17RDPP
-C1390
06-01

무인이동체기반철도시설상태진단시스템개발기획 최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

Planning of Infrastructure and Transportation R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통연구기획사업 제1차 연도 최종보고서

R&D /
17RDPP-C139006-01

무인이동체(UAV, 로봇 등)기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기획 최종 보고서

2018. 12. 10.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국철도공사
위탁연구기관 / 한국항공대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘무인이동체(UAV, 로봇 등)기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기획’(연구개발 기간 : 2017.12.26 ~ 2018.10.25) 과제의 최종 보고서를 제출합니다.

2018 . 10 . .

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자) 나 희 승 (인)

공동연구기관명 : 한국철도공사 (대표자) 오 영 식 (인)

위탁연구기관명 : 한국항공대학교 산학협력단 (대표자) 이 상 철 (인)

주관연구기관책임자: 윤 혁 진
공동연구기관책임자: 김 영 철
위탁연구기관책임자: 배 재 성

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17RDPP-C139006-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2017. 12. 26 - 2018. 10. 25</td><td>단계구분</td><td>최종</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">무인이동체(UAV, 로봇 등)기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">윤 혁 진</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 27 명
내부: 27 명
외부: 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부: 79,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 79,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 27 명
내부: 27 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 79,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 79,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원 자율주행제어연구팀</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 한국항공대학교 산학협력단</td><td colspan="2">연구책임자: 배 재 성</td></tr>
<tr><td colspan="3">○ 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 적용가능성 검토
○ 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 핵심 기술 도출 및 개발 기획</td><td colspan="3">보고서 면수 : 317</td></tr>
</table>

4. 국문 요약문

<table>
<tr><td>연구의 목적 및 내용</td><td colspan="5">○ 철도시설물(궤도·노반·전차선 등)의 효율적·체계적 유지보수를 위한 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td colspan="5">○ 단계별 기획과제를 통한 최적의 R&D 전략 수립
○ 산학연으로 구성된 최고의 전문가 중심의 기획위원회 구성을 통한 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 과제 도출 및 우선순위선정
○ 철도시설 상태진단에 무인이동체를 적용하는 실질적 기술대안 제시</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</td><td colspan="5">○ 무인이동체기반 철도시설 상태진단시스템 개발 RFP 제시를 통한 향후 과제 공모에 활용
○ 연구개발 사전타당성 조사를 통한 R&D 기획, 예산확보, 추진 등에 활용
○ 기존 인력중심의 철도시설 점검·진단 방식을 자동진단 방식으로 변경하여 점검시간을 단축하고 작업자의 안전을 확보하며, 체계적인 이력관리 및 데이터 분석을 통해 사고·장애를 사전에 예방</td></tr>
<tr><td>핵심어 (5개 이내)</td><td>철도구조물</td><td>유지보수</td><td>무인이동체</td><td>상태진단</td><td>이력관리</td></tr>
</table>

5. 영문 요약문

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ Planning research for development of condition diagnosis systems based on unmanned vehicles for efficient and systematic maintenance of railway infrastructures (track, roadway, railway, etc.)				
Results	○ Optimal R&D strategy through a step by step project planning ○ Development of research through the organizing the leading experts committee and prioritization of the research themes ○ Presenting practical technology alternatives appling unmanned vehicles				
Expected Contribution	○ Applying next project by proposing RFP of empirical study for the railway infrastructure condition diagnosis systems based on unmanned vehicles ○ R&D planning, setting and carrying out the budget through R&D feasibility study ○ Reducing inspection time and securing worker's safety by changing the inspection and diagnosis methods of railway infrastructures based on automatic diagnosis systems as well as preventing accidents and breakdowns through systematic history management and data analysis				
Keywords	Railway infrastructure	Maintenance	Unmanned vehicle	Condition diagnosis	History management

목 차

제1장 기술의 정의 및 필요성 ····· 1

제1절 기술의 정의 및 분류체계 ····· 1
1. 기획연구 정의 및 범위 ····· 1
2. 철도시설물 및 점검항목 분류 ····· 5
제2절 연구개발 배경 및 필요성 ····· 29
1. 기획연구의 시급성 및 중요도 ····· 29
2. 정부지원의 필요성 ····· 30

제2장 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 32

제1절 국내외 정책동향 ····· 32
1. 국내 정책동향 ····· 32
2. 국외 정책동향 ····· 39
제2절 국내외 시장현황 및 전망 ····· 46
1. 국내 시장현황 및 전망 ····· 46
2. 국외 시장현황 및 전망 ····· 49
제3절 기술(논문, 특허 등) 동향 ····· 60
1. 연구개발 동향 ····· 60
2. 논문 분석 ····· 133
3. 특허분석 ····· 137
제4절 기술수준 분석 ····· 184
1. 기술 수요조사 ····· 184
2. 기술예측조사 ····· 187
제5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성 ····· 198
1. 유사과제 분석 ····· 198
2. 유사과제 연계성 ····· 199
제6절 연구개발 인프라 분석 ····· 200
1. SWOT 분석 ····· 200
2. 인프라 설비 ····· 202
3. 법제도 현황 ····· 205

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 213

제1절 비전 및 목표설정 ····· 213
1. 비전 및 목표 ····· 213
제2절 기술개발에 따른 미래상 ····· 214

1. 미래상(As-Is VS To-Be) ····· 214
제3절 연구개발 과제 구성 ····· 215
1. 후보과제 도출 ····· 215
2. 우선순위 도출 ····· 221
3. 중점추진과제 선정 ····· 225
4. 과제구성 ····· 226
제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 233
1. 세부과제별 주요내용 ····· 233
2. 과제 추진전략 ····· 236
제5절 연구추진체계 ····· 237
제6절 기술성과 로드맵 ····· 241
1. 총괄 기술성과 로드맵 ····· 241
2. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 기술성과 로드맵 ····· 243
3. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 기술성과 로드맵 ····· 245
제7절 산업생태계 분석 ····· 247
1. 공공수요 기반 무인이동체 산업생태계 ····· 247
제8절 연구과정상 위험요소 및 대응방안 ····· 250
1. 기술개발의 위험요인 및 대응방안 ····· 250
2. 재원조달의 위험요인 및 대응방안 ····· 251
3. 인력수급의 위험요인 및 대응방안 ····· 252
제9절 성과활용 및 사업화전략 ····· 253
1. 성과 활용 방안 ····· 253
2. 사업화 전략 ····· 254
제4장 자원투입 계획 ····· 257
제1절 연구시설 및 장비 투입계획 ····· 257
제2절 인력투입계획 ····· 259
제3절 소요예산 투입계획 ····· 261
1. 소요예산 산정방법 ····· 261
2. (연구단) 세부과제별 소요예산 ····· 261
3. 일반과제의 소요예산 ····· 266
제4절 타당성 검토 ····· 269
1. 정책적 타당성 검토 ····· 269
2. 기술적 타당성 검토 ····· 271
3. 경제적 타당성 검토 ····· 273
제6장 참고문헌 ····· 274

그림 목차

<그림 1-1-1> 무인이동체 미래 선도 핵심 기술개발 세부계획 ····· 4
<그림 1-1-2> 철도시설 개소 ····· 7
<그림 1-1-3> 철도시설 거리 ····· 7
<그림 1-1-4> 사면의 손상종류 및 상태 예시 ····· 11
<그림 1-1-5> 콘트리트 바닥판의 손상종류 및 상태 예시 ····· 12
<그림 1-1-6> 강 바닥판, 거더 및 교각의 손상종류 및 상태 예시 ····· 13
<그림 1-1-7> 철근콘크리트 거더의 손상종류 및 상태 예시 ····· 13
<그림 1-1-8> 프리스트레스 콘크리트 거더의 손상종류 및 상태 예시 ····· 14
<그림 1-1-9> 콘크리트 가로보의 손상종류 및 상태 예시 ····· 14
<그림 1-1-10> 강 가로보와 세로보의 손상종류 및 상태 예시 ····· 15
<그림 1-1-11> 케이블 구조물의 종류 ····· 15
<그림 1-1-12> 교대의 손상종류 및 상태 예시 ····· 16
<그림 1-1-13> 콘크리트 교각의 손상종류 및 상태 예시 ····· 16
<그림 1-1-14> 교량받침의 손상종류 및 상태 예시 ····· 17
<그림 1-1-15> 신축이음의 손상종류 및 상태 예시 ····· 17
<그림 1-1-16> 배수시설의 손상종류 및 상태 예시 ····· 17
<그림 1-1-17> 난간 및 연석의 손상종류 및 상태 예시 ····· 18
<그림 1-1-18> 옹벽의 손상종류 및 상태 예시 ····· 19
<그림 1-1-19> 방음벽의 손상종류 및 상태 예시 ····· 19
<그림 1-2-1> 관리대상 철도 시설물의 증가 ····· 29
<그림 2-1-1> 스마트 철도시설관리 ····· 36
<그림 2-1-2> 홍수 시 산사태 위험분석 ····· 39
<그림 2-1-3> 일본의 인프라 노후화 현황 ····· 39
<그림 2-1-4> 인프라 유지관라, 갱신 기술 ····· 39
<그림 2-1-5> Capacity4Rail 구조 ····· 44
<그림 2-2-1> 국내 무인비행장치 시장현황 ····· 46
<그림 2-2-2> 경제규모 기반 국내 민간 무인비행장치 수요 예측 ····· 47
<그림 2-2-3> 국내 무인기 시장전망 (단위: 백만 달러) ····· 47
<그림 2-2-4> 국내 무인기 시장 전망(백만불) ····· 48
<그림 2-2-5> 유럽 철도시설 시장 ····· 49
<그림 2-2-6> 세계 철도 유지보수 시장 예측 ····· 49
<그림 2-2-7> 세계 철도 유지보수 장비 시장 예측 ····· 50
<그림 2-2-8> UAV 국제 시장 성장 동향 ····· 52
<그림 2-2-9> UAV 활용 분야 ····· 52
<그림 2-3-1> 무인이동체 동력원 종류 ····· 62
<그림 2-3-2> 관성 항법 장치의 구성 ····· 62
<그림 2-3-3> 위성 항법 시스템 개념 ····· 63
<그림 2-3-4> RTK GPS 개념도 ····· 63
<그림 2-3-5> 지형 참조 항법 개념도 ····· 64
<그림 2-3-6> 영상기반 상대항법 개념 ····· 64
<그림 2-3-7> Star tracking system ····· 65

<그림 2-3-8> 스테레오 비전의 투영구조 65
<그림 2-3-9> 1차원화된 투영 기하 관계 65
<그림 2-3-10> 스테레오 비전을 이용한 깊이영상 65
<그림 2-3-11> 리얼센스가 탑재된 인텔사의 멀티콥터 65
<그림 2-3-12> 구조 광 기법 66
<그림 2-3-13> 구조 광 기법의 기하 관계 66
<그림 2-3-14> TOF 방식에 의한 깊이 영상 66
<그림 2-3-15> TOF 카메라 66
<그림 2-3-16> 주사식 라이다 정보의 시각화 67
<그림 2-3-17> Flash LIDAR 깊이 영상 67
<그림 2-3-18> Network Rail의 UAV기반 전차선 유지관리 솔루션 69
<그림 2-3-19> UAV를 이용한 전차선 유지관리 솔루션 69
<그림 2-3-20> DESTination RAIL프로젝트의 UAV활용 사례 70
<그림 2-3-21> SNCF의 무인이동체기반 철도시설물 유지관리 70
<그림 2-3-22> Loccioni사의 Felix 검사로봇 72
<그림 2-3-23> Protran Technology의 선로검사 장비인 MRail 72
<그림 2-3-24> Omnivision Engineering의 선로검사 시스템 73
<그림 2-3-25> DGSI의 Track Monitoring System 73
<그림 2-3-26> Plowman Craven의 Vogel R3D System 74
<그림 2-3-27> Sky technologies의 드론을 활용한 철도 시설물 검사 74
<그림 2-3-28> SfM(Structure from Motion) 기술 76
<그림 2-3-29> 적외선 thermography 기술들 77
<그림 2-3-30> 겨울철 듀얼 밴드 모니터링을 사용한 열차 운행 유지 기술 77
<그림 2-3-31> 드론의 철도 인프라 모니터링 78
<그림 2-3-32> 철도 인프라 조건 평가를 위한 새로운 방법론 78
<그림 2-3-33> 차세대 레일 검사 및 유지 보수 로봇 79
<그림 2-3-34> 철도 사고 및 재해 상황에서 드론을 이용한 무선 주파수 식별 80
<그림 2-3-35> UAV에 의한 철도 트랙의 품질 및 안전 보장 80
<그림 2-3-36> IR 센서 및 블루투스 기술을 적용한 철도 트랙 감지 시스템 81
<그림 2-3-37> AHRS 알고리즘을 사용한 레일 검사 로봇 81
<그림 2-3-38> 구조물 점검 예시 (Lufthansa Aerial Services) 82
<그림 2-3-39> 구조물 점검 예시 (RSK Orbital Ltd.) 83
<그림 2-3-40> 구조물 점검 예시 (Cyberhawk) 83
<그림 2-3-41> 구조물 점검 예시 (US AERIAL VIDEO) 84
<그림 2-3-42> 구조물 점검 예시 (ProRail) 84
<그림 2-3-43> 구조물 점검 예시 (Aerial Vision) 85
<그림 2-3-44> 구조물 점검 예시 (Baoding Tianpeng Aviation Technology) 85
<그림 2-3-45> 구조물 점검 예시 (SELECTRA VISION) 86
<그림 2-3-46> 구조물 점검 예시 (bvSys) 86
<그림 2-3-47> 전차선 애자 검출 기술 87
<그림 2-3-48> 열화상 기반의 영상처리를 이용한 애자의 결함 검출 87
<그림 2-3-49> 색상, 기울기, 기울기의 히스토그램을 이용한 애자 검출 87
<그림 2-3-50> 딥러닝을 이용한 애자 검출 및 상태 분석 88

<그림 2-3-51> 인공지능 기술을 이용한 장애물(새집) 인식 ····· 88
<그림 2-3-52> 전차선 점검을 위한 UAV 소프트웨어 ····· 89
<그림 2-3-53> 송전선 검사를 위한 무인항공기 개발 개념도 ····· 89
<그림 2-3-54> 위치인식 기술의 종류 ····· 90
<그림 2-3-55> WiFi 지문인식 기반 측위 기술을 적용한 iRescue ····· 91
<그림 2-3-56> Apple에서 개발한 비콘 기반의 위치 측위 기술 iBeacon ····· 93
<그림 2-3-57> 스마트폰 IMU 센서 기반 위치 측위 ····· 94
<그림 2-3-58> RTK-GPS 기반의 위치 측위 기술 ····· 94
<그림 2-3-59> 스마트폰과 영상 기반 위치 측위 ····· 95
<그림 2-3-60> SLAM을 활용한 실내 위치 인식 및 매핑 ····· 96
<그림 2-3-61> SfM 기술을 화용한 3D 모델 구축 ····· 97
<그림 2-3-62> GPS신호를 받은 두 지점을 통해 대상물의 위치를 원격 측정하는 방법 ····· 98
<그림 2-3-63> 스마트폰 PDR과 영상 기반 위치 측위 기술을 활용한 원격 위치 측위 방법 ····· 98
<그림 2-3-64> 3D Point Cloud 모델에서, 촬영된 특정 이미지를 정합한 예시 ····· 99
<그림 2-3-65> 유지보수비용, 교체비용, 비용 총계와 최적화 교체 시기 ····· 101
<그림 2-3-66> 95% 신뢰구과 고장 데이터의 분포 ····· 101
<그림 2-3-67> 다짐을 고려한 궤도의 지속 시간 ····· 102
<그림 2-3-68> Markov Chain 에 의한 상태 변이 과정 ····· 102
<그림 2-3-69> Genetic Algorithm에 기반한 유지보수 기간에 따른 POS ····· 102
<그림 2-3-70> 철도 시설물의 구성 ····· 103
<그림 2-3-71> NDE 웹기반 시스템의 정보제공 프로세스 ····· 105
<그림 2-3-72> Bow-Tie 개념도 ····· 105
<그림 2-3-73> 선도 표식 모델(PIM, Precursor Indicator Model) 결과물 예시 ····· 106
<그림 2-3-74> 5개 Squat에 대한 파괴 위험도 결과물 예시 ····· 107
<그림 2-3-75> Mamdani FNN model ····· 108
<그림 2-3-76> 부재별 성능예측모델 개발 절차 ····· 109
<그림 2-3-77> 국내외 기술동향 시사점 ····· 110
<그림 2-3-78> 기계학습(Machine Learning)기법 적용결과물(왼: 의사결정나무, 오: SVM) ····· 112
<그림 2-3-79> MLMVN 적용결과 ····· 113
<그림 2-3-80> 에코상태 네트워크(ESNs)와 제한 볼츠만 머신(RBM)의 복합적용 프로세스 ····· 113
<그림 2-3-81> T-Patterns 알고리즘 ····· 114
<그림 2-3-82> 열화모델 적용 결과물 예시 ····· 114
<그림 2-3-83> squat 손상 진행 Interval 퍼지 모델 ····· 115
<그림 2-3-84> 선로분기기(Turnout)파괴 예측모델 프레임 ····· 115
<그림 2-3-85> 시계열 검측데이터로부터 상태예측결과의 도출과정 ····· 116
<그림 2-3-86> 국내외 기술동향 시사점 ····· 118
<그림 2-3-87> AssetWise Operational Analytics의 각종기능 ····· 120
<그림 2-3-88> 개별 교량수준에서의 활용방안 ····· 120
<그림 2-3-89> 시·공간 네트워크 모델(Time-space network model) 개념도 ····· 121
<그림 2-3-90> Petri net 열화과정 ····· 121
<그림 2-3-91> 선로 분할 프로세스 ····· 122
<그림 2-3-92> ELCA의 철도 데이터 분석 플랫폼 구성도 ····· 122
<그림 2-3-93> 국내외 기술동향 시사점 ····· 124

<그림 2-3-94> 의사결정 지원 프레임워크 ····· 126
<그림 2-3-95> Multi-Criteria Optimization 플로우차트 ····· 126
<그림 2-3-96> DRM 루틴의 플로우차트 ····· 127
<그림 2-3-97> Failure Analysis 기반 의사결정지원 모델 ····· 128
<그림 2-3-98> RMMS의 프레임워크 ····· 129
<그림 2-3-99> 고속철도의 유지관리 정보시스템(MMIS, Maintenance Management Information System) 개념도 ····· 129
<그림 2-3-100> FAST 2030+ 개념도 ····· 130
<그림 2-3-101> 국내외 기술동향 시사점 ····· 132
<그림 2-3-102> 논문 키워드별 워드클라우드 ····· 133
<그림 2-3-103> 연도별 발표논문 건수 ····· 134
<그림 2-3-104> 발표 주제별 논문건수 ····· 134
<그림 2-3-105> 발표 저널별 논문건수 ····· 135
<그림 2-3-106> 국가별 발표논문 건수 ····· 135
<그림 2-3-107> 언어별 발표논문 건수 ····· 135
<그림 2-3-108> 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과 ····· 166
<그림 2-3-109> 주요 출원국 특허출원현황 (‘96~’17) ····· 167
<그림 2-3-110> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황(‘96~’15) ····· 170
<그림 2-3-111> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황(‘06~’15) ····· 170
<그림 2-3-112> 연도별 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황 ····· 170
<그림 2-3-113> 특허기술 성장단계별 의미 ····· 172
<그림 2-3-114> 주요 국가별 특허기술 성장단계(계속) ····· 175
<그림 2-3-115> 주요 국가별 특허기술 성장단계 ····· 175
<그림 2-3-116> 다출원 기준 주요 출원인(상위 20위) 국적 및 기관특성 비중 ····· 177
<그림 2-3-117> 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA)의 기술진화 분석 ····· 181
<그림 2-3-118> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)의 기술진화 분석 ····· 182
<그림 2-3-119> 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC)의 기술진화 분석 ····· 182
<그림 2-4-1> 수요조사 기술의 실현시기 ····· 190
<그림 2-4-2> 수요조사 기술의 최고기술 보유국 ····· 194
<그림 2-6-1> SWOT 분석 ····· 200
<그림 2-6-2> SWOT 분석기반의 추진전략 ····· 201
<그림 2-6-3> 무인기 규제프리존 조성방안(전남고흥 일대) ····· 202
<그림 2-6-4> 국가 종합성능비행시험센터 조감도 ····· 202
<그림 2-6-5> 국가 종합성능비행시험센터 발전부지 시설 ····· 203
<그림 2-6-6> 수도권 공역도 ····· 208
<그림 2-6-7> 대한민국 공역도 ····· 209
<그림 2-6-8> 대한민국 철도 노선도 ····· 210
<그림 2-6-9> 수도권 경부선 노선도 ····· 210
<그림 2-6-10> 수도권 경강선 노선도 ····· 210
<그림 2-6-11> 수도권 호남선 노선도 ····· 210
<그림 3-1-1> 연구개발 과제의 목표 ····· 213
<그림 3-2-1> 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템의 미래상 ····· 214

<그림 3-3-1> 과제 구성도 ····· 226
<그림 3-4-1> 단계별 추진전략 ····· 234
<그림 3-5-1> 연구단 연구추진 체계도 ····· 236
<그림 3-5-2> 1세부 연구추진체계도 ····· 237
<그림 3-5-3> 2세부 연구추진체계도 ····· 237
<그림 3-6-1> 총괄 로드맵 ····· 239
<그림 3-6-2> 1세부 연차별 로드맵 ····· 241
<그림 3-6-3> 2세부 연차별 로드맵 ····· 243
<그림 3-7-1> 공공수요 무인이동체 산업생태계 ····· 245
<그림 3-8-1> 혁신성장 10대 융합과제 ····· 247
<그림 3-9-1> 단계별 사업화 전략 ····· 249
<그림 4-1-1> 드론전용 비행시험장 ····· 252
<그림 4-1-2> 철도종합시험선로 ····· 253
<그림 4-4-1> 경제적 타당성 분석 절차 ····· 264

표 목차

<표 1-1-1> 무인이동체 구분 ····· 2
<표 1-1-2> 철도시설물 분류 ····· 5
<표 1-1-3> 토목 부분 분류 ····· 5
<표 1-1-4> 궤도 부분 분류 ····· 6
<표 1-1-5> 전철전력 부분 분류 ····· 6
<표 1-1-6> 터널, 교량 및 옹벽 현황 ····· 7
<표 1-1-7> 터널 및 교량 경과년수 ····· 8
<표 1-1-8> 각 도시철도의 터널 및 교량 현황 ····· 9
<표 1-1-9> 전철설비 현황 ····· 9
<표 1-1-10> 시설별 송전설비 현황 ····· 10
<표 1-1-11> 광역 및 도시철도 전철설비 현황 ····· 10
<표 1-1-12> 고속 및 일반철도 방음벽 시설 현황 ····· 10
<표 1-1-13> 간선철도의 낙석우려개소 현황 ····· 10
<표 1-1-14> 고속 및 일반철도 절토사면(2종) 현황 ····· 10
<표 1-1-15> 비탈사면의 철도시설물 점검 및 진단 범위 ····· 11
<표 1-1-16> 사면의 점검항목 및 손상종류 ····· 11
<표 1-1-17> 교량의 철도시설물 점검 및 진단 범위 ····· 12
<표 1-1-18> 콘크리트 바닥판의 점검 및 진단 범위 ····· 12
<표 1-1-19> 강 바닥판, 거더 및 교각의 점검 및 진단 범위 ····· 12
<표 1-1-20> 철근콘크리트 거더의 철도시설물 점검 및 진단 범위 ····· 13
<표 1-1-21> 프리스트레스 콘크리트 거더의 점검 및 진단 범위 ····· 13
<표 1-1-22> 콘크리트 가로보의 점검 및 진단 범위 ····· 14
<표 1-1-23> 강 가로보와 세로보의 점검 및 진단 범위 ····· 14
<표 1-1-24> 케이블의 점검 및 진단 범위 ····· 15
<표 1-1-25> 교대의 점검 및 진단 범위 ····· 15
<표 1-1-26> 콘크리트 교각의 점검 및 진단 범위 ····· 16
<표 1-1-27> 교량받침의 점검 및 진단 범위 ····· 16
<표 1-1-28> 신축이음의 점검 및 진단 범위 ····· 17
<표 1-1-29> 배수시설의 점검 및 진단 범위 ····· 17
<표 1-1-30> 난간 및 연석의 점검 및 진단 범위 ····· 18
<표 1-1-31> 옹벽의 점검 및 진단 범위 ····· 18
<표 1-1-32> 방음벽의 점검 및 진단 범위 ····· 19
<표 1-1-33> 송변전설비의 점검 및 진단 범위 ····· 20
<표 1-1-34> 시설물 안전점검 및 진단 횟수 ····· 23
<표 1-1-35> 선로구조물의 구분내용 ····· 23
<표 1-1-36> 선로구조물의 점검시기 ····· 24
<표 1-1-37> 선로구조물의 점검대상 ····· 24
<표 1-1-38> 선로구조물의 점검방법 ····· 24
<표 1-1-39 >선로구조물의 점검계획 ····· 24
<표 1-1-40> 선로구조물의 점검내용 ····· 25
<표 1-1-41> 선로구조물의 상태평가 기준 ····· 25

<표 1-1-42> 선로구조물의 유지보수 내용 ····· 26
<표 1-1-43> 선로구조물의 진당장비 및 성능확보 시행 내용 ····· 26
<표 1-1-44> 시설물 유지관리를 위한 인력 현황 ····· 27
<표 1-1-45> 1, 2종 시설물 ····· 27
<표 1-1-46> 기타시설물(3종포함) ····· 27
<표 1-1-47> 시설물 유지보수 비용현황 ····· 27
<표 1-1-48> 시설물 점검 및 진단에 따른 비용 현황 ····· 28
<표 1-1-49> 주요시설물 대비 유지보두 인력 현황 ····· 28
<표 1-1-50> 주요 송변전시설 ····· 28
<표 1-1-51> 기타시설물 ····· 28
<표 2-1-1> 철도주요지표 변화 ····· 33
<표 2-1-2> 국내 로봇 산업 정책 변화 연표 ····· 38
<표 2-1-3> 2017년 '로봇도입 실증사업' 주요 내용 ····· 41
<표 2-1-4> 공업신식화부, 국가발전개혁위원회, 재정부 공동으로 '로봇 산업 발전계획' ····· 41
<표 2-2-1> 캐나다 내의 드론 사용 관련 허용 및 금지 범위 ····· 56
<표 2-3-1> 무인이동체 종류별 기술 동향 ····· 60
<표 2-3-2> 철도시설 상태진단을 위한 무인이동체 플랫폼 기술 ····· 67
<표 2-3-3> Network Rail의 무인이동체 사양 ····· 68
<표 2-3-4> 선로검사 항목 및 시행기준 ····· 71
<표 2-3-5> UAV 종류에 따른 특징 ····· 75
<표 2-3-6> 철도구조물에 점검에 사용되는 UAV 탑재체 기술 분석 ····· 75
<표 2-3-7> 이상발생 개소 위치 측위에 적용 시 각 기술의 장단점 ····· 99
<표 2-3-8> 국외 기술 목록 ····· 104
<표 2-3-9> 국내 기술 목록 ····· 108
<표 2-3-10> 국외 개발기술 목록 ····· 111
<표 2-3-11> 국내 기술 목록 ····· 116
<표 2-3-12> 국외 개발기술 목록 ····· 119
<표 2-3-13> 국내 기술 목록 ····· 123
<표 2-3-14> 국외 개발기술 목록 ····· 125
<표 2-3-15> 국내 기술 목록 ····· 130
<표 2-3-16> 분석대상 기술 및 키워드 ····· 133
<표 2-3-17> 주요 핵심 논문 분석 ····· 136
<표 2-3-18> 검색 DB 및 검색범위 ····· 137
<표 2-3-19> 분석대상 기술분류 ····· 138
<표 2-3-20> 분석대상 기술검색기준 ····· 139
<표 2-3-21> 분석대상 기술검색기준 ····· 139
<표 2-3-22> 대상기술 유효특허추출기준 ····· 141
<표 2-3-23> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발의 유효특허 선별결과 ····· 141
<표 2-3-24> 핵심특허 리스트 ····· 142
<표 2-3-25> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석 ····· 143
<표 2-3-26> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요장벽특허 유사도분석 ····· 143
<표 2-3-27> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (1) ····· 145
<표 2-3-28> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (2) ····· 146

<표 2-3-29> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (3)····· 147
<표 2-3-30> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (4)····· 148
<표 2-3-31> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석····· 150
<표 2-3-32> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요장벽특허 유사도분석····· 150
<표 2-3-33> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (1)····· 152
<표 2-3-34> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (2)····· 153
<표 2-3-35> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (3)····· 155
<표 2-3-36> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (4)····· 156
<표 2-3-37> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석····· 157
<표 2-3-38> 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 주요장벽특허 유사도분석····· 157
<표 2-3-39> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (1)····· 160
<표 2-3-40> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (2)····· 161
<표 2-3-41> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (3)····· 162
<표 2-3-42> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (4)····· 163
<표 2-3-43> 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과····· 166
<표 2-3-44> 시사점 정리····· 169
<표 2-3-45> 시사점 정리····· 175
<표 2-3-46> 다출원 기준 주요 출원인····· 176
<표 2-3-47> 다출원 기준 주요 출원인····· 178
<표 2-3-48> 시사점 정리····· 180
<표 2-4-1> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술수요조사 내용 및 응답····· 184
<표 2-4-2> 중점기술분야별/기관별 기술 수요 ····· 186
<표 2-4-3> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술수요조사 제안과제명 매칭· 186
<표 2-4-4> 기술획득방식 조사항목····· 188
<표 2-4-5> 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목····· 188
<표 2-4-6> 기술수준 조사항목····· 189
<표 2-4-7> 미래사회 중요도 조사항목····· 189
<표 2-4-8> 수요조사 기술의 기술적/사회경제적 실현시기····· 190
<표 2-4-9> 수요조사 기술의 기술획득방식 및 정부개입의 필요성····· 192
<표 2-4-10> 중점분야별 정부시행방안 결과····· 193
<표 2-4-11> 수요조사 기술의 정부의 시행방안 및 기술수준 ····· 194
<표 2-4-12> 중점분야별 미래사회의 중요도····· 196
<표 2-4-13> 수요조사 기술의 미래사회에서의 중요도····· 196
<표 2-5-1> 키워드 검색결과····· 198
<표 2-5-2> 유사과제와의 중복성 검토····· 198
<표 2-5-3> 선행과제에 따른 연구 연계방법····· 199
<표 2-6-1> 국가종합성능비행시험센터 시설 계획안····· 203
<표 2-6-2> 선진국 대비 인프라 수준 비교····· 204
<표 2-6-3> 군사목적으로 사용되는 무인항공기····· 205
<표 2-6-4> 상업화된 드론····· 205
<표 2-6-5> 초경량 비행장치 관련 법규····· 210
<표 2-6-6> 비행장치의 활용 관련 법규····· 211

<표 3-3-1> 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제 명칭 ····· 215
<표 3-3-2> 기술수요조사 제안과제별 연구개발 내용 ····· 216
<표 3-3-3> 우선순위 조사 항목 ····· 221
<표 3-3-4> 평가항목별 가중치 산정 결과 ····· 221
<표 3-3-5> 철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술 우선순위 조사 결과 ····· 222
<표 3-3-6> 상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 및 자동화 기술 우선순위 조사 결과 ····· 222
<표 3-3-7> 유지보수 지원 기술 우선순위 조사 결과 ····· 224
<표 3-3-8> 중점추진과제 선정 결과 ····· 225
<표 3-4-1> 접근취약 철도구조물 자동화 점검용 무인이동체 제어시스템의 주요내용 ····· 232
<표 3-4-2> 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 주요내용 ····· 232
<표 3-4-3> 세부과제별 핵심성과 ····· 233
<표 3-6-1> 연차별 중간성과물 및 최종성과물 일람 ····· 238
<표 3-6-2> 1세부 연차별 연구내용 및 성과 ····· 240
<표 3-6-3> 2세부 연차별 연구내용 및 성과 ····· 242
<표 3-9-1> 본 과제의 최종 성과물 ····· 248
<표 3-9-2> 단계별 사업화 추진계획 ····· 250
<표 3-9-3> 마케팅 전략 ····· 250
<표 4-2-1> 연차별 인력투입계획 ····· 254
<표 4-3-1> 1세부과제 소요예산 ····· 255
<표 4-3-2> 2세부과제 소요예산 ····· 257
<표 4-4-1> 정책적 분석 항목 ····· 260
<표 4-4-2> 기술적 분석 항목 ····· 262
<표 4-4-3> 기술적 타당성 조사항목별 중요도(사업목적별) ····· 262
<표 4-4-4> 기술적 타당성 분석 결과 ····· 263
<표 4-4-5> 철도구조물 자동화 점검시스템 도입 대상 ····· 264
<표 4-4-6> 연구개발 비용 ····· 267
<표 4-4-7> 무인이동체 소요대수 ····· 268
<표 4-4-8> 무인이동체 구입 및 유지보수비용 ····· 269
<표 4-4-9> 투입비용 (단위:백만원) ····· 270
<표 4-4-10> 편익산정결과-중립 시나리오 (단위:백만원) ····· 275
<표 4-4-11> 경제적 타당성 분석 결과 - 중립 시나리오 (단위: 백만 원) ····· 279
<표 4-4-12> 경제적 타당성 분석 결과 - 낙관 시나리오 (단위: 백만 원) ····· 280
<표 4-4-13> 경제적 타당성 분석 결과 - 비관 시나리오 (단위: 백만 원) ····· 281
<표 4-4-14> 민감도 분석 범위 ····· 282
<표 4-4-15> 경제적 타당성 분석의 민감도 분석 결과 ····· 282
<표 5-3-1> 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템의 질적 성과목표 및 성과지표 ····· 295
<표 5-3-2> 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템의 양적 성과목표 및 성과지표 ····· 295
<표 5-3-3> 철도구조물 상태진단 자동화 시스템의 질적 성과목표 및 성과지표 ····· 296
<표 5-3-4> 철도구조물 상태진단 자동화 시스템의 양적 성과목표 및 성과지표 ····· 296

제1장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기획연구 정의 및 범위

가. 용어 정의

○ 무인이동체란 외부환경을 인식하고 스스로 상황을 판단하여 이동하거나, 필요시 원격으로 동작 가능한 이동체로 정의하며, 아래와 같은 기능을 보유

- 외부 환경, 자체 운동량 등을 탐지하고 인식할 수 있는 능력
- 스스로 및 타 물체를 움직일 수 있는 능력
- 주어진 계획에 따라, 이동체를 조종하고, 임무를 수행하며, 이를 위하여 조종자와 교류할 수 있는 능력

○ 무인이동체(unmanned vehicle)란 다양한 주체들에 의해 서로 다른 용어로 정의되기도 함. 무인 시스템, 자율 시스템 등이 대표적이며, 일부에서는 로봇과 통털어 로봇·자율시스템으로 정의

- 무인시스템은 미 국방성을 중심으로 군수무기 분야에서 주로 사용해 왔음. 육상무인이동체(UGV, Unmanned Ground Vehicle), 무인기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle), 무인해양(UMV, Umnaeed Maritime Vehicle), 무인우주(Unmanned Space System) 등을 통합하여 무인시스템을 분류하여 통합적인 기술개발 및 전략수립을 수행하였음. 미 국방성은 이동체 대신에 시스템을 사용함으로써, 이동체, 텔레메트리, 지상조종국 및 후속지원체계 등을 포괄하고자 함.
- 미 국방성은 격년으로 ‘unmanned systems integrated roadmap’을 발간
- 자율시스템(autonomous system)은 무인시스템을 대체하는 용어로 최근에 사용빈도가 증가하고 있음. 무인시스템은 조종방식에 따라 외부조종(remote control)과 자율조종(autonomous control)으로 구분됨. 과거에는 RF통신을 이용한 외부조종이 일반적이으였으나, 인공지능 등의 발달로 자율조종에 대한 가능성이 점점 더 증가하고 있음. 미국의 대표적 방산기업인 노스롭 그루만은 무인시스템 부서를 자율시스템으로 변경해 미 국방성의 정책을 다루고 있음.

※ 자율시스템은 인터넷에서 동일한 라우팅 정책을 사용하는 네트워 혹은 네트원 그룹을 지칭하기도 함. 대중적인 사용시는 혼돈을 야기할 수 있음

- 로봇·자율시스템(RAS, robotics and autonomous system)은 영국을 중심으로, 유럽에서 주로 사용하고 있음. 영국은 2014년 ‘RAS 2020: Robotics and Autonomous Systems’를 발간한 바 있음. 영국의 RAS 2020을 통해 침체해가는

영국산업을 부흥시킬 중요한 분야로 로봇・자율시스템을 선정하고, 진흥계획을 수립한 바 있음.

※ 영국의 RAS 2020은 핵심진흥분야로 무인기, 무인해양, 원전로봇, 지능형 운송, 무인농업, 우주개발, 스마트시티 등으로 정의하고 있음. 영국에서 무인이동체 분야가 향후 로봇·자율시스템의 핵심임을 강조

❍ 드론(drone)은 무인기를 지칭하는 단어이며, 미국에서는 드론이 무인기 전체를 지칭하나, 국내에서는 소형무인기, 특히 멀티콥터형에 한정하여 지징함

- 드론은 사전적 의미로 숫벌 혹은 수캐미를 의미함. 무인기의 소리가 숫벌의 윙윙거리는 소리를 닮았다고 해서 무인기를 드론이라고 부름
- 드론은 1935년 미해군 제독인 윌리엄 스탠리가 영국해군의 타겟드론인 DH 82B Queen-Bee의 비행을 참관하고, 이와 유사한 시스템 개발을 미군에 요청하면서 명명함.
- 현재 무인기 중, 자동비행기 가능한 비행체를 드론으로 지칭하는 경향이 있으며, RC 모형 비행기와 드론을 합쳐 무인기로 분류
- 소형잠수정을 수중드론으로 분류하고 있어, 드론은 무인기뿐만 아니라 해상 및 유상의 무인이동체 전반을 지칭하기도 함

❍ 로봇은 무인동체와 밀접한 관계를 가진 분야로 분류됨. 유럽은 무인이동체를 로봇의 한 분야로 구분하기도 함. 대표적인 사례는 SPARC(the partnership for robotics in europe)를 들 수 있음

※ SPARC는 매년 'Robotics 2020, Multi-Annual Roadmap'을 발행해, 유럽 공동 연구개발 프로그램인 Horizon 2020에서 로봇 분야 연구방향을 결정함

- SPARC는 로봇을 운용환경에 따라, 스마트 시티, 지상 로봇, 웨어러블 로봇, 공중로봇, 해상 로봇으로 분류함. SPARC가 정의하고 기술을 지원하는 대중에서 지상로봇 중 일부(필드로봇)와 공중로봇, 해상 로봇은 무인이동체르 구분할 수 있음

<표 1-1-1> 무인이동체 구분

응용분야		로봇	무인이동체		
			육상	공중	해상
생산		◎			
의료/수술		◎			
농업 및 1차산업			◎	◎	◎
공공	치안		◎	◎	◎
	환경 및 과학			◎	◎
	응급재난		◎	◎	◎
상업	인프라관리	◎		◎	◎

	광업		◎		
	건설		◎	◎	◎
물류 및 운송			◎	◎	◎
소비	가전	◎			
	오락	◎		◎	
	교육	◎			
	요양보조	◎			

출처 : 무인이동체 기술로드맵, 2017

○ 외부환경을 탐지해 인식하고, 주워진 임무를 수행하며, 인간과 교감 등의 중요 기능에서 무인이동체와 로봇은 상당히 유사한 측면을 가지며, 동일한 기술이 적용되는 경우가 많음

○ 접근취약 철도구조물은 철도시설물중 인력접근이 어려워 고소차, 사다리 등을 사용하여 접근이 가능한 철도구조물(철도교량, 터널, 낙석우려개소 등)로 정의

○ 상태진단은 안전점검등에서 시설물의 외관을 조사하여 결함의 정도를 포함한 시설물의 상태를 진단하는 것으로 정의

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시등에 관한 지침(국토교통부고시 2018-45호)의 용어의 정의 참조

나. 기획연구 범위

○ 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 적용가능성 검토

- 상태진단이 필요한 철도시설물 조사
- 무인이동체 적용이 필요한 철도시설물(궤도・노반・전차선 등) 및 점검 항목 도출
- 철도 운영기관 의견수렴을 통한 서비스 목록 도출
  - 수요처의 적용 사례 분석 및 문제점 도출
- 현재 기술한계 및 개선방안 종합 제시
  - 기존 철도시설물 진단기술과의 연계기술 조사 · 분석

○ 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 핵심 기술 도출 및 개발 기획

- 서비스 구현을 위한 상태진단SW, 무인이동체 및 탑재체 요구사양 도출

- 상태진단SW, 무인이동체 및 탑재체 제작을 위한 기술개발 기획
  - 유지보수 데이터 이력관리 및 분석을 위한 SW 개발
  - 상태진단SW-무인이동체 간 실시간 정보전송 기술 개발
  - 무인이동체 및 탑재체 제어기술 개발
  - 철도 운용환경(고전압, 강풍 등) 및 탑재체의 무게 등이 고려된 무인이동체 개발
  - 점검 항목(사면절리, 균열, 부식, 변형, 볼트 너트의 탈락, 방음벽 탈락 등)에 특화된 탑재체 개발

○ 현장시험 및 활용방안

- 현장시험 및 실증방안
  - 현장 테스트 베드를 통한 드론으로 점검 가능한 철도시설물 및 점검 항목 도출

- 기존 유지보수 활동과의 연계 방안
  - 시설물 안전관리에 관한 특별법 및 선로유지관리 지침에 의한 점검주기별 드론 점검

다. 세부실행계획 및 일정

내용		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
준비	연구배경/목표/내용설정										
1단계	기술개발 동향 및 환경분석, 기술수요조사 및 예측										
	기술개발 방향 설정, 비전 및 시나리오 설정										
	후보과제 도출, TRM작성										
2단계	시장니즈 분석 및 평가, 후보과제 및 목표설정										
	후보과제 우선순위도출, 연계성 및 부합성 검토										
	과제 추진체계 설정, 후보과제 카드 작성										
3단계	연구개발 과제별 기획										
	성과지표 설정 및 소요인력/예산 산정										
	사전타당성 검토, RFP작성 및 평가기준 설정										
보고서	기술개발 전략수립, RFP작성, 최종보고서 작성										

<그림 1-1-1> 무인이동체 미래 선도 핵심 기술개발 세부계획

2. 철도시설물 및 점검항목 분류

가. 철도시설물 분류

○ 철도시설물은 크게 토목, 궤도, 건축, 신호제어, 정보통신, 전철전력의 6가지 분류로 관련 레이어가 정의되며, 세부 레이어별로 구분하면, Level 1, Level 2, Level 3으로 구분할 수 있음

<표 1-1-2> 철도시설물 분류

No	분류	Level 1	설명
1	철도시설	토목	철도고유시설
2		궤도	철도고유시설
3		건축	철도고유시설
4		신호제어	철도고유시설
5		정보통신	철도고유시설
6		전철전력	철도고유시설

- 본 과제에서는 무인이동체를 기반으로 상태진단이 필요한 토목, 궤도, 전철전력 3종을 기획범위로 하고 있으며, 토목, 궤도, 전철전력 부분을 Level 2와 Level 3으로 분류하면, 토목은 18가지, 궤도는 9가지, 전철전력은 9가지의 세부 시설물로 분류할 수 있음

<표 1-1-3> 토목 부분 분류

No	Level 1	Level 2	No	Level 1	Level 2
1	토목	교량	**10**	토목	낙석방지책
2		터널	**11**		울타리
3		옹벽	**12**		철도사면
4		구교	**13**		지하차도
5		하수	**14**		입체교차
6		방음벽	**15**		건널목
7		암거	**16**		승강장
8		배수로	**17**		방호시설
9		환기구	**18**		방재시설

<표 1-1-4> 궤도 부분 분류

No	Level 1	Level 2	No	Level 1	Level 2
1	궤도	레일	**6**	궤도	분기기
2		침목	**7**		탈선방지가드레일
3		체결구	**8**		도상
4		레일이음매	**9**		도유기
5		레일용접점	**10**		

