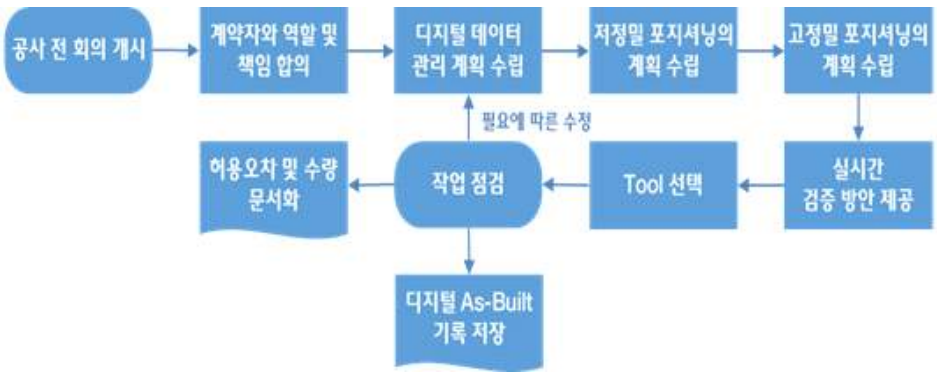
- 감독 직원은 제출된 성과품에 대하여 체크 시트 등을 활용하여 감독 업무를 수행
- 38개 항목에 대하여 기본적으로 설계 값과 BIM 모델이 일치하는가를 치수·주석이 표현된 3DA 모델을 육안으로 확인하여 실시함

체크항목		내용	확인 결과
사전 협의 내용 및 3차원 모델의 무결성체크	① 측지계 · 단위계	측지계 · 단위계는 올바르게 설정되어 있는가?	V
	② 작성 의도	의도한 모델을 만들 수 있습니까?	V
	③ 구성 위치	구조물의 배치 좌표를 확인할 수 있습니까?	V
	④ 내용	활용 목적에 필요한 상세도로 작성되고 있습니까?	V
	⑤ 대상 범위	모델의 갱신 범위나 필요한 부재나 주변 구조에 빠짐이 없는가?	V
	⑥ 통합되지 않음	비틀림이나 멀리 등의 모델의 부정합이 없는가?	V
	⑦ 속성 정보	지정한 속성 정보가 부여되어 있습니까?	V
2차원 성과와의 일관성 체크	① 토지 경계	용지 경계를 확인할 수 있어 설계치와 좌표가 일치합니까?	V
	② 중심선 좌표	중심선 좌표를 확인할 수 있습니까?	V
	③ 하천 수위	계획 고수위를 확인할 수 있고 설계치와 일치하는가?	V
	④ 지하수위	지하수위를 확인할 수 있어 설계치와 일치하는가?	V
	⑤ 추정 암반선	추정 암반선을 확인할 수 있고 설계치와 일치하는가?	V
	⑥ 주상도	주상도를 확인할 수 있어 설계치와 일치하는가?	V
	⑦ 건축 한계	건축 한계를 확인할 수 있고 평면도와 일치합니까?	V
	⑧ 기본치수	구조물 모델의 기본 치수가 설계 값과 일치하는가?	V
	⑨ 높이 관계	각 구조물의 천단고, 표고, 길이 등을 확인할 수 있어 설계 값과 일치합니까?	V
	⑩ 배근	배근 모델은 배근도 및 배근 조립도의 배치 치수, 철근 직경과 일치하는가?	V
	⑪ 피복두께	구조물 모델에서의 철근과 구조물의 두께는 설계 값과 일치합니까?	V

<그림 4-18> BIM 모델 조사 시 체크 시트 예시

4.4.3 시공 및 건설관리단계

실행과제 4) 시공자동화 장비 활성화를 위한 시공관리절차 개선

개 요 및 필 요 성	• 장비 위치관제 및 장비자동화(Machine Guidance, Machine Control 등)기술 등이 발전함에 따라서 자동화장비 등의 활용에 최적화된 시공관리 방안을 마련하는 것이 필요함.
실행목표 개 념 도	 [자동화장비를 사용한 경우의 시공관리(안)]
주 요 추진내용	• 시공자동화 장비 적용이 가능한 공종에 대한 정의 수행, 기성관리에 필요한 시공자동화장비의 정확도 및 정밀도에 대한 기준 마련, 시공자동화 장비 적용시의 감독업무 및 프로세스 개선(안) 마련, 시공자동화 장비 활용시의 데이터 품질 관리 프로세스 마련를 위한 개발 연구임
기대효과	• 건설생산 프로세스 전체의 생산성 및 품질 향상 기대, 시공관리의 합리화·효율화와 함께 감독·검사의 생산성 확보 가능할 것으로 기대됨

■ (국내) 건설공사 측량 시방서 현황

- 국토교통부의 건설공사 측량 시방서에서는 MG 활용 시의 시공 중 측량 방법론에 대하여 제시하고 있으나, 적용 가능한 공종 및 MG장비에 요구되는 정확도 등에 대해서는 제시하지 않고 있음

<표 4-13> 건설공사 측량 시방서(KCS 10 30 50)의 MG 활용시 측량 방법론

항목	내용
1.4.1 측량계획서 (4)	MG 활용 시 3차원 측량계획과 관련된 별도의 측량계획서 수립, 공사감독자의 승인 필요
3.2.1 시공 전 측량 일반 (4)	시공 전 MG 시범 적용 시 공사감독자에게 보고 및 입회 하에 정상 작동 확인
3.3.1 시공 중 측량 일반 (2) ④	부착된 GNSS 수신기와의 통신을 통해 위치 값을 보정하여 건설장비의 위치를 추적
3.3.1 시공 중 측량 일반 (2) ⑤	GNSS-RTK 기지국을 현장에 설치 및 X, Y, Z좌표를 GNSS 측량으로 정확히 측정
3.3.1 시공 중 측량 일반 (2) ⑥	건설장비의 부착된 센서를 이용해 버켓(Bucket) 또는 블레이드(Blade) 끝점의 X, Y, Z좌표를 추적
3.3.1 시공 중 측량 일반 (2) ⑦	MG 이용한 토공작업 실시한 경우, 현 지반고의 3D 도면을 작성
3.3.1 시공 중 측량 일반 (3) ⑧	MG 사용할 경우 공사감독자와 협의를 통해 토공기준틀(규준틀) 설치 생략 가능
3.3.2 기성검측을 위한 측량(3)	수급인은 MG 적용하는 경우 토공량 및 공사수량을 산정 가능, 공사감독자는 검측 시 횡단측량을 생략 가능

출처 : KCS 10 30 50 : 2021 건설공사 측량, 국토교통부(2021)

■ (일본) 자동화장비(MG/MC)를 활용한 기성부분 관리

- 일본에서는 MG/MC 장비를 활용하여 기성부분 관리를 실시하는 공종을 정의하고 있음. 또한, 기성관리를 위한 스마트건설기계의 정확도 및 정밀도 기준도 제시하고 있음

<표 4-14> 일본의 MG/MC를 활용한 기성부분 관리 적용 공종

장	절	공종
토공[1)]	도로 토공	땅깎기, 노체 흙쌓기, 노상 흙쌓기, 비탈면 깎기
	하천 · 해안 · 사방 토공	땅깎기, 흙쌓기, 비탈면 깎기
일반 시공	경량성토공	경량성토공
도로 개선, 교량 하부, 도로 유지, 도로 수선	경량성토공	경량성토공

1) : 1개소 당 시공 규모가 1,000m^3이상이 되는 토공구분에 적용한다.

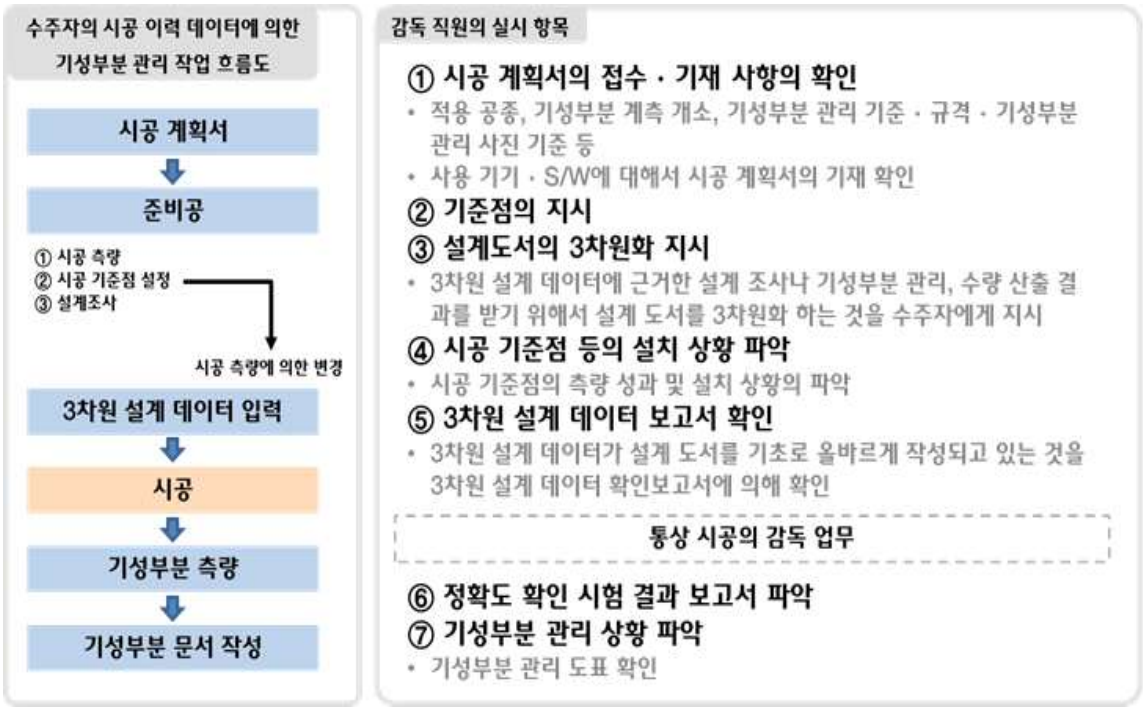
출처 : 국토교통성(2021.03), 시공 이력 데이터를 이용한 기성부분 관리의 감독 · 검사요령(토공편)(안)

<표 4-15> 일본의 기성관리를 위한 MG/MC 정확도 기준

구분	측정 정확도	측정 밀도
약식 기성검사	MC · MG 굴착기, 불도저, 롤러(①or② 실시) ① 실제로 땅깎기 · 깎기작업 실시 방법 비탈면 또는 소단의 정밀도 확인 수평 · 연직 방향(△x,△y,△z) ±200mm 이내 ② 스마트건설기계의 작업 장치 위치를 계측 연직방향(△z) ±50mm 이내	부분 지불 가능 높이를 추정 -1점이상 / 1㎡(1m×1m)
정식 기성검사	MC · MG 굴착기, 불도저, 롤러(①and② 실시) ① 실제로 땅깎기 · 깎기작업 실시 방법 비탈면 또는 소단의 정밀도 확인 수평 · 연직 방향(△x,△y,△z) ±50mm 이내 ② 스마트건설기계의 작업 장치 위치를 계측 연직방향(△z) ±50mm 이내	기성신청 가능 높이를 측정 -1점이상 / 1㎡(1m×1m)

출처 : 국토교통성(2021.03), 시공 이력 데이터를 이용한 기성부분 관리의 감독 · 검사요령(토공편)(안)

- 또한, 일본에서는 자동화 장비를 활용하여 기성부분 관리를 수행할 경우, 감독직원이 준수해야 할 업무 프로세스 등을 매뉴얼로 작성하여 제시하고 있음



출처 : 일본 국토교통성(2022), 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독 · 검사요령 (토공편)

<그림 4-19> 시공 이력데이터를 활용한 기성관리시 감독직원의 업무프로세스

- 계약자는 시공계획서 및 첨부자료에 다음 사항을 기재해야함

  1) 적용 공종 · 적용 기종, 2) 적용지역, 3) 기성관리 계측개소, 기준 및 규격 값, 사진기준, 4) 사용기기 · 소프트웨어, 5) 정밀도 확인 시험계획

- 시공 이력 데이터를 이용한 기성부분 관리에 관한 정밀도 확인 시험 결과 보고서 예시는 다음 그림과 같음

참고 자료-3 정밀도 확인 시험 결과 보고서

(양식-2)

정밀도 확인 시험 결과 보고서

계측 실시일:○○년 ○○월 ○○일

기기의 소유자·시험자 혹은 정밀도 관리 담당자: (주) 시공 이력

(1) 시험 개요

정밀도 확인 대상 기기 메이커 : ㈜ABC사 측정 장치 명칭: SR420 측정 장치 제조 번호: SN00022	사진 
검증기기(검측점을 계측하는 측정기기) 2급 TS GPT○○○○	사진 
측정 기록 측정 기일:영화 ○○년 ○○월 ○○일 측정 조건: 날씨 맑음 기온 8°C 측정 장소:(주) 시공 이력 현장에서 정밀도 검증 대상 기기와 기지점의 거리:○○m	사진 

출처 : 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독 · 검사요령 (토공편), 일본 국토교통성(2022)

<그림 4-20> 정밀도 확인 시험 결과 보고서 예시 ①

(2) 수직 방향의 정밀도 확인 시험 결과

시공 이력 데이터의 취득에 의한 확인



TS 등 광파 방식에 의한 검사점의 확인



차이 확인(연직 방향의 측정 정밀도)

시공 이력 데이터의 취득에 의한 계측 표고 - TS 등 광파 방식에 의한 계측 표고

① 실제로 드릴링 성형 작업을 수행하는 방법

	점번	평장※		
		Δx	Δy	Δz
교차	1	31mm	20mm	35mm
	2	21mm	10mm	28mm
	3	19mm	33mm	14mm
	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
기준		±50mm 이내		

※본 확인은, 시공 이력 데이터에 의한 완성형 관리를 실시하는 범위의 형상에 따라, 평장 또는 법면에서 한 번 실시한다.

② ICT 건설기계의 작업장치 위치를 계측하는 방법

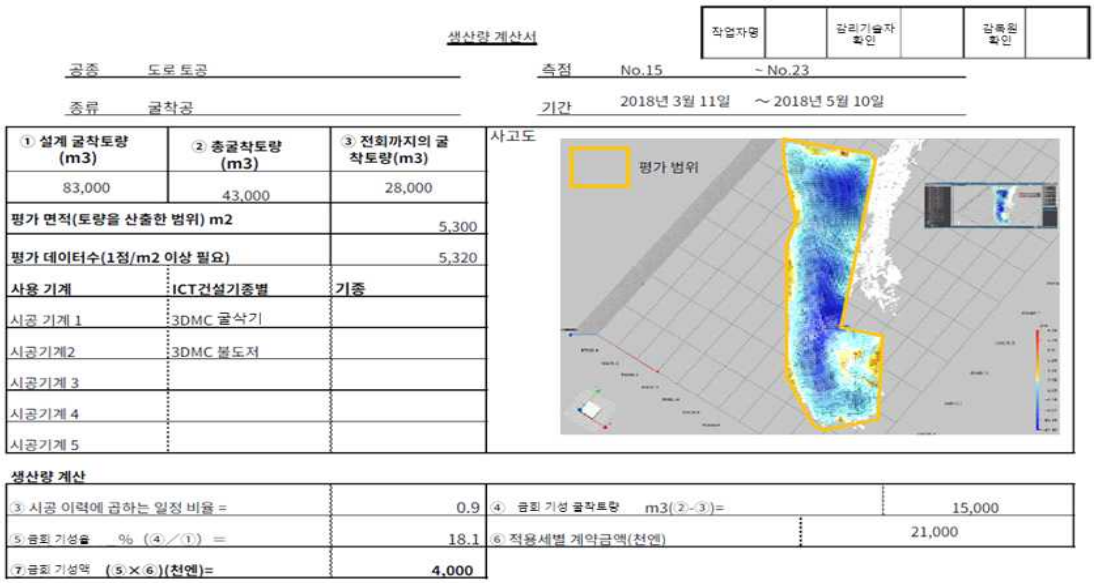
	점번	각 측점에서의 차이		
		Δx	Δy	Δz
교차	1	25mm	34mm	24mm
	2	16mm	11mm	13mm
	3	19mm	38mm	19mm
	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
기준		±50mm 이내		

출처 : 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독 · 검사요령 (토공편), 일본 국토교통성(2022)

<그림 4-21> 정밀도 확인 시험 결과 보고서 예시 ②

■ (일본) MG/MC를 활용한 토공수량산출 예시

- 포인트 클라우드 데이터 처리 S/W를 사용하여 다이어그램을 만들고, 완성도는 S/W로 출력할 수 있는「메쉬 토량도」또는 부분 완성도로서 산출에 이용한 면 데이터로 활용함



생산량 계산서

작업자명		관리기술자 확인		감독원 확인	

공종 도로 토공 측점 No.15 ~ No.23

종류 굴착공 기간 2018년 3월 11일 ~ 2018년 5월 10일

① 설계 굴착토량 (m3)	② 총굴착토량 (m3)	③ 전회까지의 굴착토량(m3)
83,000	43,000	28,000

사고도

평가 면적(토량을 산출한 범위) m2		5,300
평가 데이터수(1점/m2 이상 필요)		5,320
사용 기계	ICT건설기종별	기종
시공 기계 1	3DMC 굴삭기	
시공기계2	3DMC 불도저	
시공기계 3		
시공기계 4		
시공기계 5		

생산량 계산

③ 시공 이력에 곱하는 일정 비율 =	0.9	④ 금회 기성 굴착토량 m3(②-③)=	15,000
⑤ 금회 기성율 % (④/①) =	18.1	⑥ 적용세별 계약금액(천엔)	21,000
⑦ 금회 기성액 (⑤×⑥)(천엔)=	4,000		

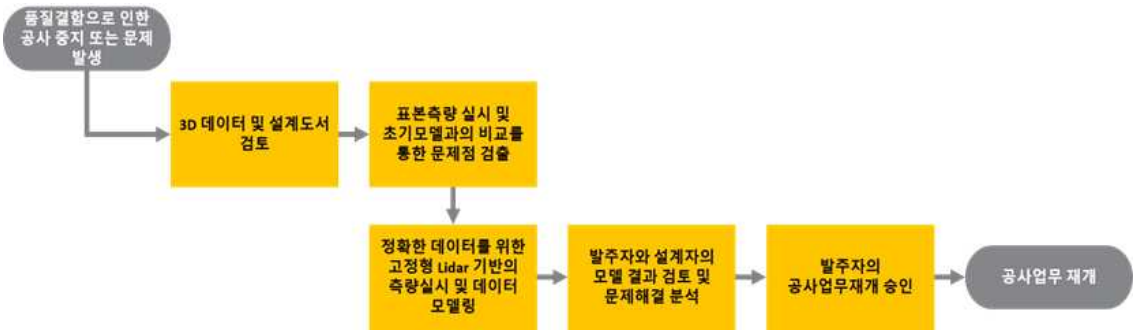
출처: 일본 국토교통성(2019), 시공 이력 데이터에 의한 토공 생산량 산출 요령(안)

<그림 4-22> 완성도 양식 예시

■ 시공자동화 장비 활용 시 데이터 품질 관리 프로세스

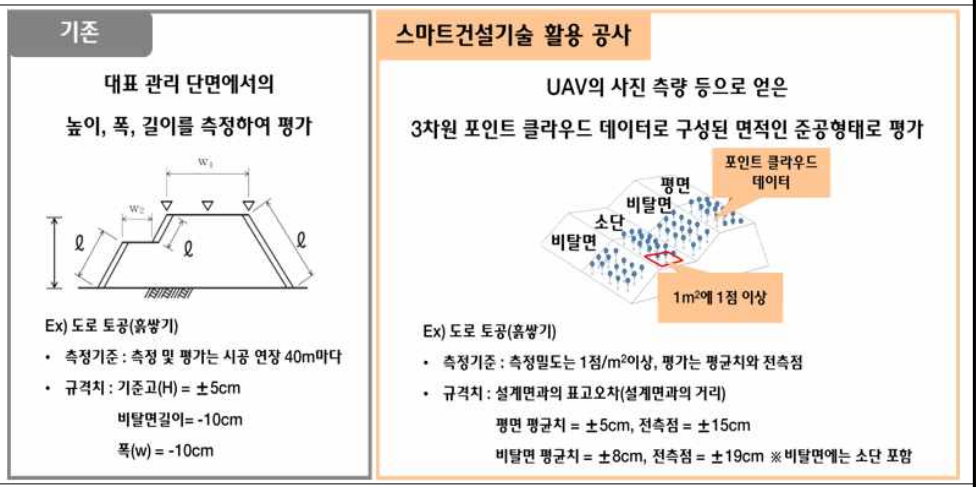
- AMG 적용은 사업관리 측면에서 시공사에게 조금 더 효율적이고, 발주자 측 사업관리단은 품질 관리 및 검측 등의 측면에서 업무의 승인 및 감독 업무로 제한적이므로 AMG 적용 공사 품질측정 시 시공자와 발주자 간의 문제해결에 관한 프로세스를 정립이 필요할 것으로 보임

- 미국 FHWA에서는 AMG 적용된 공사에서 품질 측정 후 시공사와 발주자간의 갈등이나 문제해결에 관한 이론적 프로세스를 제시한 바가 있음



<그림 4-23> 시공자동화 장비 활용 시 데이터 품질 관리 프로세스(안)