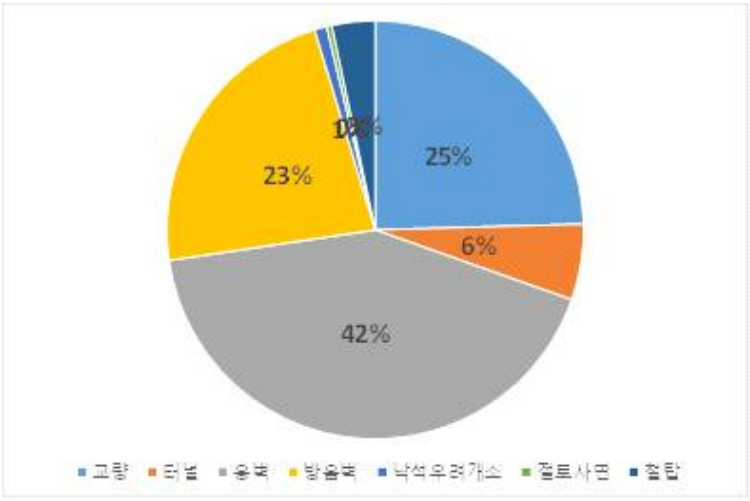
<표 1-1-5> 전철전력 부분 분류

No	Level 1	Level 2	Level 3
1	전철전력	송변전시설물	송전시설
2			변전기기
3		전차선시설물	전선류
4			지지물
5			전차선로 제설비
6		전력시설	전차선로 제설비
7			보호설비
8			배전선로
9			전력기기

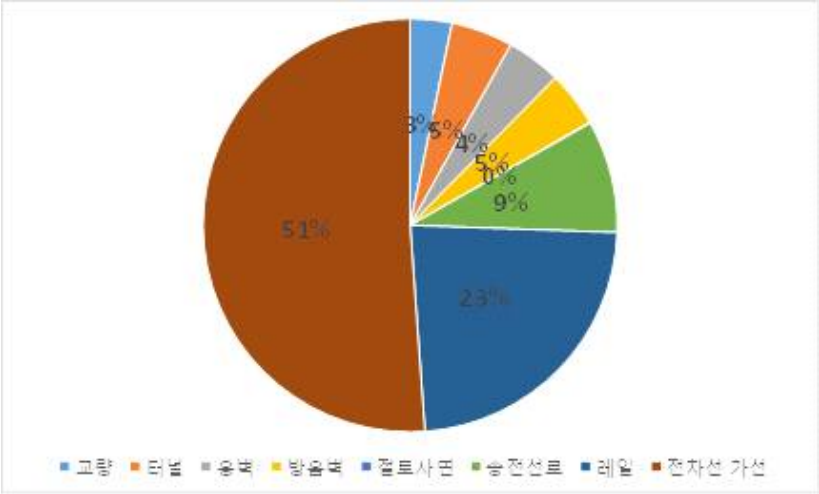
○ 철도시설물별 개소 및 거리, 경과년수는 다음과 같음

구분	교량	터널	옹벽	방음벽	낙석우려개소	절토사면
개소	3,282	784	5,648	3,027	127	53
거리(km)	554.8	823.6	731	739		11
구분	**송전선로**	**철탑**	**레일**	**전차선 가선**		
개소		447				
거리(km)	1,499		3,978	8,722		

출처 : 철도통계연보 및 한국철도공사 '시설업무현황 2017'



<그림 1-1-2> 철도시설 개소



<그림 1-1-3> 철도시설 거리

(1) 터널 및 교량 현황

단위: 개소, km

<표 1-1-6> 터널, 교량 및 옹벽 현황

		2013	2014	2015	2016	2017
교량	개소	2,977	3,025	3,033	3,200	3,282
	거리	415.5	429.2	438.5	538.6	554.8
터널	개소	658	684	686	768	784
	거리	561.2	609.9	611.3	710.7	823.6
옹벽	개소	5,687	5,600	5,614	5,767	5,648
	거리	719.0	709.4	722.4	739.6	731.0

출처 : 한국철도공사 '시설업무현황 2017'

- 터널 및 교량 경과년수 현황

단위: 개소, km

<표 1-1-7> 터널 및 교량 경과년수

구분			2013	2014	2015	2016	2017
교량	소계	개소	2,977	3,025	3,033	3,200	3,282
		연장	415.5	429.2	438.5	538.5	554.8
	10년이내	개소	982	991	945	1,060	1,128
		연장	196.3	202.5	188.7	278.4	288.5
	11-20년	개소	417	488	572	620	654
		연장	123.5	133.1	156.9	164.6	169.1
	21-30년	개소	325	280	258	236	214
		연장	28.4	26.3	25.9	26.0	26.6
	31-40년	개소	276	298	332	358	377
		연장	15.4	16.0	16.8	17.9	20.2
	41-50년	개소	172	166	165	162	149
		연장	9.1	8.5	8.7	9.5	8.7
	50년이상	개소	805	802	761	764	760
		연장	42.9	42.8	41.5	42.1	41.7
터널	소계	개소	658	684	686	768	784
		연장	561.2	609.9	611.3	710.7	823.6
	10년이내	개소	218	235	221	289	325
		연장	301.8	344.7	305.5	390.6	506.1
	11-20년	개소	98	118	134	139	128
		연장	124.3	135.3	175.8	163.3	133.6
	21-30년	개소	32	32	33	41	47
		연장	13.7	12.8	13.0	38.8	68.5
	31-40년	개소	27	23	24	24	30
		연장	18.4	13.7	14.2	14.7	18.7
	41-50년	개소	86	68	78	60	30
		연장	27.7	24.6	27.4	22.5	14.4
	50년이상	개소	196	208	196	215	224
		연장	75.3	78.8	75.4	80.8	82.3

출처 : 한국철도공사 '시설업무현황 2017'

- 터널 및 교량 현황(도시철도)

단위: 개소, km

<표 1-1-8> 각 도시철도의 터널 및 교량 현황

		서울메트로	서울 도시철도공사	서울메트로 9호선	부산교통공사	대구도시철도 공사
교량	개소	77	8		38	2
	거리	25	2		24	25
터널	개소	110		2		2
	거리	115		31	92	61
울타리	거리	7		4		
		인천교통공사	**광주도시철도 공사**	**대전도시철도 공사**	**부산김해경전철**	**용인경전철**
교량	개소	1	5		1	4
	거리	0.07	1		13	14
터널	개소	1	12	23		
	거리	26	17	23		
울타리	거리				1	

출처 : 2016 철도통계연보, 2016.12.31. 기준

(2) 전철설비 현황

<표 1-1-9> 전철설비 현황

		단위	합계	일반철도	고속철도	비고
전철거리		km	2,873.2	2,215.9	657.3	전철화율 72.2% 철도거리 3,978.9km
전차선 가선		km	8,722.4	7,016.6	1,705.8	
전철 변전소	직류 DC	개소	5	5	-	
	교류 AC	개소	53	40	13	
전철구분소(SP)		개소	63	48	15	
보조급전구분소 (SSP)		개소	149	148	1	(ATP, TP포함)
병렬급전소 (PP)		개소	42	-	42	
급전제어소 (CC)		개소	1	1		
송전 선로 (거리)	가공	km	805.1	619.1	186.0	
	지중	km	694.8	492.0	202.8	
	계	km	1,499.9	1,111.1	388.8	

출처 : 한국철도공사 '시설업무현황 2017'

- 시설별 송전설비

<표 1-1-10> 시설별 송전설비 현황

	철탑 (기)	철주 (기)	강관주 (본)	애자 (개)	맨홀 (개소)
합 계	447	1	3	57,891	348

출처 : 한국철도공사 '시설업무현황 2017'

- 전철설비 현황(광역 및 도시철도)

<표 1-1-11> 광역 및 도시철도 전철설비 현황

	주요설비	규격	서울 교통공사	인천 교통공사	부산 교통공사	부산김해경 전철	대구도시 철도공사	광주도시 철도공사	대전도시 철도공사
전차선	계(km)		907.9	90.45	143.61	50.386	180.7	59.2	71
	지상부 (km)	커티너리 (km)	327.2	26.25	125.38	3.186	57	19.9	21
	지하부 (km)	강체 (km)	580.7	64.2	18.23	47.2	129	39.3	50

출처 : 각 공사 내부자료, 2017.09기준

(3) 방음벽

<표 1-1-12> 고속 및 일반철도 방음벽 시설 현황

구분	계	고속철도	일반철도	비고
개소	3,027	599	2,428	
연장(m)	739,679	739,679	591,887	

(4) 비탈사면

<표 1-1-13> 간선철도의 낙석우려개소 현황

구분	계	영동선	경부선	중앙선	태백선	기타선	비고
개소	127	53	18	10	25	21	

<표 1-1-14> 고속 및 일반철도 절토사면(2종) 현황

구분	계	일반철도				고속철도			비고
		경부선	경전선	여천선	장항선	경강선	경부고속	호남고속	
개소	53	2	1	1	1	13	32	3	
연장(m)		900	130	185	300		9,057	620	

나. 철도시설물별 점검항목 분류

(1) 비탈사면

<표 1-1-15> 비탈사면의 철도시설물 점검 및 진단 범위

구분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비고
		정기점검	정밀점검	정밀안전진단	
기본 시설물	상부자연사면	○	○	○	
	사면		○	○	
	사면하부		○	○	
부대 시설물	보호시설	○	○	○	
	보강시설	○	○	○	
	배수처리시설	○	○	○	
	이격거리내 시설	○	○	○	

❍ 점검부위 및 손상종류

<표 1-1-16> 사면의 점검항목 및 손상종류

점검부위	점검항목	
사면손상상태	◦인장균열, 이완암괴 규모 ◦사면 및 구조물 변형 상태	◦파괴유형, 위치, 규모 등
사면파괴요인	◦절리 경사 및 방향 ◦절리간격, 거칠기, 연장 등의 상태	◦사면 경사 및 집수지형 ◦절취상태, 배수조건 ◦표면보호 및 보강공 상태



(a) 표층유실 (b) 숏크리트 파괴 (c) 표층파괴

(d) 소단 토사퇴적 (e) 낙석방지책 파손 (f) 절리상태

<그림 1-1-4> 사면의 손상종류 및 상태 예시

(2) 교량

<표 1-1-17> 교량의 철도시설물 점검 및 진단 범위

구분	시설물명		점검 및 진단 실시범위			비고
			정기	정밀	정밀안전진단	
주요부재	상부구조	바닥판, 거더	○	○	○	
	하부구조	교대 및 교각, 주탑, 기초	○	○	○	
	받침	교량받침	○	○	○	
	케이블	케이블, 정착구, 행어밴드, 새들	○	○	○	
	기타부재	신축이음, 배수시설, 난간 및 연석, 교면포장	○	○	○	
보조부재	2차부재	가로보 및 세로보			○	

- 콘크리트 바닥판

<표 1-1-18> 콘크리트 바닥판의 점검 및 진단 범위

점검부위		점검항목	
공통		○균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출	○재료분리(공동, 공극) ○누수 및 백태(유리석회)
거더교		○균열, 망상균열	
바닥판, 라멘상부	받침부(단부)	○부스러짐	○사인장균열
	중앙부	○휨균열	



(a) 재료분리



(b) 콘크리트 박락, 철근부식/노출



(c) 배수구 주변 누수 및 백태

<그림 1-1-5> 콘트리트 바닥판의 손상종류 및 상태 예시

- 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑)

<표 1-1-19> 강 바닥판, 거더 및 교각의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목	
공통	○도장 손상 및 부식 ○현장이음부 볼트손상, 누수	○신축이음 하면 배수구 주변 난간하면 누수, 부식 ○이상음 발생
피로강도등급 낮은 용접상세부(D, E급)	○피로균열	
받침부	○복부판 부식 및 국부좌굴 ○거더와 받침연결부 부식 ○게르버교의 경우 핀 연결부 부식	○지점보강재 하단 용접부 균열 ○박스내부 출입구 방치 ○박스내부 바닥 물고임 및 부식
중앙부	○부식 ○플랜지 변형 및 처짐	○맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
주탑	○주탑하단부 연결볼트 부식 및 파단	
보수부위	○용접부 및 용접부 주변 균열	
부재연결판	○트러스교, 아치교의 현재, 사재, 수직재 연결판의 부식, 균열 및 변형 ○사장교, 현수교의 케이블 정착부 연결판의 부식, 균열 및 변형	


(a) 용접부 균열


(b) 볼트손상


(c) 도장박락

<그림 1-1-6> 강 바닥판, 거더 및 교각의 손상종류 및 상태 예시

- 철근콘크리트 거더

<표 1-1-20> 철근콘크리트 거더의 철도시설물 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목
공통	○박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
받침부	○부스러짐 ○복부 사인장 균열
중앙부	○횡방향 균열


(a) 받침부 균열


(b) 중앙부 휨균열


(c) 거더 측면 균열

<그림 1-1-7> 철근콘크리트 거더의 손상종류 및 상태 예시

- 프리스트레스 콘크리트 거더

<표 1-1-21> 프리스트레스 콘크리트 거더의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목
공통	○박리, 박락(파손), 철근노출, 백태
받침부	○부스러짐 ○연속교 상단 휨균열 ○복부 사인장균열 ○격벽 개구부 모서리 균열
중앙부	○휨균열, 거더처짐 ○박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열 ○쉬스관 노출 및 파손 ○시공이음부 균열 및 누수
강선정착부	○정착부 균열 및 파손



(a) 플랜지 하면 백태 (b) 받침부 균열 (c) 중앙부 휨균열

<그림 1-1-8> 프리스트레스 콘크리트 거더의 손상종류 및 상태 예시

- 콘크리트 가로보

<표 1-1-22> 콘크리트 가로보의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목
공통	○박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
철근콘크리트 가로보	○박락(파손), 철근노출 ○경사균열(거더의 상대처짐 의심)
프리스트레스트 콘크리트 가로보	○쉬스관 노출 및 파손 ○정착부 균열 및 파손



(a) 철근노출 (b) 가로보 타설부족 (c) 재료분리

<그림 1-1-9> 콘크리트 가로보의 손상종류 및 상태 예시

- 강 가로보와 세로보

<표 1-1-23> 강 가로보와 세로보의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목
공통	○도장 손상 및 부식 ○현장이음부 볼트손상, 누수 ○이상음 발생
피로강도등급 낮은 용접상세부 (D, E급)	○피로균열
2차부재	○가로보, 세로보, 브라켓 및 브레이싱 변형 ○하중집중점, 가로보와 세로부 교차부 균열 ○거세트판 용접부 끝부분 균열
보수부위	○용접부 및 용접부 주변 균열





(a) 거셋판 용접부 균열 (b) 거더-가로보 연결부 균열 (c) 연결 절취부 균열

<그림 1-1-10> 강 가로보와 세로보의 손상종류 및 상태 예시

- 케이블

<표 1-1-24> 케이블의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목	
케이블 부재	○도장 손상 및 부식 ○부식으로 인한 케이블 단면 손상	○케이블 변형 및 꺾임 ○외부 및 내부 소선 단선
보호관	○보호관의 파손	
정착구	○강재 정착구의 도장손상 및 부식 ○콘크리트 정착구의 파손 누수 및 체수	○정착구 댐퍼 파손
행어밴드, 새들	○도장 열화 및 부식 ○고정볼트 이완, 탈락	○변형 및 파손





(a) 케이블밴드 (b) 사이드스테이 (c) 센터스테이

<그림 1-1-11> 케이블 구조물의 종류

- 교대

<표 1-1-25> 교대의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목	
공통	○교대 기울음 및 전도 ○균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)	
두부(Coping)	○두부 물고임 ○받침부 균열 및 파손	○두부와 흉벽 경계부 균열 ○거더와 흉벽 신축유간 부족
벽체	○수직균열 및 침하 ○구체와 날개벽 분리	○구체부 배수구 막힘 ○수면접촉부 침식
날개벽(옹벽 포함)	○날개벽 이동, 전도 ○석축이 있는 경우 사면붕괴	



(a) 구체 횡방향 균열 (b) 두부 백태 (c) 받침부 파손

<그림 1-1-12> 교대의 손상종류 및 상태 예시

- 콘크리트 교각

<표 1-1-26> 콘크리트 교각의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목	
공통	○교각 기울음 및 전도 ○균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)	
두부(Coping)	○두부 물고임	○받침부 하부 균열 및 파손
벽체	○시공이음부 균열 ○이동 또는 기울음	○수면접촉부 침식



(a) 수체 수직균열 (b) 측면균열 (c) 구체 재료분리

<그림 1-1-13> 콘크리트 교각의 손상종류 및 상태 예시

- 교량받침

<표 1-1-27> 교량받침의 점검 및 진단 범위

점검부위		점검항목	
본체	공통	○가동받침의 신축유간 부족 ○가동받침 전.후방의 가동장애 요소 ○받침과 거더의 밀착상태	○수직보강재와 받침 편기상태 ○받침 물고임 및 부식
	강재받침	○가동면 부식	○부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)
	탄성받침	○부풀음 및 갈라짐	○고무판의 과도한 변형
받침콘크리트		○앵커볼트 파손, 절단 ○콘크리트 파손, 하부공동 및 침하	○교각두부 균열


(a) 받침 물고임


(b) 연단부 균열


(c) 받침 부식

<그림 1-1-14> 교량받침의 손상종류 및 상태 예시

- 신축이음

<표 1-1-28> 신축이음의 점검 및 진단 범위

점검부위		점검항목	
본체	공통	○충격음, 본체유동 및 파손 ○누수	○유간부족 및 유간과다 ○유간 오물퇴적
	고무재	○고무판 마모, 강판노출 및 부식	
	강재	○강재 연결부 이완 및 파손	
후타재		○단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) ○균열 및 파손	


(a) 본체 강판노출


(b) 후타재 단차


(c) 후타재 파손

<그림 1-1-15> 신축이음의 손상종류 및 상태 예시

- 배수시설

<표 1-1-29> 배수시설의 점검 및 진단 범위

점검부위	점검항목	
배수구(유입구) - 껑(그레이팅)	○뚜껑파손 및 주변파손, 누락 ○오물퇴적, 막힘 ○배수구의 설치높이가 높음	○배수구 설치위치 불량 ○배수구 설치간격 넓음
배수관	○관의 연결부 어긋남, 파손 ○이물질에 의한 막힘 ○지지철물의 이완 및 파손	○배수관 길이 부족(짧음) ○유출구 위치 부적절(도로구간)


(a) 그레이팅 파손


(b) 배수관 손상


(c) 배수구 막힘

<그림 1-1-16> 배수시설의 손상종류 및 상태 예시

- 난간 및 연석

<표 1-1-30> 난간 및 연석의 점검 및 진단 범위

구분	점검항목		
난간 연석	강재, 알루미늄	○강재의 경우 도장 손상 및 부식 ○난간과 상판연결부의 결함, 파손	○전체적인 처짐 및 선형불량
	철근 콘크리트	○균열, 박리, 파손 ○철근노출 및 부식	○전체적인 처짐 및 선형불량



(a) 보도 철근노출 (b) 연석 부스러짐 (c) 연석파손

<그림 1-1-17> 난간 및 연석의 손상종류 및 상태 예시

(3) 옹벽

<표 1-1-31> 옹벽의 점검 및 진단 범위

구분	점검항목		
콘크리트 옹벽	지반, 기초부	○ 침하 ○ 활동	○ 계획 선형 오차(전도/경사) ○ 세굴
	전면부	○ 파손 및 손상(재료분리) ○ 균열 ○ 마모/침식 ○ 배수공의 상태 ○ 누수	○ 재료열화 ○ 박락 및 층분리 ○ 박리 ○ 백태 ○ 철근노출
	기타	○ 주변영향인자(배수시설 및 사면상태 등)	
보강토 옹벽	지반, 기초부	○ 침하 ○ 활동	○ 계획 선형 오차(전도/경사) ○ 세굴
	전면부	○ 파손, 손상 및 균열 ○ 유실	○ 이격 ○ 전면부 배부름
	기타	○ 주변영향인자(배수시설 및 사면상태 등)	
석축	지반, 기초부	○ 침하 ○ 활동	○ 계획 선형 오차(전도/경사) ○ 세굴
	전면부	○ 파손,손상 및 균열 ○ 유실 ○ 이격	○ 배수공의 상태 ○ 진행성 배부름 ○ 채움콘크리트 상태 ○ 암석의 풍화도
	기타	○ 주변영향인자(배수시설 및 사면상태 등)	
돌망태 옹벽	지반, 기초부	○ 침하	○ 활동 ○ 세굴
	전면부	○ 채움재 유실 ○ 와이어 메쉬의 파손	○ 진행성 변형 ○ 결속철망 상태
	기타	○ 주변영향인자(배수시설 및 사면상태 등)	



(a) 파손 (b) 균열 (c) 망상균열



(d) 전도 (e) 손상 (f) 배수구 불량



(g) 전면부 배부름 (h) 전면판의 유실 (i) 전면판의 이격

<그림 1-1-18> 옹벽의 손상종류 및 상태 예시

(4) 방음벽

<표 1-1-32> 방음벽의 점검 및 진단 범위

구분	점검항목	
방음판	○파손 및 탈락	○변형
기초 및 지주	○균열 ○파손 ○볼트 풀림 및 탈락	○지주변형(이격) ○와이어 풀림 ○고정클립 탈락



(a) 지주캡 탈락 (b) 지주 이격 (c) 기초 콘크리트 파손



(d) 볼트 풀림 (e) 와이어 풀림 (f) 고정클립 탈락

<그림 1-1-19> 방음벽의 손상종류 및 상태 예시

(5) 송변전설비

<표 1-1-33> 송변전설비의 점검 및 진단 범위

구분	점검항목	
가공선로	1) 기초의 균열, 파손, 침하, 붕괴여부 2) 지지물(철주, 철탑, 강관주, 콘크리트주) 점검 - 지지물의 균열 및 파손, 경사여부 - 주,부재의 만곡, 변형, 손상여부 - 철재류의 녹발생 여부 3) 지선의 이완, 부식, 소선 단선 여부 4) 금구류 녹발생, 부식, 변형, 볼트류 이완여부	5) 전선(송전선, 가공지선) 점검 - 접속개소 이상여부 (가공전선-지중전선 접속개소) - 송전선과 조명물과의 접근여부 6) 댐퍼의 탈락여부 7) 각종 표지류의 부착 및 변형여부 8) 항공 표시구, 표시등 적정여부 9) 애자의 오손 및 균열여부 10) 접지저항 측정
지중선로	1) 맨홀, 부속품 침하 및 파손여부 2) 지중선로 경과지 이상여부 3) 케이블 표지류 적정취부 및 이상여부	4) 접속개소 열화 및 이상여부 5) 절연저항 측정 6) 접지저항 측정
변압기	1) 외관상태 이상유무 - 온도계, 유면계, 압력계 확인 - 누유, 흡습제, 부싱, 녹발생 여부 - 이상음, 진동유무, 방열기, 부품류 (부속품류) 상태확인 - 접속부 온도측정 2) 본체상태 이상여부 - 제어계통 정상동작 여부 - 경보장치 정상동작 여부 - 부분방전 시험	3) 각종 시험 - 절연저항 측정 - 이상발열 영상진단 - 절연유 산가측정 - 절연유의 절연내력 시험 - 유중가스 측정 - 기기 및 절연유 열화 진단 - 부분방전 시험 - 여자전류 측정 - 부싱 핫칼라 측정 - 애자류(부싱) 청소
유 입 차단기	1) 외관상태 이상유무 - 애관의 오손 및 균열, 이상음, 진동, 누유, 녹발생 여부 - 방열기, 개폐표시기, 개폐표시등, 쇄정장치 확인 - 유량계, 압력계, 도수계 확인 2) 조작기구 - 각종 배선의 이상여부(변류기, 제어회로) - 완충장치의 정상동작 여부 - 전열기 정상동작 여부	3) 각종 시험 - 절연저항 측정 - 제어계통 조작시험 - 각 부위의 이상발열 영상진단 - 절연유 내압시험 - 투입, 개방시간 측정 - 접촉저항 측정 - 기기열화 진단 - 부싱 핫칼라 측정 - 절연유 가스 분석 - 부싱부 청소

구분	점검항목	
가스 차단기	1) 외관상태 이상유무 - 이상음, 누유, 녹발생, 누기(공기 및 가스) 여부 - 애관의 오손 및 균열, 접속단자 발열, 녹발생 여부 - 가스압력계, 공기압력계, 유압계, 도수계 확인 2) 조작기구 - 각종 배선의 이상여부(변류기, 제어회로) - 완충장치의 정상동작 여부 - 전열기 정상동작 여부	3) 시험 - 제어계통 조작시험 - 절연저항 측정 - 투입, 개방시간 측정 - 가스(SF6)누설 시험 - 가스중 수분 측정 - 각 부위의 이상발열 영상진단 - 접촉저항 측정 - 기기열화 진단 - 부싱 핫칼라 측정 - 부싱부 청소
진공 차단기	1) 외관상태 이상유무 - 이상음, 냄새, 녹발생 여부, 도수계 확인 2) 접점의 마모 및 접촉상태 3) 스프링 변형, 배선 적정여부(조작기구부 점검)	4) 시험 - 절연저항 측정 - 투입, 개방시의 시차분석 - 접촉저항 측정
단로기	1) 외관상태 이상유무 - 애자의 오손 및 균열 여부 - 단자의 발열 및 녹발생 여부 - 접촉자면의 마모 및 손상여부 2) 접지브레이드의 쇄정상태 3) 제어계통 정상동작 유무 4) 공기압 적정 여부	5) 완충장치 정상동작 여부 6) 전열기 정상동작 여부 7) 시험 - 절연저항 측정 - 개폐조작 시험 - 단자 연결부 온도측정 - 애자류 청소
전력용 콘덴서 및 부속기기	1) 외관상태 이상유무 - 외함파손 및 변형, 녹발생, 누유, 이상음 여부 - 부싱 및 지지애자 오손, 균열, 접속 단자 발열 여부	2) 시험 - 절연저항 측정 - 애자류 청소
계기용 변성기	1) 외관상태 이상유무 - 외함의 파손, 변형, 애관 오손, 균열여부 - 이상음, 냄새, 누유, 누기, 접속단자,발열여부 - 유면계 확인 2) 2차 단자함 내부점검	3) 시험 - 절연저항 측정 - 접지저항 측정 - 부싱 핫칼라 측정 - 기기열화 진단 - 부싱부 청소
지락 보호용 방전장치	1) 외관상태 이상유무 - 부싱 및 지지애자 오손 및 균열 여부 - 도수계 동작, 접속부 발열 여부 2) 전극 간극 적정 여부	3) 개폐부 접촉자 마모 및 오손여부 4) 시험 - 절연저항 측정 - 방전간극 측정
피뢰기	1) 외관상태 이상유무 - 애관의 오손 및 손상, 접속부 발열 여부 2) 피뢰기 동작여부 - 도수계, 자강편, 방전전류 기록장치 확인	3) 시험 - 절연저항 측정 - 누설전류 측정(산화아연형에 한함) - 애관류 청소
제어반 및 배전반	1) 외관상태 이상유무 - 이상음, 냄새, 애자 등 절연물의 오손 및 균열여부 2) 제어계통 정상동작 여부 3) 경보회로 이상유무	4) 표시등 동작상태 5) 기록계기 작동상태 6) 시험 - 절연저항 측정(제어케이블) 7) 배전반 내부청소

구분	점검항목	
압축공기 발생장치	1) 외관이상 상태 유무 - 외관, 누기, 배수, 이상음, 윤활유, 여과기, 동작상태 2) 압력계 적정여부 3) 압축기 정상동작 여부 4) 드레인 배출	5) 안전변 동작 압력적정 여부 6) 시험 - 절연저항 측정 - 안전밸브 동작시험 - 자동시동 및 정지시험
축 전 지	1) 외관상태 이상유무 - 액위 적정, 외함파손, 단자이완, 부식여부	2) 시험 - 전압, 비중, 실내온도 측정
충전장치 (ups)	1) 외관상태 이상유무 - 외함 파손, 각종 계기류 적정여부 2) 입출력 전압, 전류 측정	3) 균등충전 전압의 측정 4) 부동충전 전압의 측정
원격감시 제어장치	1) 자장치 점검 - 외관상태 이상유무 - 각종 보안기 소손여부 - 원격제어 정상동작 여부 - UPS 기능 정상동작 상태 - 온도설정용 센서 동작상태	2) 중앙장치 점검 - 주컴퓨터장치 정상동작 여부 - 시스템 콘솔 기능양부 - 네트워크 기능양부 - 통신제어장치 및 이중화장치 정상 동작 여부 - 계통반 정상동작 여부 - 프린터 정상동작 여부 - UPS 기능 정상동작 상태
접지장치	1) 외관의 이상유무 - 접지선 및 접속개소 부식 탈락여부	2) 접지저항 측정
특고모선	1) 외관의 이상유무 - 애자류 오손 및 균열, 접속단자 발열여부	2) 접속개소 상태 확인 3) 접속부 온도 측정 4) 애자류 청소
옥외철구 및 구 축 물	1) 외관상태 이상유무 - 녹발생, 표지류 변색 유무	2) 피트내 내부점검 3) 가공지선의 점검(변전소내)

다. 유지관리 규정

(1) 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법('18.1.18)

❍ 안전점검, 정밀안전진단 및 성능평가의 실시시기(제8조제2항, 제10조제1항 및 제28조제2항 관련)

<표 1-1-34> 시설물 안전점검 및 진단 횟수

안전등급	정기 안전점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B·C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D·E등급	1년에 3회 이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

(2) 선로유지관리지침('16.12.30)

❍ 선로구조물 점검"이란 선로구조물[교량, 구교, 터널, 토공, 방토설비, 하수, 정거장설비(기기는 제외)]의 변상 및 안전성을 점검하는 것을 말하며 여기서 "구조물 변상"이란 구조물의 파손, 부식, 풍화, 마모, 누수, 침하, 경사, 이동 및 기초지반의 세굴 등으로 열차운전에 지장을 주거나 여객 및 공중의 안전에 지장할 우려가 있는 상태를 말함

❍ 선로구조물의 구분 및 점검시기(제4절 선로구조물 점검 제190조)

<표 1-1-35> 선로구조물의 구분내용

구 분	주요내용
1종시설물	고속철도교량, 고속철도터널, 도시철도의 교량 및 고가교, 상부구조형식이 트러스교 및 아치교인 교량, 연장 500 m 이상 교량, 연장 1,000 m 이상 터널
2종시설물	1종시설물에 해당하지 않는 연장 100미터 이상의 교량, 1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 특별시 또는 광역시에 있는 터널, 지면으로부터 노출된 높이가 5미터 이상인 부분의 합이 100미터 이상인 옹벽, 지면으로부터 연직높이(옹벽이 있는 경우 옹벽 상단으로부터의 높이) 30미터 이상을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100미터 이상인 절토사면
특정관리대상 시설물	준공 후 10년이 경과된 터널 및 교량 중 연장100m미만교량(1,2종시설물 제외)
기타시설물	1, 2종시설물 및 특정관리대상시설물을 제외한 선로구조물

❍ 점검시기(제4절 선로구조물 점검 제190조)

<표 1-1-36> 선로구조물의 점검시기

구 분	점검시기
정기점검	반기별 1회 (기타시설물에 한하여 연1회) 이상. 다만, 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단과 중복되는 경우에는 생략할 수 있으며, 하수, 승강장은 연간 1회 이상 시행하여야 한다.
정밀점검	시설물안전관리에관한특별법에 의한 선로구조물은 안전등급에 따라 다음 각 목과 같이 시행한다. 다만 1,2종 시설물이 아닌 선로구조물은 소속부서의 장이 필요하다고 판단할한 때에 시행한다.
긴급점검	소관부서의 장이 필요하다고 판단한 때 또는 관계행정기관의 장이 필요하다고 판단하여 소관부서의 장에게 요청한 때 다음 각 목과 같이 시행한다. 가. 손상점검 : 재해나 사고에 의해 비롯된 구조적 손상 등에 긴급히 시행하는 점검 나. 특별점검 : 기초침하 또는 세굴과 같은 결함이 의심되는 경우나, 사용제한중인 시설물의 사용 여부 등을 판단하기 위해 실시하는 점검

❍ 점검대상

<표 1-1-37> 선로구조물의 점검대상

구 분	주요내용
정기점검	전 노반구조물
정밀점검	전 노반구조물
긴급점검	소관부서의 장 또는 관계 행정기관의 장이 필요하다고 판단한 선로구조물

❍ 점검방법

<표 1-1-38> 선로구조물의 점검방법

구 분	주요내용
정기점검	육안 및 망원경, 거울 등의 보조기구를 사용하여 전반적인 외관상태를 세심히 관찰
정밀점검	면밀한 외관조사와 간단한 측정.시험장비로 필요한 측정 및 시험을 실시
긴급점검	정밀점검 수준으로 시행

❍ 점검계획(제4절 선로구조물 점검 제191조)

<표 1-1-39 >선로구조물의 점검계획

구 분	주요내용
점검계획 수립내용	1. 설계도서 및 시방서 2. 품질관련자료 3. 보수.보강 이력(사진 포함) 4. 사고기록 5. 지하수 관련 사항 6. 점검 및 진단 이력 7. 안전성 평가 기록 8. 시설물관리대장

❍ 점검내용(제4절 선로구조물 점검 제192조~195조)

<표 1-1-40> 선로구조물의 점검내용

구 분	주요내용	
교량 및 구교점검	1. 하부구조물의 점검(익벽포함) 2. 상부구조의 점검 3. 바닥판 점검 4. 접속도로 점검	5. 기타 - 케이블트러프 - 구조물 한계 - 추락방지장치 - 방음벽 및 방호벽 - 측정점 확인
터널점검	1. 터널라이닝의 장기계측 2. 터널 라이닝 상태 3. 배수시스템	4. 화학적 용접 연결부 상태 5. 절개부 및 복토부(갱문) 6. 인접구조물과의 연결 및 간섭
기타구조물 점검	1. 옹벽 : 구체의 균열, 손상, 전도, 기초세굴의 유무 및 정도 2. 하수 : 하수콘크리트의 균열, 손상, 기초세굴 단면부족의 유무 및 정도	3. 암거 4. 토공

❍ 구조물의 상태평가(제4절 선로구조물 점검 제196조)

<표 1-1-41> 선로구조물의 상태평가 기준

구 분	주요내용
A급	문제점이 없는 최상의 상태
B급	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C급	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D급	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E급	주요부재에 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 상태

(3) 전철·전력 설비 유지보수 세칙(전기)

❍ 송변전 설비 유지보수는 “제2장 송변전 설비” 제16조~제18조에 명시하고 있으며, 유지보수담당자가 상주하는 전철변전소·구분소·보조구분소 등의 순회점검은 1일 1회 이상으로 하여야 함

❍ 유지보수(제2장 송변전 설비 제16조)

<표 1-1-42> 선로구조물의 유지보수 내용

구 분	주요내용
순회점검	설비의 운전 및 사용 상태에서 단전없이 시각·후각·청각 등을 이용하여 설비의 이상 유무를 전반적으로 점검
진단점검	계측장비와 분석장치로 구성된 시스템에 의하여 기기의 전기·화학적 성능을 측정 또는 시험·분석하는 것
정밀점검	설비의 기능확인 및 성능 유지를 목적으로 내부(자체) 보다는 주로 외부기관에서 행하는 점검
분해점검	설비의 성능회복을 목적으로 기기를 분해하거나 손상, 마모된 부분을 세밀하게 점검·보수하기 위하여 행하는 점검

❍ 예비설비 및 진단장비 기능 확보(제2장 송변전 설비 제17조)

<표 1-1-43> 선로구조물의 진당장비 및 성능확보 시행 내용

구 분	주요내용
진단장비 성능확보 시행	1. 송전선로 상용·예비의 교대운전 : 매반기 2. 변전기기 상용·예비의 교대운전(주변압기·차단기 등) : 매반기 3. 전철변전소 연장급전(무부하) 기능시험 : 매반기 4. 원격감시제어장치의 기능 시험 : 매반기 5. 공통반 차단기 및 단로기의 기능시험 : 매반기 6. 진단용 계측장비교정(국가공인기관) : 2년 1회

라. 시설물 유지관리를 위한 인력 및 비용 현황

(1) 인력현황(토목)

○ 최근 5년간 주요시설물(교량, 터널, 옹벽)이 지속적으로 증가하고 있는 반면, 시설물 유지관리 인력은 지속적으로 감소추세에 있음

<표 1-1-44> 시설물 유지관리를 위한 인력 현황

구분		2013	2014	2015	2016	2017
주요시설물 (교량+터널+옹벽)		9,322	9,309	9,333	9,735	9,714
인원 현황	정원	4,265	4,262	4,179	4,191	4,192
	현원	4,249	4,188	4,109	4,096	3,982

출처 : 한국철도공사 내부자료, 2016

○ 시설물 유지관리 인력 3,982명(한국철도공사, 2016년 12월 31일 기준) 중 구조물 점검 전담인력은 38명(약 1.0%)으로 주요 토목구조물(1, 2, 3종 및 기타시설물)에 대한 인당 점검개소가 약 579개소로 조사되었으며, 년간 2회 점검할 경우 인당 점검개소는 2배로 증가

<표 1-1-45> 1, 2종 시설물

점검인원	교량	터널	사면	옹벽	합계	인당	비고
38	926	347	53	249	1,575	239	239개소/인당

<표 1-1-46> 기타시설물(3종포함)

점검인원	교량	터널	옹벽	구교	하수	승강장	사면	합계	인당	비고
38	2,475	486	5483	3797	7283	1237	259	21,020	539	539개소/인당

(2) 비용현황(토목)

○ 정밀안전진단 및 안전점검 결과 변상구조물(교량 및 터널, 구교, 옹벽 등)의 보수·보강에 매년 40억원 이상이 소요되고 있으며, 구조물 보수/보강은 변상위치, 정도 및 상태, 구조물 경과년수, 통과톤수 등을 반영하여 우선순위에 의거 유지보수 시행

<표 1-1-47> 시설물 유지보수 비용현황

구분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비고
계획예산	4,341	18,483	22,566	19,482	20,669	
실행예산	4,341	5,757	3,834	5,776	4,561	단위 : 백만원

출처 : 한국철도공사 내부자료, 2016

○ 시설물안전관리에관한특별법 제7조에 의거 외부전문기관에 의뢰하여 시행하는 정밀

안전진단은 최근 5년간 약 29개소, 정밀점검은 최근 3년간 164개소로 조사되었으며, 이에 따른 실행예산은 최근 5년간 약 70억원 규모로 조사되었음

<표 1-1-48> 시설물 점검 및 진단에 따른 비용 현황

구분		2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비고
개소	안전진단	22	37	37	17	31	
	정밀점검	-	-	227	135	129	
실행예산		5,403	5,757	9,180	7,000	7,843	(단위 : 백만원)

(3) 인력현황(전기)

○ 최근 5년간 전철화 증가에 따라 전기분야 주요시설물(변압기, 차단기, 배전반, 전차선로, 통신장비, 신호제어설비 등)이 지속적으로 증가하고 있는 반면, 전기시설물 유지보수 인력은 감소추세에 있음

<표 1-1-49> 주요시설물 대비 유지보두 인력 현황

구분		2013	2014	2015	2016	2017
송변전설비(개소)		3,076	3,052	3,052	3,264	3,398
전력설비(개소)		41,230	47,311	42,428	44,195	49,150
전차선로(km)		2,445	2,453	2,456	2,727	2,873
통신설비(개소)		46787	48,993	50,333	52,435	55,194
신호설비(개소)		58,215	58,215	59,801	60,946	63,271
인원 현황	정원	3,036	3,045	3,044	3,049	3,051
	현원	3,091	2,995	3,016	3,021	2,953

출처 : 한국철도공사 내부자료, 2016

○ 전기시설물 유지보수 인력 2,953명(2016년 12월 31일 기준) 중 송변전설비 점검 전담인력은 246명(약 8.3%)으로 주요 송변전시설(변압기, 차단기, 배전반 및 기타시설물) 대한 인당 점검개소가 약 13.8개소로 조사되었으며, 점검주기(주별, 월별, 분기별, 반기별, 연간)에 따라 점검을 시행하고 있음

<표 1-1-50> 주요 송변전시설

점검인원	송전철탑	주변압기	단권변압기	차단기	단로기	합계	인당	비고
246	449	129	893	1,388	539	3398	13.8	13.8개소/인당

<표 1-1-51> 기타시설물

점검인원	송전선로	변전소	구분소	보조구분소	PP	급전소	합계	인당	비고
246	1,499	58	63	149	42	1	1,812	7.4	7.4개소/인당

제2절 연구개발 배경 및 필요성

1. 기획연구의 시급성 및 중요도

○ 노후 철도 시설 및 신규노선이 증가하고 있으나, 예산부족 등의 이유로 해당 구간의 유지보수가 인력 중심으로 이뤄지고 있는 실정

- 전체 철도시설물 21,865개소중 13,911개소(64.1%)는 20년 이상된 시설물들이고, 30년 이상된 것들은 12,684개소(58%)임(출처 : 2017국감 박찬우 의원, 천지일보, 2017.10.20)
- 영업거리(km, 제3차 국가철도망 구축계획) : ('14) 3,729 → ('26) 5,364

○ 최근 5년간 철도시설물(교량, 터널, 옹벽)이 지속적으로 증가하고 또한 전철화 증가에 따른 전기분야 주요시설물(변압기, 차단기, 배전반, 전차선로, 통신장비, 신호제어설비 등)이 지속적으로 증가하고 있는 반면, 시설물 유지관리 인력은 지속적으로 감소추세에 있음(출처 : 한국철도공사 내부자료, 2016)



<그림 1-2-1> 관리대상 철도 시설물의 증가

- 최근 5년간 철도시설물 및 전기분야 주요시설물 유지관리 인력 각 7%, 4% 감소
- 시설물 유지관리 인력 3,982명 중 구조물 점검 전담인력은 38명(약 1.0%)으로, 주요 토목구조물(1, 2, 3종 및 기타시설물)에 대한 인당 점검개소가 약 579개소로 과다한 상황이나, 무인이동체를 이용하는 경우 50% 감소 예상
- 전기시설물 유지보수 인력 2,953명(2016년 12월 31일 기준) 중 송변전설비 점검 전담인력은 246명(약 8.3%)으로 주요 송변전시설(변압기, 차단기, 배전반 및 기타 시설물) 대한 인당 점검개소가 약 13.8개소임

○ 철도시설물의 노후화로 인해 정밀안전진단 및 안전점검에 소요되는 비용 증가

- 변상구조물(교량 및 터널, 구교, 옹벽 등)의 보수·보강에 매년 40억원 이상이 소요

- 정밀안전진단 실행예산은 최근 5년간 약 70억원 규모임

○ 기존 시설물 노후화로 인한 유지관리 비용의 기하급수적 증가뿐만 아니라 안전성 감소에 의한 인명 및 재산손실의 위험이 증가하고 있음

○ 인력 중심의 시설점검으로 인해, 점검 결과에 작업자의 주관적 판단이 개입될 소지가 많아 점검 결과의 신뢰성이 떨어지며, 검측 결과가 정성적이고 휘발성이 강해 데이터 분석 등을 통해 체계적 유지보수 수행이 어려움

○ 우리나라 작업자 사망자수는 선진국 대비 높은 수준으로, 이를 개선하기 위해 작업 위험도 저감을 위한 기술 확보 필요(출처 : 2017년도 철도안전 시행계획)

- 열차운행 1억km당 작업자 사망자수('13) : 한국 2.9, 프랑스/이탈리아 0.6, 영국 0

○ 철도 시설 노후화와 유지관리 대상 증가로 인해 철도 운영기관의 경영악화가 예상되고 있으며, 의정부 경전철 등 운영 적자로 인한 파산 사례가 발생하고 있음. 효율적인 운영과 안전성을 확보하기 위해 유지보수 기술의 고도화 및 체계적인 기술과 정책적 지원 필요

○ 열차 안전사고를 사전에 예방하기 위해서는 무인이동체를 이용한 철도시설 상태진단 자동화 기술의 도입이 시급

- 기존 인력점검 대비 무인이동체를 이용한 점검시간 단축 가능
- 고소차 및 수중보트를 무인이동체로 대체하여 점검하므로 예산절감 효과 기대
- 촬영정보에 의한 구조물 상태 확인 및 점검주기별 이력관리로 유지관리에 활용
- 점검자의 추락·전도 등 안전사고 예방 가능

○ 고가교량 및 낙석우려개소, 송전선로 등 접근 위험개소 상태진단에 효과적으로 활용할 수 있어 실용화 가능성이 우수

2. 정부지원의 필요성

○ 다음의 정부정책 및 법정계획, 부처방침과 일치함

- (국정과제) 국정과제 20 '좋은 일자리 창출을 위한 서비스 산업 혁신*', 국정과제 32 '국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화**', 국정과제 34 '고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성***' 과 관련

* 서비스 산업혁신을 통한 좋은 일자리 창출 등
** 노후SOC 고도화 및 안전강화 등
*** 드론산업 활성화 지원, 인프라 구축 및 관련 기술개발 등

- 「제3차 철도안전종합계획('16～'20)」의 추진과제 1.5 '철도 운행선로 작업 안전 강화*', 2.4 '시설 유지보수 효율화**' 와 관련('16.6, 국토부)

  * 작업자의 선로진입 최소화 등

  ** 유지보수 작업의 효율화 추진, 위험개소 모니터링 기술 개발 등

- 「제3차 철도산업발전 기본계획('16～'20)」의 주요 추진목표 '철도시설 유지보수 효율화' 와 관련('17.2, 국토부)

  * km당 유지보수 인력 : 0.796명('15) → 0.676명 이하('20)

- 「스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획('18～'27)」의 추진과제 2.1 '시설관리 과학화 기술 개발*', 2.2 '공간정보기반 스마트 시설관리 기술개발' 과 관련('17.12, 국토부)

  * 드론 영상정보를 활용한 시설관리 과학화 기술 등을 개발('18~'22)

- 「제8차 국가교통안전기본계획('17～'21)」의 추진대책 2.2 '안전하고 투명한 유지보수 체계 구축 및 유지보수 효율화' 와 관련('16.12, 관계부처합동)

  * 위험도가 높은 취약개소에 대한 작업시간 확보

○ 철도는 주요 교통 수단으로 법에 따라 정부는 철도안전을 확보할 의무를 갖고 있으나, 운영기관 독자적으로 관련 기술을 확보하기에는 경영여건 등 현실적인 어려움이 따르며, 효율적 유지보수를 위한 기술 확보 수요는 더욱 증가할 것으로 예상됨

- 철도는 연간 약 12.7억명('14년)이 이용하는 주요 교통수단이며, 법에 따라 정부는 국민의 철도안전을 확보할 의무를 가짐

- 하지만, 최근 의정부 경전철, 용인 경전철 등 지속적인 경영악화로 인한 파산위기에 처하고 있으며, 대도시 및 국가철도망도 경영악화로 어려움이 있음

- 부채규모('15) : 시설공단 약 9조원, 철도공사 약 14조원

○ 또한 철도산업에 종사하는 근로자의 노후화, 청년층의 3D 업종을 기피하는 문화, 차량 및 인프라의 노후화 등 지속가능한 교통수단으로서의 철도가 위협 받고 있음

- 철도 시설의 노후화가 심각해 자칫 대형 철도사고를 가져올 수 있으므로, 정부가 주도하여 철도시설의 상태진단 시스템 구축을 추진할 필요가 있음

- 국내 업체들의 경우 대부분의 업체들이 영세하고 연구개발 능력이 낮아 자립적인 기술개발이 어려움

- 정부가 나서서 지원함으로써, 4차 산업혁명 기술을 철도분야 도입할 필요가 있음

○ 철도 제작사, 운영처 등은 각기 고유한 미션이 있기 때문에 이를 주도적으로 해결할 수 있는 여건이 갖추어지지 않음. 따라서 철도 제작 및 운영기관에서 공통으로 이용할 수 있는 기반기술을 중립적 위치에 있는 기관이 주도적으로 개발하고, 이를 각 운영기관에서 이용하며, 점차 적용을 확산하도록 하는 것이 보다 효율적임

제2장 국내외 동향 및 환경 분석

제1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 제3차 철도산업발전 기본계획('16～'20)

○ 제3차 철도산업발전 기본계획은 철도산업발전기본법에 의거 향후 5년('16～'20)간 철도산업 관련 정책을 종합하고 체계화하는 법정 기본계획임

- 철도시설 투자, 철도운영 개선, 철도 안전관리 및 기술개발, 해외진출, 철도인력 양성 등에 관한 중장기 철도 종합계획

○ '철도시설의 안전성·효율성 제고' 과제에서는 IT 및 첨단기술 기반의 자동검측체계를 구축하고 고속·정밀 검측 장비 등을 도입하여 인력중심의 점검업무를 검측장비로 대체 계획임

- 철도시설 및 차량의 노후도 개선, 철도시설 유지보수·철도차량 정비의 과학화를 통해 잠재적 사고 위험요인을 선제적으로 감소 기대
- 철도시설 및 차량관리의 효율성을 제고하여, 저성장 기조에 대응한 SOC 재원투입의 효율성을 확보

나. 제3차 국가철도망 구축계획('16～'25)

○ 철도투자를 효율적 및 체계적으로 수행하기 위하여 중장기 국가철도구축계획을 수립하고 있으며, 고속철도·일반철도·광역철도 건설을 2016년에서 2025년까지 계획을 수립함.