실행과제 5) 3차원 계측기술 도입에 따른 기성관리 절차 검토

개 요 및 필 요 성	• 시공관리 데이터의 연속적인 취득이 가능해짐에 따라 기존 대비 높은 수준의 검측 및 품질관리가 가능해져 이에 적합한 기성관리 방안을 마련하는 것이 필요
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 3차원 계측기술(드론, MG/MC기반 시공이력 데이터, 레이저 스캐너 등) 적용 시의 기성관리 기준 마련 • 3차원 계측기술별 기성관리 절차 마련
기대효과	• 기존의 감독 직원에 의한 현장 확인이 시공 관리 데이터의 수치 체크 등으로 대체 가능하게 되는 것 외에, 검사 직원에 의한 기성부분・품질 관리 기준 값 등의 확인에 대해서도 수치의 자동 체크가 가능해짐에 따라 업무 생산성이 향상될 것으로 기대

■ (일본) 3차원 계측기술(UAV 등) 기반의 기성관리 감독・검사 매뉴얼에 의하면 UAV 측량 활용 시 관리해야 할 사진이 감소하여 업무 효율성이 향상

<표 4-16> 품질관리 및 기성관리사진기준

공종	일반 기성관리시			UAV를 활용한 기성관리시		
	촬영항목	촬영빈도 [시기]	제출빈도	촬영항목	촬영빈도 [시기]	제출빈도
굴착공	토질 등의 판별	지질이 바뀔 때마다 1회 [굴착 중]	장소 당 1장	토질 등의 판별	지질이 바뀔 때마다 1회 [굴착 중]	장소 당 1장
	비탈면 길이	200m 또는 1 시공 장소에 1회 [굴착 후]		비탈면	촬영마다 1회 [굴착 후]	사진 측량에 사용한 모든 이미지
노상 성토공	토질 정리	200m에 1회	장소 당 1장	토질 정리	200m에 1회	장소 당 1장
	땅 다짐 상황	전압 기계 또는 지질이 바뀔 때마다 1회 [체결 시]		땅 다짐 상황	전압 기계 또는 지질이 바뀔 때마다 1회 [체결 시]	
	비탈면길이, 폭	200m 또는 1 시공 장소에 1회 [시공 후]		비탈면, 평면	촬영마다 1회 [시공 후]	사진 측량에 사용한 모든 이미지

출처: 일본 국토교통성(2019), 시공 이력 데이터에 의한 토공 생산량 산출 요령(안)

- 또한, UAV 측량에 의한 기성부분 계측데이터를 활용함에 따라 현장 검사 횟수가 감소함

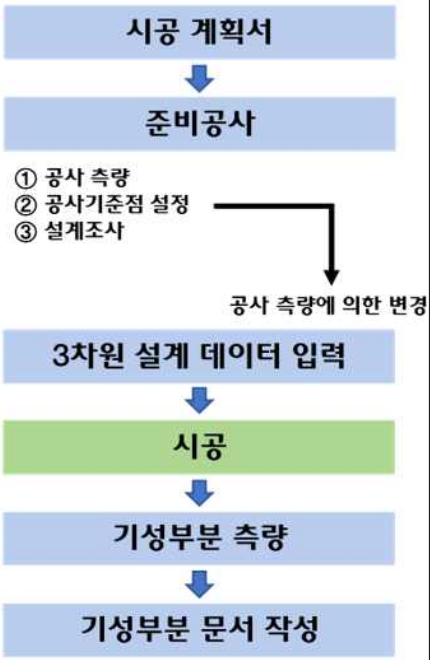
<표 4-17> UAV측량과 일반측량 방법 비교

일반			UAV를 활용한 기성관리시			
공종	검사내용	검사밀도	공종	계측장소	확인내용	검사밀도
공통	기준고, 폭, 법면길이	200m 당 1곳 (단, 시공 연장 200m 이하인 경우 2곳 이상)	도로 토공	검사원이 지정하는 평지 또는 상단 위의 임의의 장소	3차원 설계 데이터의 설계면과 실측값과의 표고교차 또는 수평오차	1공사당 1단면

출처: 일본 국토교통성(2019), 시공 이력 데이터에 의한 토공 생산량 산출 요령(안)

■ (일본) UAV 또는 시공이력 데이터 기반 작업 흐름도 및 감독 직원의 업무 프로세스를 다음과 같이 정의하고 있음

<표 4-18> UAV/시공이력 데이터 기반 작업 흐름도 및 감독 직원의 업무

계약자의 기성부분 관리 작업 흐름도	감독 직원의 실시 항목
	① 시공 계획서의 수리・기재 사항의 확인 - 적용 공종, 기성부분 계측 개소, 기성부분 관리 기준・규격・기성부분 관리 사진 기준 등 - 사용 기기・S/W에 대해서 시공 계획서의 기재 및 첨부 자료 등에 의한 확인 - (UAV)촬영 계획(촬영방법, 계측 성능, 비행 안전 확보 등) ② 기준점의 지시 ③ 설계도서의 3차원화 지시 - 3차원 설계 데이터에 근거한 설계 조사나 기성부분 관치, 수량 산출 결과를 받기 휘해서 설계도서를 3차원화 하는 것을 계약자에게 지시 ④ 공사 기준점 등의 설치 상황 파악 - 공사 기준점의 측량, 성과 및 설치 상황의 파악 - UAV 측량에 필요한 표정점 및 검증점의 측량 성과 및 설치 상황의 파악 ⑤ 3차원 설계 데이터 보고서 확인 - 3차원 설계 데이터가 설계 도서를 기초로 올바르게 작성되고 있는 것을 3차원 설계 데이터 확인 보고서에 의해 확인 통상 공사의 감독 업무 ⑥-1 (UAV) 카메라 캘리브레이션 및 정밀도 확인 시험 결과 보고서의 파악 ⑥-2 (시공이력데이터) 정확도 확인 시험결과 보고서 파악 ⑦ 기성부분 관리 상황 파악 - 적용공종, 기성부분 계측 개소, 기성부분 관리 기준・규격・기성부분 관리

출처 : 일본 국토교통성 (2022), 공중사진측량(UAV)을 이용한 기성관리 감독・검사요령 (토공편)
일본 국토교통성 (2022), 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독・검사요령 (토공편)

실행과제 6) 스마트 검측 활성화 및 업무절차 개선

개 요 및 필 요 성	• 건설현장 원격관리 시스템 구축을 통한 품질 및 현장관리에 편리하고 효율성 높은 업무체계 마련 • 원격관리 시스템을 활용하여 다양한 현장관리 업무 수행 필요
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 공종별 스마트 검측, 원격관리방안 검토 • 공종별 스마트 검측 및 원격관리를 위한 시스템 구축 • 공종별 스마트 검측 적용 시에 따른 업무 절차 개선방안 마련
기대효과	• 시간적, 공간적 제약 없는 실시간 현장관리체계 마련건설사의 다양한 시공 노하우와 기술을 실시설계단계 반영 가능 • 원격 실시간 영상모니터링을 통한 업무 효율성 증대 • 원격관리 시스템 활용으로 SMART한 현장관리 업무환경 조성

■ (국내) 한국도로공사는 건설현장 검측업무매뉴얼(2016)에 따라 123개의 원격 검측항목을 지정하여 관리 (단, 최초검측은 현장검측 시행)

- 일본의 경우 171개의 원격 업무 가능항목(단계확인, 재료확인, 입회로 구분)을 제시하였으며, 공종별 확인 시기 및 검측항목, 원격 업무 시 특수장비 필요여부 등을 제시

<표 4-19> 원격검측 가능 공종비교 예시

공종별	확인 시기	확인 항목	원격검측 여부	
			건설현장에서의 원격업무에 관한 실시요령, 일본 국토교통성(2022)	건설현장 검측업무매뉴얼, 한국도로공사(2016)
토공(땅깎기)	토(암)질 변화 시	토(암)질, 변화 위치 ※1	O	O (발파준비 상태), X(절토부암판정)
		변화 위치 ※2	△	
교량(강교)	가조립완료 시 (가조립이 생략되는 경우 제외)	캠버, 치수	O	X
터널(굴착공)	토(암)질 변화 시	토(암)질, 변화 위치	△	X (측량, 암판정)
		변화 위치	O	
터널(지보공)	지보공 완료 시 (지보공 변경 때마다)	숏크리트두께, 록볼트박음 개수, 록볼트박음 길이	O	O (강지보공), X(숏크리트면, 록볼트)
터널(인버트공)	철근 조립 완료 시	설계 도서와의 대비	O	X

※ 주 : O(범용적인 기기에서 실시 가능한 확인 항목 / △(특수한 기기 등이 필요한 확인 항목)
1(변화 위치를 색 변화 등에 의해 확인할 수 있는 경우), 2(변화 위치를 타음검사 등에 의해 확인할 수 있는 경우)

■ (일본) 건설 현장에서의 원격 업무에 관한 실시 요령

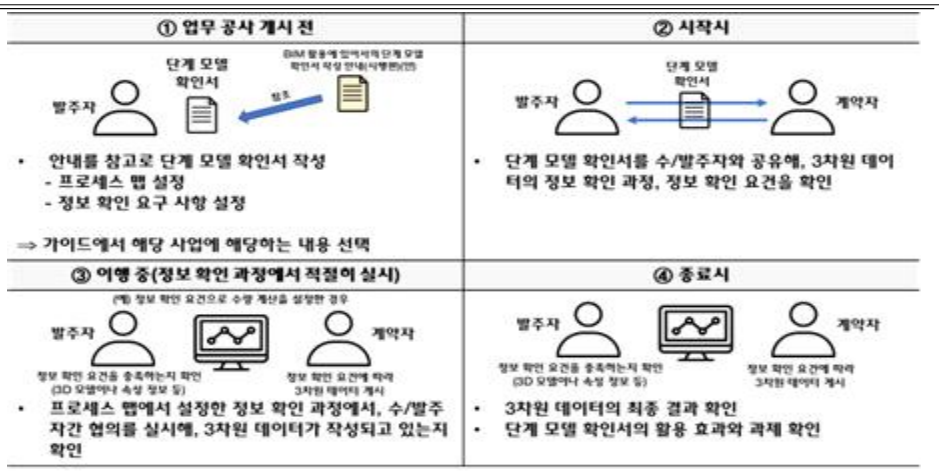
- 일본에서는 원격 현장의 시행 요령(안), 감독・검사 시행 요령(안)을 책정・원격 현장을 추진하기 쉽고, 또한 효과적으로 실시하기 위해 “2020년도의 시행 방침“ 을 발표

<표 4-20> 각 담당자들의 실시업무

실시 순서	계약자의 실시 업무	감독 직원 등의 실시 업무	검사 직원의 실시 업무
시공계획서 ▽ 기기 준비 ▽ 원격 업무에 의한 단계 확인 등의 실시	① 시공계획서의 작성 • 본 요령을 적용하는 단계 확인, 재료 확인과입회 항목 •동영상 촬영카메라(웨어러블 카메라) •Web 회의 시스템 등 •사전 준비 •촬영 실시 ②기기준비 ③ 단계 확인 등의 실시	① 시공계획서의 확인 • 감독 · 검사 요령을 운용하는 단계 확인, 재료 확인과 입회 항목 • 단계확인서, 확인 · 입회 관련 서류, 재료확인서의 수령 • 촬영 기록 ② 단계 확인 등의 실시	① 시공계획서의 확인 •감독 · 검사 요령을 운용하는 단계 확인, 재료 확인과 입회 항목의 확인•단계확인서, 확인 · 입회관련 서류, 재료확인서의 접수 상황 확인 ② 단계 확인 등의 실시상황확인

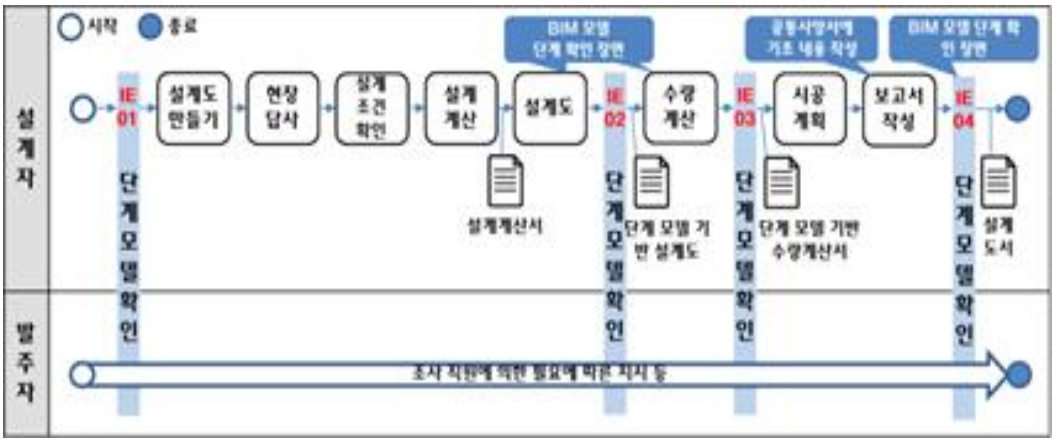
출처 : 일본 국토교통성 (2022), 원격 현장의 시행 요령(안), 감독・검사 시행 요령(안)

실행과제 7) BIM 데이터 품질 확인 지침 마련

개 요 및 필 요 성	• BIM을 활용한 업무 또는 공사에서는 관계자(발주자와 계약자) 사이에 원활한 정보 교환을 실시 할 수 있는 프로세스를 정립하고, 나아가 정보 확인을 요건을 나타낼 수 있는 지침을 마련하는 것이 필요함
실행목표 개 념 도	 출처 : BIM 활용 시 ‘단계모델확인서’ 작성 매뉴얼, 일본 국토교통성(2019)
주 요 추진내용	• 사업단계별로 업무수행에 필요한 데이터에 대한 정의 실시 • 단계별 BIM 모델 확인을 위한 프로세스 맵과 정보확인 요구사항 설정방안 검토 • BIM 활용 공사(업무)에서의 단계모델확인서 작성 매뉴얼(지침) 작성
기대효과	• ·업무 및 공사 관련 프로세스에서 데이터 연계의 타이밍과 연계해야 할 정보를 수발주자 간에 공유 가능 • 발주자로부터 계약자에의 요구사항이 구체화되어, 관계자 간의 업무 효율성 증가

■ (일본) 단계 모델 확인서를 활용한 업무관리

- 단계별 모델 확인서는 BIM 활용 업무 또는 공사에 있어서, 발주자/계약자 간의 원활한 정보 교환이 가능하도록 프로세스나 정보 확인 요건을 정리한 서류
- 사업시행자 사이에서 데이터 연계의 순서나 방법 등을 밝히기 위해 작성하는 것
- 단계 모델 확인서의 구성
- 프로세스 맵(process Map) : 업무 · 공사를 실시할 때 관련된 작업 항목, 정보 확인이 발생하는 장면을 흐름으로 정리한 것으로, 공사 단계에 적합한 프로세스 맵을 작성하여, 관련 업무 및 공사 일련의 흐름에서 관계자 간의 작업 순서와 정보 확인의 장면을 명확히 할 수 있음



(a) 프로세스 맵 (Process Map)

정보 확인 요건	과정	확인 항목					
		모델 작성	속성정보 부여	수량 계산	리스크먼트 실시 상황	데이터 작성	기타
IE01	수량 계산용 모델 만들기				O	O	O
IE02	수량 계산용 모델 만들기	O	O	O			
IE03	중간 회의	O	O		O	O	O
IE04	최종 납품	O	O		O	O	O

(b) 정보 확인 요건 (IE : Information Exchange)

(A) 모델 작성	계약자 간 협의에서 결정한 내용에 맞는 모델이 잘 작성되었는지 확인한다(작성 범위 및 모델 상세도 등).
(B) 속성 정보 부여	수발주자 간 협의에서 결정한 내용에 맞는 속성 정보가 부여되었거나 부여 예정된 속성 정보가 정리되어 있는지 확인한다.
(C) 수량 계산	수량 계산을 수행할 수 있는 모델이 생성되었는지 확인한다. 또한 수량 계산 결과가 연결할 수 있는지 확인한다.
(D) 리스크먼트 실시상황	해당 업무・공사에서 설정되어 있는 리크 와이어먼트의 실시 상황이나 실시 결과에 대해서 확인한다.
(E) 데이터 작성	3차원 모델 외에 해당 업무・공사에서 필요한 데이터가 작성되었는지 확인한다.
(F) 기타	(A)~(F) 외에 별도, 수발주자간 협의에서 결정한 내용이 실시되고 있는지 확인한다.

출처 : 일본 국토교통성(2019), BIM 활용 시 '단계모델확인서' 작성 매뉴얼

<그림 4-24> 단계모델확인서의 주요요소

실행과제 8) 스마트 건설기술 테스트 베드 구축

개 요 및 필 요 성	• 스마트건설기술이 조기에 정착할 수 있도록 기준과 법·제도를 보완하고 개발되는 스마트 건설기술들이 테스트 베드를 통해 도로 사업에 실제 적용 및 검증되어 실용화되는 것이 필요함. • 또한 택지, 철도 등 타 분야로의 확산은 물론 패키지· 브랜드화를 통해 기술을 보유한 기업이 성장할 수 있는 기반을 마련하는 것이 필요함
실행목표 개 념 도	 출처 : [IV 중점분야] 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 테스트베드 운영, 정종홍 외 (2020)
주 요 추진내용	• 스마트건설기술을 적용 및 검증할 환경 조성을 위해 보다 종합 테스트 베드의 후보지를 확보하여 원활한 실증을 수행할 수 있도록 인프라 조성, 발주관리, 연구성과 관리 등을 위한 체계 마련 • 종합 테스트 베드 적용기술의 확산을 위해 현장 도입을 위한 제약조건을 제거하는 등 스마트 건설기술 국가 표준 및 시방서(안), 정책 및 제도 개선(안) 발굴
기대효과	• 스마트건설기술의 실용화 조기실현 및 활성화 기반 마련 • 스마트 건설기술 관련 제도화, 실용화 지원 등을 통한 스마트 건설기술 선도

■ (일본) 관동 DX·i-Construction인재육성 센터

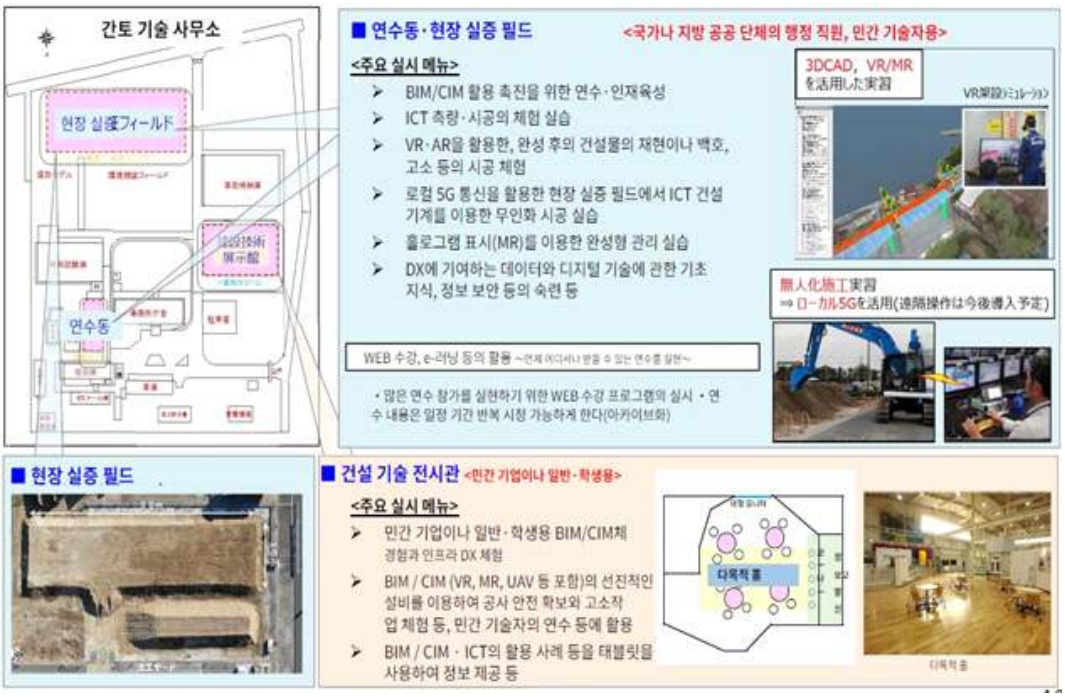
- 일본은 관동 DX·i-Construction 인재육성 센터를 통해 인프라 분야의 DX 추진을 위한 인재 육성을 목적으로서, 발주자(지방 공공단체 포함)와 계약자에 대한 BIM/CIM 활용과 ICT 시공 보급을 촉진하고, 데이터 및 디지털 기술 지식 학습 등에 관한 강습과 연수를 실시하고 있음

- 또한 중소기업 및 지방공공단체로 저변을 확대하기 위한 노력을 기울이고 있으며, ICT 시공 시 소규모 시공 적산 기준에 대한 대응하고 있음. 5000㎥의 적산 기준을 설정하는 등, 소규모 공사에 대응하고 있음.

- 이와 관련하여 현장 조건으로 인해 표준 스마트건설기술 시공 기계보다 규격이 작은 시공 기계를 사용하는 경우에는 표준적산에 다르지 않고 견적 활용하고

있음. 또한, 탑 러너(우수기업) 제도 관련 정보 공유를 수행하고 있음.

- BIM/CIM 분야의 인재 육성을 위해, 전국 지방정비국 등의 연수에서 공통적으로 사용 가능한 연수 프로그램, 매뉴얼 등을 작성하였음. 3차원 정보의 활용(모델 작성, 대조 조사 등)이 가능한 인재를 신속히 육성하기 위해 연수 인원 및 횟수의 증가에 대응할 수 있는 세미나를 실시하고 있음. 또한, 인재육성센터의 연수와 관련해서는 모델 사무소의 사업과도 연계(AR, VR 등 활용)할 예정임.