○ 구축계획의 주요내용으로는 철도의 중장기 건설계획, 다른 교통수단과의 연계교통체계 구축, 소요재의 조달방안 및 환경친화적인 철도 건설방안으로 구성함.

- 영업거리는 3,729km에서 5,364km(144%↑)로, 전철화 연장은 2,595km 에서 4,421km(170%↑)로 대폭 제고
- 철도 수송분담률이 14.7%에서 5%pt 수준(약 20%) 증대

<표 2-1-1> 철도주요지표 변화

구분	2014 (A)	2026 (B)	비고 (B/A)
영업거리 (km)	3,729	5,364	144%
복선화율 (%)	2,147(58%)	3,813(71%)	178%
전철화율 (%)	2,595(70%)	4,421(82%)	170%

(제3차 국가철도망 구축계획내 사업 완료시 3,729km→ 6,133km(164%↑))

○ 구축계획에서는 미래철도의 역할을 수송분담률 증가, 시간단축 및 안전확보 등으로 규정하고 있음.

- 철도 운영 효율성을 확보를 통한 수송분담률을 선진국 수준으로 증가
- 새로운 기후체제 등에 대비한 온실가스 감축과 교통비용 감축을 위한 철도의 주도적 역할 수행
- 국민의 요구수준에 맞는 안전 확보와 이용 편리성 제고
- 노후 철도시설 개량, 열차운행 안전성 강화, 철도이용 편의시설 확충 등 필요

다. 국토교통 연구개발 중장기전략('14～'23)

○ 국토교통부는 2014년 7월 '국토교통 기술을 통한 국민행복 및 국제적 가치 창조'라는 목표 아래 국토교통 연구개발 중장기전략('14～'23)을 발표하였고, 미래가치 창출을 위한 10대 중점프로젝트를 발굴・제시하였으며, 이중에 '스마트 철도교통시스템'을 추진

○ '스마트 철도교통 시스템'은 도시 간, 도시 내 생활교통수단으로서 수송성・정시성 및 친환경성이 뛰어난 철도교통시스템의 안전성・경제성 및 효율성을 제고하기 위한 제반 기술을 확보하는 것으로 다음과 같은 방향을 제시함

- 철도차량 및 인프라 상태를 자동으로 실시간 모니터링, 진단 및 유지보수 기술을 개발하여 안전사고 예방
- 철도 에너지 절감, 인프라 성능 대비 건설・운영비 최적화 기술 및 철도운영 효율화 기술 등 개발

○ 2040 국토교통 200대 미래 유망기술에는 철도 인프라의 모니터링 및 유지보수 자동화에 대한 기술이 포함되어 있음

- 연중 무사고/무재해 운행을 위한 실시간 철도사고 예측/안전 모니터링 시스템
- 철도차량, 인프라의 자동진단을 통해 무인운전을 위한 인공지능형 종합관제시스템

- 자원과 비용을 최소화 하는 고효율 생애주기 철도운영/유지보수 시스템
- 철도차량 기지공간을 1/10로 축소한 유지보수 정비부지 조성 및 운영 자동화

라. 제3차 철도안전 종합계획('16～'20)

○ 제3차 철도안전종합계획은 철도안전법에 의거 향후 5년('16～'20)간 철도안전정책 방향을 제시하는 국가종합계획임

- 철도안전정책의 수립과 추진에 대한 기본방향 설정
- 광역·기초단체, 철도운영사의 시행에 대한 가이드라인 제시
- 철도산업발전기본계획, 국가고통안전기본계획 등과 연계

○ '철도 운행선로 작업 안전강화' 과제에서는 노후 시설 개량 등으로 운행선로상 작업이 증가하고 있어, 작업중 발생하는 작업자의 안전사고를 줄이는 것을 목표로 하고 있음

- 작업자의 선로진입을 최소화하기 위해 자동검측차 등 첨단장비 도입을 확대하고, 열차접근경보장치등 안전설비도 보급을 확대할 계획

○ '시설 유지보수 효율화 등 추진' 과제에서는 철도시설물 유지보수 효율화를 추진

- 고도화된 검측 장비를 도입하고 노후 유지보수 장비를 교체하는 등 첨단장비 활용으로 유지보수 효율성 제고
- 미국 FRA는 '12년부터 자동이미지판별 기술을 시행하도록 요구하고 있으며, 스위스, 프랑스, 영국, 독일 등도 자동검측시스템을 도입
- 상태감시 및 신뢰성 기반의 유지보수 기법을 통한 시설물 관리 추진
- 선로 시설물 정기점검 및 유지보수 정비 체계 구축 및 위험개소 실시간 모니터링 기술 운영 계획

마. 국정운영 5개년 계획 (2017)

○ 국정운영 5개년 계획은 문재인정부 국정운영의 최상위 계획으로써 향후 문재인정부의 세부 정책을 수립하고 정책집행, 정책평가 및 환류의 기준을 제시함

- 변화된 패러다임에 맞추어 각 부문별 국가정책의 기본방향을 설계하였고, 이를 실현하기 위한 20개 국정전략과 287개 실천과제를 제시함
- 정책 집행 단계에서 목표와의 정합성과 일관성을 유지하고, 새롭게 수립되는 정책들이 정부의 지향에 부합하도록 하여 국정운영의 연속성을 확보하고자 함

○ '서민과 중산층을 위한 민생경제' 과제에서는 국가기간교통망 공공성 강화 및 국

토교통산업 경쟁력 강화를 목표로 하며, 노후 인프라 개선 및 SOC안전강화를 추구함

- 교통의 공공성을 단계적으로 강화하고 노후 인프라를 개선함
- SOC 안전 강화를 위해 '17년 노후 철도차량·시설 개선을 위한 중장기 개량 계획을 수립하고 성능 기반의 철도시설 관리체계를 마련함

○ '과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명' 과제에서는 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 및 육성을 목표로 하고 첨단기술의 융복합을 통한 신산업을 창출 및 시장선점을 지원할 계획임

- ICT, 서비스 등의 융합을 통해 미래형 신산업을 육성함
- (첨단기술 산업) 융복합 추진전략을 마련함
- 지능형 로봇, 3D 프린팅, AR, VR, IoT, 스마트 선박, 나노, 바이오, 항공, 우주 등 첨단기술 산업 육성을 위해 R&D 및 실증/인프라 구축을 지원함
- (드론 산업) 드론산업 활성화 지원 로드맵 마련('17년) 및 인프라 구축, 제도 개선, 기술개발, 융합생태계 조성 등 추진
- 신사업 분야의 핵심 원천기술을 확보하여 시장을 선점함

바. 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획('18～'27)

○ 스마트 철도안전정책 방향을 제시하는 국가종합계획

- 4차 산업혁명 기술의 철도안전관리 활용을 위한 기본방향 설정
- 광역·기초 자치단체, 철도운영자등의 연구·개발 및 안전관리 방식 혁신을 위한 가이드라인 제시
- 기술 개발 및 이와 연계한 제도 개선이 가시화되는 세부과제는 2018년부터 철도안전시행계획에 반영하여 실행력 확보

○ 시설관리 분야에서 IoT, 드론 등 첨단 검측장비 확보, 철도시설 유지보수 작업의 기계화를 중점 추진과제로 선정

- (검측장비 첨단화) 기존 검측차량의 성능을 개선하고 고속검측차, 드론, IoT 등 첨단장비를 추가로 도입하여 시설물의 상태정보 수집
- (드론 도입) 인력접근이 어려운 급경사지, 고가교량, 송전철탑 등의 시설물 점검 활동에 드론을 활용하고, 영상정보 분석 기술도 개발
- (공간정보체계 구축) 철도시설의 이력·상태정보 등을 효율적으로 저장·분석·

관리 할 수 있도록 철도공간정보체계 구축(～'25)



<그림 2-1-1> 스마트 철도시설관리

사. 국내 무인이동체 정책 동향

(1) 창업 활성화를 위한 정책동향

○ 드론 사용 사업범위 규정을 네거티브 방식으로 전환하여 국민안전, 안보 등을 저해하지 않는 사업은 모두 허용

○ 1인 창업 등 소자본으로도 드론을 활용한 사업이 가능하도록 소형 드론(25kg 이하)을 활용한 사용사업 자본금 요건 면제

○ 조종 교관에 대한 비행 경력 요건을 절반으로 완화하여 교육기관 확대 추진

○ 드론의 형식별(단축/다축) 특성을 감안하여 평가내용도 합리적으로 정비

(2) 비행여건 개선을 위한 정책동향

○ 수도권 등 제작업체가 많은 지역에 초경량비행장치 전용 비행구역 확대(18곳 -> 29곳)

○ 대전 비행금지구역 내 개별허가 없이 비행 가능한 비행장소 확보 지원

○ 무게 및 용도별 안전관리 기준 및 조종자 준수사항 등 안전가이드 핸드북 제작/배포

○ 사용자 실시간 위치기반으로 비행가능 공역 여부 및 관할기관 연락처, 안전정보 등

드론 사용자의 안전한 비행지원을 위한 스마트폰 앱 제공.

○ 미국 등 선진국의 소형 드론 기준에 맞춰 비행승인, 기체검사 면제범위를 자체무게 12kg이하에서 최대이륙중량 25kg 이하로 개선

○ 비행승인 필요지역에서 장기간 비행에 대해 1회 최대 6개월까지 승인

○ 기체신고, 비행승인, 항공촬영허가 등 드론 이용 시 필요한 행정절차를 통합한 인터넷 기반의 민원처리시스템 구축

○ 소형 드론 비면허 주파수 가이드라인 마련 및 소형 드론의 데이터 통신용 주파수 대역 추가 분배/ 무인항공기의 전용 데이터 통신 면허대역 주파수 분배

(3) 시장 수요 창출을 위한 정책동향

○ 2008년 로봇산업진흥과 육성을 위한 법적 근거 정비, 2009년 4월 지능형 로봇법에 따라 제1차 기본계획을 수립, 2010년 6월 한국로봇진흥원 설립, 2011년 산자부 전담부서(로봇산업과) 신설, 2014년 7월 제2차 기본계획수립, 2015년 7월 지능형 로봇법에 따라 2015년 실행계획 수립

○ 토지보상, 지적재조사, 댐과 하천관리 등 공공기관의 실제 업무현장에서 활용 가능성을 검증해보는 실증사업 추진

○ 실증사업 등에 대해 가시권 밖, 야간 비행에 대한 시험비행 허가 지원, 국가 및 공공기관의 경우 3개월 단위로 항공촬영장기 허가 지원

○ 드론 활용 공공기관과 업체간 정보 교류 및 매칭 지원을 위한 전시/시연 등 행사 개최

○ 국가 및 공공기관의 드론 활용 수요 발굴을 위한 수요조사 및 분석 추진

○ 새로운 드론 활용 비즈니스 모델 발굴을 위해 추진 중인 시범사업 확대 추진

○ 공공분야별 업무 특성을 고려한 특수 임무 장비 개발 및 기능 향상, 실증테스트 등 조기 사용화 지원을 위한 실용화 연구개발 확대 추진

○ 제작 및 서비스 업체에 융자/보증 등 정책 금융 지원을 위한 신 성장금융센터 설치

(4) 무인항공시대 대비 드론 교통체계 개발 동향

○ 규제 프리존 지역에 중대형 유/무인기의 성능/인증 등을 위한 인프라 및 활주로 등

을 갖춘 국가종합비행성능시험장 구축 추진(국토부,산업부)

○ 드론의 안전한 비행지원을 위한 장애물 정보 등 3차원 정밀지도 구축 추진

○ 장거리 드론의 지역간 전용 루트 설정 등 저고도에서 다수 드론의 안전한 비행을 지원하는 드론 교통관제모델 개발 추진 (국토부/미래부/경찰청)

○ 국가 및 공공기관의 드론 활용 수요 발굴을 위한 수요조사 및 분석 추진

○ 새로운 드론 활용 비즈니스 모델 발굴을 위해 추진중인 시범사업 확대 추진

<표 2-1-2> 국내 로봇 산업 정책 변화 연표

시기	내용
1978 ~ 1986	● 로봇 산업의 태동 - 자동차용 다점용접 로봇이 국내 최초로 도입 - 로봇 산업에 대한 정부지원이 없는 상태에서 산/학 자체적으로 로봇 R&D 진행
1987 ~ 1996	● 제조용 로봇 기반 조성 - 자동차, 반도체 산업의 발전에 따른 제조용 로봇 산업 활성화 및 기반 형성 - 제조용 로봇 분야 공통 핵심기술 개발사업 지원 개시
1997 ~ 2001	● 지능형 로봇으로의 전환 - IMF 위기에 따른 관련업계 내부의 구조조정 등으로 제조용 로봇 사업 철수 - IT 산업성장에 따라 제조용 로봇에서 지능형 로못으로 로봇 산업 패러다임의 변화 - 퍼스널 로봇 기반기술 개발 사업 추진 (산자부)
2002 ~ 2007	● 지능형 로봇 사업 지원 본격화 및 정부지원이 규모화, 체계화 - 산자부, 정통부, 과기부 등 여러 부처가 지능형 로봇 사업을 지원하기 시작 - 중점과제 서비스용 로봇기술개발사업 추진 - 10대 차세대 성장동력 산업으로 지능형 로봇 선정 - 지능형 로봇 산업 비전과 발전전략 수립
2008 ~ 2015	● 지능형 로봇 관련 법, 제도적 기반 강화 - 로봇 특별법 제정, 및 후속 조치가 시행 - 로봇 관련 법, 제도적 기반 강화 (지식경제부) - 로봇 보급사업 마스터플랜 발표 및 8개 부처 MOU - 제1, 2차 (2009, 2014) 지능형 로봇 기본계획 수립 - 지능형로봇 실행계획 발표
2017	● 로봇 산업 영역 확대를 위한 지원 - 병원 내 물류를 맡을 병원용 이송로봇 10~15대 시범적용 - 국립 재활원, 보훈병원 등에 재활로봇 5~10대 보급 - 평창올림픽에서 안내, 홍보, 이송, 경비 로봇 가동
2018 ~ 2020	● 로봇 보급 확대 - 우체국에 인공지능 기반 소셜로봇 5~10대 시범적용 - 국, 공립병원에 국산 수술로봇 선도제품 3~5대 시범적용 - 대형시설, 물류창고용 이송로봇 20대 적용 - 전시장, 박물관 안내서비스 등에 소셜로봇 20대 적용 - 발전시설 등에 감시경계 안전로봇 10~15대 시범적용

출처 : 4차 산업혁명 시대의 지능형 로봇 분야별 기술개발 동향과 시장 전망, IRS글로벌, 2018

2. 국외 정책동향

(1) 일본

○ 철도종합기술연구소(RTRI)는 안전 DB를 실시간으로 분석하여 의사결정을 지원하는 철도종합 안전관리 지원시스템 구축을 추진

- 자연재해 예측탐지 및 예방, 차량운행 분석 및 기능저하 메커니즘 규명, 인체 요소에 기반 한 친환경 및 안전성 향상을 연구

- 전략적 혁신 창조 프로그램(SIP, Strategic Innovation Promotion Program)의 주요 과제(10개)로 '인프라 유지관리·갱신 기술'을 선정

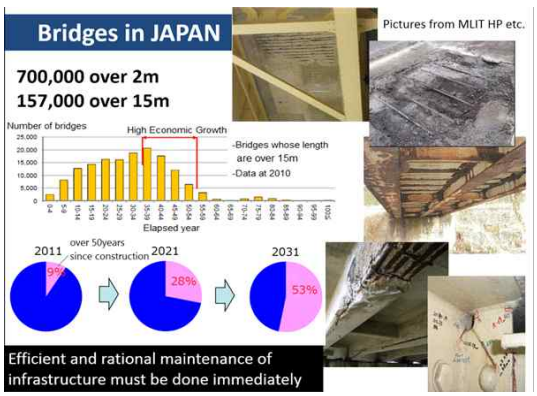


<그림 2-1-2> 홍수 시 산사태 위험분석

○ 고령화 시설물 급증으로 유지관리·개량 비용의 증가가 예상됨에 따라 유지관리소요비용 절감을 위한 예방적 방안과 효율적 유지보수 계획을 발표

- 2013년 6월 통합각료회의에서 결정된 '일본부흥전략'은 2030년까지 '국내 주요 인프라 및 모든 노후화 인프라에 센서, 로봇, 비파괴검사 기술 등을 활용하여 고도의 효율적인 점검, 수리를 실시'하는 것을 목표로 설정

- 2013년 11월 일본 정부의 '인프라 노후화 대책 추진에 관한 관련 정부기관 회의'에서는 '인프라 장수명화기본계획'이 결정



<그림 2-1-3> 일본의 인프라 노후화 현황



<그림 2-1-4> 인프라 유지관라, 갱신 기술

❍ 보유 기술을 인프라 장수명화 프로그램에 적용하여, 효율적 유지관리체계를 꾸구하여 수출상품(인프라 비즈니스)으로 육성하는 계획을 수립·추진 중

- 일본 정부는 도로, 다리 등의 시설물을 계획적으로 점검·보수하는 일 등을 포함한 '국토강인화기본법'을 제정하고(2013년), '인프라 장수명화 기본계획'과 해당 부처별 실천 과제를 발표
- 2020년까지 센서 등을 활용한 시설물 점검 및 보수기술을 전체 인프라의 20%까지 적용하는 것을 목표로 설정하고 있으며 이를 바탕으로 인프라 노후화 대응 분야 세계 선두주자로 부상을 도모

❍ 저출산·고령화에 따른 이력부족·생산성 감소 등 여러 가지 사회 현안을 로봇 기술을 통해 해결하기 위해 일본 정부와 업계는 대응책을 강구

- 일본재흥전략 개정안(2014.6)에서 '로봇에 의한 새로운 산업혁명을 실현한다'고 명기하며 로봇대중화를 위한 발걸음을 재촉한 이후 2014년 9월부터 '로봇혁명실현회의'를 정기적으로 개최하며 기술 개발과 규제 개혁 및표준화 등을 논의한 결과 2015.1.23. '로봇신전략'을 공표. 2016년 로봇 예산 294억 엔 확보
- 2020년까지 1,000억 엔(약 1조 원) 규모의 프로젝트를 추진해 2012년 약 7,000억 엔 수준의 로봇시장을 202년 2조 4,000억 엔까지 확대하며 로봇강국으로 확고히 자리매김하는 것이 목표 (2020년까지 제조 분야에서 현재의 2배(6천억 엔→ 1.2조 엔), 서비스 분야에서 현재의 20배(6천억 엔→ 1.2조 엔) 확대 목표)
- 로봇혁명실현회의 후속조치로 '로봇혁명 Initative 협의회'를 조직하고 로봇에 의한 새로운 산업혁명을 추진, 이는 자동차, 기계, 화학, 철강 등 200여개의 전방위적 산업 단체가 참여하여 로봇 도입 영역 및 활용 지원을 위해 논의
- 2015년 6월 내각부는 '과학기술 이노베이션 종합전략 2015'를 발표하여, 로봇 IoT(사물인터넷) 등을 강화하기로 하였으며, 이를 차세대 인프라 구축, 2020년 도쿄올림픽 등에 활용하기로 발표
- 2015년 9월 경제산업성과 로봇업체는 공동으로 산업용 로봇 핵심부품 표준화에 착수, 2016년에는 정부에서 인공지능, IoT(사물인터넷) 등 로봇에 활용되는 핵심기술 개발을 위해 부처 간의 협의체를 구성

❍ 로봇신전략 기조에 따라 폭넓은 분야에서 로봇 활용 촉진 사회를 구현하기 위해 2015년 8월부터 '로봇도입 실증사업'을 전개 ('로봇도입 실증사업'은 경제산업성과 로봇공업회가 로봇 개발기업을 대상으로 총 15억 엔(약 153억 원)을 지원해 실용화를 촉진하고 기업의 생산성 향상으로 이어질 수 있는 환경 조성이 핵심이며, 현재까지 약 250건 정도 사업을 지원)

- 로봇 활용 영역 발굴과 촉진, 로봇 도입 전 타당성 등을 검증하는 2개 사업으로 구성, 다양한 산업 현장에 활용 가능한 로봇개발 기업을 대상으로 대기업은 1/2,

중소기업은 2/3의 보조금을 지급

- 2017년에는 산업 현장뿐 아니라 공공장소 활용 분야, 로봇 시스템 설계·구상 분야 등으로 지원 사업을 확대

<표 2-1-3> 2017년 '로봇도입 실증사업' 주요 내용

지원 대상	지원 내용
산업 현장	로봇 도입이 더디게 진행된 영역의 저해 요인을 명확하게 파악 2017년에 식품·화장품·의약품·서비스 산업으로 한정
공공장소	역·공항 등 사람이 밀집한 공공장소 구조물에서 안전 가이드라인에 따라 서비스 가능한 로봇의 활용 가치에 심혈을 기울임
로봇 시스템 구상·설계 등	로봇을 설계·구상하는 시스템 기업과 연계해 산업용 로봇을 도입

출처 : 4차 산업혁명 시대의 지능형 로봇 분야별 기술개발 동향과 시장 전망, IRS글로벌, 2018

(2) 중국

❍ 2014년 6월 시진핑 주석이 '세계 최대 로봇강국으로의 도약' 목표를 발표, 13차 경제개발 5개년 계획, 중국로봇산업연맹 설립(2013년 4월). 로봇산업단지(칭다오, 광저우, 충칭시) 운영 등을 통해 연간 5만대 로봇 생산 계획, 2014년 11월 공업정보화부에서 13차 경제개발 5개년 계획(2016~2020)에 로봇 산업을 포함함

- 2020년까지 산업용 로봇 산업구조를 완비, 세계 로봇시장 점유율 45%달성, 노동자 1만 명당 로봇 사용 대수를 100대 이상 증가, 타산업과 로봇 기술 융합을 통해 200조 원 신시장 창출 목표를 발표

❍ 중국 제조업 핵심기술·부품의 높은 대외 의존도와 낙후 생산 설비 문제, 에너지 효율 저조 문제를 해결하기 위하여 2015년 5월 인터넷과 제조업의 융합을 통한 중국 10대 산업 업그레이드 계획인 "제조 2025 계획"을 발표

- 독일의 'Industry 4.0'과 미국 GE의 'Industrial internet revolution'을 주 모델로 선정

- 무인이동체를 10대 핵심 산업분야로 선정하고 집중 육성(10대 핵심 산업분야 : 무인이동체, 차세대 IT기술, 항공우주설비, 고성능 의료기계 등)

<표 2-1-4> 공업신식화부, 국가발전개혁위원회, 재정부 공동으로 '로봇 산업 발전계획'

계획	내용
10대 핵심 로봇 육성	용접, 청소, 코딩, 협업로봇, 로봇팔, 이송 로봇(AGV), 소방 구조, 수술, 공공서비스, 간병 등 10대 핵심 로봇 발전
핵심부품 발전 촉진	고정밀 감속기, 고성능 서보 모터 및 드라이버, 제어장치, 센서, 엑츄에이터 등 5대 핵심 부품 발전 촉진
산업 기초 능력 강화	로봇 기반기술 연구 및 표준화 시스템 구축, 로봇혁신센터 및 국가 로봇 테스트·평가 센터 설립
응용분야 확대	조업의 중요 영역을 중심으로한 시범 활용 확산뿐만 아니라, 재난·재해 구조, 의료·재활 분야와의 응용 확대
핵심기업 육성	인터넷 기업과 전통 로봇기업간의 융합 촉진, 중소기업 대상 로봇 보급 확대 추진

(3) 미국

○ 미국 오바마 대통령이 로봇을 적극 활용하는 ‘첨단 제조 파트너십(AMP, Advaced Manufacturing Partnership)’ 을 2011년 발표하면서 육성 지원정책을 추진 중 (협업 로봇 개발 중심으로 2015년 50백만불, 2016년 37백만불 지원)

- 인구의 노령화와 문화적 다양성의 확대는 국민의 건강, 교육과 학습, 개인과 공공의 안전, 안보 등 삶과 경제 전반의 개선에 기여할 필요성을 제기
- 법률 지원 측면에서 미국연방항공국(Federal Aviation Administration, FAA)에서 North Dakoda 주의 2/3에 해당하는 지역을 무타 무인항공로봇 시험비행 자유지역으로 지정하여, 해당 지역에서는 무인항공로봇을 타 비행체와 동일 규제로 관리하겠다고 발표
- 미국연방항공국이 처음으로 상업용 무인 항공기 운행을 허용하여 AeroVironment 사의 Puma AE 드론이 알라스카 지역 내 영국 석유 회사 British Petroleum의 시스템 및 안전 점검을 위해 사용됨
- 2014년, 구글은 6000만 달러 이상을 투자하여 무인항공기 회사 ‘타이탄’ 을 인수하였고, 페이스북은 2000만 달러를 투자하여 영국의 무인항공기 회사 ‘애센타’ 를 인수
- 미국은 국가적 차원보다 구글 등 글로벌 기업을 중심으로 한 지능형 로봇의 개발이 빠르게 진행되고 있는 것이 특징

○ 2013년 미국 연방 도로청은 미국 저녁의 고속도로 교량에 대한 상태·성능보고서를 발표하고 교통인프라 유지개선을 위한 투자방안 제시

- 구조적성능요건을 충족시키지 못하는 교량은 구조적 결함을 가지고 있거나, 오래되어 기능을 다할 수 없는 교량

○ 미국 FHWA는 2013년 터널 검사 표준을 보완하여 터널 내진, 안전, 화재 대책에 관한 기준/지침을 제공

- 개정된 표준은 터널의 계획, 조사, 설계, 복개터널, 내진설계, 안전, 화재대책, 조명, 환기, 시공 TBM굴착 등에 대한 기준을 포함

○ 2015년 2월 미국 연방 항공국은 무인항공기를 상업적으로 이용할 수 있도록 하는 새로운 규제를 발표

- 55파운드(약 25kg) 이하의 작은 무인항공기 시스템 조종에 해당하며, 제한 속도는 시속 100마일(약 160km/h)이며 다른 항공기와의 충돌 위험을 피하기 위해 고도는 최고 지항 500피트(약 152m)로 제한
- 상업용 무인항공기 운영자는 최소 17세 이상으로 항공 지식 테스트 통과 및 교통안전국의 심사를 받는 무인 항공기 파일럿 인증서 획득을 요구하고 있으며, FAA

지식 테스트는 24개월마다 지속적인 재인증이 필요하고, 유인 항공기 조종사에게 요구되는 의학 검사 또는 필수 비행시간은 제외됨

- 일반인 위로 비행을 피해야 하며 낮 시간에만 비행을 허용
- FAA는 일반 항공기와 달리 드론 운영자나 제조업체에 드론의 비행 안전성을 사전에 증명할 것을 요구하지 않음
- 4.4파운드(약 2kg)이하인 '소형 드론'에 대한 별도의 규칙을 고려중이며, 운영자는 어떠한 시험도 통화할 필요가 없으며 기본적인 항공 안전 대책을 잘 알고 있다는 서면 진술서를 제출해야함

(4) EU

○ 전 로봇분야에 걸쳐 산학연관이 모두 참여하는 세계 최대 규모의 로봇 프로그램(SPARC.2014.6)에 21.07억 유로 투자를 발표

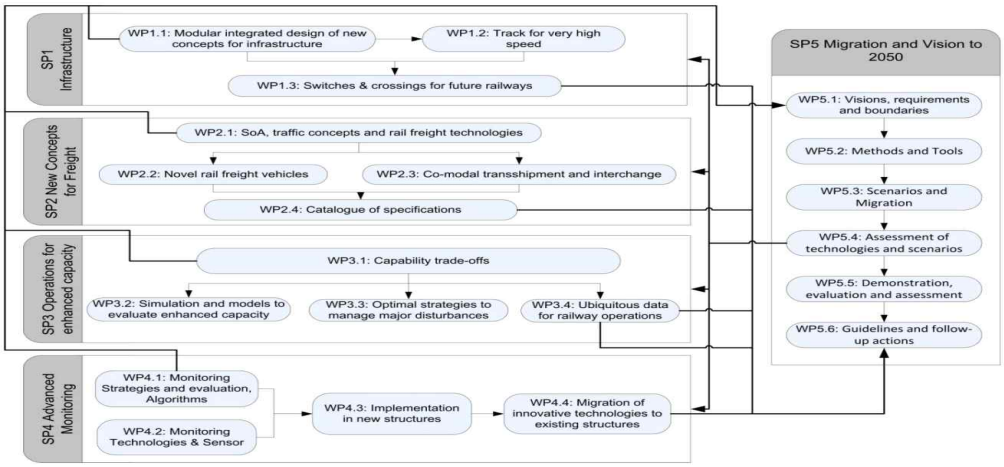
- 교통, 사회 안전 등 타산업과 융합을 통해 세계로봇시장에서 EU의 시장 선점 강화 정책을 추진
- 독일은 중소제조업 활성화를 위한 '하이테크 전략(Industry 4.0)'을 발표하고 인간과 로봇의 공동작업체계 개발을 추진
- 프랑스는 2020년 '세계 5대 서비스 로봇 산업국'을 목표로 2013년 3월 세계 리더급 로봇 산업 개발계획(중소기업 로봇설비 투자에 3,300만 유로 지원 계획)을 발표하는 등 로봇 산업에 적극적으로 투자 중
- 네덜란드는 독일의 'Industry 4.0'에 대응하여, 경제부, 경제인연합(FME), 상공회의소, 응용과학연구소(TNO)가 공동으로 2014년 4월 Smart Industry 발표
- 영국은 영국 공학·자연과학 연구위원회(EPSRC)가 영국의 산업용 로봇산업 육성을 위해 산학연 협업 '로봇 및 자율 시스템네트워크(UK-RAS Network) 구축(2015년 6월)하고, 2025년 세계 로봇시장 점유율 10%를 목표로, 기업혁신기술부 산하에 기술 전략위원회를 중심으로 총 1억 5천만 파운드를 로봇 산업에 투자할 계획
- EU의 경우, 2014년 교통·사회안전 등 전방위적 산업과 로봇기술과의 융합을 통한 세계 로봇시장 선점·강화를 목적으로 세계최대규모 로봇프로그램(SPARC)을 운영하고, 2014년부터 2020년까지 총 21억 유로 투자 발표

○ EU 산하 유럽 철도국(ERA)은 'Capacity4Rail' 프로젝트('13.10～'17.09)를 통하여 첨단기술을 활용한 효율성·안전성 제고를 추진 중이며, 'Capacity4Rail' 주요과제 중 시설 유지보수(선진 모니터링 포함) 항목이 포함되어 있음

- 예산은 1,500만 유로이며, 유럽 13개국과 46개의 철도 운영업체, 인프라 관계자, 공급자, 중소기업, 학계가 파트너십을 구성하고 수행
- 6개의 서브 프로젝트(SP1 인프라, SP2 효율적인 화물시스템을 위한 새로운 개념,

SP3 용량 향상을 위한 운영, SP4 선진 모니터링, SP5 2030-2050을 위한 시스템 평가, SP6 관리, 보급, 교육으로 구성

- SP4 선진 모니터링은 검사요건, 권장사항, 열화 예측 등 10개의 결과 문서를 도출하였음
- 일체형 센서, 무선 센서등을 이용한 자동화 된 유지 관리 예측 및 구조 수명 예측 방향 등 제시
- 드론 등 무인이동체를 이용하여 데이터를 획득하는 장치를 미래상으로 제시하고 있음



<그림 2-1-5> Capacity4Rail 구조

○ 유럽은 2013년부터 Infravation Project를 통해 교량, 터널, 도로포장 등 교통인프라 성능향상을 위한 기술여구를 지원

- Infravation Project는 비용효율적인 고성능 교통인프라 건설/유지관리를 위한 재료, 보수, 모니터링, 시공법, 절차, 지원시스템 연구를 지원하며, 차세대 인프라 성능 평가방법, 인프라 내구성 및 수명연장, 비파괴 검사, 교통흐름 저영향 유지보수기술 등을 확보할 계획

○ 영국 'Future Railway' 프로젝트('12～'40)를 통하여 관제·통신, 시설, 차량, 정보 등 6개 분야에 대한 첨단기술 개발 및 적용을 추진 중임

- Network Rail과 CSC(영국 Big-data 전문기업)는 철도시설 및 지리정보를 바탕으로 선로유지보수 효율향상 연구 및 실용화 추진
- 캠브리지 대학(Mohamad, Soga 외, 2012) 및 프랑스 LCPC, SNCF는 지하철의 동공 발생에 대한 사전 탐지기술을 개발
- Network Rail은 원격모니터링 장치(RCM, Remote Condition Monitoring) 시스템 구축을 통해 인프라 자산의 손실 예측, 적기 보수보강, 보수보강 의사결정을 목적으로 약 12,000개 자산에 대한 모니터링 시행을 통해 약 10%의 열차지연 저감

○ 항공기급 (150kg 초과)은 ICAO를 중심으로 국제표준 마련 중 (28년 목표)

○ 초경량 비행장치급 (150kg 이하)은 국가별로 규제방안 마련

○ 미국, 유럽 등은 시장 활용이 높은 소형 드론관련 제도의 구체화 작업에 집중하고 있으며 위험도에 기반한 안전관리 강구 움직임

- 미국: 유/무인기 통합에 대비한 중장기 계획 수립 및 실증 테스트 지역 (6개소) 운영
- 유럽: 무인기의 무게와 비행범위에 따른 안전기준 구체화를 추진 중으로 실증 테스트 지역 (프랑스 2개소, 영국1개소 등) 에 비행성능시험 인프라 구축, 운영 중
- 일본: 드론특구(센보쿠 시, 치바시)를 지정하고 드론택배 등 실증 테스트 기획 중.

○ 유럽 내 드론 산업이 급격히 발전함으로써 통일적인 규제 방향 수립 필요성이 대두되고 있는 가운데, 2015년 3월, 유럽항공안정청(European Aviation Safety Agency, EASA)은 드론으로 인해 발생 가능한 각종 사고의 예방과 유럽 드론 시장 활성화를 내용으로 하는 규제 가이드라인을 발표

(5) 캐나다

○ 무인항공기 기술발전과 함께 무인항공기에 대한 수요 또한 급증하면서 이에 대한 규제가 불가피해짐에 따라, 캐나다 교통청(Transport Canada)은 무인항공기에 대한 세부 규정 방침안인 ‘수정 규제안(Notice of Proposed Amendment)’을 발표함

- 캐나다 교통청은 2014년 발표한 무인항공기 안전규칙보다 좀 더 세분화되고, 교통청 자체 분석 및 업계요구를 반영한 ‘수정 규제안’을 공고함
- 기존 규정은 2016년 12월까지 적용되는 임시규제였으며, 모든 드론에 대해 일괄적으로 ‘특별 비행 운용 인증(Special Flight Operations Certificate, SFOC)’을 요구하고 있음
- 새로운 비행 규칙, 항공기 등록 요건 및 테스트, 최소 연령 제한 및 비행 허가 등에 고나한 변경사항을 포함한 개정안을 발표

○ 제안된 규정은 유인항공기에 적용되는 대부분의 캐나다 항공 규정에서 제외되며, 소형 드론에 대한 제약을 대폭 완화함

- 가시 거리내의 25kg 이하의 무인항공기에 적용되며, 각 규제사항에 대해 2kg 미만의 소형 드론, 한정된 운용을 하는 25km 미만의 드론, 다양한 목적으로 운용하는 25kg 미만의 드론 등 대상을 3가지로 분류하여 이용 조건을 차등 적용함
- 소형 드론에 대해서는 안전성이 보장되는 것으로 판단해 운용의 폭을 크게 확대한 것이 특징

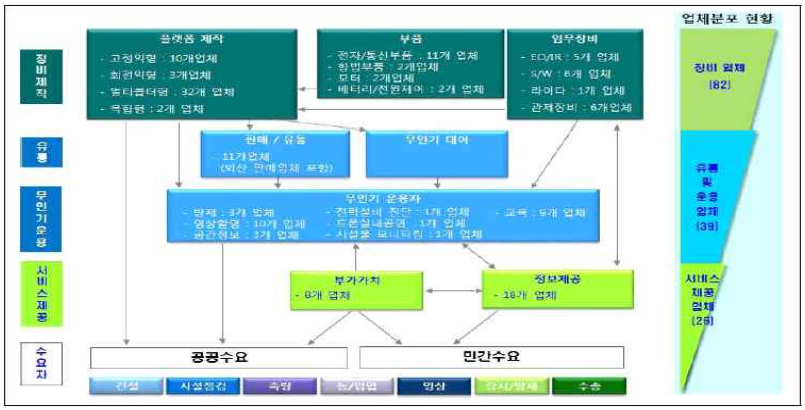
제2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

○ 국내 무인비행장치 시장은 동호인 중심 취미용 모형항공기 시장이 소규모 형성되어 있었으나, 최근 농약살포, 촬영, 측량, 시설물 점검 등 산업용으로도 활용영역이 확대되고 있는 추이를 보이고 있음

○ 중대형 무인비행장치 제작업체는 일정수준 이상의 기술력과 연구인력을 확보하고 있으나 소형 무인비행장치 제작업체의 경우 규모나 기술력 측면에서 영세

- 대부분 자사의 체계개발에 필요한 부품을 개발하는 수준으로 부품 전문업체는 전무함
- 부문별 소프트웨어 업체가 존재하나, 무인비행장치 상업화 확대도입에 절대적으로 필요한 무인비행장치 획득 정보처리 소프트웨어 제작 업체는 초보적 수준
- 분야별로 서비스 제공이 태동하는 단계



<그림 2-2-1> 국내 무인비행장치 시장현황

출처: 드론 활성화 지원 로드맵 연구, 한국항공우주연구원, 2017

○ 국토교통부 발표에 따르면, 국내 무인비행장치 시장은 아직 도입 초기 단계로 시장규모는 미미하나 고성장세를 보이고 있으며 향후 2028년까지 1.6조원(누적기준) 시장으로 확대될 것으로 전망됨

○ 국내에서도 무인비행장치의 대수는 크게 증가하고 있으나 대부분이 레저용이며 실제 산업현장에서의 활용도는 매우 낮은 것으로 알려지고 있음

○ 민간용 무인비행장치 시장은 경제규모에 비례하여 무인기가 보급될 것으로 전망됨

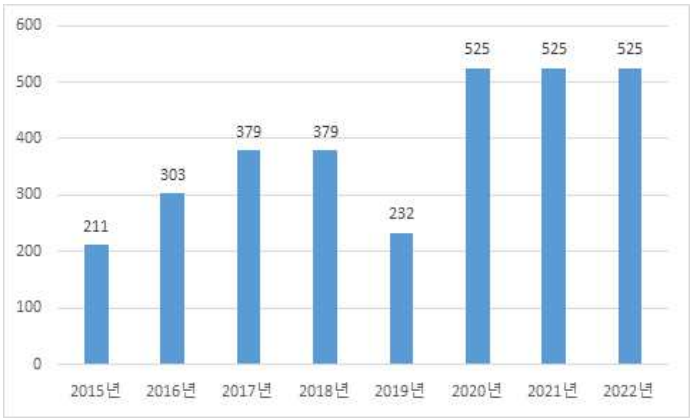


<그림 2-2-2> 경제규모 기반 국내 민간 무인비행장치 수요 예측

출처: 드론 활성화 지원 로드맵 연구, 한국항공우주연구원, 2017

○ 국내시장의 경우 군수요 중심으로 2014년 100억원 수준에서 2022년까지 연간 5억 3천만 달러 규모로, 연평균 22% 성장률을 보일 것으로 전망됨

- 민수시장에서는 기술 성숙에 따른 활용도가 증가되고, 적용분야도 다양하게 확대되면서 개인소비자의 관심증가에 따라 소형드론의 판매가 급속이 증가될 것으로 전망됨



<그림 2-2-3> 국내 무인기 시장전망 (단위: 백만 달러)

출처 : 급성장하는 무인이동체 시장전망과 개발동향, IRS Golbal, 2015

○ 급성장할 것으로 전망되는 무인이동체 분야에 최근 우리 정부도 본격적으로 지원하겠다는 전략을 내놓고 있지만, 기술력으로 선진국에 뒤쳐져 있으며, 가격 경쟁력도 중국에 밀리고 있는 양상을 보임

- 2012년 미국에 이어 세계 2번째로 틸트로터(고속 수직이착륙 무인기)의 핵심 기술을 개발하고 시험 비행에도 성공했으나, 이미 중국에 소형 드론 시장을 내주고 있는 실정

- 국내에는 소형 드론의 부품부터 제어기술까지 모두 확보해 모두 자체 제작하고 있는 제조사는 그다지 많지 않은 것으로 판단

○ 정부는 영상 감시·인프라 관리·공공활용 분야 등 성능과 품질, 신뢰성이 결합된 제품군으로 확대될 것으로 보고 제품 기술력 향상을 위한 부품 개발에 적극 나설

계획

- 기술 개발에는 국내 부품선도기업과 한국항공우주연구원(항우연), 전자통신진흥원(ETRI) 등 정부 출연연구기관(출연연)이 기술 역량을 집중해 2~3년안에 선진국 수준으로 기술력을 끌어올린다는 방침

- 기술개발이 중점 검토되는 성능은 속도(배터리, 모터, 프로펠러), 통신 운용 반경(통신장비), 자동 비행(비행 조종 모드), 영상 안정화(짐벌), 체공 시간, 운용 풍속, 충돌회피(항법센서) 등