출처 : 国土交通省(2021.06), ＩＣＴ施工の対象工種の拡大に向けた取組

〈그림 4-25〉 관동 DX・i-Construction 인재육성 센터

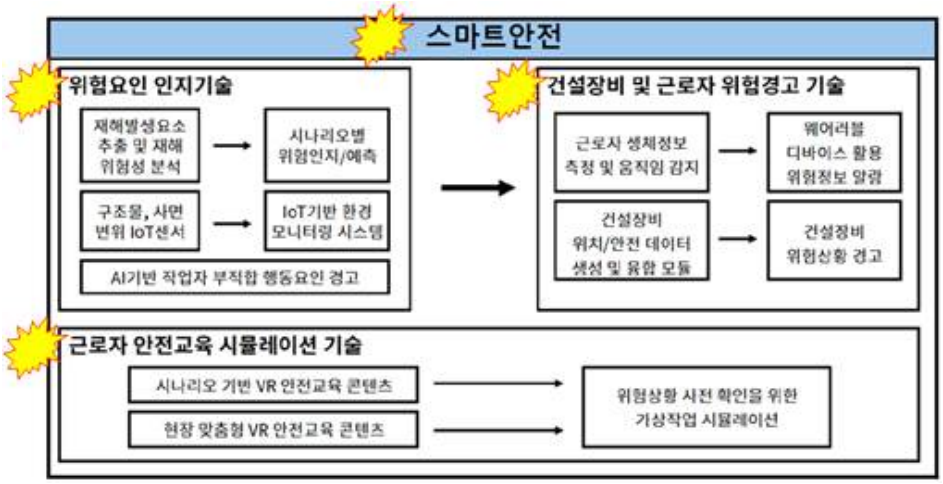
■ (국내) 한국토지주택공사 : 스마트시티 국가시범도시(5-1 생활권) 실증분석

- 한국토지주택공사에서는 세종시 5-1 생활권 조성공사에 스마트 건설기술을 반영하기 위한 실증 연구를 시행하고 있음. 국내 일부 현장에서 부분적으로 스마트 건설기술이 도입된 시도는 있으나, 부지조성공사 전 과정에 적용하는 것은 국내 최초임(실증 대상지의 면적은 66,545㎡).
- 실증분석의 목적은 머신 가이던스/컨트롤 시스템을 현재 진행 중인 토공현장에 투입하여 기존 토공방법과 머신 가이던스/컨트롤 방법을 비교하고, 머신 가이던스/컨트롤 적용으로 얻을 수 있는 생산성과 품질향상을 테스트하는 것임
- 또한, 해당 실증 결과는 스마트시티 국가시범도시(5-1생활권)에 적용된 스마트건설 기술요소의 가이드라인 수립에 활용될 예정임
- 실증분석은 1) 법면작업, 2) 관로 터파기, 3) 토공운반, 4) 무인 자동화 성능평가의 4가지 토공작업을 대상으로 각 장비의 생산성 및 품질성 등을 비교 검토하였음



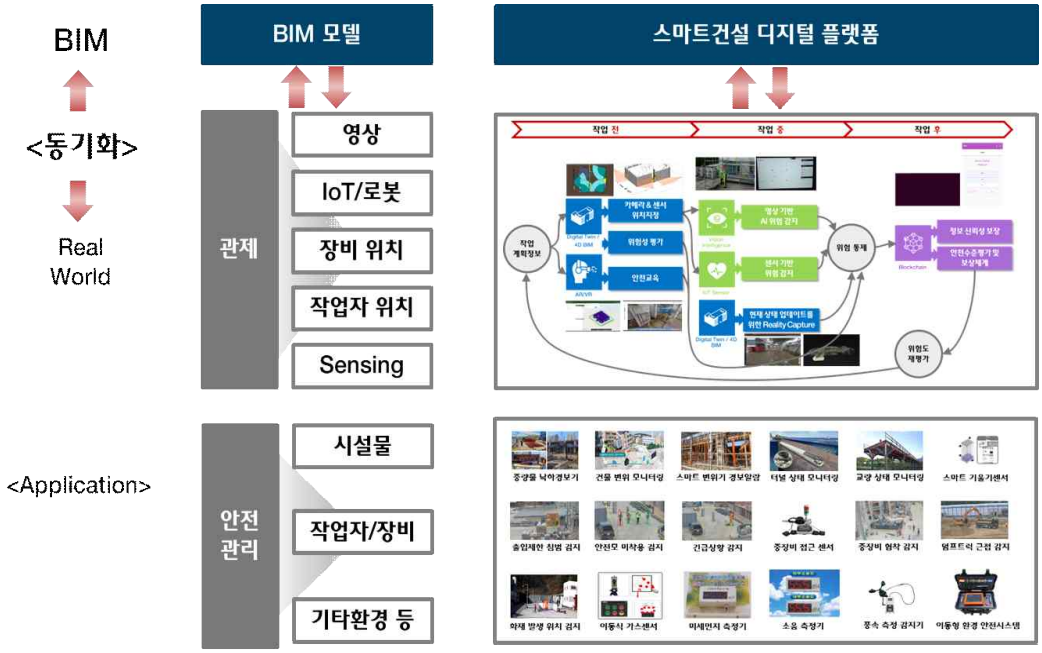
<그림 4-26> 실증 관련 부지

실행과제 9) 건설현장 통합 안전관리 플랫폼 구축

개 요 및 필 요 성	• 중대재해처벌법 시행을 안전사고와 관련된 전반적인 환경 개선이 요구되고 있음 • 건설현장에서의 안전사고 발생에 대한 적극적인 예방책으로서, 스마트기술을 활용한 건설 안전관리체계의 구축 필요
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 위험요인 인지 및 경고 시스템 구축 - 시공기술 단계의 디지털모델링 중점분야와 연계 필요 - 위험요인 인지기술과 경고기술(웨어러블 디바이스 등)을 연결 • 시뮬레이션 기반 안전교육을 위한 DB 및 소프트웨어 구축 - VR기술을 활용한 시나리오 기반 시뮬레이션 콘텐츠 포함 - 전국의 건설사업장에서 데이터를 수집하고 통합적으로 관리 • 건설현장 통합 안전관리 플랫폼 구축
기대효과	• 건설현장에서의 안전사고 예방 및 감소

■ (국내) 한국도로공사의 스마트 안전 통합 관제기술

- 재해율 5% 이상 감소를 목표를 위해 건설현장 안전 관련 정보를 통합·분석·예방의 건설현장 통합 안전관리 플랫폼 개발과 지속적 운영이 가능한 제도적 방안 마련 필요



(a) 스마트 안전관리체계 구축 개념도



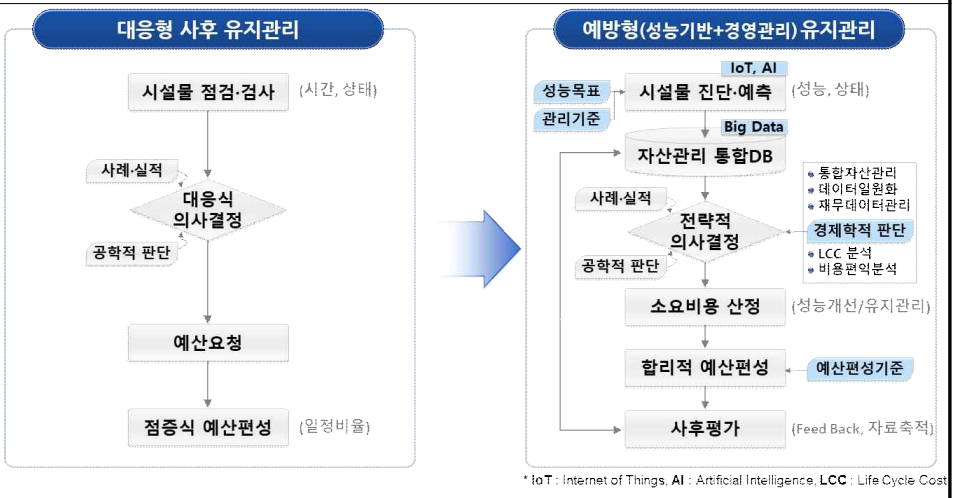
출처 : K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트 안전통합관제시스템 개발

(b) 스마트건설사업단의 스마트 안전통합관제시스템 개발

<그림 4-27> 스마트 안전관리 플랫폼 구축 개념도

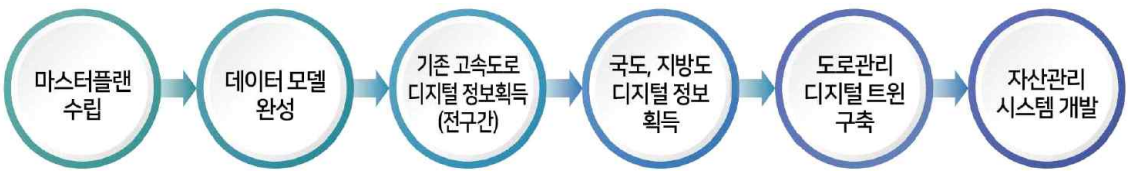
4.4.4 유지관리 단계

실행과제 10) 스마트 유지관리 업무체계 구축(PI)

개 요 및 필 요 성	• 인력 투입 중심의 유지관리체계를 지능형 스마트 기술을 기반으로 한 통합시설유지관리체계로 변화 필요 • 건설 및 운영단계와 유지관리단계 연계를 통한 디지털화된 통합시설관리 정보 축적 및 활용으로 정보관리체계 선진화 제고 • 향후 스마트 유지관리 시스템 개발 시 업무설계서(시스템 기능요건) 역할 필요
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 국내 관련 정책 및 글로벌 표준 확인 후 도로공사 유지관리 업무체계 적용성 검토 - 국내관련법 : 기반시설 관리법, 시설물 안전법 등 - 국제표준 : ISO 55000, IIMM, PAS55 등 • 도로공사 현 유지관리 업무 프로세스 검토 • As-Is 업무 분석을 통한 도로공사 내부 요구사항 및 스마트 기술을 포함한 적용범위 정의 • 도로공사 스마트 유지관리 업무 프로세스 구축
기대효과	• 프로세스 기반의 스마트 유지관리 업무체계 구축으로 국제표준과 호환성을 확보할 수 있으며, 건설~운영간 자연스러운 정보연계 제고 • 점검, 모니터링, 진단, 보수보강 등 안정성 위주 유지관리에서 사용성, 내구성 등 종합적 생애주기관리로 전환 기대

■ (국내) 한국도로공사 : 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털 모델 시범구축

- 스마트 유지관리 업무체계를 구축하기 위해서는 ①마스터플랜 수립 ② 데이터 모델 완성 ③자산관리 시스템 개발 등의 점진적·장기적인 추진전략 수립 필요



출처 : 한국도로공사(2021), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털 모델 시범구축 용역