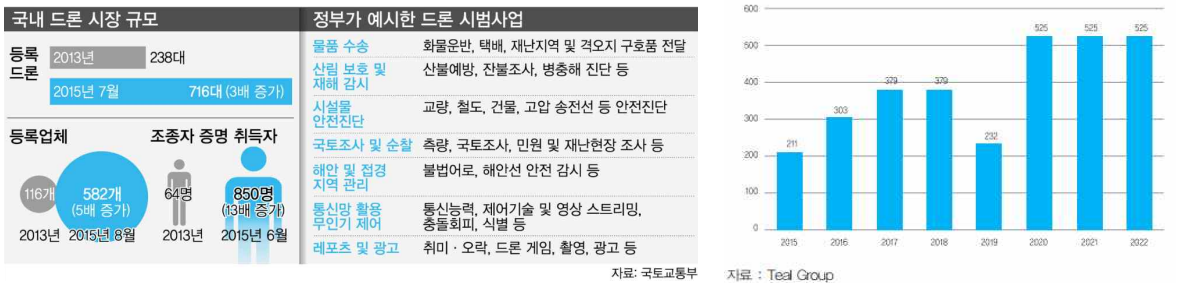
○ 국내에서는 UAV의 활용도를 높이기 위해 무인 이동체가 필요한 국가적 사업을 선정하여 UAV 산업 시장 육성할 계획

- 과학기술정보통신부는 무인이동체(드론, 자율주행차)의 활용을 높이기 위한 5개년 사업 방안을 발표할 계획이라고 밝혔으며, 산업부, 국토교통부, 국방부 등과 함께 무인이동체가 필요한 국가적 사업을 선정하여 지원할 예정

- 한국국토정보공사, 국립재난연전연구원, 경찰청 등도 시범적으로 드론을 활용하고 있으며, 이 국가 기관들은 농지 불법변경 단속, 재난상황 감지, 험준한 지역 수색 등에 UAV 활용할 계획

- 자연재난, 사회재난 등 70종이 넘는 재난상황을 미리 감지하고 대처하기 위해 자율 비행이 가능한 드론 개발 계획중에 있으며, 국토교통부는 드론 산업을 활성화하기 위하여 2015년부터 현재까지 “무인비행장치(드론) 활용 신산업 분야 안전성 검증 시범사업”을 추진하고 있음

- 한국국토정보공사는 2016년 4월 전주시와 함께 “UAV활용 국토조사 플랫폼” 드론 활용 시범 사업을 시작함



<그림 2-2-4> 국내 무인기 시장 전망(백만불)

○ 국내 민간 드론 활용 발전 방향

- 국내 민간 드론 활용은 우선적으로 해안/산불/환경 감시, 재해·재난 모니터링, 교통통제/사고수습, 공중촬영, 농업용 등에서 활용 가능함

- 방제용으로 무인헬리콥터와 멀티콥터형 드론이 활용 중에 있으며, 2003년도부터

일본의 무인헬리콥터 “R-MAX”를 수입하여 농업현장에서 방제용으로 사용 중에 있음

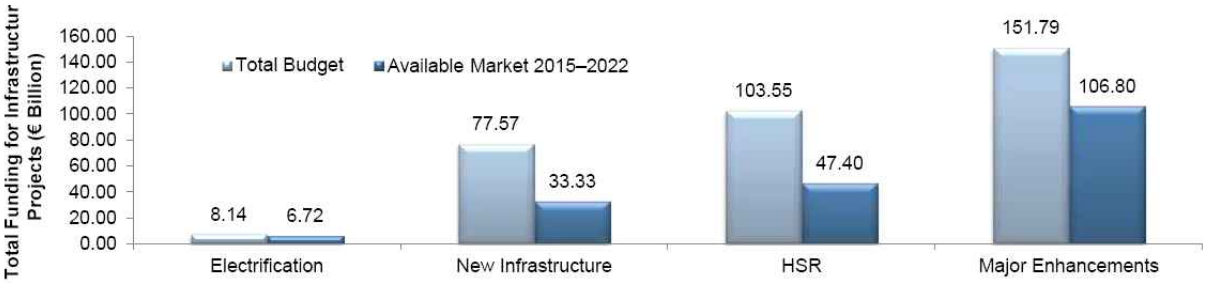
- 저렴한 장치가 빠르게 개발 상품화 되면서 비행장치급 (150kg 이하) 활용이 지속 증가하고 있으며 농업, 촬영, 관측, 조종교육 분야에 활용 확대 추세

2. 국외 시장현황 및 전망

(1) 글로벌 시장

○ 유럽은 철도시설 관련 프로젝트로 3,410억 유로의 예산을 지출하고 있으며, 이중 약 1,942억 유로가 2015년~2022년까지의 시장 규모로 예상됨

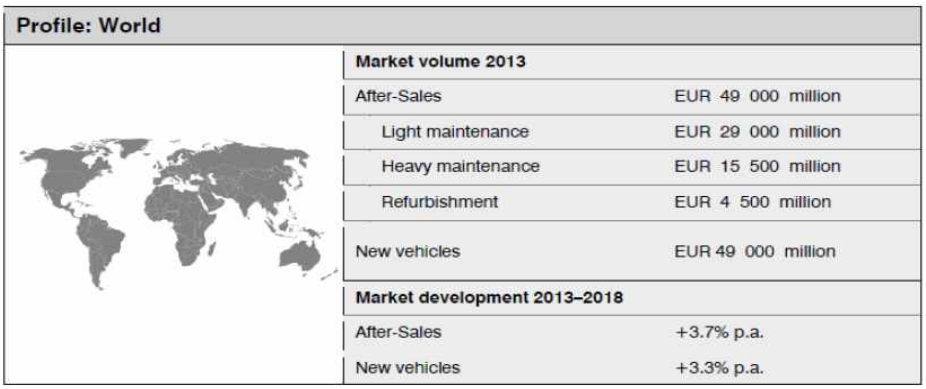
- 시설물 유지보수 및 개량 부분의 예산이 1,517억 유로로 가장 크며, 1,068억 유로의 시장 형성 예상



<그림 2-2-5> 유럽 철도시설 시장

출처 : Executive Analysis of the Global Rail Market 2016, FROST&SULLIVAN, 2016

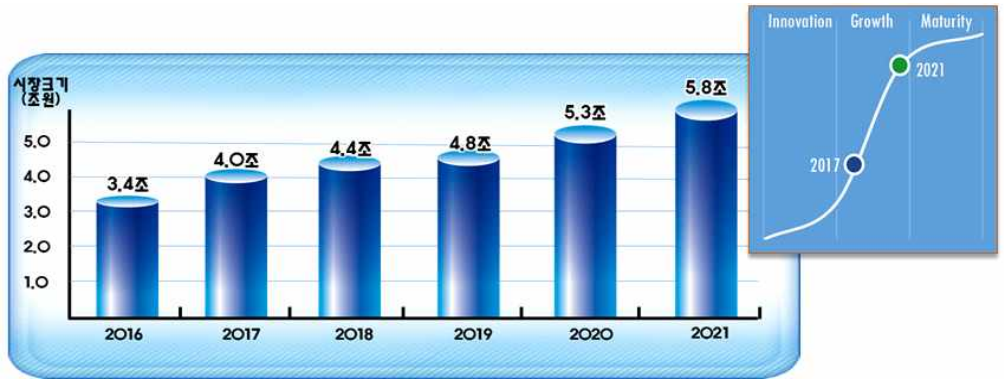
○ 세계철도유지보수시장의 규모는 2013년 약 61.5조의 규모로 연평균 성장률 3.7%이며, 2019년 약 92조 규모로 예상됨. 이는 향후 신규 철도시장의 규모보다 커질 것으로 예상됨



<그림 2-2-6> 세계 철도 유지보수 시장 예측

출처 : Rail vehicle maintenance global trends in the after sales market, 2013

○ 세계철도 유지보수장비 시장은 2016년 3조 4천억원에서 2021년 5조 8천억원 크기로 성장할 것으로 예측됨



<그림 2-2-7> 세계 철도 유지보수 장비 시장 예측

출처 : Global railway maintenance machinery market 2017-2021보고서, TECHNAVIO, 2017

○ 오픈소스 IT커뮤니티 Wikibon에 따르면, 글로벌 빅데이터 시장은 2013년 186억 달러에서 2014년 285억 달러, 2017년에는 501억 달러로 지속적인 성장이 예상

- 빅데이터 시장규모: 관련 HW, SW, 서비스의 판매로부터 발생한 벤더 매출액으로 측정

○ 한국IDC에 따르면, 국내 빅데이터 환경구축을 위한 스토리지 인프라 시장 규모는 2014년 347억 원 규모이며, 연평균 성장률 31.3%를 기록하며 2015년에는 478억 원, 2018년에는 1,087억 원까지 성장할 전망

○ 철도시스템의 노후화에 따라 고장발생시 손실비용이 매우 커지고 있으며, 전동차의 경우 생애주기비용 중 운영 및 유지보수비가 60~70% 정도로 유지보수시장이 큰 규모로 성장하고 있음, 따라서 유지보수비를 획기적으로 저감할 수 있는 기술인 장애 및 결함 예측기술에 대한 소요가 매우 크게 증가할 것임

○ 세계 철도 유지보수 시장 규모는 급격하게 성장하고 있으며('15년 약 78조원에서 '19년 약 92조원 예상), 인프라에 대한 유지보수 대상은 지속적으로 증대되고 있음. 무인이동체기반 철도시설 상태진단 기술은 국내외에서 구체적으로 구현된 사례가 없는 신기술로 기술 선점으로 유지보수 신규 시장 점유 가능함.

○ 철도의 고속화와 함께 안전에 대한 관심 증가로 철도분야 안전진단시스템 시장(고속철도기준 2015년 약 2조5,000억원)이 빠르게 증가(2020년 현재의 7배 성장 전망, UN 미래보고서 2040)하고 있음. 특히, 4차 산업혁명 관련 기술과의 융합을 통해 성능 고도화 및 편의성 향상을 통해 현장에서의 사용성이 크게 개선될 경우 기존 기술을 빠르게 대체해 나갈 것으로 기대됨

○ 유럽연합에서는 Capacity for Rail(C4Rail) 사업을 통하여 철도인프라 구조물 설계, 건설 및 유지관리 및 실시간 정보 관리에 의한 사고 복구 등을 통하여 철도 노선

용량을 극대화하고자 하는 사업을 시행하고 있음

○ 궤도, 노반(토공,교량,터널), 사면 등 철도 인프라에 대한 효율적 상태진단 및 유지관리 기술 확보 및 패키지화를 통해 해외 유지관리 시장에서 기술적 우위를 확보할 수 있음

○ 무인 이동체 시장

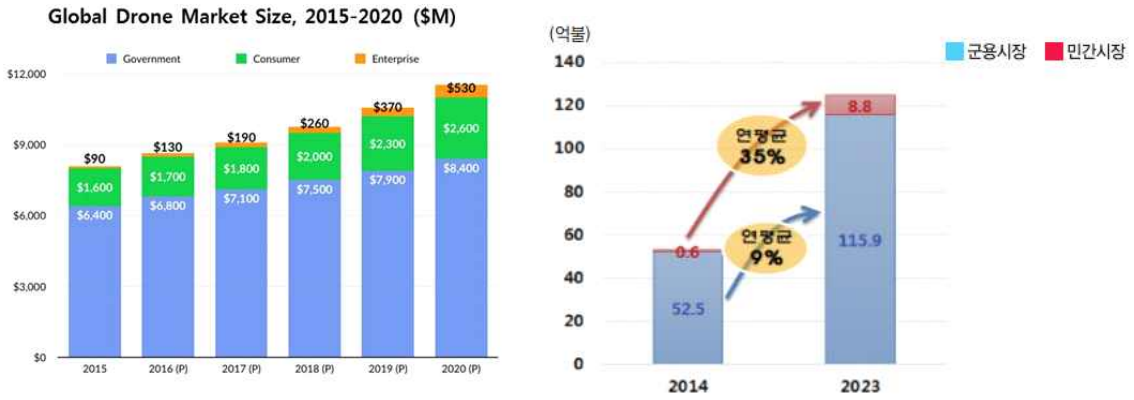
- 향후 10년간 연평균 20%의 성장률을 나타낼 전망
- 개인취미 레저용으로 연평균 성장률 32%기록할 전망
- 군용 무인기 시장은 이후 10년간 연평균 5.1% 성장 전망
- 민수용 상업 무인기는 매출액 기준 연평균 42.5% 성장 예정
- 건설 에너지 농업 통신 보험 촬영 등 상업적 활용 분야는 향후 10년간 약 17배정도 성장
- 물품 배송분야는 향후 10년간 꾸준한 투자가 진행될 것으로 보이나 상용화 시장 규모를 예측하기는 어려울 것으로 전망.

○ 미국의 드론산업은 민간시장을 중심으로 큰 폭의 성장세 지속 중

- 2010년 미국연방항공국(FAA: Federal Aviation Authority)에서 2020년 민간 UAV의 연간 판매량이 1만 5000대 수준까지 증가 할 것으로 예측
- 하지만, 2016년 현재 민간드론 연간 판매량은 약 60만 대로, FAA가 2010년에 발표한 예측치를 큰 차이로 상회하면서 급격하게 성장 중
- 전미가전협회(CEA: Consumer Electronics Association)에서는 2016년 미국시장 민간드론 수요량이 전년 판매량(70만 대)의 4배를 초과해 300만 대를 넘어설 것으로 예측
- 군사, 무선통신분야 뿐 아니라 재해, 환경, 농업/물류 등 다양한 분야에 드론을 도입하여 활용

○ 드론 산업의 핵심기술 발전 및 생산 원가절감이 세계시장의 급격한 성장 견인

- 스마트폰에 들어가는 GPS, 가속도계, 경량소재 등의 핵심기술이 드론 개발에도 그대로 적용됨에 따라 핵심기술 및 원가 경쟁력의 혁신이 이루어짐
- 민간 및 상업시장의 규모가 크게 증가하면서 군수 중심의 사장구조 틀을 벗고 군수, 민간, 상업 3대 시장으로 재편될 전망



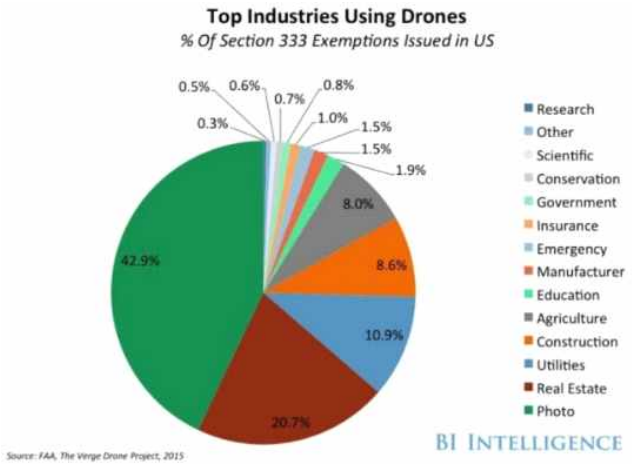
Source: Business Insider, IHS Jane's Intelligence Review, GSV Asset Management 자료 : Teal Group.

<그림 2-2-8> UAV 국제 시장 성장 동향

○ 향후 드론의 상업시장 성장이 더욱 두드러질 전망

- 드론의 상업시장 규모는 향후 5년간 연평균 43%의 큰 성장세를 이어가며, 2016년 100만 달러에서 2020년 5억 달러 규모로 급격하게 증가할 전망

- 상업용 UAV는 광범위한 지역 내 영상 촬영을 통한 관찰, 연구 및 배송 등으로 그 용도가 지속 확대되면서, 건설, 물류, 보안, 엔터테이먼트, 통신 등 다양한 분야에 적용되고 있음



<그림 2-2-9> UAV 활용 분야

○ UAV산업의 미래와 신사업분야 및 발전 방향

- 신기술 융합을 통한 드론 활용 범위의 혁신으로 이미지솔루션 관련 드론 플랫폼이 활성화되고 있음

- 기존 드론 플랫폼에 고품질 영상정보를 필요한 용도에 맞춰서 분석하는 이미지솔루션이 더해지면서 상업드론의 적용 범위가 대폭 확대될 전망

- 이 분야의 대표적인 스타트업으로 실리콘밸리에 위치한 Skycatch는 지상에서 촬영한 지형 영상을 분석해 실시간 3D 지도를 제공하는 플랫폼을 상용화해 대규모

건설 현장에서 활용되고 있으며, 네팔 지진 등 재난 현장에서 사용되는 등 활용 범위가 확대되고 있음

- 이와 같이 타 사업 분야의 UAV활용이 증가하고 있으며, 이미지솔루션 플랫폼의 활용이 상업용 뿐 아니라 산업현장에서도 중요한 역할을 할 것으로 판단됨
- 13년 사용 사업 도입 초기부터 농약 살포 등 방제에 많이 사용 중이며 최근 소나무 재선충 모니터링 등 병해충 관측에도 사용
- 사진 촬영 및 부동산 관광 등 영상물 제작과 보도, 취재 등 언론, 방송에도 활용
- 토지의 상태 점검, 기존 측량결과 확은 등에 활용, 3D데이터 구축, 공간정보(GIS) 분야에서도 사용
- 설계 입지 선정 단계의 자료수집(부지조사 등)부터 시공시 현장점검, 준공후 건축물의 안전, 하자 진단에도 활용되고 있음
- 지형정보 등 공간정보 획득용 무인기 활용 추진
- 무인기를 활용한 구조물 안전진단장비 개발사업 진행
- 도시안전 점검용 무인기 활용방안 검토
- 장애인을 위한 보조수단으로 활용 기대

(2) 미국

○ 전미가전협회(Consumer Electronics Association)에 따르면, 2015년 전 세계에서 약 1억 3000만 달러 규모의 상업용 무인이동체가 판매도리 것으로 전망

- 2014년 예측치인 약 6900만 달러 대비 약 88% 성장할 것으로 예측되며, 향후 5년간 세계 상업용 드론 시장이 급성장해 5년 안에 10억 달러를 넘어설 것을 전망
- 전망 수치는 다소 차이가 있지만, 시장조사업체 MarketsandMarkets도 세계 상업용 드론 시장이 2020년까지 연평균 100% 이상의 성장을 기록해 12억 7000만 달러를 기록할 것이라고 전망

○ 미국연방항공국(FAA)은 드론 관련 규제를 제안하면서 2020년까지 믹구에 약 3만대의 상업용 드론이 비행할 것이라고 전망

○ 미국 드론시장에서는 중국의 DJI가 압도적인 점유율을 보인 것으로 나타남

- Drone Analyst 및 sUAS News에 따르면, 미국연방항공국(FAA)가 승인한 드론 사용 중 40% 이상을 중국 DJI사가 점유하는 것으로 나타남
- 미국의 AeroVironment사 가 약 9%로 점유율 2위를 차지했으며, 또 다른 미국업체 3D Robotics가 3위를 차지

○ United States Airfoce 자료에 따르면, 회계연도 2022/23년엔 17만 5000개 드론이 상업용으로 사용될 것으로 전망

- 연간 매출액이 25만 달러 이상 농장만 15만 2000개 있어 드론의 잠재성장률이 높으며, 회계연도 2028/29년에는 상업용 공공용(국방부 포함) 능가할 것으로 전망됨
- 2014년 3월부터 2015년 2월(11개월 간) eBay에서 12만 7000대(1660만 달러)가 판매됨

○ 미국의 드론 관련 전문 리서치업체인 Drone Analyst의 분석에 따르면, 2015년 7월까지 FAA가 승인한 드론 사용 중 영상 및 사진 획등용이 44%로 가장 높은 비중을 차지

- 영상 및 사진 촬영이외에도 시설 점검 및 모니터링이 두 번째로 높은 비중을 보였으며, 정유업계 시설, 파이프라인 등 점검에 많이 사용되는 것으로 집계됨
- 미국의 교량 점검 기준은 약 60만 개의 교량을 2년마다 점검하도록 의무화하고 있으며 미국 교통부는 무인이동체을 활용할 경우 상당한 비용 절감을 기대할 수 있다고 발표
- 미국의 드론 제조업체인 PrecisionHawk는 철도 점검을 위한 드론을 개발해 시험한 사례가 있음
- 무인이동체 활용은 기존에 고비용 장비의 대체품으로 적합하고, 드론의 경우, 특성상 FAA의 고도 및 속도 규정에도 구애받지 않기 때문에 규제의 불확실성에도 꾸준히 활용도가 증가함

○ 미국 스타트업 업체들이 농업의 드론 활용을 높이기 위해 효율적인 수자원 활용 등을 가능하게 하는 무인이동체 기술들을 개발 중인 것으로 나타나고 있으며, 향후 신기술 개발에 따라 활용도가 증가할 것으로 예측함

○ 경찰, 구급대 등 공공안전 관련 사용은 아직 많이 활성화되지 않은 것으로 나타났으며, Drone Analyst는 미국인들이 사생활 보호에 대한 인식이 강해 향후에도 공공안전 관련 드론 사용은 크게 늘어나지 않을 것으로 전망함

○ FAA의 최종규정이 미국 상업용 드론 산업의 미래에 상당한 영향을 줄 것으로 보이며, 특히 조종자 시야 내 운용 등 강력한 규제는 상업용 드론의 활용도를 크게 제한할 것으로 전망됨

- 아마존의 상품 배송 드론 사업인 Prime Air 서비스에 상당한 투자를 하고 있지만 FAA의 규제안이 유지될 경우 해당 서비스를 제공하지 못할 수 도 있음 (단, FAA가 아마존에게 상품 배송 관련 드론 시험에 대한 드론 비행을 허가한 사례가 있어 아직 비관적이지 않음)

(3) 캐나다

○ 캐나다 무인비행시스템협회(USC; Unmanned Systems Cananda)는 2014년 기준 캐나다 민간용(상업용 및 레저용) 무인기 시장은 약 1억~2억6000만 달러 규모로 추산

- 캐나다에서는 상업용으로 드론을 사용하기 위해서는 특수운항증명서(SFOC)를 발급받아야 하는데, 2014년 캐나다 교통부가 발행한 증명서는 총 1672건으로 최근 4년 동안 연평균 234%증가율을 기록하고 있음

○ 캐나다 무인비행시스템협회(USC)에 따르면, 캐나다 내 무인기 관련 업체는 2008년에 88개사에서 2013년 301개사로 242% 증가함

- 이 중 35개 업체는 드론 완제품을 제조 및 유통하는 기업이고, 드론 부품 판매기업은 85개사, 드론에 부착하는 세서시스템 판매기업도 44개사로 확인됨
- 지역별로 캐나다 동부의 온타리오주에 122개사가 있고(약 41%), 뒤를 이어 앨버타주, 브리티시컬럼비아주, 퀘벡주 등 인구가 많고 IT 산업이 발달한 지역에 집중된 것으로 나타남

○ IT 기술의 발전으로 드론의 가격이 저렴해지고 조작방법도 점차 편리해지면서 보급이 점차 확대되는 추이를 보임

- 고화질 카메라가 부착돼 있고 실시간으로 스마트 기기로 모니터링이 가능한 기종이 인기를 끌고 있음
- 레저용 드론은 Best Buy와 같은 전자제품 전문매장, Canada Drones 등 드론 저문 온라인 매장과 eBay, Amazon 등의 온라인 매장을 통해 구입할 수 있으며, 중국산과 미국산이 주종을 이룸

○ 캐나다 대표 상업용 드론 제조업체인 에리온 랩스(Aeryon Labs)사는 최근 건축 및 에너지, 모니터링 등 다방면에서 활용이 가능한 620g 무게의 초소형 드론을 개발

○ 캐나다 연방정부는 대학교들의 R&D 프로젝트에 연간 약 2700만 달러의 제정을 지원하고 잇는데, 2015년 캐나다 동부에 소재한 뉴브런스윅 대학교(University of New Brunswick)의 ‘드론 리서치 프로젝트’에 약 10만 달러 지원 계획을 확정한 사례가 있음

○ 캐나다 무인기 관련 규제가 완화되면 더 많은 기업들이 캐나다에서 드론 사용화 프로젝트를 진행할 것으로 전망됨

- 드론 시장이 성장하게 되면 캐나다에 드론 클러스터가 형성되고, R&D와 교육, 컨설팅, 보험 등 관련 파생 서비스도 생겨날 것으로 예측됨
- 캐나다 무인비행기시스템 협회(USC)의 경우, 열차가 경로를 탈선해 기름이 유출

됐다는 시나리오 아래, 드론을 활용해 기름 유출 장면, 인명 및 피해 규모 등을 촬영한 후 작성한 보고서를 심사해 입상자를 결정한 사례가 있음

○ 캐나다 연방정부 과학자들이 소형 무인기를 잠수함과 선박 수색에 사용할 수 있는지 알아보기 위한 시험에도 나설 예정

- 캐나다 내에서 제작된 무인기로 해당 시험을 하는 것은 첫 사례
- 소형 드론을 이용한 비슷한 시험은 지상과 해상에서의 운용을 위해 캐나다 군이 실시한 사례가 있음

○ 캐나다 교통부는 상업용과 레저용 드론의 차이를 분명히 하는데, 현행 법령에 따르면 35kg 이하의 레저용 드론에 대해서는 별도의 규제가 없으며, 건전한 상식에 따른 자율적 사용을 권고하고 있음

- 캐나다 교통부는 레저용 드론을 사용 시 조종자와 주변인들의 안전에 주의할 것을 강조하고 있는데, 드론 사용과 관련된 '허용'과 '금지' 범위를 열거해 사용자들을 계도하고 있음

<표 2-2-1> 캐나다 내의 드론 사용 관련 허용 및 금지 범위

허용 범위	금지 범위
낮 시간대와 맑은 날씨에만 드론을 비행할 것	모든 공항 및 헬기장, 비행장 반경 9km 이내 비행 금지
드론이 조종사의 가시거리를 벗어나지 말 것	90m 이상 고도 비행 금지
드론의 상태와 주위 환경을 살핀 뒤 이륙할 것	사람 또는 동물, 건축물, 차량 등과 최소 150m 이상의 거리를 유지할 것
특수비행운영인증서(SFOC) 취득이 필요한지 사전에 확인해 볼 것	스포츠 및 콘서트, 축제, 불꽃놀이 등 인구밀집 지역의 상공에서의 드론 비행 금지
타인의 사생활을 존중할 것, 사유재산 위를 비행하거나 허락 없이 사진 및 동영상을 촬영하지 않을 것	고속도로, 다리, 도로 등의 상공에서의 드론 비행 금지 군시설이나 교정시설 등 비행금지구역을 준수할 것 보행자를 위협할 수 잇는 모든 곳에서 드론 비행 금지

(4) 네덜란드

○ 현재 네덜란드 무인항공기 시장 규모에 대한 정확한 통계 자료는 집계된 바 없으나, 기술대학 및 공과대학이 위치한 연구 단지를 중심으로 여러 스타트업 벤처기업들이 자리잡아가는 상황

- Dutch Associatino for Remotely Piloted Aircraft (DARPAS)에 따르면 현재 네덜란드에는 200여 개에 달하는 무인이동체 회사가 존재함

○ 정식적인 무인기 회사의 운영을 위해서는 교통부 산하 I,spectie Leeforgeving en Transpot (ILT, Inspectiorate for Living Environment and Transportation)의 인가가

필요함

- 현재 정식으로 무인항공기 개발 및 영업 인가를 받은 회사는 7곳으로, 1곳은 와헤닝언 대학 소속의 연구기관

○ 네덜란드 정부는 무인이동체 산업의 잠재력과 시장성 및 공익성을 인지하고 있음

- 엄격한 네덜란드 항공법으로 인해 네덜란드의 무인이동체 산업은 생산면에서 다른 유럽국의 생산 경쟁자들에 비해 뒤처져있다는 평을 받고 있음

○ 네덜란드 소방청은 화재 상황 관찰용 무인항공기 사용 허가를 꾸준히 요구하고 있음

- 무인기 정찰을 통해 화재 장소에 대한 정확한 이해와 발화점을 찾아내는데 큰 시간을 단축할 수 있을 것으로 주장함

○ 전통적으로 네덜란드는 응용기술 개발에 강해 무인항공기 응용기술 면에서도 수년 안에 두각을 나타낼 것으로 예상됨

- 무인이동체 산업은 다양한 기술들로 인해 만들어진 기술집약적인 산업으로 응용가능성이 무궁무진하므로 생산자 및 연구기관, 정부의 협력이 요구됨

○ 네덜란드의 경우, 농장의 상공에서 밭의 규모나 농장의 상태, 가축들의 분포지역 등을 관찰하는데 무인이동체를 사용하기 시작함

- 네덜란드 농부・원예업자 협동조합인 Agrifirm은 무인이동체를 이용해 비료를 어느 지역에 집중해서 뿌릴지 판단하고 이런 방식으로 ha당 수백 달러를 절약할 수 있다고 주장

○ 간척지가 국토의 대부분을 차지하는 네덜란드는 수자원의 관리가 다른 어느 나라보다 철저하게 행해지는데, 무인항공기를 이용해 해안지역의 침식 정도 및 간척 상황 등에 대한 데이터 베이스를 더욱 쉽게 축적할 수 있을 것으로 예상함

(5) 중국

○ 상업용 드론 시장 발전은 군사용 드론 시장에 비해 늦게 시작되었으나, 최근 몇 년 사이 상업용 드론 시장은 폭발적으로 성장함

○ 현재 중국 내에서 상업용 드론 시장의 규모는 그다지 큰 편이 아니나, 용도가 매우 광범위하기 때문에 미래 발전 가능성이 매우 클 것으로 전망됨

- 2013년 중국 상업요 무인기 수요 규모는 약 5000만 달러였으나, 향후 10년간 20%이상의 성장 속도를 유지하며 발전해 2022년 3억 달러를 초과할 것으로 전망되고 있음

❍ 치엔잔산업연구원이 발표한 ‘2015~2020년 중국 무인기 산업 수요 예측 및 투자 전략 계획 분석 보고’에 따르면, 현재 중국에서 사용되고 있는 민간 상업용 드론의 수는 1만 5000개에 달하며, 종류가 매우 당양한 것으로 나타나고 있음

❍ 중국 베이징시 기관지인 경화시보는 드론의 이용이 급증하면서 세계 드론 시장의 총가지(판매액과 연구개발비, 국방비 포함) 규모는 2025년 710억 달러에 이를 것으로 전망함

❍ 중국의 무인이동체 시장은 아직 초보적 단계이지만 미국처럼 군과 공안이 무인기 기술을 견인하면서 방재와 치안유지를 위한 무인기 활용이 진행되고 있으며 상업용 무인기 시장도 성장하고 있어 2020년에는 500억 위안의 시장을 형성할 전망

❍ 2015년 1월 미국 라스베거스에서 개최된 세계 최대 가전 전시회인 ‘CES 2015’에 참가한 10여 개 업체 가운데 절반 정도가 중국 업체

- DJI, Ehang, Hubsan, Harwar, Wuhan Guide, UAV Technology 등의 업체가 참가하였으며, 그 중 DJI는 많은 세계인들의 주목을 받음

❍ 2014년 7월 베이징에서 개최된 드론 전시회는 중국의 무인기 제조업체 60개사가 참가했으며, 약 70기종이 전시돼 이미 무인기 관련 부품업체를 포함해 400개사에 이르는 업체가 무인기 시장에 진출하고 있다고 보도된 바 있음

- 중국에서 무인기 드론 시장이 활발해진 이유는 중국이 전 세계 스마트폰의 주요 생산 거점이기 때문이라고 분석됨

❍ 1960년대에 미국과 소련의 대립으로 무기를 생산하는 제조업을 연안부에서 내륙부로 이전했으며 쓰촨성, 청두, 시안, 구이저우성 등에서 지금도 항공우주산업의 국립연구소 등 생산거점이 집중돼 있음

- 청두에서는 중국항공공업그룹(AVIC)이 항공기형 무인기를 개발하고 있음
- 시안에서는 중국국가항천국(CASC)이 드론 개발에 주력하고 있으며, 드론을 개발해 군사연습에 투입한 바 있으며 구이저우성도 드론의 국내최대 공급기지를 목표로 하고 있는 것으로 알려짐
- 구이저우성의 경우 2013년에 드론 연구소를 설립해 AVIC 자회사도 드론 생산거점을 시안에 설립한 준비를 진행시키고 있는 것으로 알려짐

(6) 일본

❍ 일본 시장조사 전문기관 시드 플래닝(seedplanning)에 따르면, 일본의 산업용 무인이동체 시장은 2015년 16억 엔 규모에서 2020년 186억 엔, 2022년 406억 엔 규모에 달할 것으로 전망함

○ 2015년 기준, 용도별로는 농업용이 70% 이상을 차지하고 있으나, 농약 살포용은 소폭 증가에 그치는 반면 정비, 점검 시장이 크게 확대될 것으로 보임

- 일본은 세계 최고의 고령화 사회라는 측면에서 인프라 조사 및 유지보수 점검 등 인력 부족에 따른 과제를 해결할 수 있는 유망한 수단으로 기대되고 있음

○ 외국의 드론 기업은 일본 시장 진출에 큰 기대감을 나타내고 있음

- DJI는 일본 국내의 판매 및 수리 서비스 거점을 현재의 10배인 200여 곳을 확장할 계획

- 프랑스의 패롯은 기업용 고급 기종 시장에 참가할 예정

○ 일본 전체 시장의 압도적인 비중을 차지고하고 있는 농업용 드론 보급 대수는 2500대를 초과하고 있음

- 농업에서 농약 자동 살포, 농작물 육성 상황 관찰 등에 드론이 사용되며, 농림수산성에 따르면 2013년 드론 보급 대수는 2500대를 넘었다고 발표함

○ 건설 등 인프라 관련해서는 점검, 측량 등 분야에서 수요가 높음

- 건설용 기계 제조기업인 코마츠사는 '공사 현장에서 측량에 드론을 활용하기 시작하면서 작업 인원 2~3명이 1개월 동안 측량하던 작업을 반나절 안에 끝낼 수 있게 됐다'고 밝힌 바 있음

○ NTT 동일본은 2015년 3월부터 구조물 설비 점검, 케이블 부설, 피해 상황 확인 등 용도로 드론을 사용하기 시작

제3절 기술(논문, 특허 등) 동향

1. 연구개발 동향

가. 철도시설 상태진단을 위한 무인이동체 및 탑재체 기술

(1) 무인이동체 종류별 기술 동향

<표 2-3-1> 무인이동체 종류별 기술 동향

무인이동체 종류	특징 및 기술 동향	형상
고정익	- 비행효율이 높아 장시간 체공비행 가능 - 고속 및 고고도 비행 가능 - 이착륙을 위한 발사대가 필요함 - 넓은 지역을 촬영하기 용이하며 카메라의 시야확보를 위해 푸셔타입의 비행체를 사용	
멀티콥터	- 프로펠러의 경량화 및 소음절감 기술개발을 통해 기존 비행시간 대비 19%이상 비행시간을 기대 - 기체 제작 시 알루미늄 성분에 탄소섬유를 혼합하는 기존 방식에서 알루미늄을 사용하지 않고 기체전체를 탄소섬유로만 제작하여 경량화 하는 연구 진행. - 이동체 형상에 항공역학적인 기술을 적용하여 양력대비 항력을 최소화 하는 방향으로 설계 진행 - 프로펠러 운용 회전수 및 동력을 구동 모터와 배터리의 고 효율 운용조건이 되도록 설계 진행.	 
틸트로터 (하이브리드)	- 활주로가 없는 좁은 공간에서 이륙과 착륙이 가능 - 저속과 고속의 넓은 속도영역의 비행이 가능 - 향후 유인기로 개발 예정	

○ 고정익은 장시간 체공하며 고속 및 고고도 비행이 가능하므로 철도를 따라 비행하며 전체적인 철도의 상태 점검에 용이하지만 철도주변에 활주로 및 발사대를 설치하기에 제한적이기 때문에 활용 방법에 대한 고민이 필요함.

○ 멀티콥터는 호버링을 할 수 있어서 정밀한 사진 촬영이 가능하고 수직 이착륙을 할 수 있어 정해진 구역의 정밀한 상태 진단에 용이하지만 체공시간이 작은 단점 때문에 활동 반경 및 임무 수행 시간에 있어 단점을 보이므로 향후 체공시간을 늘리는

구조 및 동력원에 대한 설계 및 연구가 필요함.

○ 하이브리드 무인기는 고정익과 멀티콥터의 장점을 동시에 가지므로 넓은 구역의 상태진단, 활주로가 없는 철도주변 구역에서의 이착륙, 정해진 구역의 정밀 촬영 등이 가능하지만 페이로드가 낮아 탑재할 수 있는 장비가 제한적이고 가격이 비싼 단점이 있음.

○ 무인기가 교량 아래나 터널 등을 관측하기 위해 탑재체의 개발이 필요

- 기존 멀티콥터의 경우 카메라가 하단에 장착되어 있지만 상단에도 장착할 수 있게 제작
- 고정익과 하이브리드 드론의 경우 탑재체의 용도나 기능에 따라서 모터위치를 선정하는 설계가 필요

(2) 무인이동체 동력원

○ 현재까지 개발된 이차전지 중 리튬이온전지를 무인기 동력원으로 흔히 사용.

○ 리튬금속전지, 리튬-황 전지, 리튬-공기 전지가 차세대 전지로 각광받고 있음

○ 향후 차세대 전지 연구를 위해 리튬금속에 대한 기술개발이 필요.

○ 무인 비행장치의 체공시간 증가를 위해 배터리 개발에 대한 연구가 필요.

○ 배터리 사용의 한계를 극복하기 위한 다른 동력원 사용

- 엔진과 배터리의 사용
  모터를 이용하여 구동하는 방식은 배터리 충전시간이 필요한 반면 엔진을 사용하게 되면 연료만 보충해주면 됨으로 훨씬 장시간 운용 가능함.
  엔진을 사용함에 있어 소음과 진동이 많이 발생하는 단점이 있음.
- 배터리와 연료전지의 사용
  하이드로스틱 으로 알려진 수소 연료전지를 사용
  기존 배터리를 사용 했을 때 보다 3~4배 더 긴 시간동안 기체를 운용할 수 있음
  소음과 진동이 적은 장점이 있음
- 배터리와 태양광전지의 사용
  운용하는 기체에 태양광 Cell을 부착하여 전류를 얻음
  태양광의 공급량(날씨)에 따라 운용 가능 여부가 결정됨
- 직류 전기철도 급전시스템 사용
  열차를 운용하는 송전탑에서 유선으로 전력을 공급.
  무제한 전력을 공급 받을 수 있지만 제한적인 범위 내에서 사용 가능



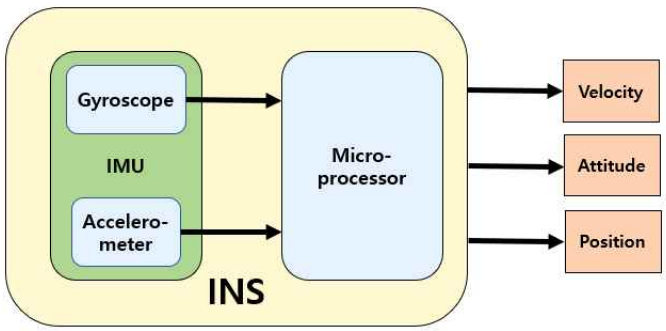
(a) 무인기용 리튬배터리 (b) 하이드로스틱 (c) 태양광 Cell

<그림 2-3-1> 무인이동체 동력원 종류

(3) 항법기술

○ 관성항법

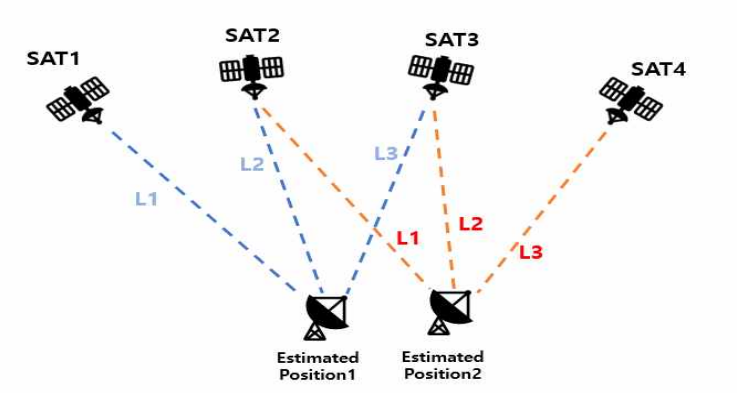
- 자이로스코프와 가속도센서를 이용하여 얻은 각,가속도 정보를 이용하여 시스템의 위치를 계산
- 관성측정장치 IMU (Inertial Measurement Unit)와 IMU로 획득한 정보를 통해 시스템의 회전 변화와 위치 이동을 계산하는 마이크로프로세서로 구성됨



<그림 2-3-2> 관성 항법 장치의 구성

○ 위성항법

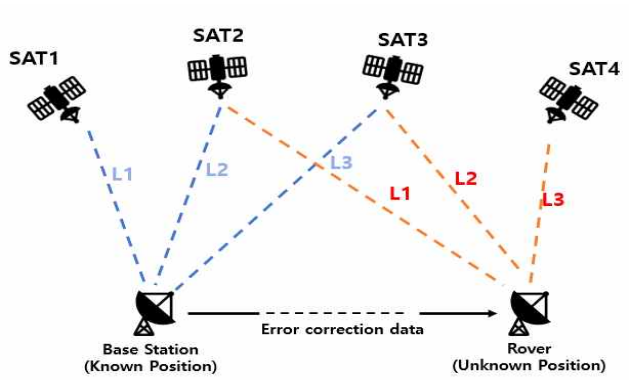
- 복수의 위성과 위성항법 단말기 간의 거리를 이용한 삼각 측량으로 위치를 측정
- 이론적으로 3개의 항법위성과 단말기 간의 거리인 L_1, L_2, L_3 를 정확하게 알면 알려진 위상궤도의 정보를 이용하여 정확한 단말기의 위치 추정 가능
- 측위 오차를 보정하기 위해 4개 이상의 위성을 사용
- 위성의 궤도정보 오차, 항법위성의 시간오차, 지구의 전리층 및 대류층에 의한 전파전송지연, 수신단말기의 전파 잡음에 의해 정확도가 떨어짐



<그림 2-3-3> 위성 항법 시스템 개념

○ RTK-GPS (Real Time Kinemattic Global Posittioning System)

- GPS신호를 이용한 위성항법시스템에 기반한 항법 시스템
- 고정된 기준국은 현재 위치에서 수신된 GPS 신호를 이용하여 위치를 추정하고 사전에 정확하게 측정된 자신의 위치와 비교하여 GPS신호에 내제된 오차를 보정하는 위치보정정보를 생성
- 위치보정정보를 무선통신 또는 인터넷을 통해 이동국 GPS 단말로 전송되어 이동 단말의 위성항법정보를 보정하는데 사용.
- 수 cm의 오차를 갖는 고 정밀 항법 시스템이지만 기지국과 이동국의 거리가 멀어질수록 오차가 증가함.
  - 비슷한 것으로 DGPS(Differential Global positioning System)이 있음

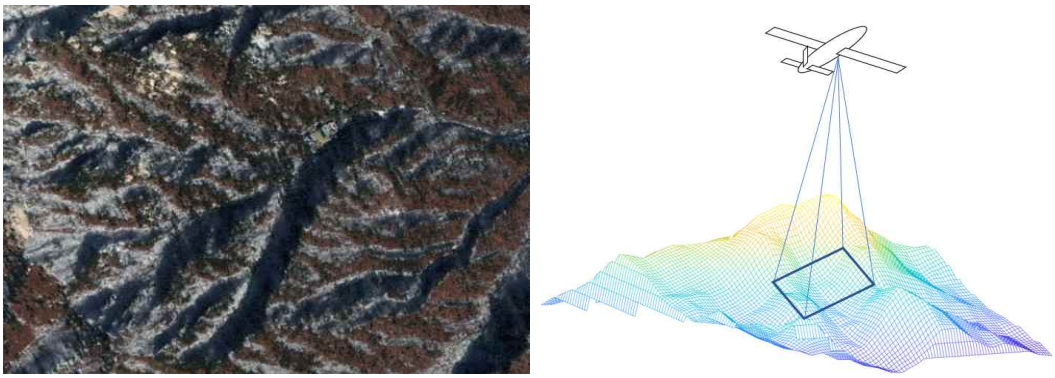


<그림 2-3-4> RTK GPS 개념도

○ 지형 참조 항법

- 항법 시스템이 위치한 영역의 지형 고도를 측정하여 사전에 구축된 지형 데이터베이스와 정합하여 위치를 찾는 항법 시스템
- 압력계, 레이더 거리측정기, 레이저 거리 측정기 등의 측정 장비가 탑재되며 수중의 경우 소나(SONAR)와 같은 거리 측정 장비가 탑재됨

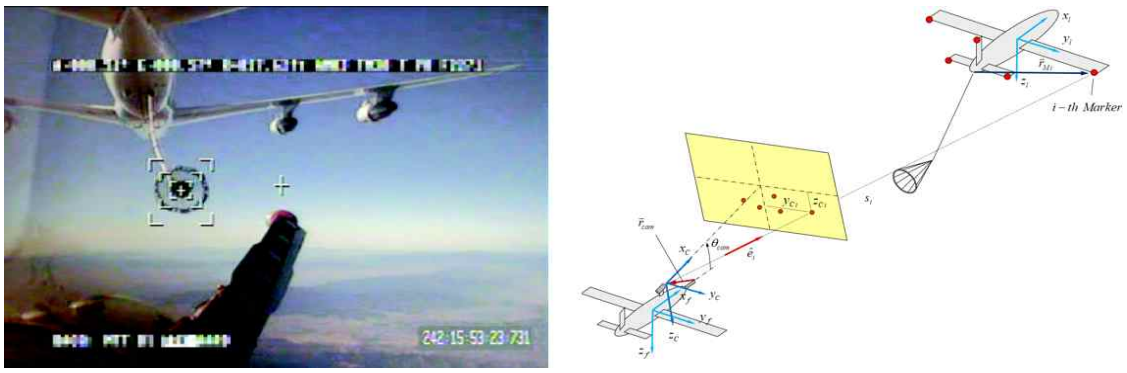
- TRN 알고리즘을 이용하여 비행체가 보유한 지형 데이터베이스의 고도 데이터와 비교하게 되며 높은 상관도를 가지는 영역을 탐색할 경우 항체의 위치를 찾게 됨



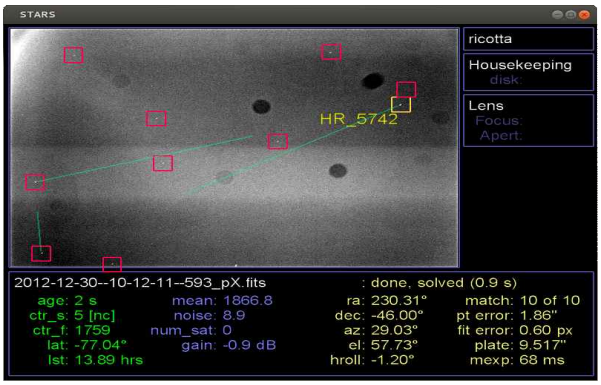
<그림 2-3-5> 지형 참조 항법 개념도

❍ 영상기반 항법 시스템

- 카메라를 이용하여 획득한 영상 정보를 해석하여 항체의 항법 정보를 추정
- 카메라 좌표계와 실제 좌표계 간의 기하관계를 이용해 항체와 피사체 간의 상대적 위치와 운동을 제어
- 카메라 화면 내에 존재하는 피사체를 기준으로 동장하므로 오차 누적에 의한 Drift가 없는 특징을 가짐
- 위치를 추정할 수 있는 데이터베이스에 대한 매칭을 통해 항체의 위치를 추정할 수 있고 그 예로 우주공간 내 항체의 위치를 별자리 데이터를 이용하여 계산하는 것이 있음.



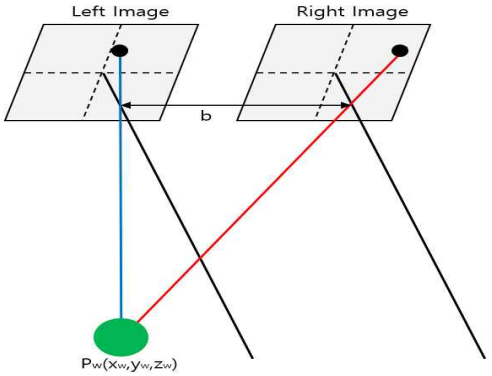
<그림 2-3-6> 영상기반 상대항법 개념



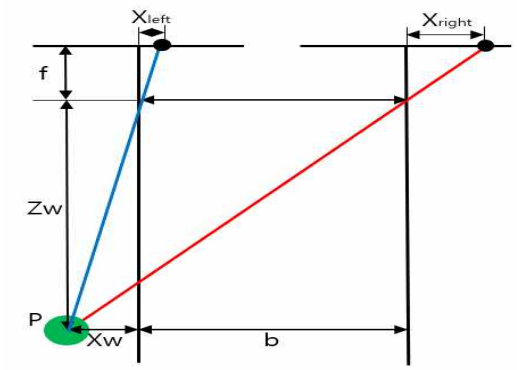
<그림 2-3-7> Star tracking system

○ 스테레오 비전

- 서로 다른 위치에서 촬영된 두 영상의 기하 관계를 이용해 카메라와 사물간의 거리 측정
- 스테레오 비전 방식은 아래 그림의 기하 관계로부터 깊이 영상을 획득

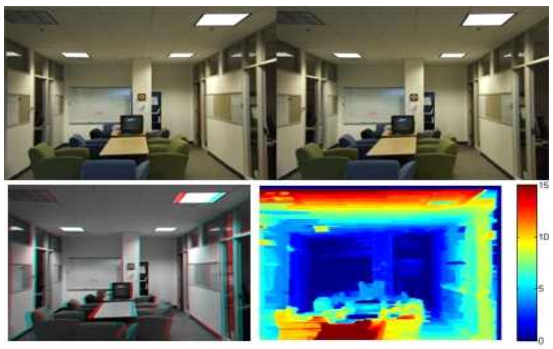


<그림 2-3-8> 스테레오 비전의 투영구조



<그림 2-3-9> 1차원화된 투영 기하 관계

- 인텔사의 “리얼 센스 스냅샷”에 이 스테레오 비전 기술이 적용되어 있음



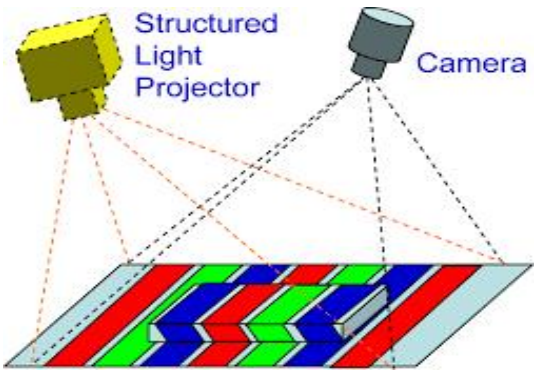
<그림 2-3-10> 스테레오 비전을 이용한 깊이영상



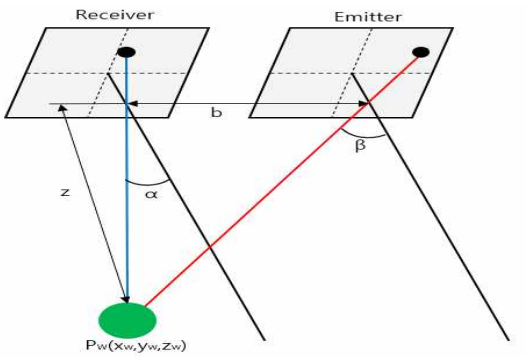
<그림 2-3-11> 리얼센스가 탑재된 인텔사의 멀티콥터

❍ 구조 광 기법

- 스테레오 비전 방식과 유사하지만 두 개의 카메라를 사용하는 대신 하나의 카메라와 하나의 프로젝터를 사용
- 구조 광 기법은 기하 관계로부터 다음의 식을 이용하여 깊이 영상을 획득



<그림 2-3-12> 구조 광 기법



<그림 2-3-13> 구조 광 기법의 기하 관계

❍ Time of Flight (TOF)

- 적외선 레이저와 같은 신호를 방출하고, 반사된 신호가 수신될 때까지의 시간을 계산하여 깊이 영상을 생성하는 방식
- 특정한 펄스 혹은 시간에 대한 위상 변화를 갖는 신호를 방출하며, 정보의 수신 특성을 이용해 거리를 측정하는 방식이라는 점에서 LIDAR 과 유사함



<그림 2-3-14> TOF 방식에 의한 깊이 영상



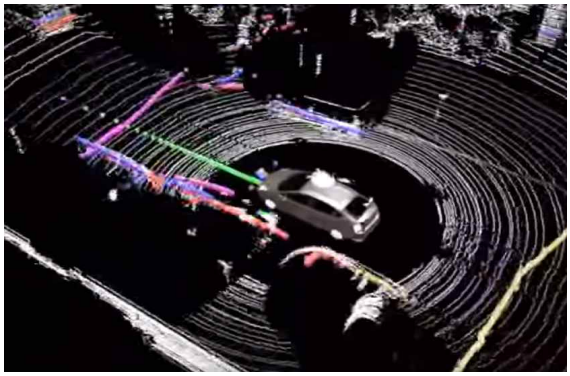
<그림 2-3-15> TOF 카메라

❍ Light Detection And ranging (LIDAR)

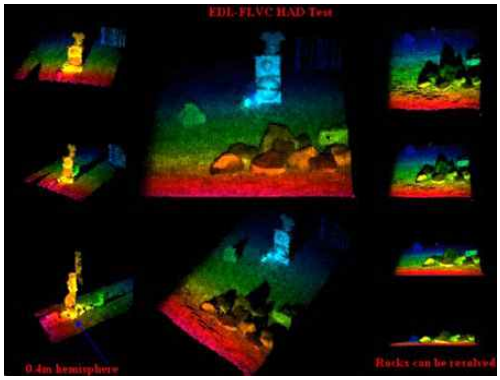
- 레이저 거리 측정계의 일종으로 광선의 이동시간을 계산하여 깊이 정보를 획득
- 주사식 라이다: Point-scanning을 수행하는 레이저 거리계를 고속 회전시키며 깊

이를 측정

- Flash LIDAR: TOF 카메라와 같이 먼 영역에 대해 레이저를 방사하고 스캔



<그림 2-3-16> 주사식 라이다 정보의 시각화



<그림 2-3-17> Flash LIDAR 깊이 영상

(4) 철도시설 상태진단을 위한 무인이동체 플랫폼 기술

○ 최근 들어 드론 (멀티콥터) 만의 장점으로 인해 플랫폼 발전과 적용분야의 증가가 급격함. 그러나, 드론의 단점 (비행시간, 비행거리, 비행속도 등)으로 인해 그 적용분야의 한계가 존재하고 있으나, 해결하기는 쉽지 않음.

○ 고정익은 높은 공기역학적 효율로 인해 비행시간, 비행거리, payload 등의 장점이 있으나, 착륙 시 활주로 나 특수한 착륙장치 들이 필요함. 따라서, 최근 들어 드론과 고정익의 장점을 동시에 활용하려는 하이브리드 형태의 플랫폼 개발에 대한 연구가 이루어지고 있음.

○ 따라서, 표 2-3-2와 같이 철도시설 상태진단을 위한 무인이동체 플랫폼에 대한 기술을 분류하고, 개발대상 기술과 요구조건 등을 수립함

<표 2-3-2> 철도시설 상태진단을 위한 무인이동체 플랫폼 기술

분류방법	플랫폼 형태	동력원	항법	요구조건	기타
원거리, 장시간	고정익, 하이브리드	전기추진체, 하이브리드 추진체	관성 및 위성항법, 지형참조	- 12시간, 500km이상 비행가능 - Payload 10kg 이상 - 0.5m 이하의 항법 정확도 - 이착륙의 용이성 - 야간비행 가능	- 고정익의 플랫폼 개발의 필요성 - 하이브리드 플랫폼 기술 개발 필요
단거리, 정밀감시	멀티콥터, 하이브리드	전기추진체, 하이브리드	영상기반, 스테레오, 구조 광, LIDAR	- 1시간 및 5km 이상의 비행가능 - 10 kg이상의 Payload - 터널과 같은 밀폐공간에서의 비행가능	- 추진장치의 개발 혹은 성능향상이 필요함 - 멀티콥터 플랫폼의 성능향상

나. 상태진단 기술

○ 철도 분야는 분야의 특수성으로 인해 측량 및 검사 업무에 신기술을 채택하는 것이 매우 빠름

○ 최근 몇 년 동안 GPS, 레이저 스캐닝 및 모바일 매핑의 출현으로 새로운 측량 도구를 사용할 수 있게 되었음. 또한 철도 레일에 대한 지상 검측 기술의 개발은 열차 탑재형 등의 레이저 스캐닝 기술과 지상 기반 센서나 유인 항공기에 탑재된 센서를 사용하여 매핑화된 양방향 가상 현장 방문(interactive virtual site visits)기술 등을 가능하게 함

○ 지난 몇 년 동안 자동 조종 장치, 카메라, 배터리 등과 같은 구성 요소의 소형화 및 집적화로 인해 무인이동체가 상용 시장에서 사용 가능하게 되었으며, 무인이동체 조작 및 데이터 관리를 위한 소프트 웨어, 프로세스 개발 또한 급속도로 증가하였음

○ 영국 Network Rail은 UAV를 이용하여 전차선 검사 및 자동화된 유지관리를 수행

- 2015년도 올해의 영국 철도산업상 서비스 혁신 부문 최종 후보로 선정
- UAV와 전용 자산관리SW, 전문 운용인력으로 구성됨
- 인력이 접근하기 어려운 빌딩 지붕, 철도교량, 전차선, 통신철탑 등의 점검에 주로 사용
- 기체는 forcefield 와 같이 보이지 않는 장벽이 있어 촬영이 제한된 영역으로 움직일 수 없으며, 조종사에게 안전 규정을 제공하고 있음

※ forcefield : UAV의 이동이 불가능하도록 설정된 보이지 않는 장벽

- 송신기 신호가 중단되거나 배터리가 부족한 경우 자동으로 안전하게 초기 출발지점으로 회귀할 수 있음
- 8개 이상의 모터를 가지고 있어 만약 1개의 모터가 이상이 발생하더라도 비행이 가능함

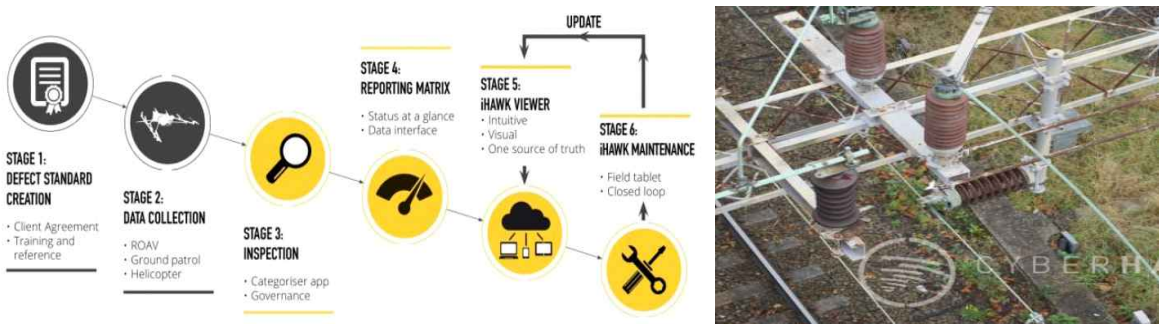
<표 2-3-3> Network Rail의 무인이동체 사양

Payload	이동거리	고도	비행시간	운용자	영상장치
7kg	500m	400피트	20분	2인 1개조	고화질, 4K 비디오 이미징 및 고해상도 스틸 카메라



<그림 2-3-18> Network Rail의 UAV기반 전차선 유지관리 솔루션

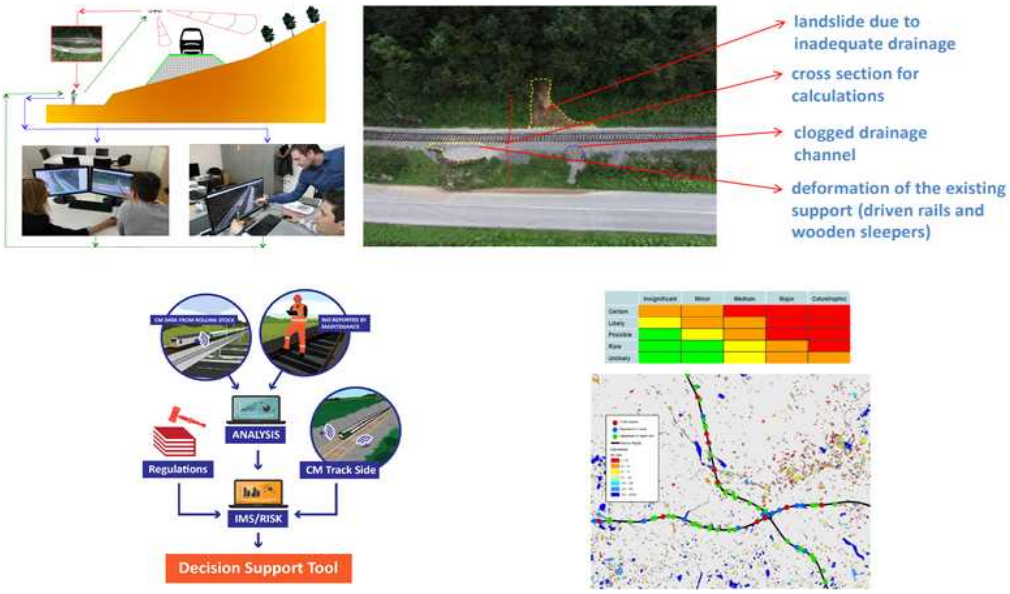
- 인력 접근이 어려운 전차선 상부를 포함하여 구조물 전체 점검 수행 가능
- UAV를 이용한 데이터 획득, 검사, 보고 매트릭스 생성, 뷰어, 유지관리 단계로 구성됨
- 점검 시간 단축뿐 아니라 선로상 작업을 제거하여 작업자에게 부가되는 안전 위험을 최소화하였음



<그림 2-3-19> UAV를 이용한 전차선 유지관리 솔루션

❍ 유럽의 DESTination RAIL 프로젝트는 유럽의 철도관련 인프라 시설물에서 발생하는 수많은 문제점을 해결하기 위해 50.6억원 규모의 프로젝트임(2015.05~2018.04)

- 문제발견, 분석, 분류, 보수, 기술 통합 및 보급, 관리로 총 6개의 업무계획을 통해 철도시설물의 유지, 관리, 보수를 수행중이며, 1단계인 문제발견 부분에서 UAV를 활용하여 데이터를 수집, 분석하였음
- 선로뿐만 아니라 노반, 비탈면, 자연재해에 의한 선로시설의 피해 등을 UAV를 활용하여 데이터를 수집, 실시간 분석하고 있으며, DST(Decision Support Tool)를 개발하여 유지보수 계획 개선에 활용함



<그림 2-3-20> DESTination RAIL프로젝트의 UAV활용 사례

○ 프랑스 SNCF는 무인이동체기반 철도시설물 유지관리 수행을 위한 자회사 ALTAMETRIS를 설립(2017.03)하여 운영중

- 3년동안 1,000만 유로를 투자하였고, 예산의 3/4은 연구개발에 사용
- 숙련된 조종사, 분석자, 개발자 20명으로 구성
- 12대의 전용 UAV 및 로봇(2~20kg), 영상 및 포인트 클라우드 정보 처리를 위한 IT 자원 보유
- 총 점검거리 22,600km, 1,040회 비행/2017년, 1km 트랙 3D 스캔에 4시간 소요
- 시설물 상태진단, 철도공사 지원, 안전&보안 관련 미션 수행
- 전차선 지지대, 역사구조물, 철도 교량을 대상으로 원격점검 수행중



<그림 2-3-21> SNCF의 무인이동체기반 철도시설물 유지관리

(1) 무인이동체를 활용한 선로 점검 적용 사례 및 기술 분석

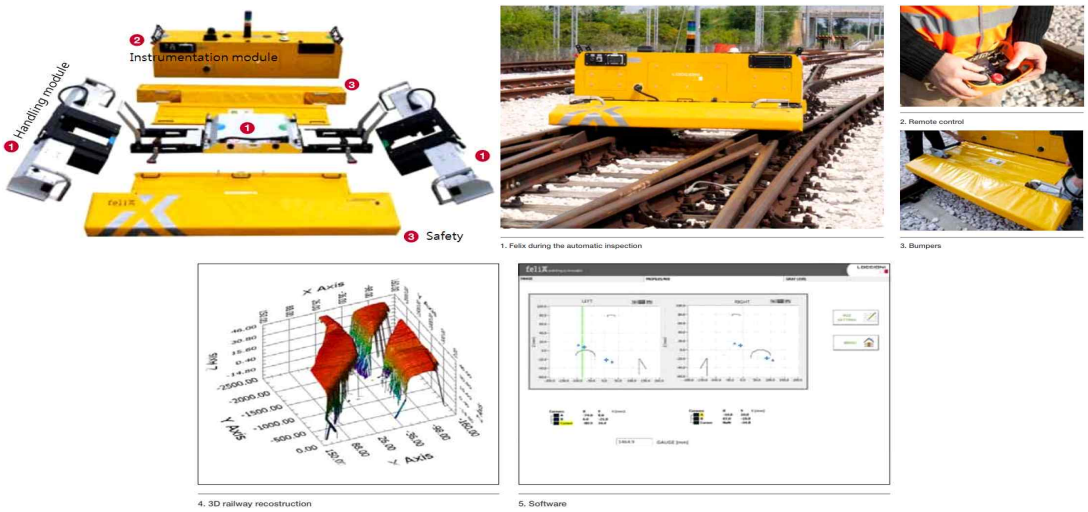
❍ 선로검사 항목 및 시행기준은 다음과 같음

<표 2-3-4> 선로검사 항목 및 시행기준

검사 종류				시행 기준
궤도보수검사	궤도틀림검사	궤도검측차검사		본선 구간 연 4회
		인력검사	본선	궤도검측차 미 시행구간, 본선부대분기 : 연 4회
			측선	측선분기기 : 연 1회
			차량기지	측선구간(분기기포함) : 연 1회 (단, 유치선은 2년 1회)
	레일 간격검사			본선 및 본선부대분기기: 연 2회
	기타 선로 일반검사			2일 1회 또는 2주 1회
궤도재료검사	레일검사	일반검사		2일 1회 또는 2주 1회
		레일마모검사		본선 구간 연 4회 이상
		레일이음매 해체검사		본선 일반이음매 : 연 1회
		레일탐상차 검사		본선구간 : 연 4회 이상
	분기기검사	일반검사		2일 1회 또는 2주 1회
		정밀검사		본선부대분기기 : 연 2회 측선부대분기기 : 연 1회
		분기기 이음매 해체검사		본선부대분기기 : 연 1회 측선부대분기기 : ~ 3년에 1회
		초음파 레일 탐상 검사		레일탐상차로 시행이 불가한 본선 분기기 : 연 4회 이상
	침목검사	PC, RC침목		본선 : 연1회, 측선 : 2년에 1회
		목(합성수지), 침목		연 1회
	도상검사			연 2회
	기타 궤도재료검사			2일 1회 또는 2주 1회
궤도순회점검				2일 1회 또는 2주 1회

서울교통공사 선로검사내규

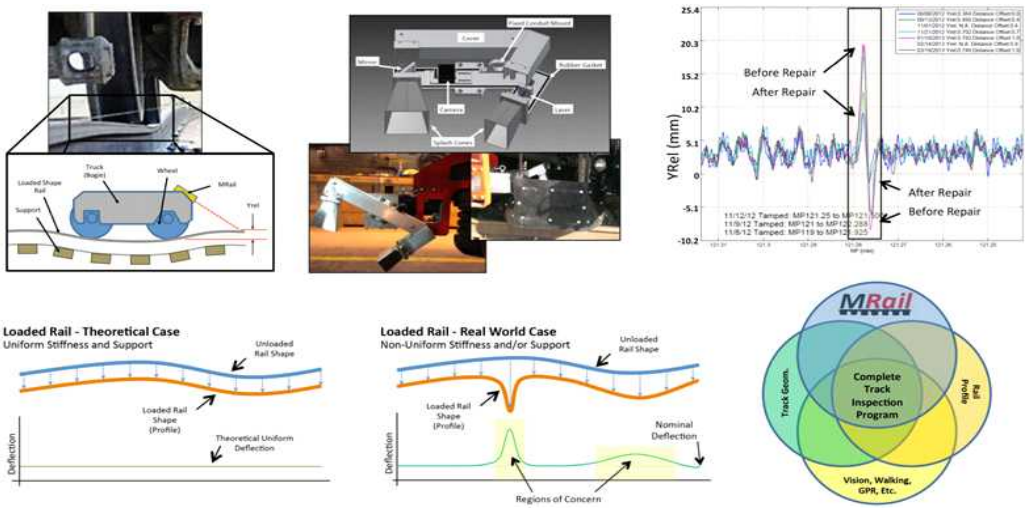
❍ 이탈리아 Loccioni사의 Felix는 자동 레일스위치 검사 로봇으로 궤간 게이지, 궤간 게이지 100m 당 활주 평균 등의 검사 시스템을 개발하여 검사부위를 실시간 확인 및 저장 가능하며, 검사 속도와 질을 개선시킴



<그림 2-3-22> Loccioni사의 Felix 검사로봇

○ 미국에 있는 Harsco Rail사의 Protran Technology는 선로 수직 변형 측정 시스템인 MRail을 개발하여 선로검사에 실제로 사용하고 있음

- MRail은 자동화된 소형 레이저/카메라 기반 측정 시스템으로 열차 하부에 장착하여 선로검사 수행
- MRail을 이용하여 휠/레일 간 접촉점을 측정하며 선로의 탄성계수를 추정할 수 있음
- 선로의 실제 수직 처짐을 측정하고 기록하기 때문에 유지보수가 필요한 부분을 바로 확인 할 수 있음



<그림 2-3-23> Protran Technology의 선로검사 장비인 MRail

○ 영국의 OmniVision Engineering은 고해상도 카메라와 패턴인식 소프트웨어를 결합시켜 Omnivision이라는 시스템을 개발하였음

- 7개의 고속 라인스캔 카메라를 이용하여 160 km/h의 속도에서 데이터 획득

- 열화상카메라를 이용하여 선로의 팽창, 수축 의심 부분(레일 조인트 등) 열 데이터 획득

- 3D 프로파일 카메라를 이용하여 차량이 주행하는 200 mm마다 레일의 프로파일과 그 주변 데이터 획득

- 별도의 스위핑 레이저 스캐너가 장착되어 있어서 레일 양 쪽 5 m 거리를 감시하며 레일 자갈의 높이나 부족한 부분을 검사

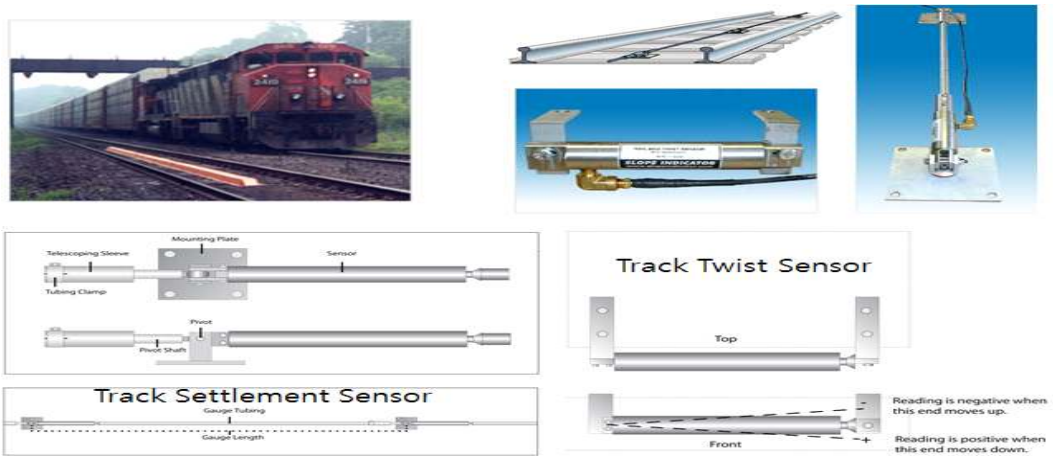


<그림 2-3-24> Omnivision Engineering의 선로검사 시스템

○ 미국의 Nova Metrix의 DGSI는 선로 장착형 센서를 개발하여 궤도의 비틀림과 노반을 모니터링 하는 Track Monitoring System을 개발함

- Track Monitoring System은 궤도 노반센서, 궤도 비틀림 센서, 데이터획득 시스템, 데이터 처리장치로 구성되어 있음

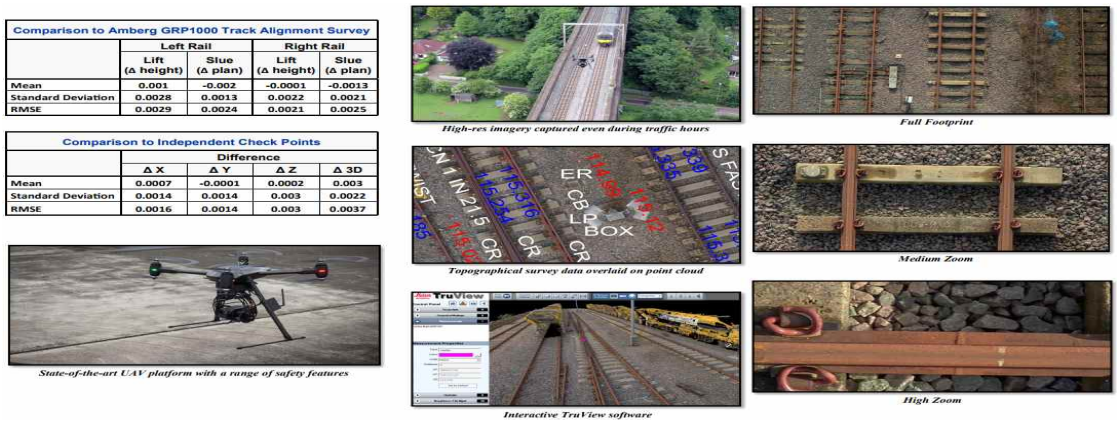
- Track Monitoring System의 모든 센서는 서로 연결되어 있으며, 선로와 평행하게 장착되어 노반처짐, 궤도 비틀림 발생 시 선로와 부착된 센서의 위치 차이로 인해 전기신호가 발생함



<그림 2-3-25> DGSI의 Track Monitoring System

❍ 영국의 측량전문 회사인 Plowman Craven은 Vogel R3D라는 UAV기반 시스템을 개발하여 철도 시설물 검사 서비스를 제공함

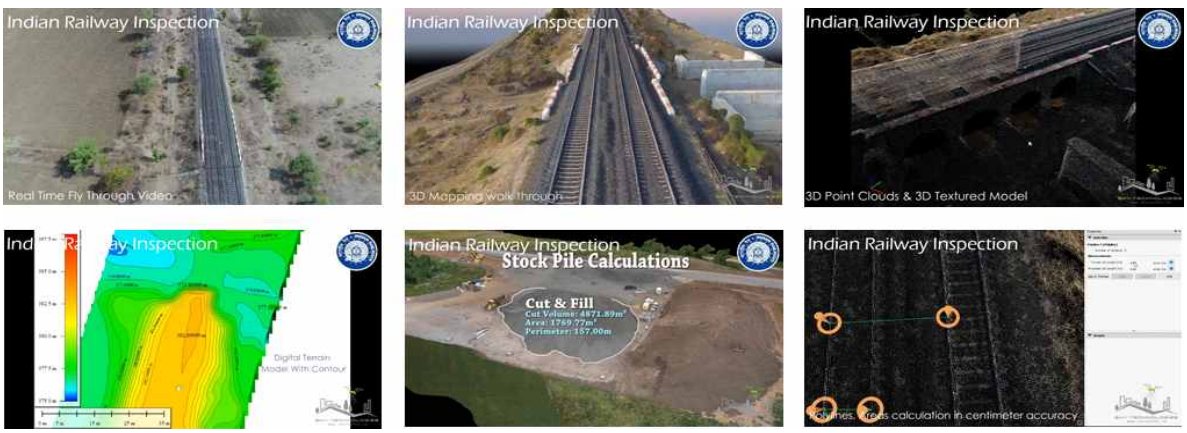
- UAV를 이용한 철도 선로 검사는 25 m의 작업 높이에서 수행되기 때문에, 가장 분주하고 접근하기 어려운 지역에서도 선로 검사를 수행할 수 있음
- 100만 화소 카메라를 사용하여 중첩 이미지를 획득한 후 3D 데이터화 하여 5 mm이하의 정확도로 철도 인프라를 포괄적으로 측량 할 수 있음
- Vogel R3D 시스템은 영국 Network Rail의 Band 1 정확도 요구사항을 만족하고 있으며, 선로검사와 모든 GRIP(Guide to Rail Investment Process) 단계에 적합함



<그림 2-3-26> Plowman Craven의 Vogel R3D System

❍ 인도의 Sky technologies사는 Indian railway의 선로 검사를 위해 UAV를 활용하였음

- 실시간 항공 영상, 3D 맵, 3D point cloud & 3D textured model 시스템, 디지털 지형모델, 관심영역 길이, 면적, 부피 계산 등이 가능한 소프트웨어를 제작함
- 수 센티미터의 정확도로 선로검사가 수행되며, 검사시간·비용 면에서 기존의 검사방법보다 최대 90%정도의 효율을 보임



<그림 2-3-27> Sky technologies의 드론을 활용한 철도 시설물 검사

❍ UAV 종류에 따른 특징 분석

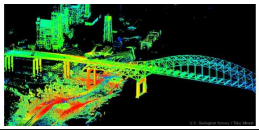
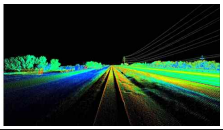
<표 2-3-5> UAV 종류에 따른 특징

UAV 종류		고정익 (Fixed wing) 	회전익 (Rotor wing) 
특징	유지관리	기체 관리 항목 간편	기체 관리 항목 복잡
	소음	낮음	높음
비행 특징	내구성	높은 편	낮은 편
	속도	고속	저속
	비행 고도	고고도	저고도
이착륙	발사 방법	캐터펄트 식	수직 이륙
	장애물 통과	사전 경로 필요	고정익 보다 유연한 대처 가능
탑재량		센서, 카메라 정도의 무게	고정익보다 좋음
사용 분야		항공 매핑, 넓은 지역 촬영, 지형 조사	세밀한 점검이나 접근성이 낮은 지역 조사, 좁은 지역 촬영
비행 경로		3D 웨이포인트 / 고정 고도, 궤도 비행	원격조종 / 3D 웨이포인트
비행시간 & 바람저항		높음	낮음

NCDOT NGAT 57808 - Final reprot 각색

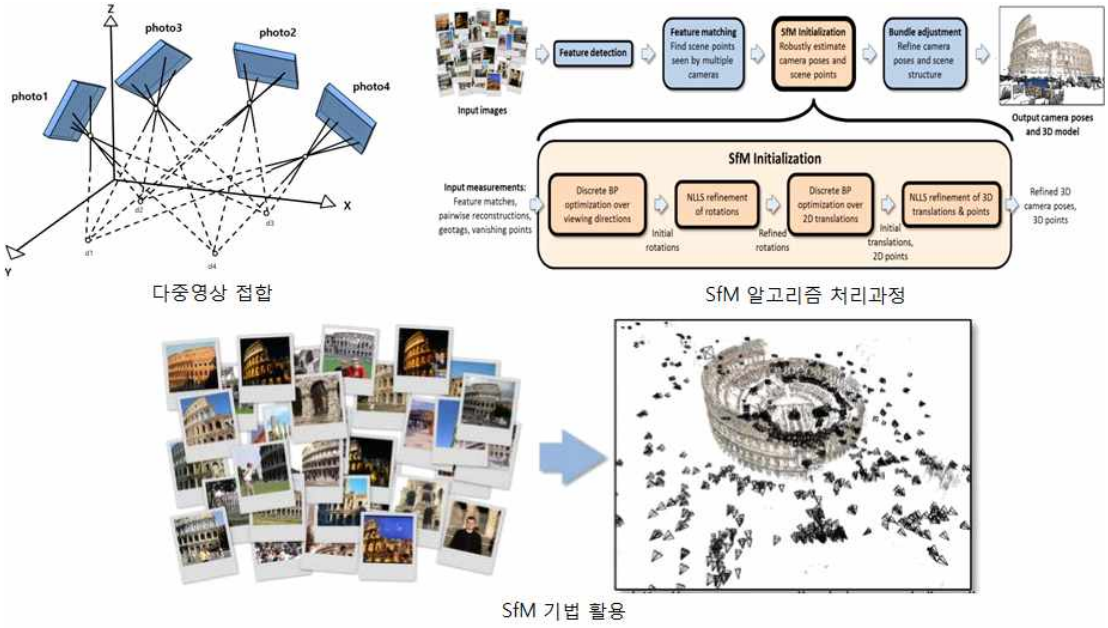
❍ 선로검사에 사용된 UAV 탑재체 기술 분석

<표 2-3-6> 철도구조물에 점검에 사용되는 UAV 탑재체 기술 분석

탑재체	용도	특징
카메라	고해상도 이미지 촬영  	• 육안 점검 대체 가능 • 이미지 영상처리를 통해 균열, 각종 손상 등을 정밀하게 파악 할 수 있음 • SfM(Structure from Motion) 번들조정법과 SGM(Semi Global Matching)방법을 통해 3D point cloud 데이터 생성 가능
열화상 카메라	열화상 이미지 촬영  	• 대상물의 온도 비균일 특성을 이용하여 결함, 누수, 과열 등 육안이나 사진 상으로 확인 할 수 없는 부분 파악 가능
레이저 스캐너	레이저를 이용하여 사물의 여러 가지 정보 획득  	• 레이저를 이용 사물까지의 거리, 방향, 속도, 온도, 물질 분포 및 농도 특성 감지

① 카메라를 이용한 SfM 기술과 3D point cloud 매핑

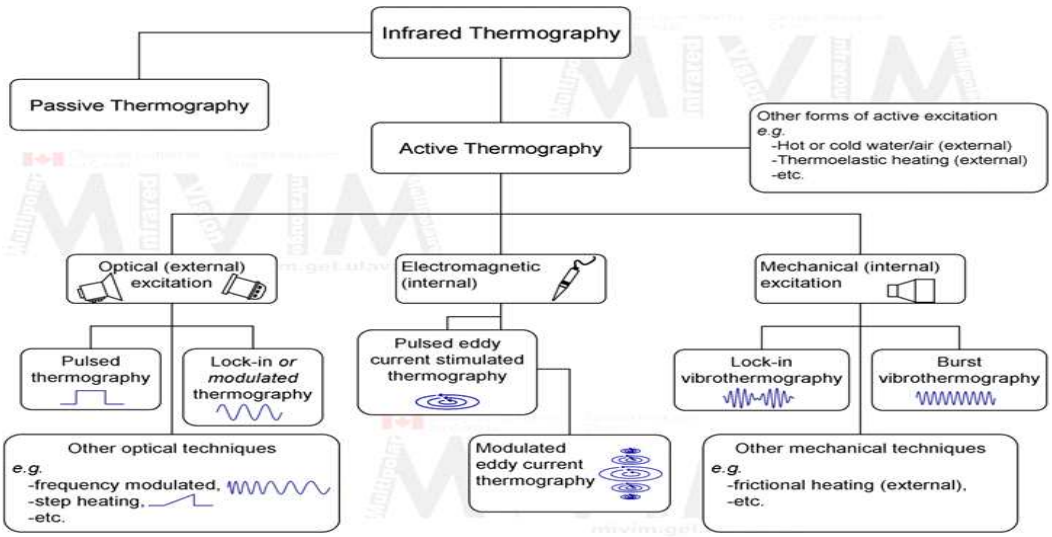
- SfM 기법은 촬영된 중복영상을 epopolar geometry를 이용한 이미지 매칭을 통해 3D point cloud 데이터로 피사체를 재구성하는 컴퓨터 비전 기법임
- 드론으로 촬영된 수많은 사진을 빠른 시간에 처리할 수 있으며, 비 측량용 카메라를 사용할 수 있는 장점 등이 있음
- 2D를 기반으로 3D 영상을 복원하고 카메라의 위치와 자세를 추정하는 기술로 이를 이용한 증강현실과 3D 모델링 등 다양한 방식의 응용 가능



<그림 2-3-28> SfM(Structure from Motion) 기술

② Thermographic 기술을 이용한 열화상 카메라 점검

- 모든 물체는 온도에 따른 방사율이 다르며, 이러한 물체의 방사율 차이를 시각화하여 온도데이터와 함께 표현해주는 기술을 thermography기술이라고 함 (야간 투시경, 열화상 카메라 등이 thermography 기술이 적용된 대표적인 예)
- Thermographic 점검 기술은 비접촉식 검사방법중 하나로, 다른 비접촉식 검사기술(초음파, 방사선)보다 검사시간이 빠르고 안전함
- 외부 열원을 사용하지 않는 Passive thermographic기술과 외부 열원을 사용하는 active thermographic기술로 분류 할 수 있음
- MEMS 기술 등의 발달로 열화상 카메라의 열감지 소자 집적기술이 발달하여 CCD카메라 급의 해상도를 표현 할 수 있다면, 비가시광선 영역 검사를 통해 더욱 다양한 분야의 핵심기술로 적용 가능



<그림 2-3-29> 적외선 thermography 기술들

(2) 무인이동체를 활용한 궤도 점검 적용 사례 및 기술 분석

❍ 네덜란드의 Secure in Air for ProRail은 겨울철 눈, 진눈깨비, 우박, 얼음과 무단 침입으로 레일을 걷는 사람을 감지하여 열차를 안전하고 운행의 중단없이 운송 서비스를 제공하기 위해 PTZ(pan, tilt and zoom)카메라를 사용하여 레일 요소를 최대 2000피트 범위에서 원격검사가 가능한 기술을 개발

- 주 검사 대상은 레일의 스위치 포인트 가열 시스템이며 올바르게 작동하는지 확인
- 기존의 고정식방식으로 건물 옥상 높이에 설치하여 검사가 가능
- 공중에서 원격검사를 위해 무인 항공기로 테스트를 시행 한 결과 짧은 테스트 시간이었지만 무인 항공기로 원격검사의 가능성을 입증

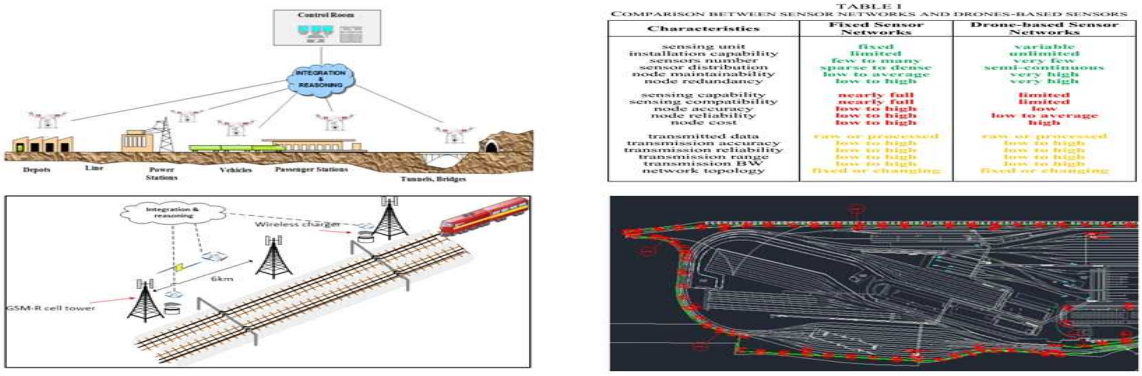


<그림 2-3-30> 겨울철 듀얼 밴드 모니터링을 사용한 열차 운행 유지 기술

❍ Francesco Flammini 등은 철도시설물의 자연재해 및 피해 조사뿐만 아니라 구조 결

함 및 보안 위협 탐지를 모니터링하기 위한 무인 항공기 성능을 예비 평가

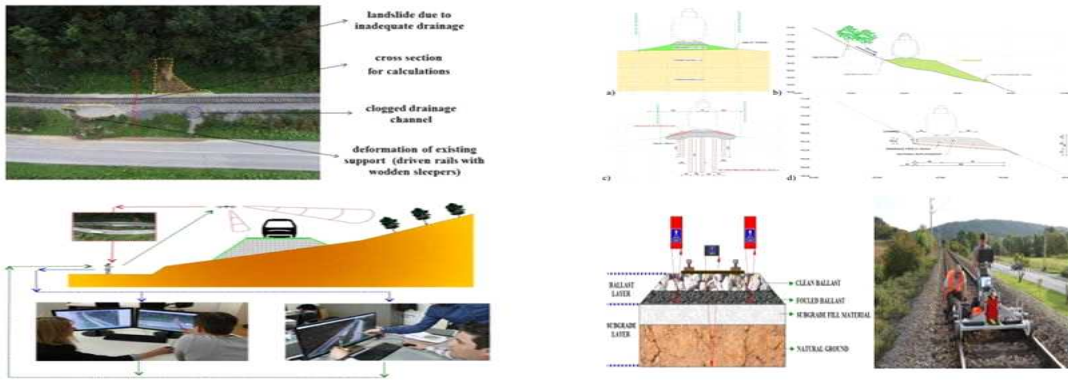
- 무인 항공기는 철도시설에 대하여 광범위한 영역의 모니터링 가능
- 성격이 다른 센서를 통합하여 사고현장의 안전 분석이 가능
- 철도 시스템은 Wi-Fi, GSM-R GPRS 또는 UMTS와 같은 상용 인프라를 시반으로 하는 무선 MAN(Metropolitan Area Network) 또는 WAN(Wide Area Network)을 갖추고 있어 Wi-Fi를 통해 원격제어 범위를 하는 무인항공기에 적용시키기 편리함
- 무인 항공기 기반 센서는 SeNsIM 및 DETECT 프레임 워크와 같은 센서를 기존 보안 감시 시스템에 유리하게 통합될 수 있음



<그림 2-3-31> 드론의 철도 인프라 모니터링

❍ M.S.Kovacevic 등은 철도 레일 횡단면의 세 축을 따라 데이터를 수집하고 해석방법론을 설명하며, 맞춤형 카트의 사용법을 제시. 시각적인 점검의 문제점을 보완하기 위해 물리학, 지질학과 같은 분야의 검사방법 필요 제시

- GPR 데이터, 시각적 평가 및 무인 항공기를 사용하여 사진측량 이미지에 기초하여 인프라 데이터 분류 및 수집
- GPR 시스템을 레일위에 유지보수차량에 설치하여 레일 점검

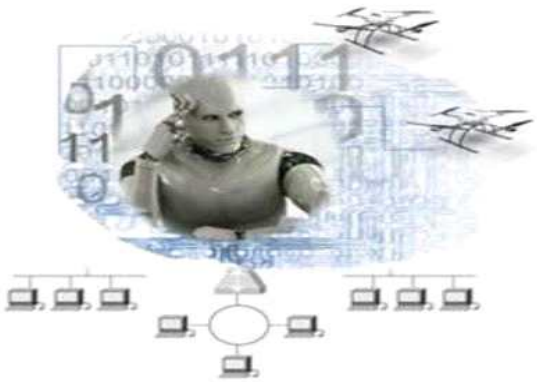


<그림 2-3-32> 철도 인프라 조건 평가를 위한 새로운 방법론

❍ 모나 쉬 대학의 철도기술(IRP)의 연구소는 철도 자산의 관리 와 트랙 상태 및 유지 보수 활동은 노동 집약적이며, 이러한 활동을 로봇으로 대체하여 원격으로 수행할 수 있다고 함. 로봇 시스템은 동등한 인력 보다 필요한 검사 작업을 보다 신속하게 효율적으로 완료 할 수 있음. 다음과 같은 시스템개발을 완료 및 진행 중

- 자기 균형 트랙의 로봇의 설계 및 개발
- 다양한 작동 속도에서 비전 기반 센서 통합 및 결함 감지
- 다양한 작동 속도에서 비전 센서 통합 및 결함 감지 센서 통합
- 트랙 로봇에 대한 온보드 데이터 로깅 및 처리
- 원격 제어 위치에서 대향 데이터 압축, 무선 통신 및 압축 해제
- 다중 로터 UAS를 사용한 시각적 검사 개념 개발
- VTOL UAS를 위한 경량 철도 설치 및 주행 시스템



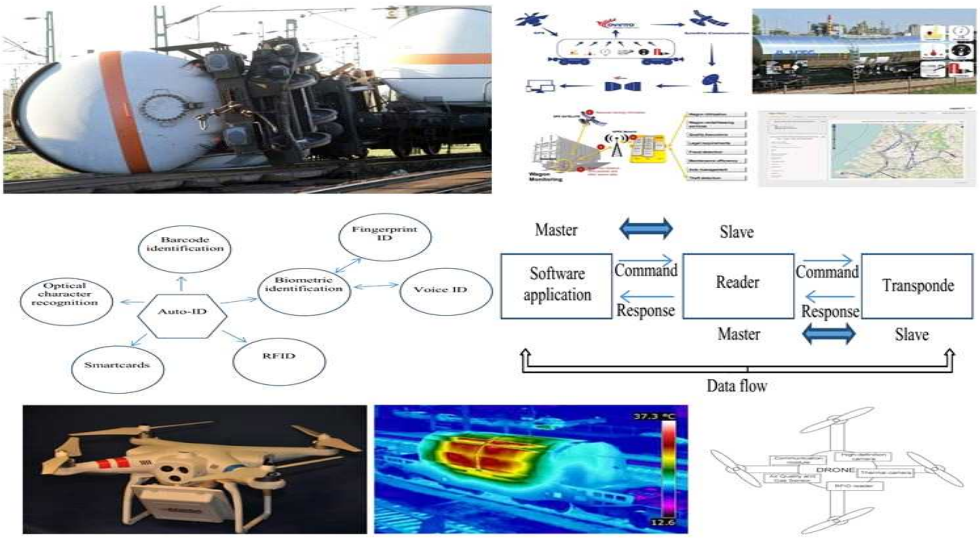


<그림 2-3-33> 차세대 레일 검사 및 유지 보수 로봇

❍ Géza Károly Kiss Leizer 등은 위험물 또는 유해물질을 운송시 안전을 보장하고 예기치 못한 상황에서 환경으로 방출되는 유해물질의 신속하고 효율적인 폐기물 처리를 용이하게 위해, 무인 항공기를 도입하여 재난 상황의 경우 위험물의 무선 주파수 식별을 하는 방법 제시. 다우 케미칼은 RFID 시스템을 사용.