<그림 4-28> 스마트 유지관리 업무체계 구축을 위한 중·장기적 추진 전략

실행과제 11) 기반시설 통합 DB 구축

개 요 및 필 요 성	• 도로공사 기반시설 유형별 표준화된 정보관리 실현 • 기반시설 정보의 지속적 관리를 통해 신뢰성 확보 필요 • 통합 DB를 활용한 통계자료로서 활용 가능할 것으로 기대
실행목표 개 념 도	
주 요 추진내용	• 건설 및 유지관리에 활용되는 정보 추출 • 시설 및 구조물 관련 점검/계측/유지관리 데이터 수집 • 건설, 운영, 유지관리 단계를 포함한 기반시설 통합 DB구축
기대효과	• 표준에 의한 체계적인 데이터베이스 축적 및 관리 가능 • 통합 DB를 활용한 유용성 높은 통계에 대한 접근성 제고로 합리적인 의사결정 활용 가능 • 향후 통합 유지관리 시스템 개발 시 통합 DB로 활용 가능

■ (국내) 한국도로공사 : 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털 모델 시범구축

- 도로공사 구조물 손상유형별 데이터 댐 구축 사업을 통하여 특정 구조물 및 환경의 체계적인 손상정보 관리를 위하여 최적의 AI 프로그램 개발로 데이터 댐 구축



출처 : 한국도로공사(2022), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털 모델 시범구축 용역

<그림 4-29> 도로공사 구조물 손상유형별 데이터 댐 구축(목표 개념도)

실행과제 12) 스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발

<table>
<tr><td>개 요
및
필 요 성</td><td>• 육안으로 진행하는 검사에서 센서 및 시스템을 통한 점검/진단으로 도로 포장, 교량 등 구조물 점검/진단 수행 시 휴먼에러 최소화 기대</td></tr>
<tr><td>실행목표
개 념 도</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>AS-IS</th><th>TO-BE</th></tr>
<tr><td>① 스마트포장 유지관리 시스템</td><td>포트홀 자동 장지 외 주로 인력에 의존</td><td>(일상점검) 포트홀 외 다양한 결함자동 탐지
(정기점검) 탐지, 보수보강 우선순위 선정 자동화</td></tr>
<tr><td>② BIM기반 교량관리시스템</td><td>텍스트, 사진위주로 종합판단 불가</td><td>BIM 기반 3D 교량관리시스템(손상·보수정보 위치 기반 이력관리) → 종합 판단·분석 가능</td></tr>
<tr><td>③ 포장 블로우업 자동 탐지기술</td><td>기상정보(위기경보)기반 인력중심의 후발견·대응</td><td>영상탐지 장비기반 분석·탐지·사전예측 원스톱 관리 체계 구축</td></tr>
<tr><td>④ 교량 신축이음 장치 유간 자동측정</td><td>인력중심의 육안검사 의존, 점검시 사고발생</td><td>촬영장비(NEXUS)+딥러닝+현장센서 기반 실시간 점검체계 구축</td></tr>
<tr><td>⑤ 교량 바닥판 GPR 점검 자동화</td><td>육안 및 코어조사에 의존</td><td>GPR 신호 특성(감쇠)과 코어조사를 통한 바닥판 열화 상관도 분석</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>주 요
추진내용</td><td>• 급속한 노후화 진행 중인 포장의 성능유지 및 안전성 향상을 위하여 인력(육안) 중심에서 자동화 기반으로 전환
• 시설물 정보 생애주기에 따른 손상·보수 정보위치기반 이력관리를 통해 데이터 저장·가공·분석이 가능한 관리시스템 구축
• 여름철 폭염에 따른 포장이 과도하게 팽창하면서 줄눈 또는 균열부에서 국부적으로 포장이 위로 상승하는 현상 대응기술 개발
• 이상기후 등 교량 신축 유간 협착 유발에 따른 유지보수 비용 저하 체계 구축
• GPR 조사 장비에 의한 교량 바닥판 손상 평가방법을 자동화 점검 기술 개발로 비용・시간 감소 기대</td></tr>
<tr><td>기대효과</td><td>• 법적 점검/진단 및 일상 유지관리 과정에서 수행되는 점검/진단 업무에 IoT 기술(드론 및 센서 등)을 활용하여 휴먼에러를 최소화하고, 현장 모니터링의 기반 안전사고 최소화 및 재난 대응력 강화 제고</td></tr>
</table>

■ (국내・외) 스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발 동향 및 사례는 다음과 같음

- 미국(2017), 카메라 내 모션센서 및 스마트폰의 캡쳐 이미지를 이용한 포트홀 탐지/예측 프로그램 개발 및 테스트 사례
- 영국(2016), 3D프린터 및 드론 활용 포트홀 탐지 및 자동 보수 기술 연구 프로젝트
- 일본(2018), 이미지와 딥러닝 기술을 스마트폰을 통한 캡쳐를 활용한 도로 손상탐지
- 한국(2019), 드론 활용 포트홀 탐지 기술 연구 프로젝트

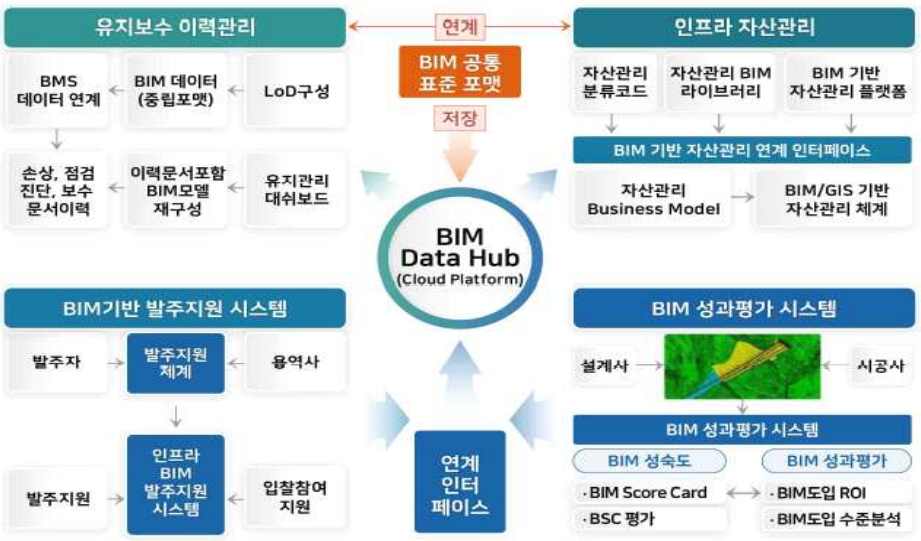




출처 : 한국도로공사(2022), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털 모델 시범구축 용역

<그림 4-30> 국내·외 스마트 점검/진단 센싱 요소기술 개발 사례

실행과제 13) 스마트 자산관리 플랫폼(시스템) 구축

개 요 및 필 요 성	• 인력 투입 중심의 유지관리체계를 지능형 스마트 기술을 기반으로 한 통합 시설유지관리체계로 변화 필요 • 자산관리 체계는 시설물에 관한 여러 지표를 선정하고, 이에 대한 시설물의 서비스 수준을 목표 지향적으로 관리하는 체계로서 예산집행 성과를 분석하는 피드백체계를 포함한 개념
실행목표 개 념 도	 출처 : 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털모델 시범구축 용역, 한국도로공사 설계처 (2021)
주 요 추진내용	• 디지털화된 통합시설관리 정보 축적과 활용으로 재원 효율화 및 관리체계 선진화 • 스마트 유지관리업무체계(프로세스)를 기반으로 개발된 시스템이기 때문에 투자우선순위 결정에 활용 • 성능예측 및 의사결정을 위한 디지털트윈 및 빅데이터, 종합성능 예측, 비용·가치의 종합적 추정 기술 등으로 고도화 • 현재 및 예측된 성능을 동시에 고려, 보수·보강 등의 대안에 대한 비용 기반 최적의 공법 및 적용 시기 결정 • BIM기반 인프라 자산관리 체계 개발
기대효과	• 국제 표준 기반 디지털 기술의 도입과 향후 시설물 생애주기관리 차원의 확장성을 고려하며, 관리 주체(도로공사)의 현행 업무 및 관리활동을 시스템화하여 개발하기 때문에 유기적 통합유지관리 업무활동 기대 • 기존 유지관리 데이터와 BIM을 결합하여 관계자 간 데이터 공유를 통해 데이터를 검색·취득·재가공할 수 있으며, 효율적인 자산관리 가능

■ (국내) 기반시설 통합 DB 구축을 위한 국내 동향 및 사례는 다음과 같음

- 지속가능한 기반시설 관리 기본법(2020) : 급격한 노후화가 진행되고 있는 기반시설에 대한 체계적이고 장기적인 유지관리 방안을 마련하기 위해 추진
- 서울시(2017)은 「서울인프라 다음 100년」 프로젝트를 발족하여 현재 사후관리 중심의 단기적 유지관리 체계를 선제적이고 중장기적인 유지관리 체계로의 전환을 추진
- 한국건설기술연구원(2021-2023)은 DNA 기반 노후 교량 구조물 스마트 유지관리 플랫폼 및 활용기술 개발
- 국토안전관리원은 시설물 열화 예측 모델 개발로 빅데이터 플랫폼을 구축



출처 : KICT(2021), DNA기반 노후 교량 구조물 스마트 유지관리 플랫폼 및 활용기술 개발착수

<그림 4-31> 도로공사 구조물 손상유형별 데이터 댐 구축(목표 개념도)

■ (해외) IIMM, ISO 55000 시리즈 등을 기반으로 하는 자산관리시스템 구축

- 해외 다수의 국가에서는 자산관리 시스템의 효율적인 구축을 위해 국제표준인 ISO-55000시리즈와 IIMM (International Infrastructure Management Manual)과 같은 매뉴얼을 활용하고 있음(도명식 외, 2016)
- ISO-55000 시리즈는 2014년도에 영국표준협회(BSI)가 PAS-55(자산관리)를 제정하였으며 이를 기반으로 개발되었음
- 그 중 ISO-55001은 시설물의 자산관리를 위하여 다음과 같은 7단계의 관리방안을 제시하고 있음
- 1단계(조직) 조직 구성 및 중장기 계획 수립, 2단계(리더십) 의사결정자에 의한 리더십, 3단계(계획) 장・단기적인 목표 설정과 평가지표의 설정, 4단계(지원) 자

금-인력-장비의 확보 및 지원, 5단계(운용) 계획을 기반으로 한 보수공사의 실시, 이해관계자들을 위한 홍보 활동, 6단계(평가) 정기적인 상태평가 수행, 7단계(개선) 상태평가에 의한 개선사항 도출(도명식 외, 2019)



출처 : ISO(2014a), ISO(2014b), ISO(2014c)