- RFID-Drone을 사용함으로써 사고 또는 재해 상황에서 위험물 식별 및 처리가 가능
- 무인 항공기를 사용하여 손상된 화물의 임베디드 칩을 읽음으로써 방출된 위험물을 즉시 식별가능
- RFID 시스템으로 운송과정 추적이 가능
- 전자파 간섭 및 차폐 현상이 발생할 수 있으나, 적절한 주파수 선택 또는 다중 트랜스폰더를 사용하여 문제를 해결 가능

- 무인 항공기를 사용하여 측정한 결과 사고현장에서 최대 80 m 떨어진 거리에서 물질 식별이 가능

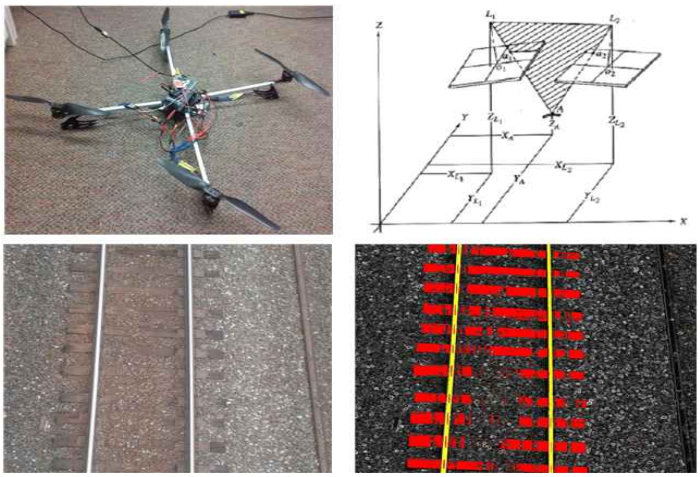


<그림 2-3-34> 철도 사고 및 재해 상황에서 드론을 이용한 무선 주파수 식별

❍ Önder HAlis Bettemir는 무인 항공기에 고해상도 광 카메라를 탑재하여 철도 트랙을 스캔 후, 스캔으로 얻어진 이미지는 Ground Control Point(GCP)를 자동 추출하여 지리적 위치를 참고함. 손상이 발견된 부분은 이미지 분석 기술을 사용하여 감지.

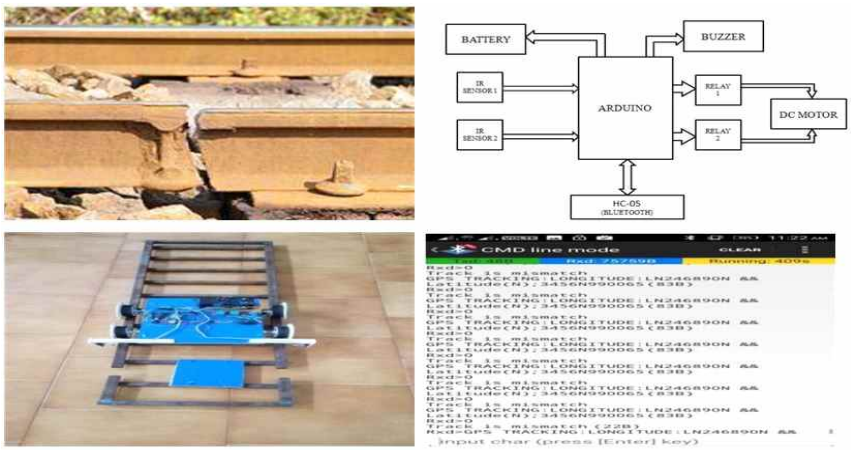
- 원본 이미지는 노이즈 현상이 심하기 때문에, Gaussian 기반의 컨볼루션 필터를 사용하여 노이즈를 최소화 시킴.

- 무인 항공기로 얻은 이미지는 낮의 환경에서는 적합하나, 야간이나 터널 내부에서는 사용에 제한이 있음.



<그림 2-3-35> UAV에 의한 철도 트랙의 품질 및 안전 보장

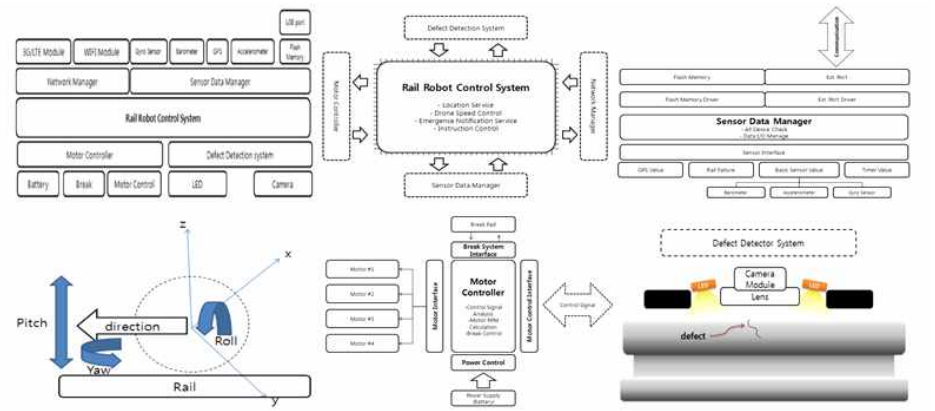
❍ B. Siva Rama Krishna 등은 철도 트랙의 균열을 감지하여 철도 트랙 형상 검사 시스템을 위해 IR센서를 이용한 연구를 진행함. Bluetooth 기술을 기반으로 IR센서를 부착한 검사 로봇이 선단에 설치되어 트랙을 Arduino 컨트롤러를 사용하여 모니터링 함.



<그림 2-3-36> IR 센서 및 블루투스 기술을 적용한 철도 트랙 감지 시스템

❍ Y.S. Lee 등은 레일표면과 레일을 따라 움직이면서 레일을 검사 할 수 있는 무인 레일로봇을 연구함. 레일로봇에 AHRS(Attitude Heading Reference System) 알고리즘을 장착하여 레일의 상태 및 위치에 대한 정보를 얻고 효과적인 유지보수를 진행 가능함.

- AHRS 알고리즘을 탑재한 레일 로봇은 자동으로 레일 위를 이동.
- LED 조명을 사용하여 이미지를 수집하고, 이미지 데이터 분석으로 균열을 감지.

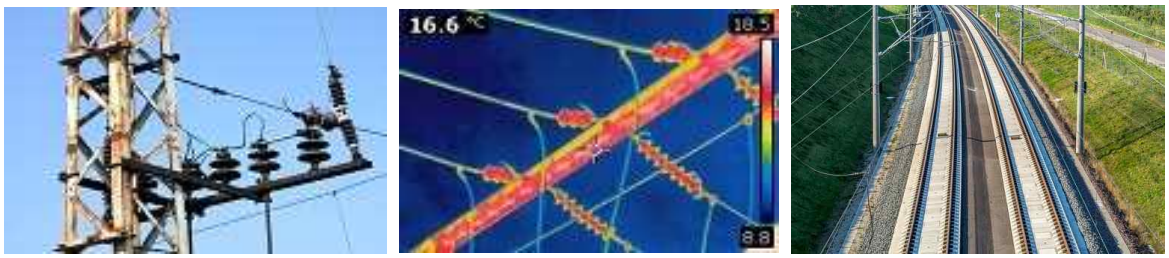


<그림 2-3-37> AHRS 알고리즘을 사용한 레일 검사 로봇

(3) 무인이동체를 활용한 전차선 점검 적용 사례 및 기술 분석

❍ Lufthansa Aerial Services

- 독일에서 가장 큰 지역 에너지 공급 업체 중 하나의 전력선을 검사하기 위해 고도로 발전된 Phase One iXU150 및 iXU1000 공중 카메라가 장착 된 M600 UAV를 운영함
- 최적의 결과를 얻을 수 있도록 하는 새로운 검사 프로세스 및 절차를 개발함
- 근접 검사: 정기적인 주성분 검사, 구조물에 대한 환경 영향 모니터링 (예 : 부식 및 부식)
- 열 검사: 균열 및 구조적 골절 식별, 방열을 통한 결함 구성 요소 검출
- 결함 식별: 케이블과 장애물 또는 식물 사이의 최소 거리 측정, 전력선 케이블의 장력 준수 검사
- 철도: 철도 트랙 검사, 오버 헤드 케이블 검사, 부품 변형 검사 (목재 침목, 구동 레일 등), 상승 된 구조 검사, 작업 모니터링 추적



<그림 2-3-38> 구조물 점검 예시 (Lufthansa Aerial Services)

❍ RSK Orbital Ltd.

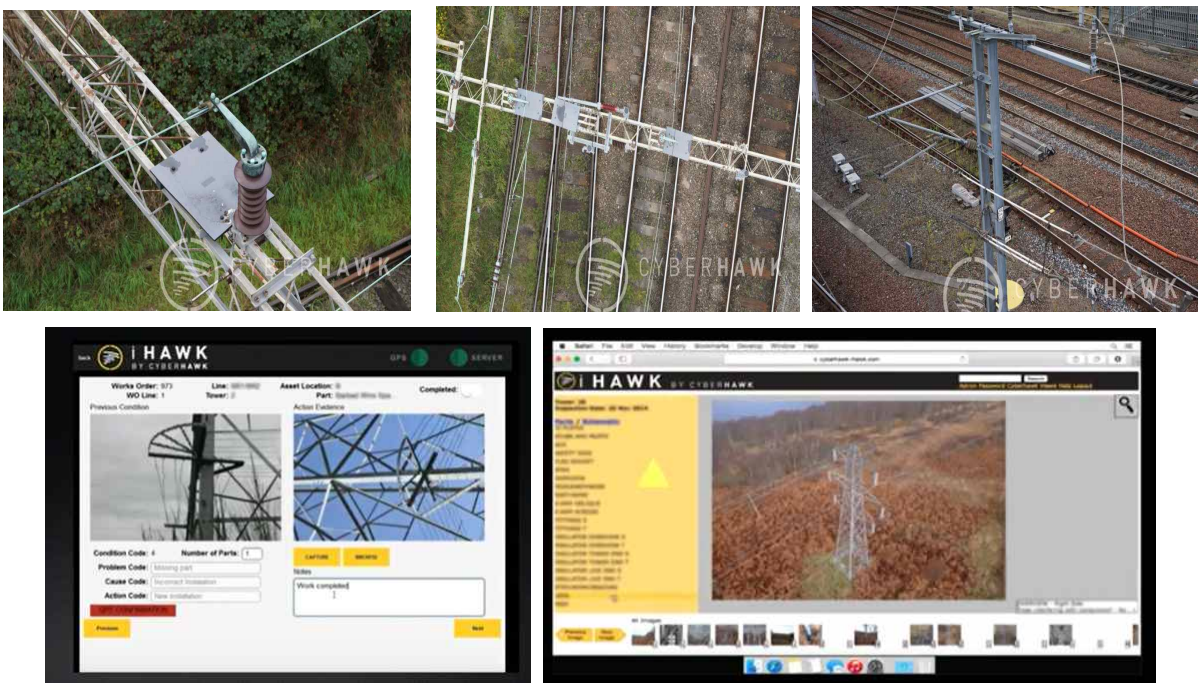
- 항공 사진 조사를 통해 도로, 철도, 송전, 통신, 수로 또는 파이프 라인 조사와 같은 자산의 최신 상세하고 겹쳐진 경사 또는 정사각형 이미지를 제공
- 원격 조종 항공기 시스템 (RPAS)을 이용하여 도로, 철도, 송전, 통신, 수로 또는 파이프 라인와 같은 시설물 조사에 필요한 이미지 제공
- 첨단 혁신적인 클라우드 기반 소프트웨어를 통해 고품질의 이미지, 분석 및 보고 기능을 제공
- Visivi는 클라우드 기반의 지형 솔루션으로 실제 현장에 있는 것과 같은 서비스를 제공함
- 클라우드 기반 소프트웨어를 통해 고품질의 이미지, 분석 및 보고 기능을 제공 (정면 및 역방향 공중 촬영을 결합)



<그림 2-3-39> 구조물 점검 예시 (RSK Orbital Ltd.)

❍ Cyberhawk

- 무인 공중 차량 (UAV 또는 UAS)을 이용한 항공 검사 및 측량 분야의 시각적 자산 관리 및 유지 보수 소프트웨어인 iHAWK 개발
- ihawk: CLOUD 기반 소프트웨어, 자산 관리 결정을 지원하도록 고안됨
- UAV로 촬영된 이미지를 Inspection Center로 전송하면 이를 검토하여 모든 엔지니어링 분석을 iHawk에 입력할 수 있음
- UAV 또는 UAS 및 기타 데이터 소스로 캡처 한 대용량의 고화질 데이터를 관리하고 이를 관리 정보로 변환함



<그림 2-3-40> 구조물 점검 예시 (Cyberhawk)

❍ US AERIAL VIDEO

- UAV를 이용한 산업 분야 검사 서비스 제공
- 직교 모자이크, DTM (Digital Terrain Model), DSM (Digital Surface Model), 체적, 윤곽 지형 매핑 및 3D 시각화 기술 보유
- 무인 비행기를 설계, 제작 및 수정이 가능하여, 작업에 맞는 솔루션을 제공함



<그림 2-3-41> 구조물 점검 예시 (US AERIAL VIDEO)

❍ ProRail

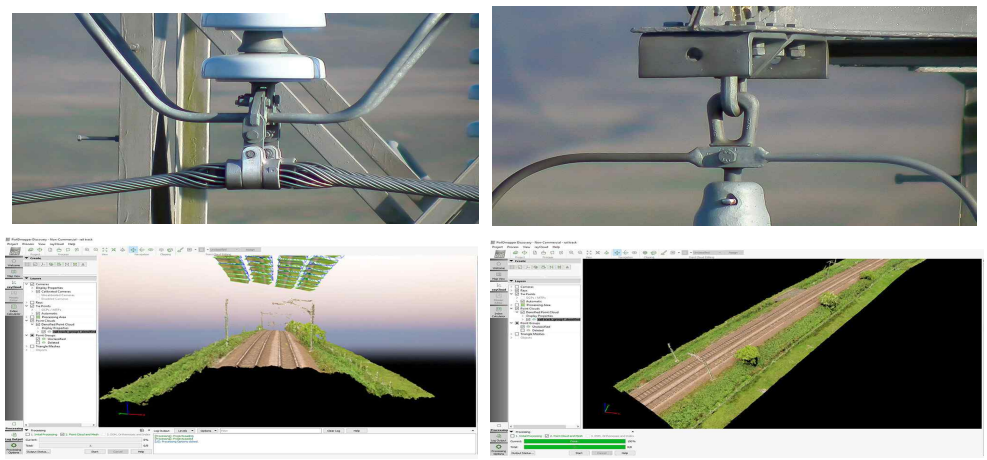
- 철도 운영 업체인 ProRail은 UAV를 이용하여 철도 시설물의 상태 점검을 테스트함
- Helmond와 Eindhoven 사이의 궤도를 따라 실시하였으며, UAV가 균열이나 다른 결함을 확인하는데 사용될 수 있는지 여부를 확인하였음



<그림 2-3-42> 구조물 점검 예시 (ProRail)

❍ Aerial Vision

- Aerial Vision은 드론을 이용한 운용 서비스를 제공함
- 고급 사진 측량 기술을 이용한 철도 인프라 안전 점검 서비스 제공
- 5cm 이하의 정확도로 고해상도 UAV 지형 조사를 제공하며, CAD 또는 GIS에 직접 입력 할 수 있는 지리적 참조된 2D지도 및 3D 모델을 제공하는 응용 프로그램 보유
- 프로그램 주요 특징: 3D Point Cloud, 3D 텍스처 모델, True Orthomosaic, 디지털 표면 모델, NDVI지도



<그림 2-3-43> 구조물 점검 예시 (Aerial Vision)

❍ Baoding Tianpeng Aviation Technology

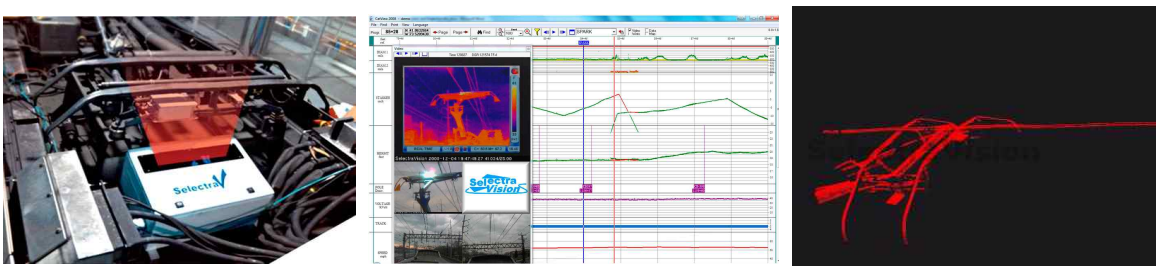
- TianPeng은 UAV와 가시 광선, 적외선 열 화상 카메라, UV 이미 저 및 광전 포드 등을 이용한 철도, 송전선 등과 같은 인프라 안전점검 서비스 제공



<그림 2-3-44> 구조물 점검 예시 (Baoding Tianpeng Aviation Technology)

❍ SELECTRA VISION

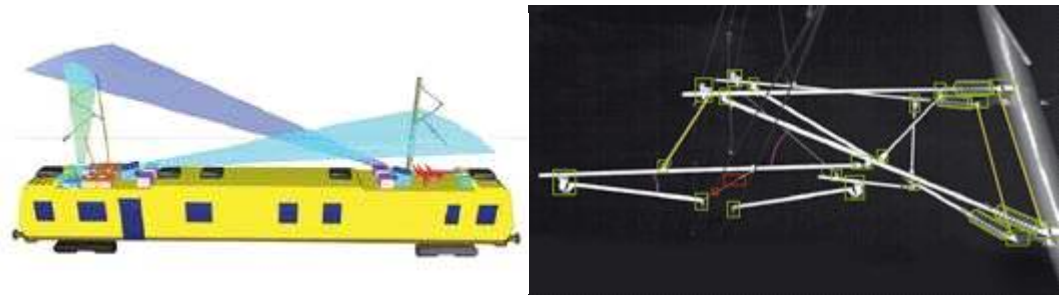
- SelectraVision은 철도용 비전 시스템의 측정 및 진단을 위한 장비 및 소프트웨어 개발
- 차량 설치용 전조선 측정용 장비: 모든 종류의 철도에 설치할 수 있는 비접촉식 오버 헤드 라인 진단 및 측정 장비 (높이 및 비틀림)
- 팬터그래프 진단 시스템인 PantoCheck는 팬터그래프를 자동으로 감지하여 3D로 재구성하며, 팬터그래프의 결함 및 손상을 측정함



<그림 2-3-45> 구조물 점검 예시 (SELECTRA VISION)

❍ bvSys

- CatenaryCheck는 자동 검사 시스템으로 고속선 전선 및 전선 간 검사를 검사함
- 디지털 라인 스캔 카메라를 이용하여 전체 전차선의 그래픽 데이터를 연속적으로 기록하고 이 데이터를 저장하여 나중에 평가할 수 있도록 함
- 데이터를 분석하여 오류의 심각도를 결정할 수 있는 소프트웨어와 처리 결과를 데이터베이스에 저장할 수 있는 기술 보유

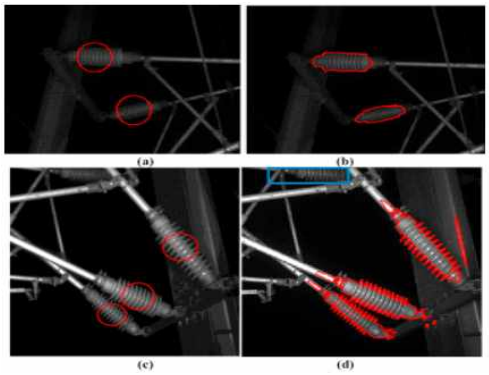


<그림 2-3-46> 구조물 점검 예시 (bvSys)

❍ 전차선 애자 검출 기술

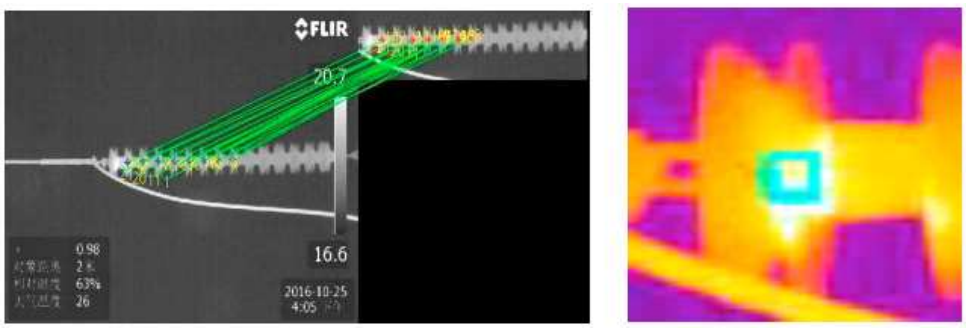
- Guinan Zhang 등은 고속 철도의 애자를 검출하기 위하여 Chan-Vese (CV) model에 따른 contourlet transform (CT) 기반의 검출 기법을 제안함
- CT 기반의 텍스트 분석과 형태학적 필터링, 퍼지 클러스트링을 적용하여 애자의 경계선을 검출함

- 고속 열차 위에 구성된 비젼 시스템을 이용하여 실시간으로 애자 검출이 가능함을 확인함



<그림 2-3-47> 전차선 애자 검출 기술

- ZHOU Shen-pe 등은 열화상 기반의 영상처리 기술을 이용하여 전차선 애자의 검함을 검출하는 방법을 제안함
- median 필터를 사용한 전처리와 최대 엔트로피 임계화, SIFT 방법을 활용하여 애자를 분류하였으며, 열화상 영상으로부터 획득된 온도 매트릭스를 이용하여 애자의 결함을 검출함



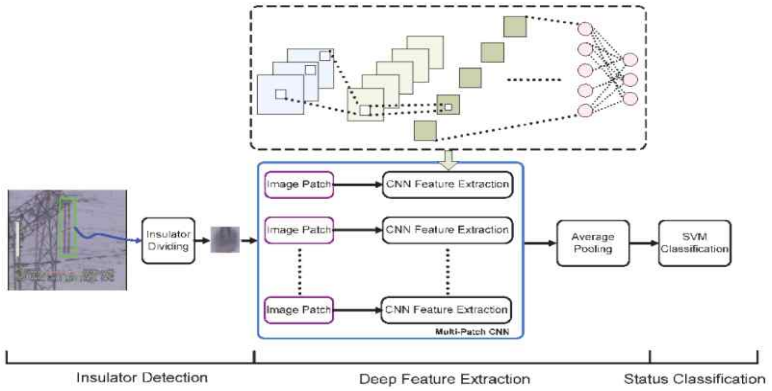
<그림 2-3-48> 열화상 기반의 영상처리를 이용한 애자의 결함 검출

- Bing Han은 UAV를 이용한 송전선의 검사 기법을 제안함
- 색상, 기울기, 기울기의 히스토그램을 포함한 aggregate channel features와 boost 분류기를 이용하여 송전탑, 애자 등을 검출



<그림 2-3-49> 색상, 기울기, 기울기의 히스토그램을 이용한 애자 검출

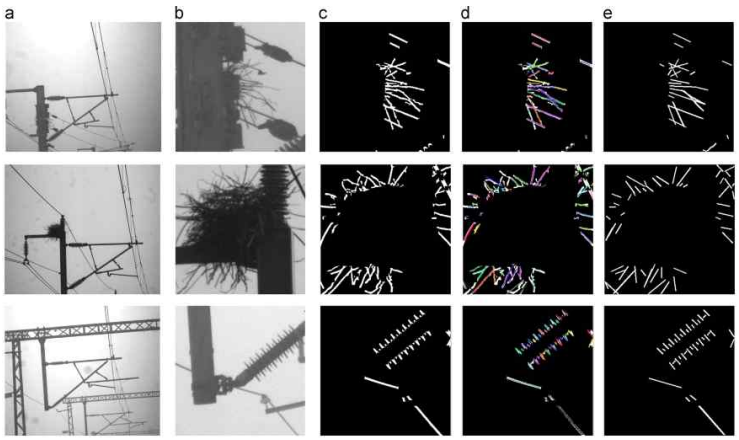
- Zhenbing Zhao은 UAV와 딥러닝 기술을 이용한 애자 검출 및 상태 분석 기법을 제안함
- mulit-patch 특징 추출 기반 컨볼류션 뉴럴네트워크(CNN)를 이용하여 애자의 상태를 판단함
- 테스트 결과 98.7%의 mean Average Precision (mAP)를 달성함



<그림 2-3-50> 딥러닝을 이용한 애자 검출 및 상태 분석

❍ 전차선 위의 새집 검출 기법

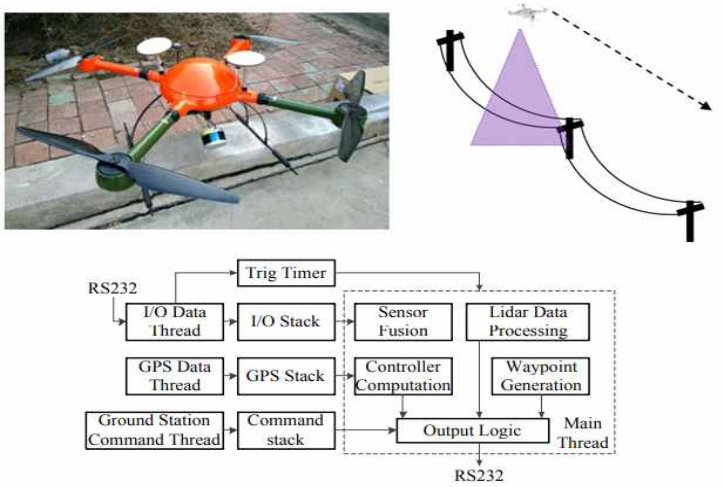
- Xiao Wu는 비젼 기반의 인공지능 기술을 이용하여 전차선 위에 지어진 새집을 인식하는 기술을 개발함
- 전차선 위에 존재하는 새집은 잠재적은 철도의 안전 운행에 많은 위험성을 내포하고 있음
- 새집 검출을 위하여 5단계로 구성된 영상 처리 기술 제안 (5 단계: adaptive binarization, trunk/branch detection, hovering point detection, streak extraction, and pattern learning)
- 다양한 고속 촬영 환경에서 효율적으로 새집 검출이 가능함을 확인함



<그림 2-3-51> 인공지능 기술을 이용한 장애물(새집) 인식

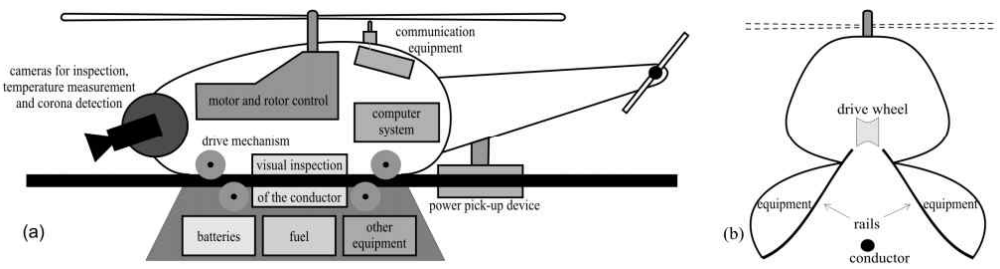
❍ 전차선 검사를 위한 이송체 기술

- Chuang Deng는 송전선 검사를 위한 무인항공기(UAV)의 하드웨어와 소프트웨어 설계 기술을 제안함
- 비행제어를 위한 소프트웨어는 센서 데이터 수집과 제어를 필터링과 계산으로 이루어짐
- 송전선의 위치 좌표는 GPS와 레이저 스캐너로 획득되며, 칼만 필터를 이용하여 무인기의 상대적인 위치, 속도와 방향을 생성함



<그림 2-3-52> 전차선 점검을 위한 UAV 소프트웨어

- Jaka Katrašnik은 송전선 검사를 위한 새로운 무인항공기 형태인 climbing-flying 개념을 제안함
- climbing-flying은 장애물 위를 비행할 수 있는 헬리콥터와 컨덕터를 따라 이동할 수 있는 드라이브 메커니즘의 조합으로 구성되어 있음
- climbing-flying의 실제 구현을 위해 필요한 통신 기술, 로봇 설계 기술, 비젼 검사 기술에 대하여 분석함

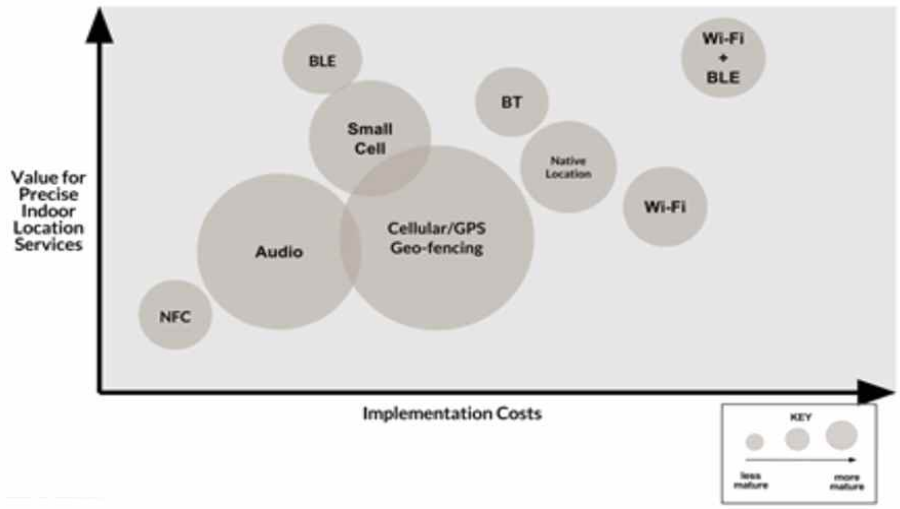


<그림 2-3-53> 송전선 검사를 위한 무인항공기 개발 개념도

다. 이상발생 개소 위치측위 기술

(1) 기존 위치측위 기술

○ 위치인식 기술의 종류



<그림 2-3-54> 위치인식 기술의 종류

출처 : MW2015

(가) 무선 주파수를 이용한 위치 측위

○ 신호의 세기 (RSSI), 도착 시간(ToA), 등 무선통신 신호의 특성을 사용한 위치 측위 기술로, 이상발생 개소 위치측위를 위해서는 이상발생 지점에 별도의 무선 통신장치 설치가 필요함

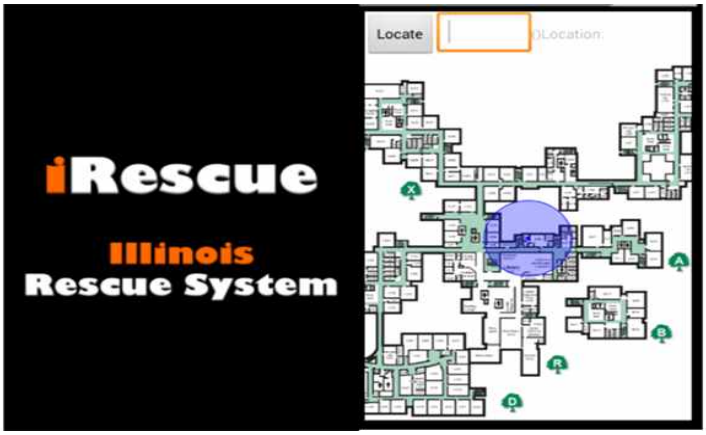
○ 기준점 측위

- 수신된 신호들 중에서 가장 신호의 세기가 큰 엑세스 포인트의 위치로 단말 위치를 결정하는 방법
- 가장 간단한 위치 측위 기술이지만 엑세스 포인트의 치밀도에 따라 오차가 매우 크게 발생할 수 있음
- 이상발생 개소 지점에 수신기 설치 필요

○ 지문인식 측위 (Fingerprinting)

- 실험적 측위 방법으로 사전에 신호의 세기를 수집한 후 수집 위치의 좌표와 수신된 신호의 세기를 데이터베이스에 구축한 후 측위 단계에서 측정된 신호의 세기를 데이터베이스와 비교하여 유사성이 높은 위치를 찾는 기술

- Wi-Fi 측위 시스템에서 가장 보편적으로 사용되는 기술로 지문인식 측위를 기계학습과 결합하여 정확도를 높임 (Bahl and Padmanabhan, 2000; Hatami 2006; Zaruba, et al. 2007)
- 스마트폰의 보급화로, 스마트폰 기반의 지문인식 측위 시스템이 많이 개발됨 (Kothari, et al. 2012; Link, et al. 2011; Liu, et al. 2012; Martin, et al. 2010; Pei, et al. 2012; Subbu, et al. 2013; Yim 2013)
- 최근에는 지문인식 측위를 이용하여 재난상황에도 적용 (Rantakokko, et al., 2011; Yoon et. al., 2016)
- 이상발생 개소 지점을 정확하게 측정하기 위해서는 이상발생 개소 지점에 수신기가 필요하며 지문인식 과정에서 높은 치밀도가 요구됨



<그림 2-3-55> WiFi 지문인식 기반 측위 기술을 적용한 iRescue

출처 : Yoon et al. (2016)

❍ 신호세기 기반 다변측위

- 신호의 전파 모델링을 통하여 신호의 세기를 거리로 환산하는 방법으로 지문인식 측위와 달리 데이터베이스를 생성할 필요가 없음
- 전파의 반사, 굴절, 흡수 등의 여러 요인으로 인해 추정오차가 생겨 일반적으로 정확도가 감소할 수 있음
- 이상발생 개소 지점을 정확하게 측정하기 위해서는 이상발생 개소 지점에 수신기가 필요하며 이상발생 개소 지점과 전파 송신기 사이에 장애물이 없어야 함

❍ 도착시간 (Time of Arrival, ToA) 기반 다변측위

- 신호세기 기반 다변측위와 달리, 신호의 도착시간을 거리로 환산하는 방법으로 측정값이 안정적임
- Wi-Fi 표준 인터페이스와 상호호환성이 결여될 수도 있음 (Golden and Bateman.

2007)

- 이상발생 개소 지점을 정확하게 측정하기 위해서는 이상발생 개소 지점에 수신기가 필요하며 이상발생 개소 지점과 전파 송신기 사이에 장애물이 없어야 함

○ 왕복 이동시간 (Round Trip Time, RTT) 기반 다변측위

- 엑세스 포인트에서 단말기의 신호 왕복 이동시간을 이용하여 지연시간을 제거한 후 이를 거리로 환산하는 방법
- 가시거리가 확보되면 약 3~5m 위치 정확도를 제공할 수 있음 (Tappero, Merminod, and Ciurana, 2010)
- 이상발생 개소 지점을 정확하게 측정하기 위해서는 이상발생 개소 지점에 수신기가 필요하며 이상발생 개소 지점과 전파 송신기 사이에 장애물이 없어야 함

(나) 태그 (Tag)와 비콘 (Beacon) 기반의 위치 측위

○ RFID, Bluetooth, NFC 등의 태그를 부착하여 위치를 측위하는 기술로 별도의 태그를 부착하여야 하며 수신기가 필요한 경우도 있음

○ 이상발생 개소의 위치에 태그를 부착하여 위치 측위

○ 추가적으로 태그의 수동 부착이 필요하며 상황에 따라 수신기도 필요함.

○ 초기에는 RFID를 이용한 위치 측위 기술들 (Pradhan et al., 2009; Taneja et al., 2012; Li et al., 2013)이 많이 적용 되었음

○ 최근 삼성, 애플, SKT 등에서 개발한 BLE(Bluetooth Low Energy) 기반 비콘제품을 활용하여 위치를 계산하는 서비스가 이루어 지고 있음.

○ BLE는 단말의 소형화, 저전력, 그리고 실내환경 영향의 최소화라는 장점을 가지고 있으며, 기존의 다른 위치 측위 기술들과도 결합하여 정확도 향상 또한 가능



<그림 2-3-56> Apple에서 개발한 비콘 기반의 위치 측위 기술 iBeacon
출처 : Dynamic-Leap (www.dynamic-leap.com)

(다) IMU센서 기반의 위치 측위 (Dead Reckoning)

❍ 최근 스마트폰 내장 센서 (가속도계, 자이로스코프, 지자기계, 기압계 등)의 보급화로 PDR (Pedestrian Dead Reckoning)기반의 위치 측위 기술이 많이 사용되어지고 있음

❍ PDR은 상업적인 용도로 뿐만 아니라, 재난 대응 (Li et al., 2014), 시설물 유지보수 (Bae et al., 2013), 건설현장의 장비 추적 (Li et al., 2013) 등에도 적용되고 있음

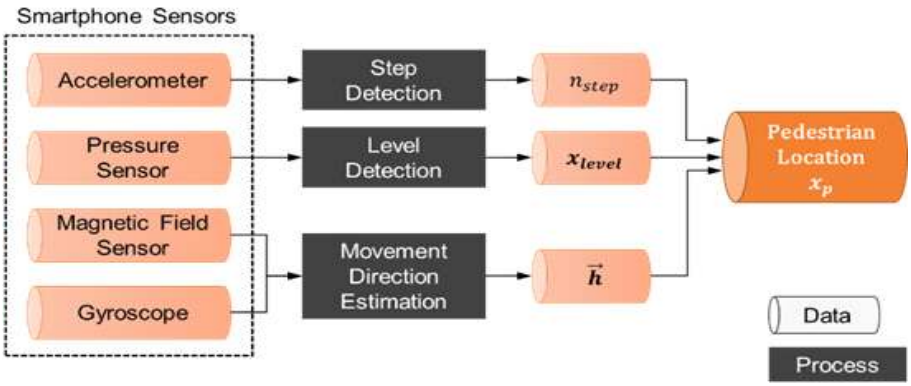
❍ 센서기반의 측위 기술은 인프라가 없는 환경에서도 간단한 센서 혹은 스마트폰만으로도 측위가 가능.

❍ 최근 가상현실, 증간현실 기술을 적용하여 PDR을 통해 의사결정에 사용되는 기술도 개발되었음 (Carozza et al., 2014)

❍ 사용자의 여러 경로 정보를 통합하여, 특정한 물체의 위치를 조금 더 정확하게 측위하는 기술도 개발되었음 (Yoon et al., 2016)

❍ PDR을 통해 얻은 위치정보와 카메라를 통해 얻은 이미지를 통합하여 원거리 물체의 위치를 계측하는 기술도 개발되었음 (Ham et al., 2018)

❍ 이상발생 개소 지점을 정확하게 측정하기 위해서는 PDR의 단독 이용보다는 영상정보의 활용이 요구되어 짐



<그림 2-3-57> 스마트폰 IMU 센서 기반 위치 측위

출처 : Yoon et. al. (2016)

(라) 위성항법 시스템(GPS) 기반 위치 측위

○ 위성항법 시스템은 기존에 군사 목적으로 개발되었으나, 현재는 전 세계에서 다양한 분야에 사용되고 있음

○ 최근 GPS 기술의 발달과 스마트폰의 보급으로 인해 GPS모듈을 탑재한 모바일 단말기가 많이 사용되어지고 있음

○ RTK (Real-time Kinematic)와 결합한 GPS 기술로 구조물 (교량, 터널 등)의 영향을 받지 않는 열린 공간에서의 정확도는 약 5cm 내외로도 측정되었으나 경제성이 떨어짐 (Akula et al., 2011)

○ 이상발생 개소 위치 측위를 위해서는 GPS 수신기가 이상발생 개소에 설치되어야 함

○ 일반적인 GPS 기술은 무인 이동체를 활용한 이상발생 개소 측위 목적으로는 정확도가 부족하며, 대형 구조물 (교량, 터널 등) 아래에서는 사용되지 못한다는 단점이 있음



<그림 2-3-58> RTK-GPS 기반의 위치 측위 기술

출처: Akula et al. (2011)

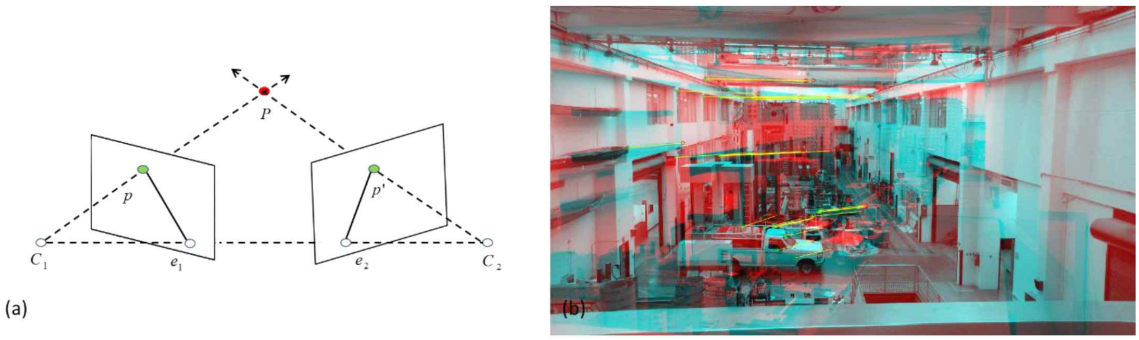
(마) 이미지/영상 기반 위치 측위

○ 카메라로 촬영된 이미지 또는 영상에서 특정 이상발생 개소의 위치를 찾는 기술

○ 이상 발생 개소 위체에 추가 장비 및 도구의 설치 필요 없이, 이상 발생 개소를 찾는데 사용된 이미지/영상 정보를 활용하여 원격으로 위치 측위 가능

○ 추가 장비 및 도구의 설치 필요 없이 이상 발생 개소를 찾는데 사용된 이미지/영상 정보를 활용함

○ 최근 이미지 기반의 위치 측위 기술로는 Simultaneous Localization And Mapping (SLAM), Structure from Motion (SfM), 이미지 정합 (Image Registeration) 등의 기술들이 많이 사용되고 있으며 아래에 더 상세히 설명함



<그림 2-3-59> 스마트폰과 영상 기반 위치 측위

출처: Ham and Yoon (2018)

(2) 무인이동체를 활용한 이미지/영상 기반 이상발생 개소 위치 측위를 위해 사용 될 수 있는 기술의 분석

(가) 슬램(SLAM, Simultaneous Localization And Mapping)

○ SLAM은 로보틱스와 항법시스템에 많이 적용되는 기술로, 미지의 공간에 대해 지도를 생성하는 동시에 위치를 추적하는 기술로, particle filter, extended Kalman filter, 그리고 GraphSLAM 등이 사용됨 (Khairuddin et al., 2015)

○ 자율주행차, 무인항공기, 무인잠수함 등 최근 많이 사용되어지는 상용 로봇 뿐만 아니라 인간을 대상으로도 SLAM 기술이 활용 되어지고 있음

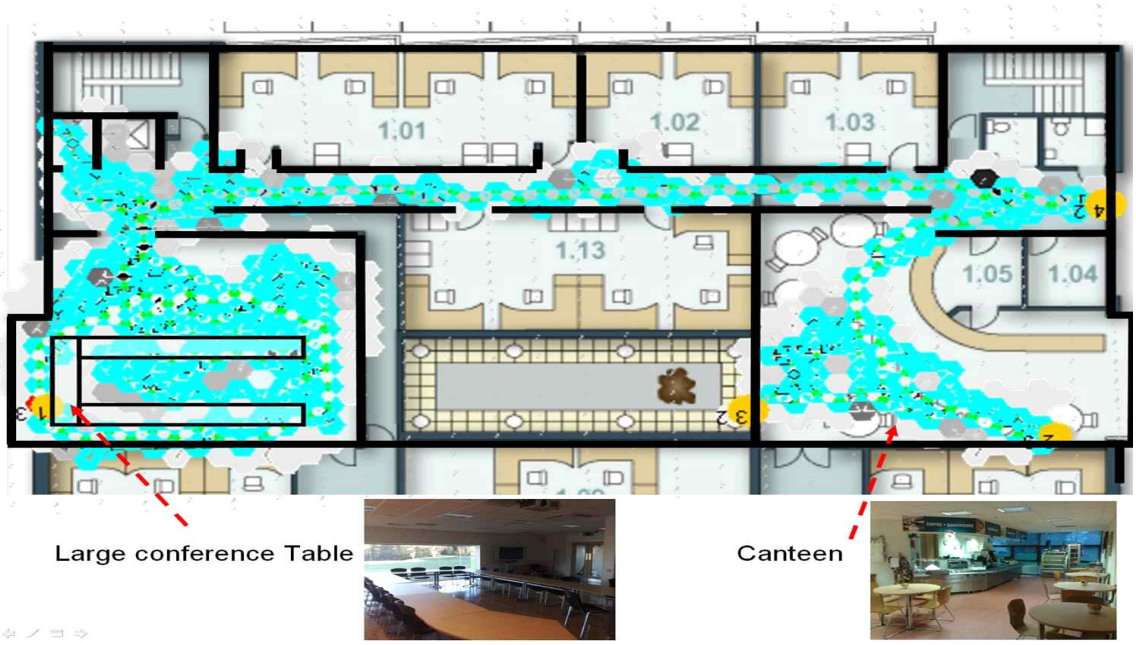
○ 최근 Computer Vision 기술과 인공지능 기술의 발달로 SLAM의 정확도가 향상되어 다양한 분야에 적용되고 있음

❍ 무인이동체가 구조물 주변을 촬영하면서, 무인이동체에 부착된 IMU센서와 영상정보를 활용하여 구조물 주변의 지도를 작성

❍ 이상발생 개소를 발견 시, 무인이동체의 위치 뿐만 아니라 이상발생 개소를 작성한 지도 위에 위치 표시 가능

❍ 무인이동체에 별도의 IMU 센서 설치가 필요 하며 위치측위를 위해 Mapping이 선행되어야 함

❍ Mapping (탐색)이 되어지지 않은 부분에 대한 위치 표시 불가



<그림 2-3-60> SLAM을 활용한 실내 위치 인식 및 매핑

출처: Robertson et. al. (2009)

(나) SfM (Structure from Motion)

❍ SfM은 이미지 처리 기술로, 여러 위치에서 촬영된 2D 이미지로부터 대상물의 3D모델을 만드는 기술임 (Schonberger and Frahm, 2016)

❍ 여러 위치에서 촬영된 2D 이미지로부터, DoG (Difference of Gaussians)를 사용한 SIFT (Scale-invariant feature transform), Hessian matrix를 사용한 SURF (Speeded Up Robust Features) 등의 특징점 추출 알고리즘을 이용하여 공통 특징점 추출

❍ 각 이미지에서 추출된 특징점들을 Lucas-Kanade tracker 또는 여러 template matching 알고리즘을 통해 매칭시켜 줌

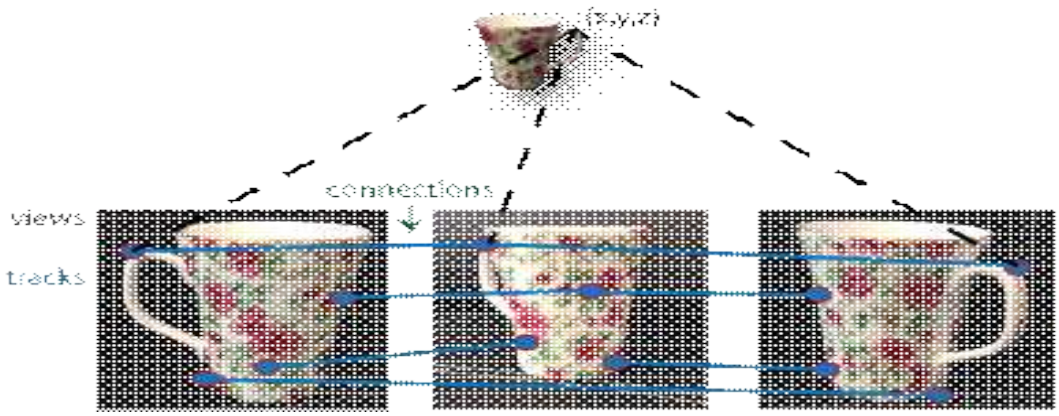
○ RANSAC (Random Sample Consensus) 등의 outlier detection 기법과 최적화 기법인 BA (Bundle Adjustment) 기술을 통해 정확도를 향상시킴.

○ SfM 기술을 활용하여 해당 구조물의 3D 포인트 클라우드 모델을 생성, 이상발생 개소가 발견된 이미지/영상이 촬영된 부분을 생성된 3D 포인트 클라우드 모델에 표시 가능

○ 최적화기법이 사용되는 Bundle Adjustmnet (BA)을 통하여 이상발생 개소가 발견된 특정 이미지/영상의 최적화된 위치를 선정 가능

○ 위치측위가 필요한 이상발생 개소가 생길 때마다, 매번 최적화 기법 (Bundle Adjustment)을 실행하여야 함

○ 기존에 도면 또는 3D모델이 이미 존재 할 경우, 불필요한 계산 과정의 반복을 통하여 산정 시간이 길어짐



<그림 2-3-61> SfM 기술을 화용한 3D 모델 구축

출처: MathWorks (2017)

(다) GPS 또는 PDR과 결합하여 Multiple View Geometry를 이용한 원거리 측위 기술

○ 이미지 기법을 단독으로 사용하지 않고, GPS와 이미지의 삼각기법을 함께 활용한 원거리 측위 기술 (Manweiler et al., 2012)이 개발 되어짐

○ Pedestrian Dead Reckoning (PDR)과 이미지 정보를 함께 활용한 위치 측위 기술 (Ham and Yoon, 2018) 또한 개발 되어짐

○ 두 기술 모두 이상개소 위치에 직접 무인이동체가 접근하지 않고 원거리에서 위치 측위가 가능함

○ SLAM 또는 Structure from Motion기법에 비하여 계산 과정이 짧으나, GPS 또는

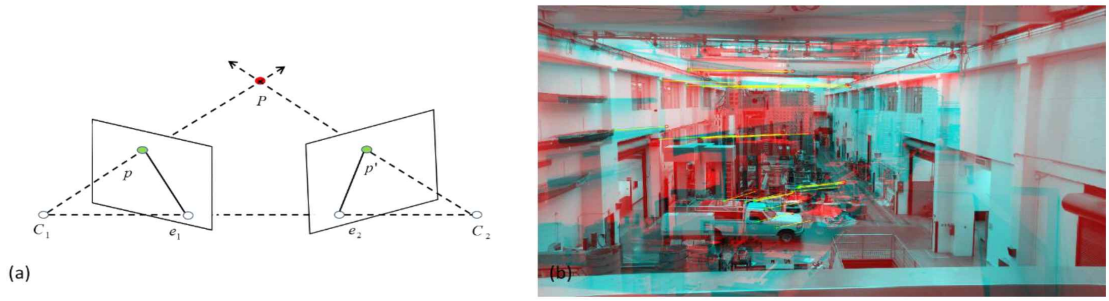
PDR의 정확도가 이상개소 위치 측위의 정확도를 크게 좌우함

❍ 상용화된 GPS 또는 PDR 기술의 정확도는 이상개소 위치 측위를 목적으로 적합하지 않음



<그림 2-3-62> GPS신호를 받은 두 지점을 통해 대상물의 위치를 원격 측정하는 방법

출처: Manweiler et al., (2012)



<그림 2-3-63> 스마트폰 PDR과 영상 기반 위치 측위 기술을 활용한 원격 위치 측위 방법

출처: Ham and Yoon (2018)

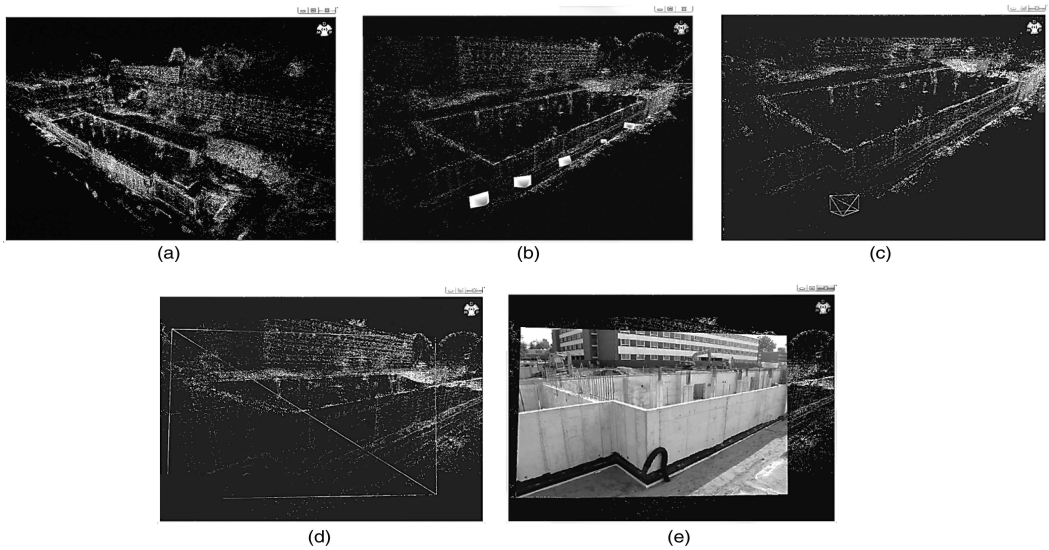
(라) 이미지 정합(Image Registeration)

❍ 이미지 정합은 SfM에 사용되어지는 기술로, 동일한 대상물을 포함하고 있는 2개 이상의 이미지를 비교하여, 하나의 이미지에 나타나게 하는 기술

❍ 정합된 구조물의 전체 이미지와 이상발생 개소가 발견된 구조물 특정 부분의 이미지를 비교하여 정합된 이미지에 이상발생 개소를 표시 가능

❍ 구조물의 2D 도면 혹은 SfM을 통해 얻은 3D모델을 한 번만 생성한 뒤, 이상발생 개소가 확인된 구조물의 특정 부분이 포함된 이미지를 3D모델에 정합 가능

❍ (나)에서 Bundle Adjustment의 불필요한 반복계산을 제거하여 상대적으로 짧은 시간에 위치 인식, 정확한 위치에 이상개소 표시 가능



<그림 2-3-64> 3D Point Cloud 모델에서, 촬영된 특정 이미지를 정합한 예시

출처: Golparvar-Fard et. al. (2015)

(3) 무인 이동체를 활용한 이상발생 개소 위치 측위에 적용 시 각 기술의 장단점

<표 2-3-7> 이상발생 개소 위치 측위에 적용 시 각 기술의 장단점

위치측위 기술	장단점
슬램을 이용한 위치 인식	- 무인이동체에 별도의 센서 설치 필요 - 위치측위를 위해 Mapping이 선행되어야 함 - Mapping (탐색)이 되어지지 않은 부분에 대한 위치 표시 불가
SfM을 활용한 위치 인식	- 최적화기법이 사용되는 Bundle Adjustmnet (BA)을 통하여 이상발생 개소가 발견된 특정 이미지/영상의 최적화된 위치를 선정 가능 - 위치측위가 필요한 이상발생 개소가 생길 때마다, 매번 최적화 기법 (Bundle Adjustment)을 실행하여야 함 - 기존에 도면 또는 3D모델이 이미 존재 할 경우, 불필요한 계산 과정의 반복을 통하여 산정 시간이 길어짐
이미지 정합을 활용한 위치 인식	- 구조물의 2D 도면 혹은 SfM을 통해 얻은 3D모델을 한 번만 생성한 뒤, 이상발생 개소가 확인된 구조물의 특정 부분이 포함된 이미지를 3D모델에 정합 가능 - (나)에서 Bundle Adjustment의 불필요한 반복계산을 제거하여 상대적으로 짧은 시간에 위치 인식, 표시 가능

라. 철도시설물별 열화모델

○ 유지보수를 위한 철도시설물은 기능별로 크게 아래와 같이 나뉠 수 있음

- Overhead Lines & Insulator 와 같은 송전 장치
- Signal Equipments 등 신호처리기기 및 전자 장비
- Ballast and Rail 등 궤도와 관련한 토목 설비
- Railway Systems 와 같이 전체 시스템의 통합 모델

○ 철도시설물의 열화모델과 관련한 주요 연구사례는 다음장에 기능별로 정리하였음

○ 기존의 연구에서는 각각의 시설물에 대한 열화모델 또는 유지보수를 위한 기본 모델 등을 기안하는 것에 맞추진 반면, 최근의 연구는 철도시설물의 전체적인 유지보수 시스템을 구축하는 것을 주된 목표로 하고 있음

○ 기존의 연구 성과를 활용시, 유지보수를 위한 통합된 플랫폼으로서의 기능을 수행이 가능하며, 전체 시스템의 유지보수 비용을 최적화할 수 있는 장점이 있음. 데이터를 처리할 수 있는 하드웨어/소프트웨어의 성능향상으로 인해 향후 이러한 시스템이 적극 도입될 것으로 판단됨

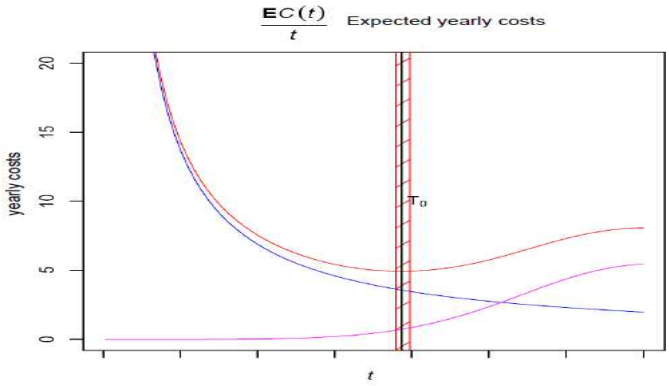
○ 반면, 기존의 연구에서 열화모델은 주로 Weibull 분포, 지수 분포 등으로 모델링하였으나 실질적으로 확률 분포의 계수를 추출하는 방안에 대해서는 연구의 내용에 포함되지 않음. 따라서, 사용된 열화모델이 실제 현상을 반영하는 것으로 판단하기 어려움

○ 계측 데이터를 활용하여 열화모델을 작성하는 것에 대한 연구는 미진한 실정임. 교량의 경우 (주로 도로교 대상), 상시 점검 및 안전도 평가를 통해 종합적인 상태를 표현하는 것이 널리 사용되고 있고, 이와 같은 정보를 활용하여 열화모델이 구축된 바 있음

○ 향후의 연구에서는 Reliability Centered Maintenance (RCM) 기법 또는 시설물 안전도 평가 기준 등에 따라 철도시설물의 상태를 정량적으로 표현하고, 이를 바탕으로 한 열화모델을 개발할 필요가 있음

(1) Overhead Lines & Insulator

○ Antoni & Meier-Hirmer (2008)는 Weibull 분포를 이용하여 전차선로의 열화현상을 모델링하는 연구를 수행. 개발된 열화 모델은 유지보수 비용을 산정하는데 활용하고 열차선로의 교체 주기를 최적화하는 방안을 제시하였음 [1]



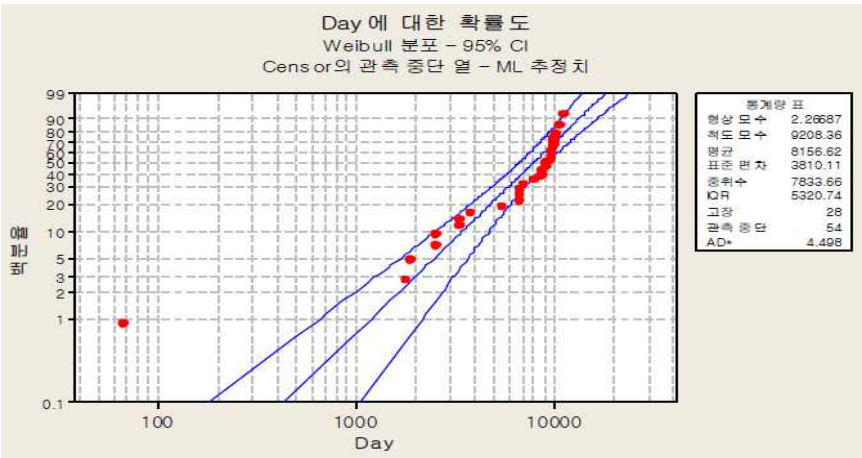
<그림 2-3-65> 유지보수비용, 교체비용, 비용 총계와 최적화 교체 시기

❍ 허재행 등(2012)은 송전계통의 열화모델을 고려하여 RCM 기법에 의한 최적 유지보수 계획 수립하였음, 대상 기기를 선로, 애자, 철탑으로 분류하여 각각에 대한 상태판정 후 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 유지보수 비용의 최소화하는 연구를 수행하였음 [2]

(2) Signal Equipments

❍ Antoni (2009)는 신호처리기 등과 같은 철도시설물의 기계 전자장비에 대한 생애 주기비용 산정을 위해 열화 모델 개발하였음. Weibull 분포를 이용하여 시나리오에 따른 생애 주기비용을 분석할 수 있음을 제시하였음 [3]

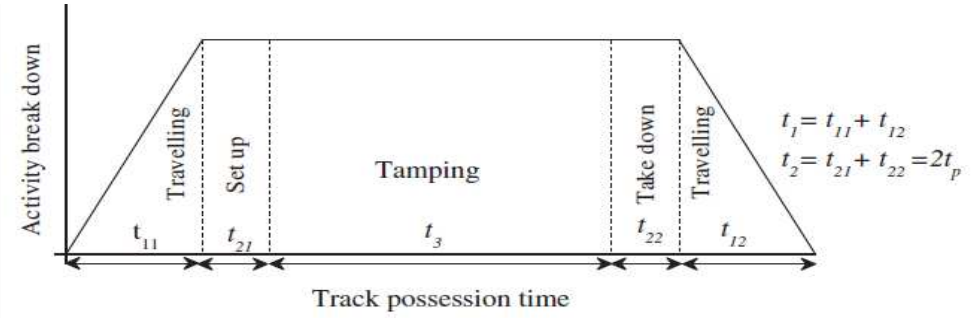
❍ 문효선, 최규형(2013)은 Reliability Centered Maintenance (RCM)이라는 정비최적화 기법을 도입하여 신호장치의 유지보수 방안에 대한 연구를 수행하였음. 고장 데이터 추적을 위해 Weibull 확률분포 이용하고, 평균 수명을 추정하였음 [4]



<그림 2-3-66> 95% 신뢰구과 고장 데이터의 분포

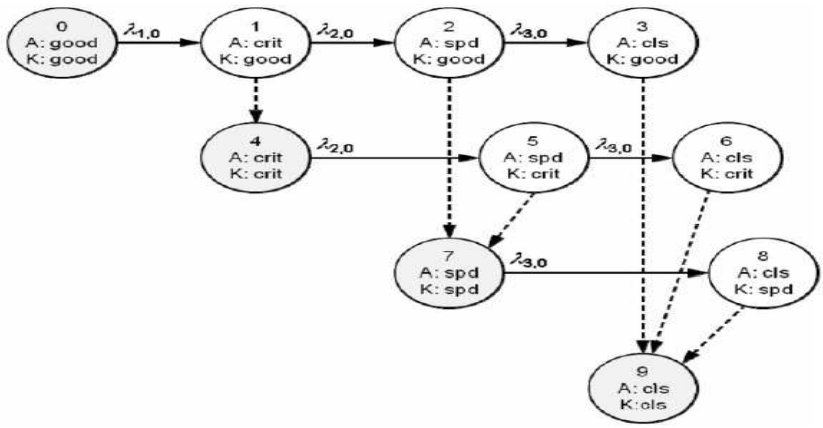
(3) Ballast and Rail

❍ Famurewa et al. (2015)는 궤도의 비산 및 유출을 방지하고 효과적인 지속능력을 발휘할 수 있도록 다짐(탬핑)을 하는 방안에 대한 연구를 수행하였음. 궤도의 유지보수 비용 최소화를 위한 운영 모델을 제시하였음 [5]



<그림 2-3-67> 다짐을 고려한 궤도의 지속 시간

❍ Prescott & Andrews (2015)은 궤도의 유지보수에 미치는 불확실성을 고려하기 위하여 Markov Chain을 이용한 최적화 기법 제시하였음. 궤도의 상태를 4가지로 구분하여 각 상태의 변이에 해당하는 요소들을 확률변수로 표현하고 이를 바탕으로 열화 모델 구축하였음 [6]



<그림 2-3-68> Markov Chain 에 의한 상태 변이 과정

❍ Caetano & Teixeira (2016)는 불확실성을 고려한 궤도의 열화모델을 개발하고 두 가지 목표(선형으로 모델링한 상태 예측의 오차와 유지보수 비용)를 최적화하기 위한 Multi-Objective 최적화 기법에 관한 연구를 수행하였음. Genetic Algorithm을 이용하여 Pareto Optimal 최적화를 도출하였음 [7]

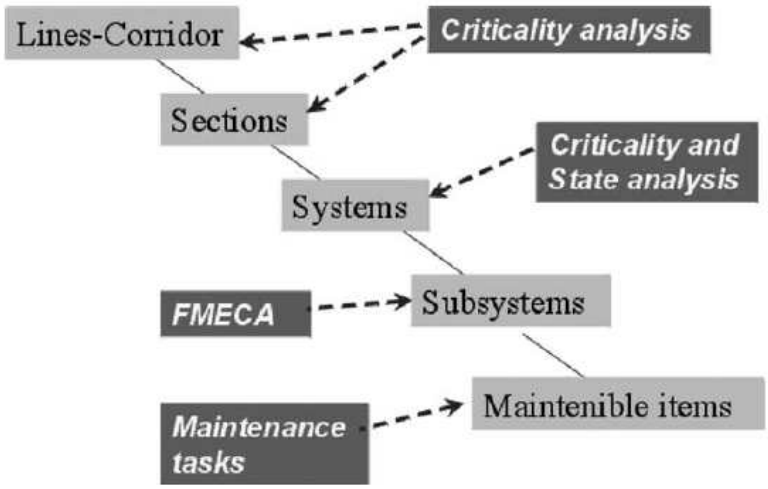


<그림 2-3-69> Genetic Algorithm에 기반한 유지보수 기간에 따른 POS

❍ Andrews (2012)는 궤도의 상태를 평가하고 자갈 등의 교체, 다짐 주기를 산정하기 위해서 Petri net 을 도입하였음. 불확실성을 고려하기 위하여 Monte Carlo Sampling 을 활용하였음 [8]

(4) Railway System

❍ Carretero (2003)는 철도 시설물의 유지보수 시스템 구축을 위하여 RCM 기법을 도입하는 방안에 대한 연구를 수행하였음. 효율적인 철도 시설물 네트워크를 구축하는 장점이 있는 방면, 막대한 정보를 처리해야하는 점, 대상 구조물을 설정하는 방법 등에 관한 문제점 도출하였음 [9]



<그림 2-3-70> 철도 시설물의 구성

❍ Jovanovic (2006)는 종합적인 철도시설물 유지보수를 수행하기 위해 순환고리에 기반한 모니터링 기법을 고안하였음. 철도시설물을 아래의 표와 같이 세부적으로 구성하고, 각각의 시설/구조물로부터 센서 데이터를 바탕으로 한 유지보수의 자동화 방안 제시하였음 [10]

마. 손상에 의한 구조물 피해 영향분석 기술

(1) 진단 데이터를 활용한 구조물 영향 평가 기술

(가) 국외 기술동향

<표 2-3-8> 국외 기술 목록

국가	개발년도	연구기관	기술명	특징
미국	2016	TTCI	Strategic Research Initiatives Program(SRI)	'Full-scale Track Component Evaluation at FAST and in Revenue Service','Rolling Contact Fatigue(RCF)'등 선로의 상태평가
	2011	미교통국 (UDDOT)	Nondestructive Evaluation(NDE) 웹 매뉴얼	Long-Term Bridge Performance(LTBP) 프로그램
영국	2016	Railsystems engineering ltd	The Potential for Using Big Data Analytics to Predict Safety Risks by Analysing Rail Accidents	철도의 실시간 위험도 평가
	2018	NetworkRail	Risk management	리스크기반 철도 상태 평가
유럽	2017	이탈리아 제노바대학	Big data framework for rail inspection	잔존수명을 예측함으로써 철도의 axle bearing의 상태를 평가
	2017	네덜란드 델프트공대	A Big Data Analysis Approach for Rail Failure Risk Assessment	squat(선로에 생긴 흠집)의 심각성 및 성장량 평가를 기반으로 현재 선로의 파괴 가능성을 추정
	2017	프랑스 국유철도 (SNCF)	Cloud기반 Watson IoT 플랫폼	예방적 유지보수를 시행함으로써 유지보수비용을 1/10로 절감
	2018	유럽철도국(ERA)	Big Data기반 준사고 보고시스템	수집데이터의 범위를 확장·활용하기 위한 준사고 보고시스템을 연구중(현재 데이터 표준화 추진 중)
중국	2016	상하이 자오퉁 공과대학	Railroad Track Deterioration Characteristics Based Track Measurement Data Mining	실시간으로 선로 손상 진단 및 상태예측을 통해 예방적 유지보수를 실시

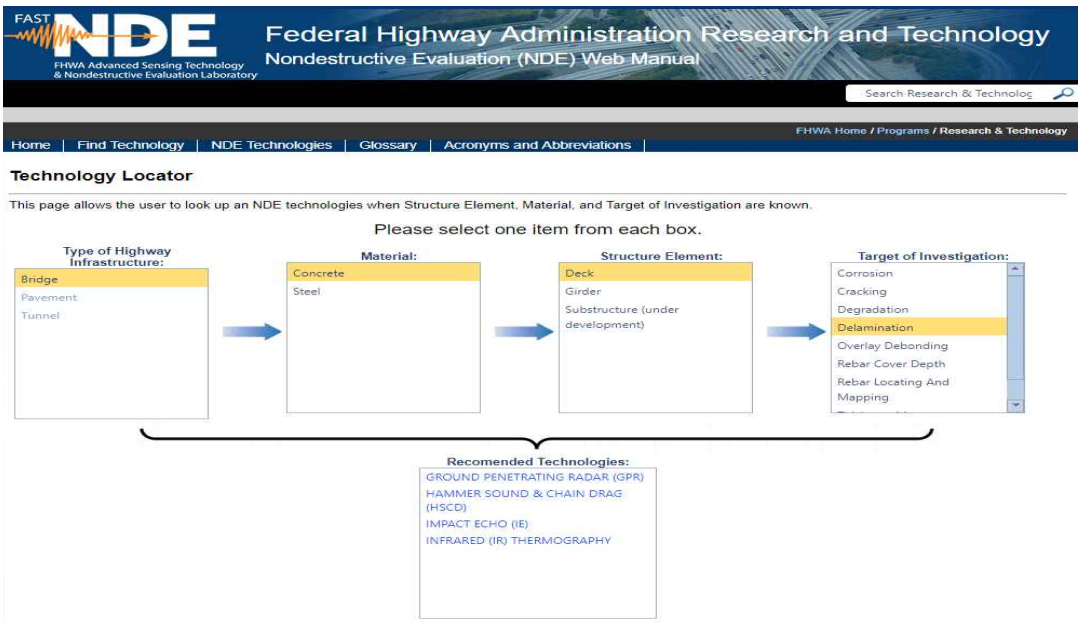
① 미국

○ (기술사례 1) 미국철도협회(Association of American Railroads, AAR)의 산하기관인 교통기술센터(TTCI, Transportation Technology Center, Inc.)는 미국의 철도기술발전을 위해 수립된 전략적 연구계획 프로그램(SRI, Strategic Research Initiatives)을 통해서 미국 전체 트랙의 구성요소 평가(Full-scale Track Component Evaluation)을 목표로 하여 구름접촉 피로(RCF, Rolling Contact Fatigue) 평가기술 등과 같은 철도 시설물의 상태평가 기술들을 개발 및 적용하고 있음

○ (기술사례 2) 미국 교통국(UDDOT)에서는 교량의 장기성능 프로그램(LTBP, Long-Term Bridge Performance)의 일환으로 비파괴 평가(NDE, Nondestructive Evaluation) 시스템을 개발하여 교량의 유지관리 평가 실무자가 시설물의 손상, 자재

및 교량 구성정보, 성능 특징, 실험 모범 사례 등의 빅데이터를 웹기반 시스템을 통해 수집 및 제공함으로써 연구자 및 엔지니어가 시설물의 상태평가 기술을 개발할 수 있는 기반을 제공하고 있음

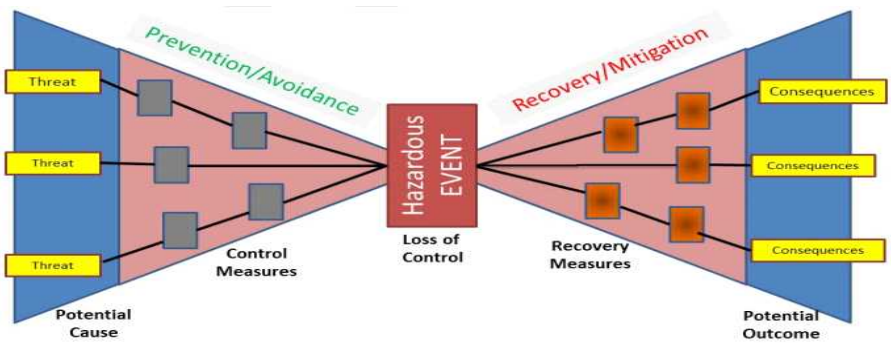
○ 비파괴 평가(NDE, Nondestructive Evaluation): 재료나 제품을 물리적 현상을 이용한 특수방법으로 검사 대상물을 파괴, 분리 또는 손상을 입히지 않고 결함의 유무와 상태 또는 그것의 성질, 상태, 내부구조 등을 알아내는 검사



<그림 2-3-71> NDE 웹기반 시스템의 정보제공 프로세스

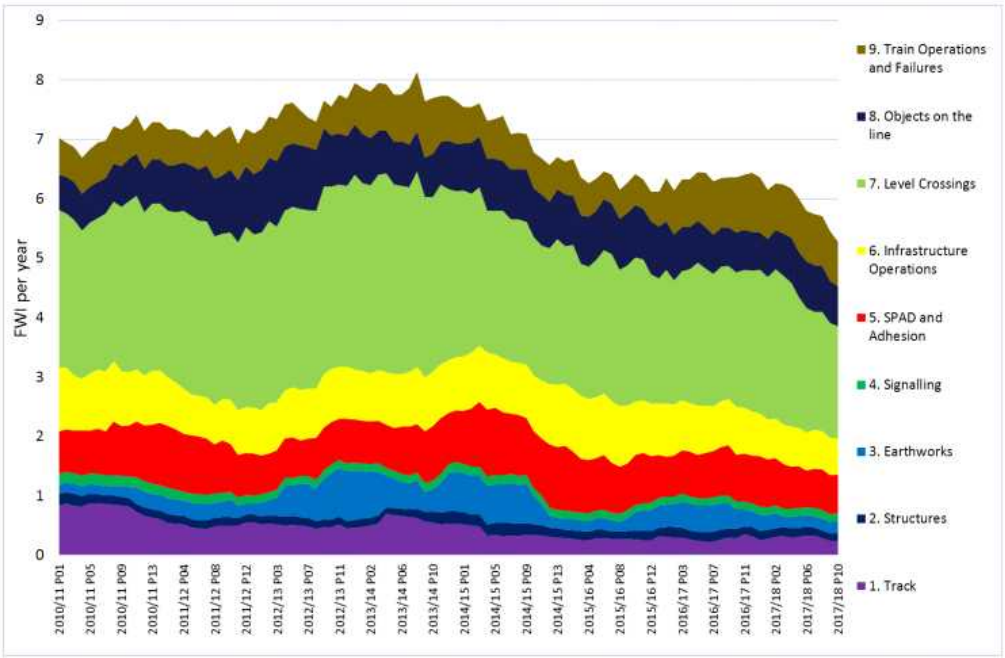
② 영국

○ (기술사례 1) 영국의 Railsystems Engineering사는 기업 데이터 분류학(EDT, Enterprise Data Taxonomy)를 통해 철도사고와 원인을 규명하여 사고 메커니즘을 분석하고, 이를 기반으로 빅데이터 분석기법과 안전리스크 평가기법인 Enhanced ELBowTie를 활용하여 철도의 실시간 위험도 평가기술을 개발함



<그림 2-3-72> Bow-Tie 개념도

❍ (기술사례 2) 영국 런던의 NetworkRail은 철도의 사고를 미연에 방지하기 위해 Technical and Engineering (STE) Horizon Scanning그룹의 협력을 바탕으로 BowTie 리스크평가(Risk Assessment) 툴을 통해 리스크를 분석하고, Horizon Scanning 과정을 통해 철도 혹은 관리 조직에 영향을 미치는 리스크들을 선별 및 분석하며, 철도안전표준위원회(RSSB, Rail Safety and Standards Board)로부터 개발된 선도 표식 모델(PIM, Precursor Indicator Model)을 통해 철도사고 리스크의 정량화 수준을 주기적으로 정의함으로써 철도사고 리스크를 평가하고 관리하여 리스크기반 철도 상태 평가를 실시하고 있음



<그림 2-3-73> 선도 표식 모델(PIM, Precursor Indicator Model) 결과물 예시

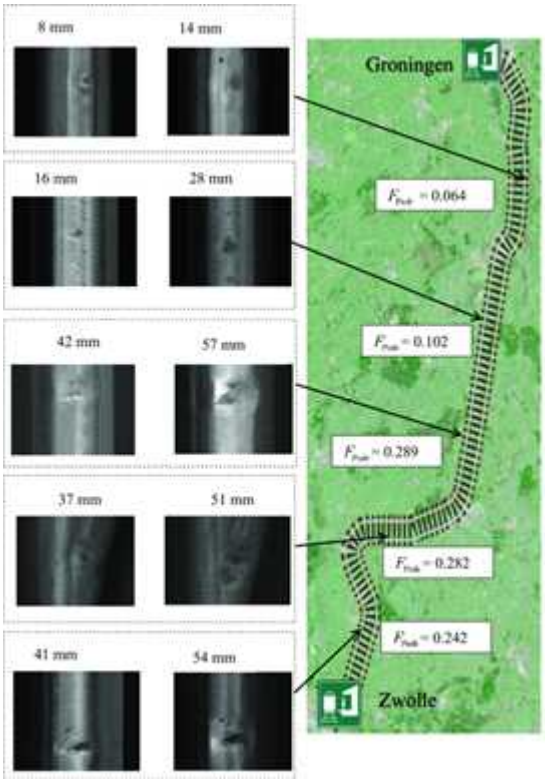
③ 유럽

❍ (기술사례 1) 이탈리아 제노바대학의 DIBRIS연구진은 스트리밍 데이터 분석(SDA, Streaming Data Analysis) 기술과 상태기반 유지관리(CBM, Condition Based Maintenance)기술을 철도산업에 특화 적용하여 대용량 센서 데이터의 분석 및 모델링을 통해 잔존수명을 예측함으로써 철도차량의 축 베어링(axle bearing)의 상태를 평가하는 기술을 개발함.