<그림 4-32> ISO-55000 시리즈 출판물

<표 4-21> ISO-55001의 자산관리 구축단계

단계	내용
1단계 (조직) 조직 구성 및 중장기 계획수립	■ 도로유지관리를 담당하는 조직 간의 관계, 역할 정리 ■ 이해관계자와의 관계정리 (예산처, 위탁업체, 도로이용자 등)
2단계 (리더십) 의사결정자에 의한 리더십	■ 리스크(예산, 인원 등)에의 대응 ■ 의사결정자 참가에 의한 프로젝트 정기 모니터링 가능 ■ 기술적 정보의 공유 활성화
3단계 (계획) 장・단기적인 목표설정과 평가 지표의 설정	■ (장기적 지표 설정 예) 도로포장상태를 목표관리수준의 xx%로 유지(도로포장의 정기조사와 모니터링 조사를 지속적으로 수행) ■ (단기적 지표 설정 예) 도로포장관리에 관한 관리능력이 평균 xx% 향상, 보수사업에서의 예방적 유지보수 실시율과 그 비율
4단계 (지원) 자금, 인력, 장비의 확보 및 지원	■ (자금) 필요한 사업비의 확보, 예산요구 자료의 설명력 향상, 관계부처와의 소통 능력 향상 ■ (인력) 필요한 인재의 확보, 조직 리스크 대응, 계층적 트레이닝에 의한 조직강화, 인사담당부서와의 긴밀한 커뮤니케이션 ■ (장비) 자산관리운용을 위해 필요한 장비의 운용 및 확보
5단계 (운용) 계획을 기반으로 한 보수공사의 실시, 이해관계자들을 위한 홍보 활동	■ LCC를 고려한 적절한 보수공법선정, 시민 요구를 고려한 대응, 시민을 위한 정보제공, 커뮤니케이션, 시민참가에 의한 유지관리
6단계 (평가) 정기적인 상태 평가 수행	■ 상태평가
7단계 (개선) 상태평가에 의한 개선사항 도출	■ 자산, 자산관리, 자산관리시스템의 개선 ■ 유지관리 기술, 인력, 예산, 조직구성, 정보공유, 관리능력, 리스크 요인 등

출처 : 도명식 외(2016), 도로자산 관리체계 구축방안 마련연구(도로포장 중심), 국토교통부

- <표 4-22>와 같이 영국, 일본, 미국 등의 해외국가에서 ISO-55000시리즈를 활용하여 자산관리 시스템을 구축하여 운영하고 있음
- 미국에서는 1990년대부터 주정부 및 연구기관, 도로교통공무원협회(AASHTO)와 연방도로청(FHWA)을 중심으로 자산관리에 대한 연구를 진행하고 있음. 도로교통공무원협회에서는 PMS, HPMS, NBIS, HERS, PONTIS(BMS)와 같은 관련 시스템을 구축하여 운영 중에 있음 (도명식, 2015)
- 영국에서는 지역사무소가 계약한 민간업체에서 고속도로의 유지관리를 수행하고 있음. 영국 고속도로 관리청은 다양한 데이터베이스 등을 통해 수집된 정보를 기반으로 도로자산에 대한 자산관리 및 의사결정을 수행하고 있음 (도명식, 2015)

<표 4-22> 해외 ISO-55000 시리즈 취득 현황

항목	나라	분야	취득시기
Scottish Water	영국	상하수도	2014/1
Babcock	영국	운송시설	2014/1
RINFRA(Reliance Infrastructure Ltd.)	인도	전력	2014/1
Anglian Water Service Ltd.	영국	하수도	2014/3
RTA(Roads and Transport Authority)	아랍에미리트	교통	2014/4
PG&E(Pacific Gas and Electric Company)	미국	가스・전력	2014/5
DSD(Drainage Services Department)	홍콩	하수도	2014/5
NATS(National Air Traffic Services)	영국	공항시설	2014/6
ADCO(Abu Dhabi Company for Onshore Oil Operations)	아랍에미리트	석유파이프라인	2014/6
ELENIA	핀란드	전력	2014/8
MCM(Morupule Coal Mine)	보츠와나	관상	2014/10
Trans Grid	오스트리아	전력	2014/12
Royal Haskoning DHV	네델란드	도로	2015/3
Singapore Mass Rapid Transit	싱가폴	철도	2015/5
Alpiq	스위스	전력	2015/5
AES Tiete	브라질	전력	2015/5
London Underground	영국	철도	2015/6
DONG Energy	덴마크	전력	2015/6
센다이 시청	일본	하수도	2015/3
아이치현, 공익재단법인아이치 수림 공사	일본	하수도	2015/3
적수화학공업주식회사	일본	하수도	2015/3
㈜그란비스타호텔&리조트/일본공영주식회사	일본	도로	2015/3
주식회사 가이아트 T・K, 주식회사 하이랜드웨이	일본	도로	2015/3
㈜퍼시픽컨설턴트 / ㈜PE-TeRaS	일본	전력	2015/7

출처 : 도명식 외(2016), 도로자산 관리체계 구축방안 마련연구(도로포장 중심), 국토교통부

제5장 결론 및 정책 제안

5.1 결론

5.2 정책 제안

제5장 결론 및 정책 제안

5.1 결론

■ 본 과업의 목적은 한국도로공사의 R&D 성과와 BIM의 건설단계 본격적인 도입에 대비하여, 스마트 건설기술의 단계적인 건설현장 적용과 이를 수용하기 위한 사업관리방식 변화방안, 제도개선 등을 담은 중장기 로드맵을 다음과 같이 수립하였음

■ 첫째, 국내외 디지털·스마트기술 도입 및 제도 현황

- 국내·외 건설부문 정책들을 분석하여 본 과업의 적용성을 도출하였음
- 또한, 국내외 스마트건설기술 도입현황 분석을 통하여 4대 중점분야(건설장비 자동화 및 관제, 도로구조물 스마트 건설, 스마트 안전 통합 관제, 디지털 플랫폼 및 테스트베드)별 스마트 건설기술의 국내외 수준을 비교·분석하였음
- 그리고, 스마트건설 사업관리 관련 제도 검토를 통하여 스마트건설기술 관련 법령 및 지침 등을 분석하고, 정부 및 공공기관 BIM 관련 제도 지침을 검토하여 본 과업의 중장기 로드맵의 기준을 정립하였음

■ 둘째, 디지털·스마트기술 도입에 따른 환경변화 분석

- 건설정보의 디지털화 사례 조사와 도로공사 건설관리 업무 프로세스를 분석하여 ①타당성 조사 및 설계단계 ②설계단계 ③시공단계별 건설정보의 디지털 전환 범위와 대상을 정의하였음
- 건설정보의 효율적인 관리방안을 도출하기 위하여 국내외 건설정보 관리 시스템 운영 사례분석을 통하여 건설정보의 유지관리 연계방안을 도출함
- 또한, 스마트건설 사업관리 로드맵을 설정하기 위한 사례분석과 설문조사를 통하여 스마트건설기술 중요도 조사 및 평가를 진행하였음

■ 셋째, 건설사업 디지털혁신을 위한 중장기 전략과제 및 실행 로드맵 수립

- 스마트건설 사업관리 관련 제도 개선 및 변화 방안을 BIM 활성화 및 디지털화 촉진을 위한 발주방식 제안, 조달청의 작업분류체계(WBS) 적용방안 및 효과, 스마트건설 사업관리를 위한 BIM활용 방안 개선 및 데이터 관리 등 제시하였음
- 또한, 「고속도로 건설사업관리의 디지털 전환」을 위한 전략과제별 세부 실행과제의 실행 로드맵은 상기의 결과를 기반으로 단계별(①설계 ②시공 및 건설관리 ③유지관리)로 구분했으며, 13개 실행과제를 도출하였음

5.2 정책 제안

1) 조달청 시행 시범사업(WBS 기반 내역서 적용)과 연계한 BIM 기반 공정관리 시행

■ 조달청-국토부(지방청) 시범사업(2023년) : 협의 확정

- 협약 체결 및 시범사업 대상 사업 선정(2023년 1분기)
- 국토부(지방청) 개별 사업 감독관 및 관련 계약자(설계/시공) 참여

■ 조달청 시범사업(2023년)에 참여하는 방안 검토

- 조달청은 공사/공단, 민간시행자 등 시범사업 참여를 적극적으로 추진
- 도공 시공책임형CM 시범사업과 연계하여 시행
- 시범사업 단계별 적용기준(설계도작성기준, QDB작성지침 등)의 적정성 검토 및 현행화 필요

■ 도공-조달청 시범사업 시행의 기대효과

- BIM 기반 공정/기성 관리 토대 마련
- WBS 기반 내역서 기반의 설계-입찰-계약-시공관리-준공 업무 프로세스 정립
- 준공 내역(디지털 기반) 기반의 자산 취득 및 유지/운영 연계 활용용이
- 도공 디지털 혁신 역량 제고를 통한 국내 고속도로 산업의 디지털 생태계 조성

2) BIM 기반 기성관리 시행의 지침 마련

■ 시행 근거 규정 마련의 필요성 및 방안

- 고속도로 건설공사 BIM 기반 공정 및 기성 관리 실무매뉴얼(2021.12)이 제시되고 있으나, 공사의 내부 규정의 근거가 없는 ‘연구 성과품’으로 판정, 업무 매뉴얼 사용에 제도적 근거 미흡
- 기성관리 업무 매뉴얼(건설관리처, 2004.10.24. 제정)의 ‘약식기성’과 ‘정식기성’을 활용하여 BIM 기반 기성관리 시행 규정을 마련하고, 공사 계약일반조건 및 특수조건에 반영하는 것을 제안

■ 기성관리 업무 매뉴얼의 개정으로 시행 근거 규정 마련 및 적용

- BIM 기반 공정관리를 수행하는 사업은 ‘약식기성’ 조항에 “도급계약서에 의거한 공정예정(율)표에 따라 산출한 추정기성부분 대가의 80%이내에서 기성고 검사 없이 매월 지급하고, 매 3개월마다 ‘정식기성’ 검사를 실시한다.” 내용추가 필요

- 단서 조항으로 “시공관리상태의 불만족(안전관리, 기술관리, 품질관리, 자재관리, 환경관리 등)와 공정지연 사유(Project Critical Path 15일 이상 지연, 시공계약자 귀책 Project Milestone의 지연)의 경우에는 기성고 지급 보류 또는 조정” 추가 필요

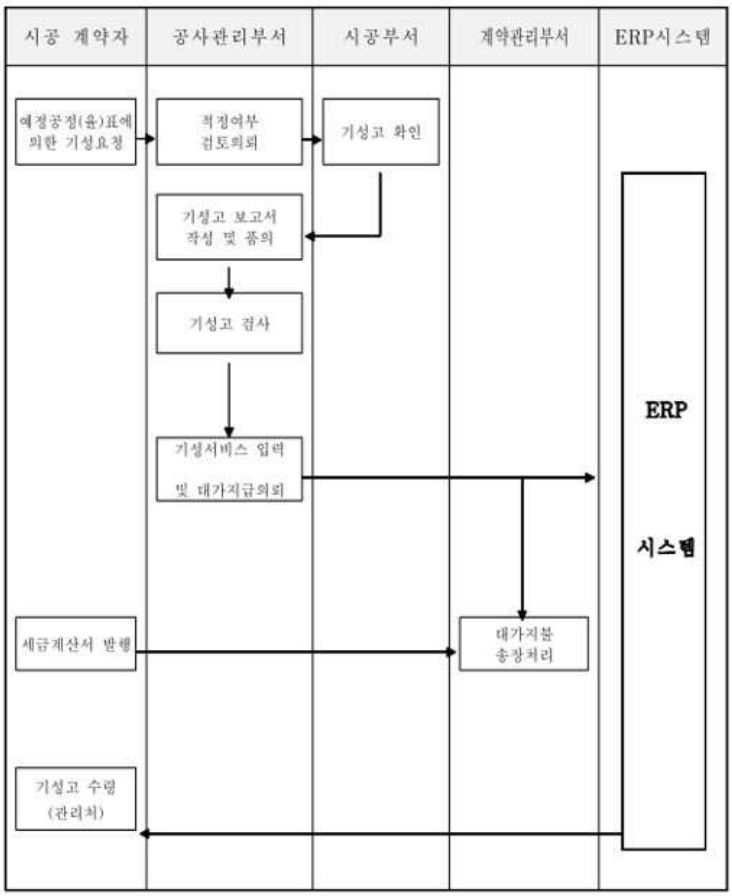
- 도공-조달청 시범사업과 연계한 BIM 공정관리 사업을 시범사업으로 추진 권고

■ [참조] 원자력발전소건설사업의 현장내부절차서(신월성원자력 1,2호기, 2003년)

- (목적) 주설비공사 기성고 지급 절차 규정 및 공사대가 지급 업무의 효율적 수행

- 도급계약서에 의거한 공정예정(율)표에 따라 산출한 추정 기성부분 대가의 80%이내에서 기성고 검사 없이 매월 지급, 매 3개월마다 검사실적에 따라 기성부분 대가를 지급할 수 있다는 것을 규정함

- 시공관리상태의 불만족과 공정지연 사유(Project Critical Path 15일 이상 지연, 시운전 계통인계율 80% 미달, 시공계약자 귀책 Project Milestone의 지연)의 경우에는 기성고 지급 보류 또는 조정



출처 : 한국수력원자력주식회사(2003), 신월성원자력 1,2호기 현장내부절차서(Site Internal Procedure) 주설비공사 기성고 지급 절차서

<그림 5-1> BIM기반 기성관리 시행 프로세스(예시)

참고문헌

1. 경기주택도시공사(2021), 입찰안내서_고양 일산테크노벨리 조성공사.
2. 관계부처 합동(2018), 국가나노기술지도.
3. 국가철도공단 (2021), 평택_오송 2복선화 제1공구 건설공사 입찰안내서.
4. 국토교통과학기술진흥원(2019), 스마트 건설기술 개발사업 기획.
5. 국토교통부(2018), 건설 생산성 혁신 및 안정성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵.
6. 국토교통부 건축정책관(2020), 건축 BIM 활성화 로드맵 '21 ~ '30.
7. 국토교통부(2017), 공간정보 기술 로드맵.
8. 국토교통부(2017), 무인항공기를 활용한 도로관리 효율화 방안.
9. 국토교통부(2018), 스마트 건설기술 로드맵.
10. 국토교통부(2020), 「한국판 뉴딜」 종합계획.
11. 국토교통부(2020), 건설산업 BIM 기본지침.
12. 국토교통부(2021), BIM 기반 건설산업 디지털 전환 로드맵.
13. 국토교통부(2021), KCS 10 30 50 : 2021 건설공사측량.
14. 국토교통부(2021), 건설기술용역 대가 등에 관한 기준 일부 개정안.
15. 국토교통부(2021), 건설사업정보시스템.
16. 국토교통부(2021), 디지털 전환 단계별 목표.
17. 국토교통부(2022), 스마트 건설 활성화 방안.
18. 대우건설(2021), 디지털건설팀 업무보고, 내부자료.
19. 도명식 · 최승현 · 김정민 · 진혜련 · 임언택 · 김재중 · 현세권(2019), 도로 유지관리 체계 개선을 위한 도로자산관리 시스템에 관한 연구 최종보고서, 국회입법조사처
20. 도명식 · 박성환 · 김정민 · 최승현 · 이윤정 · 정호용(2016), 도로자산 관리체계 구축방안 마련연구(도로포장 중심) 최종보고서, 국토교통부
21. 도명식(2015), 도시 회복력 강화를 위한 재난대응 및 인프라 자산관리, 월간 국토, pp.25-33.
22. ㈜영신디엔씨(2019), 건설장비와 IT의 만남.
23. ㈜영신디엔씨(2020), Smart Construction.
24. 정보통신기술진흥센터(2018), ICT R&D 기술로드맵.
25. 정종홍 · 황신연 · 윤현정 · 유웅선(2020), 스마트 건설 디지털 플랫폼 구축 및 테스트베드 운영, 한국건설관리학회지, 제21권 제4호, pp.25-30.
26. 조달청(2019), 시설사업 BIM 적용 기본지침서.

27. 조달청(2021), 평택평화예술의전당 입찰안내서.
28. 조상우(2016), 미국 건설산업의 혁신 및 시사점, 한국건설관리학회지, 제17권 제3호, pp.13-16.
29. 조성민(2020), “스마트 건설”은 건설산업의 미래를 열 돌파구, The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers, 제68권 제 8호, pp.14-15.
30. ㈜중앙항업(2020), 수치지도 및 지리정보 DB구축.
31. ㈜지에스아이엘(2017), 스마트 건설 안전관리 시스템.
32. ㈜풍산FNS(2019), 초장대 교량의 동적변위 실시간 정밀계측 기술.
33. ㈜한국인프라(2020), 토목BIM 교육 및 컨설팅.
34. 한국건설기술연구원(2019), 건설기술연구원 건설자동화 중장기 로드맵.
35. 한국건설기술연구원(2021), 스마트건설기술 마당 등록절차.
36. 한국건설기술연구원(2021), DNA기반 노후 교량 구조물 스마트 유지관리 플랫폼 및 활용기술 개발착수.
37. 한국건설기술연구원(2022.10), 국토부 건설사업정보화(CALS) 및 작업분류체계(WBS) 적용 현황.
38. 한국도로공사 설계처(2021), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털모델 시범구축 용역.
39. 한국도로공사(2020), 건설안전 혁신기술 확산 적용방안.
40. 한국도로공사(2020), 건설현장 드론활용 공종 및 작업 가이드라인.
41. 한국도로공사(2020), 건설현장 디지털 사업관리를 위한 시공단계 BIM 운영방안.
42. 한국도로공사(2021), BIM 기반 고속도로 건설공사 공정관리체계 구축 연구.
43. 한국도로공사(2021), BIM기반 고속도로 全 주기 디지털전환 추진방안.
44. 한국도로공사(2021), 건설현장 드론 운영방안.
45. 한국도로공사(2021), 고속도로 BIM 전면설계 평가기준 개정안.
46. 한국도로공사(2021), 동광주-광산 고속도로 BIM기반 디지털모델 시범구축 용역 보고서.
47. 한국도로공사(2021), 스마트 건설기술 실용화 로드맵.
48. 한국도로공사(2021), 스마트 트레이닝 마스터플랜.
49. 한국도로공사(2021), 안전관리 현실화를 위한 안전비용 설계적용방안 검토.
50. 한국수력원자력주식회사(2003), 신월성원자력 1,2호기 현장내부절차서(Site Internal Procedure) 주설비공사 기성고 지급 절차서.
51. 한국스마트건설안전협회(2022), 스마트건설안전협회 기술매거진.
52. 한국철도시설공단(2018), 철도 BIM 2030 로드맵.
53. 한국토지주택공사(2020), 입찰안내서_동작구 종합행정타운.
54. 한국토지주택공사(2021), 입찰안내서_천안역세권 혁신지구.

55. 현대건설(2021), 현대건설 스마트건설기술 소개, 내부자료.
56. K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 도로분야 디지털 데이터 통합 표준 기반 건설생산 프로세스 및 지식 관리 기술 개발.
57. K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트 안전통합관제시스템 개발.
58. K-스마트건설포럼 발표자료(2022), 스마트건설 디지털 플랫폼 및 디지털 트윈 기반 관리기술 개발.
59. 토지주택연구원(2020), LH 공동주택의 BIM 활성화 전략 수립.
60. 국토교통성(2021), BIM 활용가이드라인(안) 제5편 도로편.
61. 국토교통성(2022), 공중사진측량(UAV)을 이용한 기성관리 감독·검사요령 (토공편).
62. 국토교통성(2022), 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독·검사요령 (토공편).
63. 국토교통성(2022), 원격 현장의 시행 요령(안), 감독·검사 시행 요령(안).
64. 국토교통성(2018), i-Construction BIM/CIM 동향.
65. 국토교통성(2019), BIM 활용 시 '단계모델확인서' 작성 매뉴얼.
66. 국토교통성(2019), 시공 이력 데이터에 의한 토공 생산량 산출 요령(안).
67. 국토교통성(2021), BIM/CIM 등 전자납품요령(안) 및 해설서.
68. 국토교통성(2022), 시공이력데이터를 이용한 기성관리 감독·검사요령 (토공편).
69. 시미즈건설(2016), 철근작업 지원용 로봇개발.
70. Arch Daily(2016), NBBJ and Visual Vocal Partner to Create Virtual Reality Productivity Platform.
71. BIOSOLIDS AND DIGESTERS VOLUME 2(2022), TUAS WATER RECLAMATION PLANT CONTRACT C4A.
72. DOXEL(2018), Introducing Artificial Intelligence for Construction Productivity.
73. Gartner(2021), Emerging technology roadmap.
74. GIANT DRONE(2020), 드론을 활용한 측량.
75. ICSP(2022), BIM Execution Plan Compilation and Application in Singapore TUAS Water Reclamation Plant.
76. NEXCO中日本(2021), ＩＣＴをフル活用し受発注者が協調して工事管理の効率化·高度化を目指す.
77. PennDOT(2020), Digital Delivery Directive 2025 Final Strategic Plan.
78. Singapore(2018), Guide for early contractor involvement procurement method for public sector construction project.
79. Tech Wooi Sin Arcadis Project Management Pte Ltd(2016), SPM Professional Technical Talk Series ECI.
80. U.S. Department of Transportation(2017), Utilizing 3D Digital Design Data in Highway Construction.

81. U.S. Department of Transportation(2018), Automation in Highway Construction Part 1.
82. U.S. Department of Transportation(2019), Automation in Highway Construction Part 2.
83. UK BIM Alliance(2020), UK BIM Framework timeline.
84. 国土交通省(2018), i-Construction_BIM / CIMの動向.
85. 国土交通省(2021), 基準類の策定・改定の取組.
86. 国土交通省(2021), ＩＣＴ施工の対象工種の拡大に向けた取組.
87. 首都高速道路株式会社(2021), 首都高速道路でのCIM導入ガイドライン.

[웹사이트]
1. 스마트건설안전사업단, http://www.smartconstruction.kr/
2. 통합프로젝트조달, https://sites.google.com/site/dt775group4/home/integrated-project-delivery
3. OPSYSELEC, http://www.opsyselec.com/fr/produit/proxipi
4. UNREAL ENGINE(2019), Trezi, https://www.unrealengine.com/