❍ 스트리밍 데이터(SDA, Streaming Data): 수천 개의 데이터 소스에서 연속적으로 생성되는 데이터

❍ 상태기반 유지관리(CBM, Condition Based Maintenance): 차량 및 부품의 상태에 따라 유지보수를 시행하는 기법

❍ (기술사례 2) 네덜란드 델프트공대의 철도공학과 연구진은 영상 기반으로 모니터링 된 스콧(squat) 관련 빅데이터를 분석하여 손상의 심각성 및 성장량을 평가하고, 현 시점에서 선로의 파괴 위험도를 평가하는 기술을 개발함 (스콧(squat): 철도 선로에 생긴 흠집)



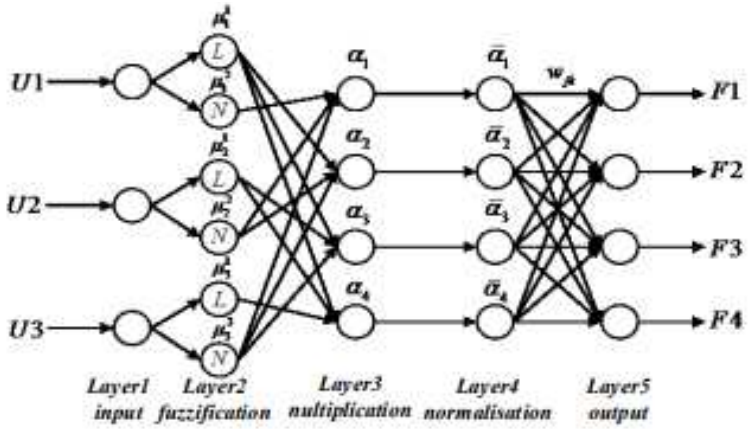
<그림 2-3-74> 5개 Squat에 대한 파괴 위험도 결과물 예시

❍ (기술사례 3) 프랑스 국유철도(SNCF)는 IBM의 클라우드 기반 Watson IoT 플랫폼 기술을 활용하여 15,000대의 기차와 3000개의 역에 설치된 센서를 통해 수집된 빅데이터를 바탕으로 철도 차량 및 선로의 상태를 모니터링 및 평가함으로써 예방적 유지보수를 시행함으로써 유지보수비용을 1/10로 절감하였음

❍ (기술사례 4) 유럽철도국(ERA)는 사고 통계 데이터 수집 체계를 구축하였으며, 예방적 안전관리 강화와 수집데이터의 범위를 확장 및 활용하기 위해서 2018년까지 데이터 표준화를 목표로 빅데이터기반 준사고 보고 시스템을 개발 중이며, Capacity4Rail 프로젝트를 통해 빅데이터를 활용한 시설물의 유지보수, 실시간 손상 모니터링, 사고복구 등의 기술을 개발 중임

④ 중국

○ (기술사례 1) 중국 상하이 자오퉁 공과대학 연구진은 퍼지신경망 기법(FNN, Fuzzy neural network)을 활용하여 선로의 손상을 진단하고 향후 상태를 예측할 수 있는 모델을 개발하여 실시간으로 선로 손상 진단 및 상태예측을 통해 예방적 유지보수를 실시할 수 있는 기반 기술을 개발함



<그림 2-3-75> Mamdani FNN model

○ (국외 기술동향 시사점) 해외의 기술동향을 분석한 결과, 미국, 영국, 유럽에서는 센싱을 기반으로 측정된 정형데이터 뿐만 아니라, 손상관련 영상이나 텍스트와 같은 비정형 빅데이터를 활용하여 철도시설물의 상태를 진단하고 평가하는 인공지능 및 기계학습(Machine Learning) 기반 기술들을 활발하게 개발하고 있으며, 특히 중국과 같은 IT 후발 국가에서도 철도산업 추진방향 7대 핵심키워드로써 철도안전 혁신이 포함하는 등 철도 시설물 유지관리 기술의 개발을 위해 적극적으로 투자 중임

<표 2-3-9> 국내 기술 목록

대상시설	개발년도	연구기관	기술명	특징
철도	2010	서울도시철도공사	터널 모니터링 시스템	영업시간 종료 후 디젤 모터카를 타고 육안 및 도보 순회 점검으로 구조물의 상태를 평가
기타 SOC	2013	한국표준과학연구원	교량구조물의 결함 및 노화도 평가 기술	콘크리트 구조물의 노화도 평가 및 손상이 내재한 교량부재의 거동평가
	2013	고려대학교	교량 유지관리 전략 수립을 위한 성능예측모델 개발 및 업데이트에 관한 연구	교량의 성능을 예측하는 기술

(나) 국내 기술동향

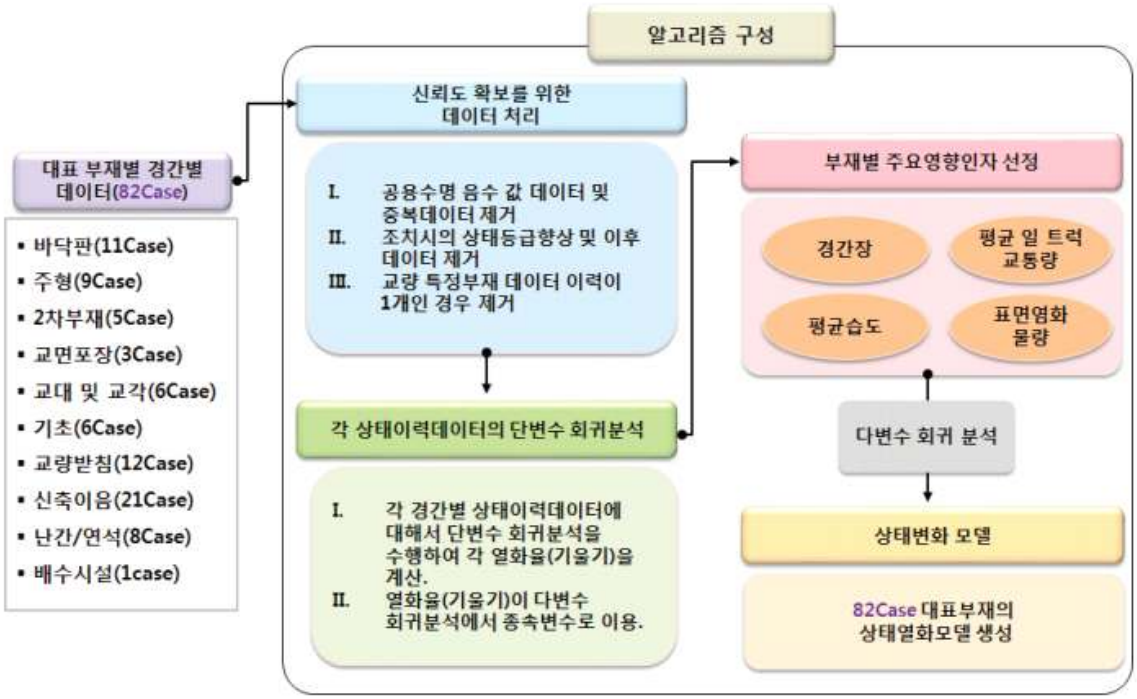
① 철도 분야

○ (기술현황 1) 서울도시철도공사에서는 터널 모니터링 시스템을 개발하여 철도운행 시간 종료 후, 육안 및 도보 순회 점검을 통해 구조물의 상태를 평가하고 있으나, 유지보수 작업에 투입할 수 있는 인원과 작업 가능시간에 제약이 있으며, 작업시간과 작업장소에 따라서 구조물 손상상태의 식별이 불분명한 경우가 많은 것으로 보고되고 있음

② 기타 SOC 분야

○ (기술사례 1) 한국표준과학연구원에서는 음향방출시험법을 이용하여 콘크리트 구조물의 노화도 평가 및 손상이 내재한 교량부재의 거동평가를 통해 교량구조물의 결함 및 노화도를 평가하는 기술을 개발하여 교량의 종합적인 안전진단을 위한 새로운 기반 기술을 확보함

○ (기술사례 2) 고려대학교에서는 생애주기 정보기반 국도교량의 상태이력 데이터를 바탕으로 성능예측모델을 개발 및 구축하여 교량형식별 부재별 성능예측을 제공하고 신규로 수행된 교량 점검결과를 이용한 지속적인 업데이트를 통한 성능예측모델의 기능개선을 바탕으로 현 교량의 성능을 예측하는 기술을 개발함



<그림 2-3-76> 부재별 성능예측모델 개발 절차

○ (국내 기술동향 시사점) 국내의 기술동향을 분석한 결과, 타 SOC분야에서는 시설물

의 손상 및 점검이력과 관련된 정보를 ICT기반으로 수집하고 있고, 이를 통해 구축된 빅데이터를 활용하여 시설물의 성능을 평가하는 방안을 다양하게 검토 및 개발하고 있지만, 철도분야에서는 손상 및 유지보수 데이터를 여전히 작업자의 육안점검을 통해 수집하고 있으며 시설물의 안전성이나 위험도 또한 전문가들을 통해 정성적으로 평가되고 있음

(다) 국내외 기술동향 조사 시사점

○ 국내외 기술동향을 비교 분석한 결과, 해외에서는 철도 시설물의 손상정보를 영상이나 레이져스캐너와 같은 IT 기술을 활용하여 주기적으로 모니터링하고 빅데이터를 구축하고 있으며, 이러한 빅데이터를 데이터마이닝이나 기계학습과 같은 방법론을 활용하여 분석함으로써 철도 시설물에 대한 사고발생확률, 상태 위험도 등을 객관적으로 평가하는 기술을 개발 및 적용 중에 있음

○ 반면에 국내의 경우에는, 시설물 안전관리에 관한 특별법(시특법)에 근거하여 점검자가 시설물을 직접 방문하고 육안점검이나 수동계측장비를 활용하여 손상 관련데이터를 수집하고 있기 때문에 평가결과에 객관성 및 일관성이 떨어지거나 방대한 데이터를 축적하는 것이 어려우며, 수집 및 평가된 데이터도 손상에 관한 구체적인 정보를 포함하지 않는 안전등급 수준의 정보이기 때문에 시설물의 상태를 객관적으로 분석함에 어려움이 있음

항목		해외	국내
분석 정보	정보유형	손상정보	시설물 평가정보
	수집방법	ICT기반센서,	점검자 육안검사
	수집주기	상시, 주기적	등급에 따른 측정주기, 비주기적
	정보형태	영상정보, 3D형상정보, 센싱정보	분류 등급
	정보량	많음(빅데이터)	적음
	정보신뢰도	객관적 상태정보	주관적 평가정보
개발 및 적용 기술	기술내용	손상유형별 위험도 및 안전도 평가 기술	시설물안전관리 특별법에 근거한 평가기준
	방법론	빅데이터분석, 통계	점검자에 의한 정성적 평가 (점검사에 따른 평가기준 상이)
성과	결과유형	손상유형 및 정도별 사고발생확률 손상발생시 시설물별 파괴위험도	5가지 유형(A-E)의 안전상태등급
	기대효과	시설물별 상태의 객관적 진단	유지보수 필요시설물 및 위험시설물 발견

<그림 2-3-77> 국내외 기술동향 시사점

(2) 손상진행 발생패턴 및 예측기술 분석

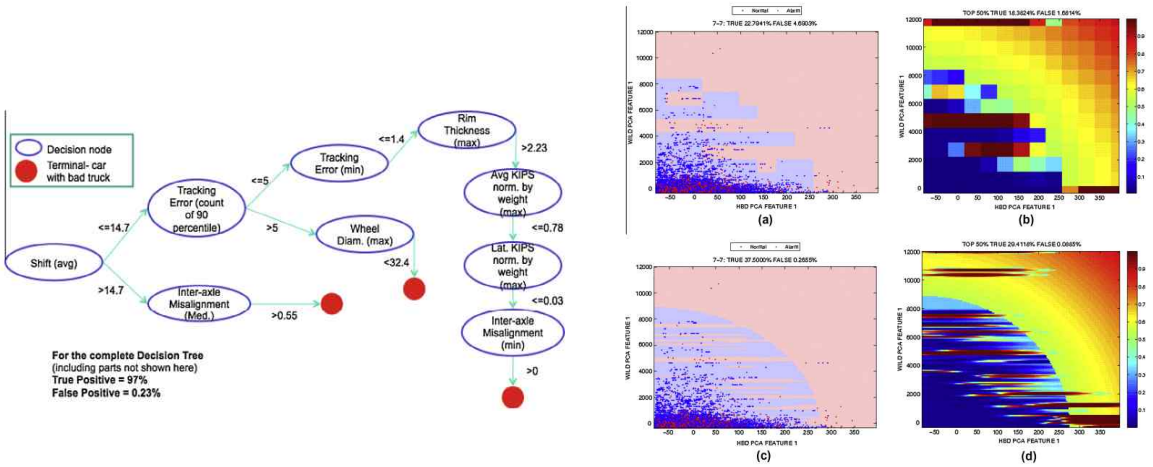
(가) 국외 기술동향

<표 2-3-10> 국외 개발기술 목록

국가	개발년도	연구기관	기술명	특징
미국	2014	뉴욕 IBM Watson	Improving rail network velocity: A 기계학습(기계학습(Machine Learning)) approach to predictive maintenance	철도의 각종 시계열 데이터를 바탕으로 선로 파괴 예측 모델을 구축
	2011	미교통국 (UDDOT)	교량 갑판 상태평가 툴 RABIT™	Long-Term Bridge Performance(LTBP) 프로그램
	2018	Tansporation Research Board(TRB)	New IDEAs for Rail Safety	첨단기술을 활용한 안전성 제고
유럽	2012	포르투갈 리스본대학	A Bayesian model to assess rail track geometry degradation through its life-cycle	선로의 열화모델
	2014	스위스 취리히 교통기획 및 시스템 연구소	Predicting component reliability and level of degradation with complex-valued neural networks	선로의 분기기(turnout)의 열화를 예측하는 모델
	2015	스위스 취리히대학	Fuzzy Classification With Restricted Boltzman Machines and Echo-State Networks for Predicting Potential Railway Door System Failures	철도 개폐문 시스템의 파괴를 예측하는 모델
	2014	프랑스 IFSTTAR/GRETTIA 연구소	Data mining of temporal sequences for the prediction of infrequent failure events : application on floating train data for predictive maintenance	Tilt and traction failure를 예측하는 모델
	2015	벨기에 몽스 공과대학	A data driven degradation-based model for the maintenance of turnouts: a case study	선로전환기기에 특화된 열화모델
	2017	네덜란드 델프트 공과대학	Robust and Predictive Fuzzy Key Performance Indicators for Condition-Based Treatment of Squats in Railway Infrastructures	squat(철도표면에 생긴 흠집)의 손상진행을 예측하는 모델
중국	2017	베이징 자오퉁 대학	A Bayesian network model for prediction of weather-related failures in railway turnout systems	철도의 기상관련인자로 인한 영향을 고려한 선로 분기기(turnout)의 파손을 예측
	2013	베이징 자오퉁 대학	Railroad Track Deterioration Characteristics Based Track Measurement Data Mining	철도의 정확한 열화율을 계산하는 모델을 개발

① 미국

○ (기술사례 1) 뉴욕의 IBM Watson 연구진은 철도의 각종 시계열 데이터(온도, 응력, 열화상, 하중, 날씨, 유지보수이력 데이터 등)를 바탕으로 기계학습(Machine Learning)기술을 활용하여 선로 파괴 예측 모델을 구축하여 선로파괴 발생의 예측알람을 할 수 있는 기술을 개발함으로써 철도사고를 미연에 방지하기 위한 예방적 유지보수를 가능하게 함



<그림 2-3-78> 기계학습(Machine Learning)기법 적용결과물(왼: 의사결정나무, 오: SVM)

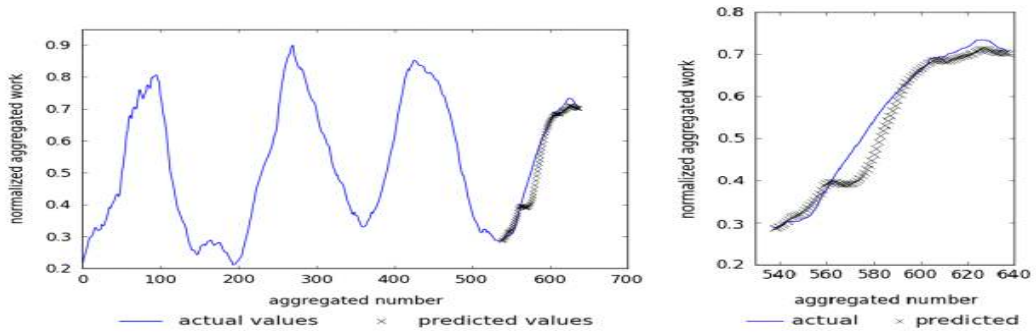
○ (기술사례 2) 미국 Tansporation Research Board(TRB)에서는 New IDEAs for Rail Safety 프로그램의 일환으로 철도 시설물의 손상 탐지 시스템을 개발하였으며, 이를 통해 손상관련 영향인자 도출 및 발생패턴 분석함으로써 손상 예측의 정확도를 향상시키는 기술을 개발 중임

○ (기술사례 3) 미국 교통국(UDDOT)은 교량 갑판의 상태평가 시스템인 RABITTM을 개발하여 시설물의 손상에 관한 고해상도 사진, 전자기, 지진 및 전자 센서 데이터 등의 빅데이터를 수집 중에 있으며, 이를 활용하여 손상상태를 평가하고 예측하는 기술을 개발하여 현재 실무에서 활발하게 활용 중임

② 유럽

○ (기술사례 1) 포르투갈 리스본대학에서 Lisbon-Oporto의 손상모니터링 데이터를 바탕으로 베이지안 기법을 활용하여 선로의 열화모델을 개발하였으며, 열화상태 예측정보를 기반으로 선로의 전 생애주기관리를 관리하는 데이터 분석 기술을 개발함

○ (기술사례 2) 스위스 취리히 교통기획시스템 연구소에서는 기계학습(Machine Learning)기법 중 하나인 다중값 뉴런(multi-valued neurons)기반 다층 피드포워드 신경망 기법(multi-layer feedforward neural networks)를 활용하여 높은 정확도를 갖는 분기기(turnout) 열화예측모델을 개발하여 철도의 예방적 유지보수를 위한 정보를 생성하는 기술을 개발함

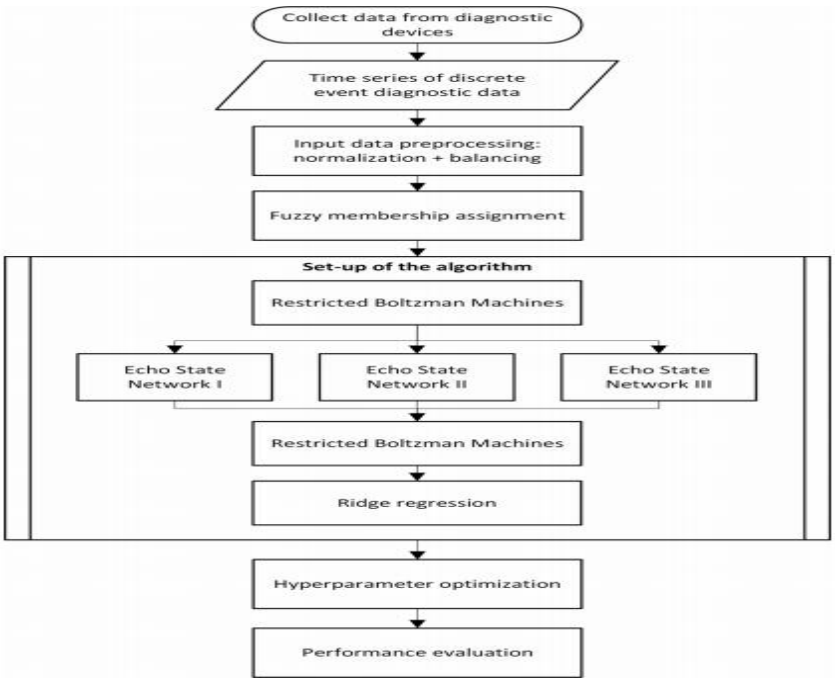


<그림 2-3-79> MLMVN 적용결과

❍ (기술사례 3) 스위스 취리히대학 데이터 분석 연구소는 에코상태 네트워크(ESNs, Echo-State Networks)와 제한 볼츠만 머신(RBM, Restricted Boltzmann Machine)이 적용된 퍼지분류기법(Fuzzy Classification)을 활용하여 철도 개폐문 시스템의 파괴를 예측하는 모델을 개발함으로써 알고리즘의 복합 적용을 통해 높은 예측성능을 발휘하는 결과물을 얻음

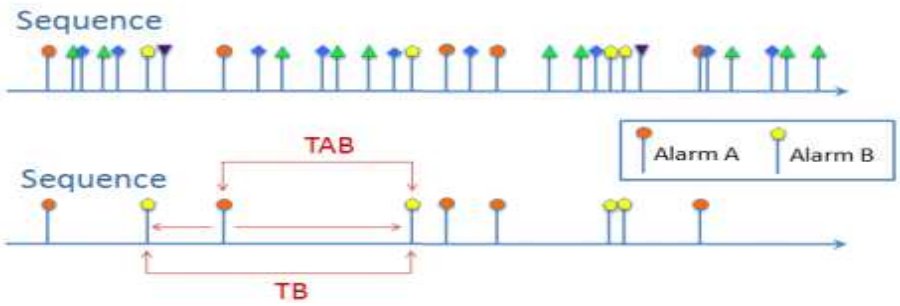
❍ 에코상태 네트워크(ESNs, Echo-State Networks): 신경망의 한 종류로 일반적인 네트워크처럼 입력값을 넣고 backpropagate를 하는 대신, 대신 입력값을 넣은 후에 출력 레이어의 파라미터 값을 조정하면서 출력값이 어떻게 변하는지를 관찰하여 레이어의 뉴런들이 특정한 시계열 패턴들을 생성하는 법을 학습하는 네트워크 방식

❍ 제한 볼츠만 머신(RBM, Restricted Boltzman Machine): 차원 감소, 분류, 선형 회귀 분석, 협업 필터링(collaborative filtering), 특징값 학습(feature learning) 및 주제 모델링(topic modelling)에 사용할 수 있는 알고리즘으로 Geoff Hinton이 제안한 모델



<그림 2-3-80> 에코상태 네트워크(ESNs)와 제한 볼츠만 머신(RBM)의 복합적용 프로세스

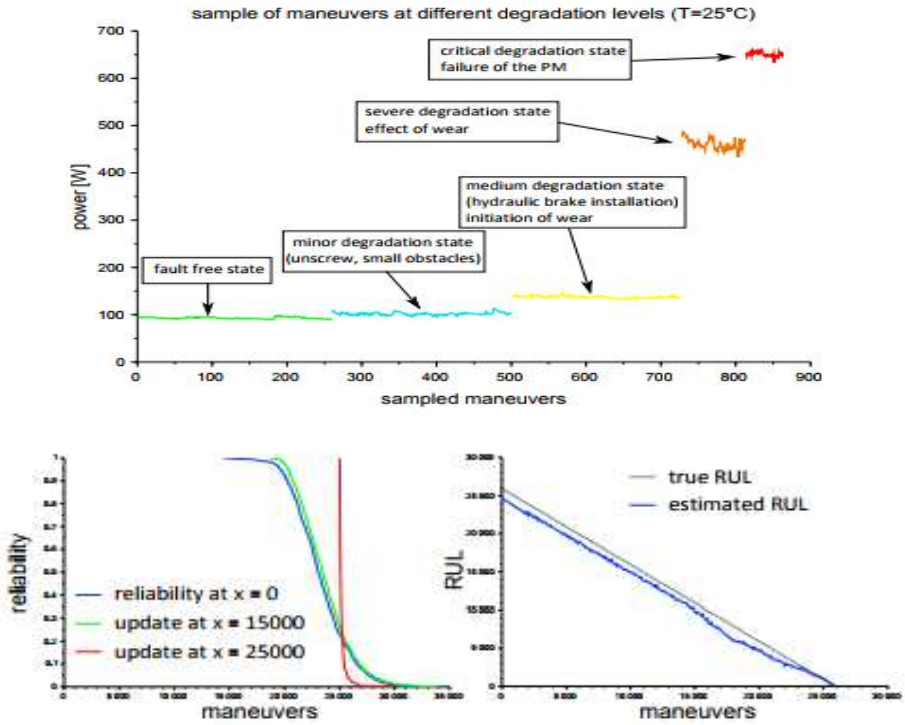
❍ (기술사례 4) 프랑스 IFSTTAR/GRETTIA 연구소는 열차운행데이터를 바탕으로 각종 데이터마이닝 기법(T-Patterns algorithm, Association rule, Classification)을 적용하여 기울기와 견인에 대한 파괴(tilt and traction failure)를 예측하는 모델을 개발함



<그림 2-3-81> T-Patterns 알고리즘

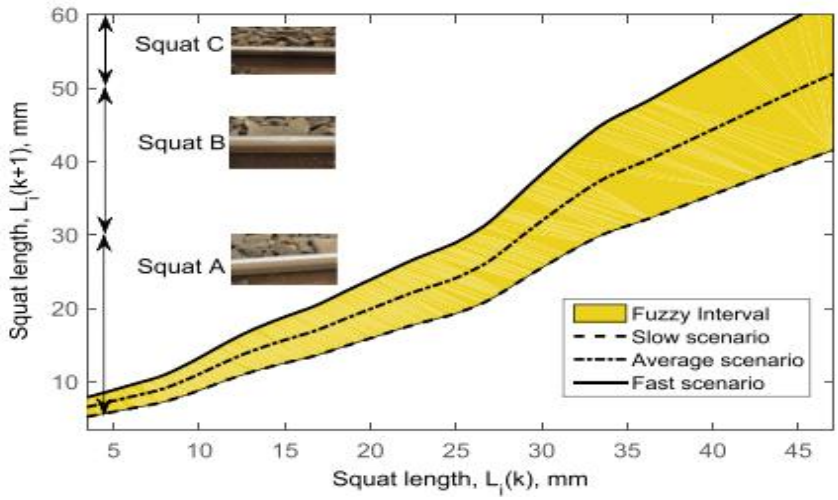
❍ (기술사례 5) 벨기에 몽스 공과대학 연구진은 자동회귀 이동평균(ARMA, Auto Regressive Moving Average)과 같은 시계열 패턴 분석 기법을 활용하여 선로전환기기에 특화된 열화모델을 개발하여 기기의 열화상태, 가용성, 잔존수명 등의 정보 도출을 통해 선로전환기기의 예방적 유지보수를 위한 연구를 진행함

❍ 자동회귀 이동평균(ARMA, Auto Regressive Moving Average)기법: 시계열 데이터의 과거 관측치(previous observation)들이 설명변수인 자동회귀(Auto Regressive)와 과거의 오차항들이 설명변수인 이동평균(Moving Average)을 합친 모델



<그림 2-3-82> 열화모델 적용 결과물 예시

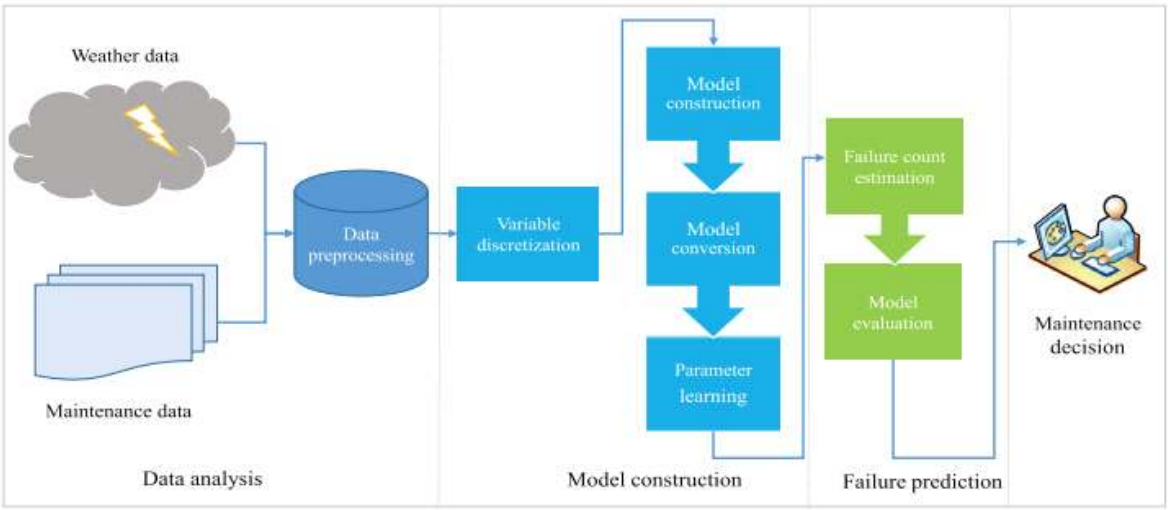
○ (기술사례 6) 네덜란드 델프트 공과대학 연구진은 fuzzy Takagi-Sugeno interval 모델기반 스콧(squat)의 손상진행을 예측하는 모델을 개발하여 선로의 상태기반 유지관리(CBM, Condition Based Maintenance)를 위한 손상예측정보 생성기술의 개발을 진행함 (스콧(squat): 철도 선로에 생긴 흠집)



<그림 2-3-83> squat 손상 진행 Interval 퍼지 모델

③ 중국

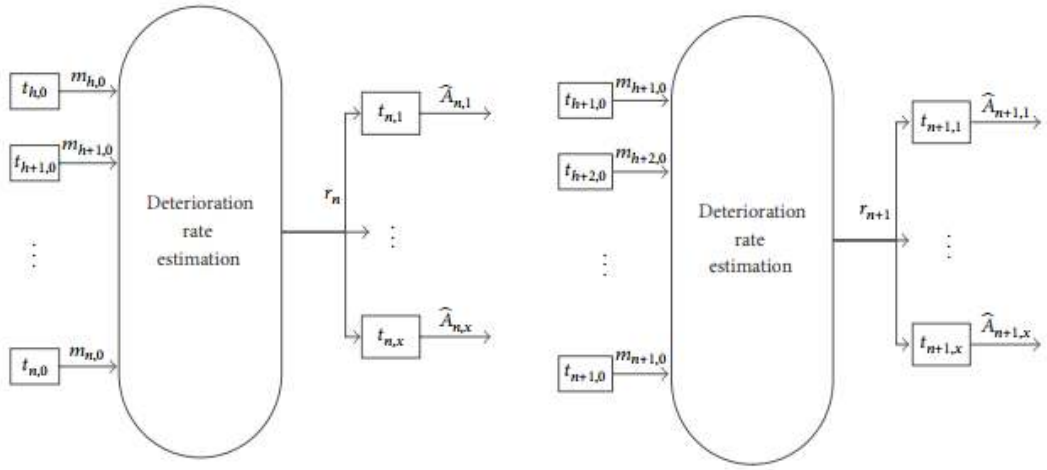
○ (기술사례 1) 중국 베이징 자오퉁 대학은 엔트로피 최소화기법(Entropy Minimization) 및 베이지안 네트워크(Bayesian network)모델을 기반으로 철도의 기상관련인자로 인한 영향을 고려한 예측모델을 개발하여 선로 분기기(turnout)의 파손을 예측하는 연구를 수행함



<그림 2-3-84> 선로분기기(Turnout)파괴 예측모델 프레임

○ (기술사례 2) 중국 베이징 자오퉁대학 연구진은 유지보수 이력데이터들을 바탕으로

궤도측정 데이터마이닝(TMDM, Track Measurement Data Mining) 기술을 개발하여 선로의 열화율을 도출해내어 향후 선로의 상태를 예측할 수 있는 기술을 개발함으로써 철도 선로의 예방적 유지보수를 위한 손상예측정보를 제공할 수 있음



<그림 2-3-85> 시계열 검측데이터로부터 상태예측결과의 도출과정

○ (국외 기술동향 시사점) 해외의 기술동향을 분석한 결과, 유럽을 중심으로 텍스트 및 영상과 같은 다양한 유형의 철도시설 검측 데이터 그리고 시설물의 성능에 영향을 미치는 외부 영향요인 데이터를 활용하여 개별 시설물의 손상이 진행되는 정도를 평가, 예측할 수 있는 기술을 개발하고 있음

(나) 국내 기술동향

<표 2-3-11> 국내 기술 목록

대상시설	개발년도	연구기관	기술명	특징
철도	2017	한국교통연구원	도시철도 역사 운영 효율화 및 상태기반 유지보수 기술 개발	도시철도차량 부품의 상태에 기반한 상태기반 유지보수
기타 SOC	2017	서울대학교	교량유지관리시스템 데이터 및 비정형 안전진단보고서 자동분석을 통한 교량 부재단위의 손상발생패턴 도출 모델 개발	교량 부재단위의 손상발생패턴을 도출하는 모델
	2006	한국건설기술연구원	공공시설물 내구성 증대를 위한 유지관리비용 산정 시스템	교량 형식에 따른 부재들의 열화모델을 개발

① 철도 분야

○ (기술사례 1) 한국교통연구원에서는 도시철도차량의 안전성, 신뢰성, 가용성을 동시에 향상시키면서도 운영·유지보수 비용을 절감할 수 있는 신 유지보수체계인 스마트 상태기반유지보수체계(CBM)의 활용전략을 수립하고, 이의 구현을 위해 도시철도차량 부품의 상태평가에 따른 상태기반 유지관리(CBM, Condition Based

Maintenance)기술을 개발하였음

② 기타 SOC 분야

○ (기술사례 1) 서울대학교에서는 빅데이터 분석기법을 활용하여 교량유지관리시스템(BMS, Bridge Management System) 데이터 및 비정형 안전진단보고서의 자동분석을 통한 교량 부재단위의 손상발생패턴을 도출하는 모델을 개발하여 제한된 수의 손상 영향인자만을 고려한 기존 손상발생패턴 예측시스템의 한계를 극복하기 위한 기술을 개발 중

○ (기술사례 2) 한국건설기술연구원에서는 통계학적 모델(마코브 체인, 회귀분석, 비선형 최적화)을 통해 교량 형식에 따른 부재들의 열화모델을 개발하여 교량 바닥판(Deck), 교량상부구조(Superstructure), 교량하부구조(Substructure)로 나누어 교량 열화곡선을 도출함으로써 각 부재들의 노후화 정도를 파악하여 교량구조물의 노후화를 판단하는 교량의 손상상태 평가 및 예측 기술을 개발함

○ (국내 기술동향 시사점) 국내 기술동향을 분석 결과, 철도 시설물의 각 요소/부재에 따른 구조적 특성 또는 재료적 특성을 활용하여 손상의 일반적인 진행 정도를 분석하는 연구는 다수 존재하나, 시설물의 손상 현황 데이터, 시설물의 운영상황 정보 그리고 각 시설물에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 외부환경 데이터를 활용하여 개별 시설물 별로 상이할 수 있는 손상진행을 평가, 예측하는 연구는 많이 진행되지 않음

(다) 국내외 기술동향 조사 시사점

○ 국내외 기술동향을 비교 분석한 결과, 해외에서는 IT 기술을 기반으로 수집되어온 철도시설물의 손상 데이터 그리고 손상에 영향을 미치는 교통량, 기후와 같은 외부환경적 요인과 관련된 데이터를 데이터마이닝 및 기계학습과 같은 빅데이터 기술을 기반으로 분석함으로써, 손상의 진행패턴이나 시설물이나 부재단위의 잔존수명을 높은 정확도로 예측하는 기술을 개발 및 적용 중에 있으며, 이를 통해 예방적 유지보수를 달성하여 안전사고 및 장애 발생의 가능성을 감소시키고 있음

○ 국내의 경우에도, 시설물단위의 안전등급정보를 활용하여 시설물 및 부재별 안전등급을 예측하려고 하는 연구가 많이 시도는 되어 왔지만, 손상 발생 시기나 손상 정도와 같은 구체적인 정보가 수집되어있지 않기 때문에, 시설물이나 부재의 안전성을 정확하게 예측하는데 한계가 있으며, 따라서 현재는 안전사고나 장애가 발생한 후에 대응하는 사후적 유지관리에 초점을 맞추고 있어 안전사고나 기능장애를 효과적으로 관리하지 못하고 있음

항목		해외	국내
분석 정보	정보유형	손상정보의 시계열정보 외부영향인자의 시계열정보	시설물단위의 안전등급 정보 (KOVIS)
개발 및 적용 기술	기술내용	손상의 진행예측 기술 손상간의 상호관계 및 패턴분석 기술 손상 진행률과 외부환경 관계분석 기술	시설물 및 부재별 안전등급 예측 기술
	방법론	빅데이터, 데이터마이닝, 패턴분석, 기계학습	점검자에 의한 정성적 평가 (점검자에 따른 평가기준 상이)
성과	결과유형	높은 신뢰도의 시설물 및 부재별 잔존수명	낮은 신뢰도의 시설유형 및 부재유형별 잔존수명
	기대효과	사전적, 예방적 유지보수 안전사고 및 장애발생 가능성 낮음	사후적 유지보수 안전사고 및 장애 발생 가능성 높음

<그림 2-3-86> 국내외 기술동향 시사점

바. 생애주기 비용을 고려한 철도시설물 유지보수 의사결정 지원기술

(1) 시설물 유지보수 시기, 방법, 생애주기 비용산정 프로세스 설계

(가) 국외 기술동향

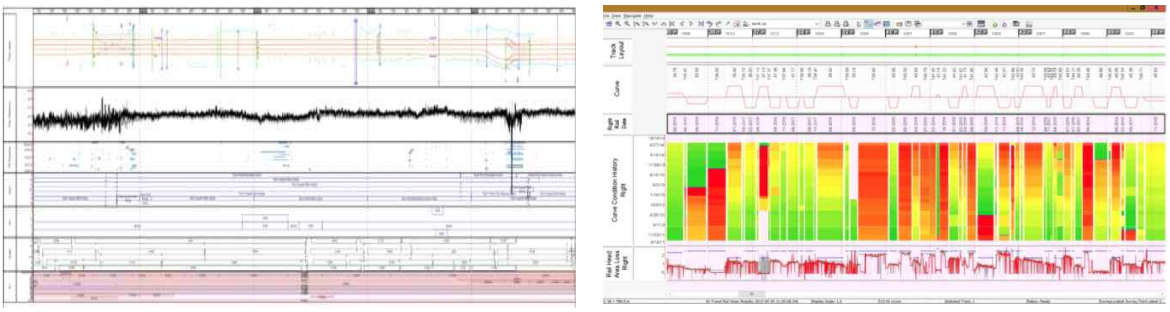
<표 2-3-12> 국외 개발기술 목록

국가	개발년도	연구기관	기술명	특징
미국	2017	Bentley	AssetWise Operational Analytics	선로의 유지보수관리를 위한 각종 철도 자산 데이터(철도 레이아웃, 작업 계획/이력, 선로 결함, 유지보수 이력 등)를 동시에 참조하여 분석
	2007	Tansporation Research Board(TRB)	Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems	교량수준 및 네트워크 수준의 교량유지관리를 최적화하는 방안
	2010	일리노이 공과대학	A Heuristic Approach to the Railroad Track Maintenance Scheduling Problem	선로 유지보수 스케쥴링을 위한 최적화 모델
영국	2014	노팅엄 대학	A stochastic model for railway track asset management	선정된 유지보수 전략이 적용되었을 때의 상황을 모델링
	2014	철도안전표준 위원회	Vehicle/Track Interaction	철도와 차량간의 특성을 도출하고 유럽권역의 최적화된 철도 유지관리 전략 수립
유럽	2012	포르투갈 포르투대학	Integer Programming to Optimize Tamping in Railway Tracks as Preventive Maintenance	철도의 도상 다지기(tamping)작업을 최적화하는 모델
	2013	터키의 Sakarya대학	Decision Support System for Railway Track Maintenance and Renewal Management	선로 부재들을 분석하여 해당하는 유지보수공법을 제안
	2015	프랑스 트루아 공과대학	Maintenance modelling, simulation and performance assessment for railway asset management	의사결정자가 선택된 유지보수 방안의 적합성을 부재단위 혹은 네트워크 단위로 판단할 수 있는 의사결정 지원 모델
	2016	스위스 IT회사 ELCA	Railway Asset Data Analytics Platform	생애주기비용을 고려한 데이터 분석 플랫폼

① 미국

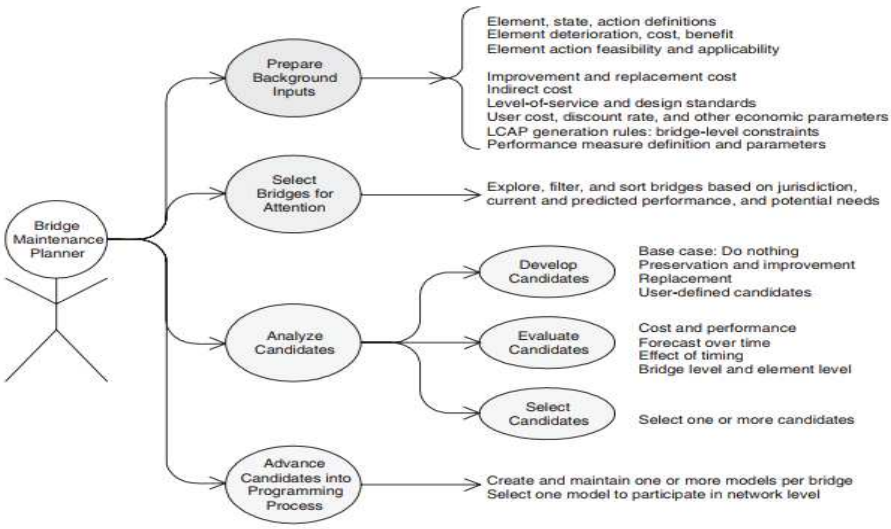
○ (기술사례 1) 건설관련 소프트웨어 업체 Bentley사는 AssetWise Operational

Analytics 소프트웨어를 개발하여 선로의 유지보수 관리를 위한 각종 철도 자산 데이터(철도 레이아웃, 작업 계획/이력, 선로 결함, 유지보수 이력 등)를 동시에 참조하여 분석할 수 있는 기반 툴을 제공하고 있음



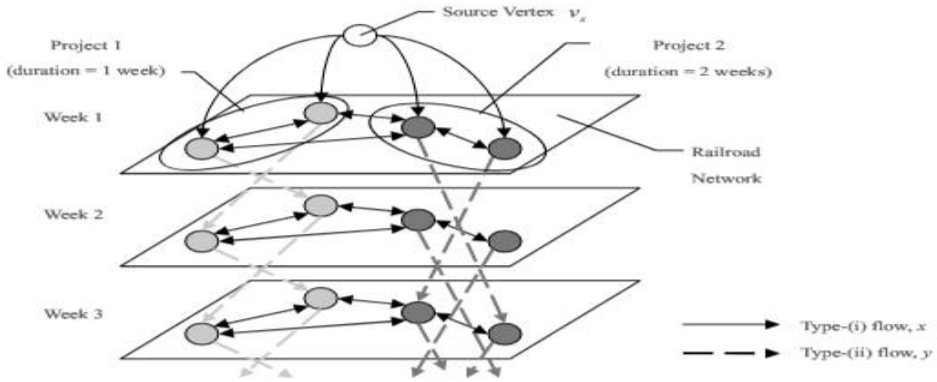
<그림 2-3-87> AssetWise Operational Analytics의 각종기능

○ (기술사례 2) 미 Tansporation Research Board(TRB)는 손상상태, 교통안전도, 재난취약도, 유지보수비용 등의 다양한 측면의 성과를 고려한 다척도 최적화기법(Multi-Criteria Optimization)을 활용하여 교량의 유지관리를 위한 의사결정 시스템을 개발함으로써 Bridge-level의 교량유지관리를 최적화하는 방안을 도출하여 유지보수 계획 관리자의 의사결정을 <그림 마-2>와 같은 활용방안으로 의사결정 지원을 할 수 있음



<그림 2-3-88> 개별 교량수준에서의 활용방안

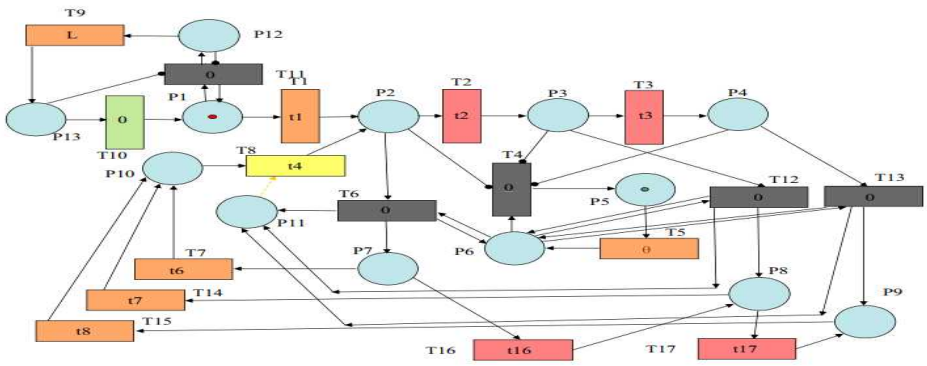
○ (기술사례 3) 미국 일리노이 공과대학 연구진은 시·공간 네트워크 모델(Time-space network model)을 활용하여 다수의 제약조건들을 고려한 반복 휴리스틱모델(iterative heuristic)의 개발을 통해 선로 유지보수 스케쥴링 최적화 모델을 개발함으로써 기존 모델대비 총 목적값(travel costs, soft side-constraint violation penalties)을 기존 연구대비 약 60%이상 감소시키며 최적화 성능을 향상시킴



<그림 2-3-89> 시·공간 네트워크 모델(Time-space network model) 개념도

② 영국

○ (기술사례 1) 영국 노팅엄 대학에서 유지보수이력데이터를 바탕으로 Petri net 방법론을 활용하여 철도 노선 관리를 위한 확률론적 모델을 개발하여 선정된 유지보수 전략이 적용되었을 때의 상황을 모델링하여 의사결정을 지원하는 시스템을 개발함



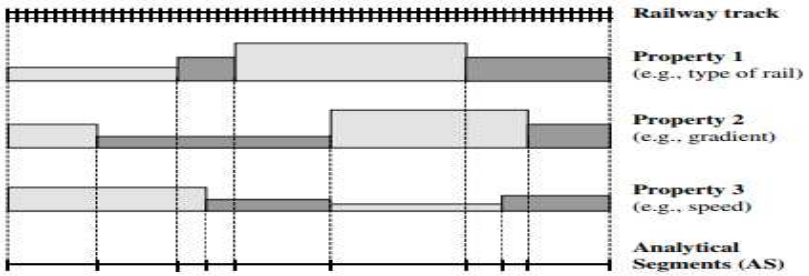
<그림 2-3-90> Petri net 열화과정

○ (기술사례 2) 영국 런던의 철도안전표준위원회(RSSB, Rail Safety and Standards Board)는 철도-차량 간 상호작용 전략 모델(Vehicle-Track Interaction Strategic Model)의 개발하여 철도와 차량간의 특성을 도출하고 유럽권역의 최적화된 철도 유지관리 전략 수립을 위한 기반 기술을 마련함

③ 유럽

○ (기술사례 1) 포르투갈 포르투대학에서 포르투갈 북부의 왕복철도라인 데이터를 바탕으로 전역 최적화 기법(Global optimization)을 활용하여 철도의 도상다지기(tamping) 작업을 최적화하는 모델을 개발함으로써 철도 도상의 예방적 유지보수를 위한 최적화모델 개발 연구를 수행함

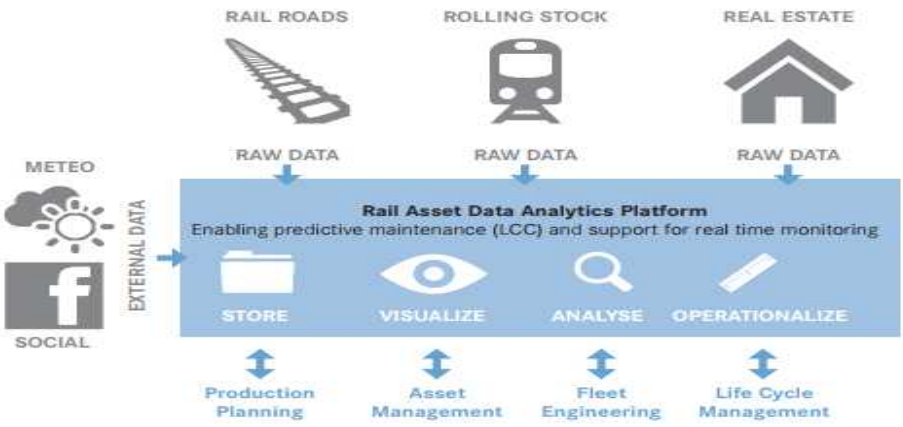
○ (기술사례 2) 터키의 Sakarya대학에서 철도 유지보수 전문가들과의 인터뷰, 설문조사 및 문헌조사를 통해 철도 유지보수를 위한 의사결정 규칙(Decision making rule)을 도출하여 의사결정 시스템을 개발함으로써 선로 부재들을 분석하여 해당하는 유지보수공법을 제안해주는 의사결정지원 기술개발 연구를 수행함. 또한 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 통해 선로 유지보수의 최적화를 위한 기술 개발을 실시함



<그림 2-3-91> 선로 분할 프로세스

○ (기술사례 3) 프랑스 트루아 공과대학에서는 Coloured Petri nets(CPN)과 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)기술을 활용하여 철도 유지보수작업의 성과 추정 모델을 개발하여 의사결정자가 선택된 유지보수 방안의 적합성을 부재단위 혹은 네트워크 단위로 판단할 수 있는 의사결정 지원 모델을 개발하는 연구를 수행함

○ (기술사례 4) 스위스의 IT회사인 ELCA는 철도 열차 및 선로의 데이터를 바탕으로 웨이블릿 스무딩(Wavelet smoothing), 기능적 데이터분석(Functional data analysis), 패턴인식 및 퍼지논리(Pattern recognition & Fuzzy logic), 기계학습(Machine Learning), 시계열 분석(Time series analysis) 및 시뮬레이션 분석기법들을 활용하여 생애주기비용을 고려한 데이터 분석 플랫폼을 개발함으로써 철도의 생애주기를 고려한 예방적 유지관리를 위한 기반기술을 개발함



<그림 2-3-92> ELCA의 철도 데이터 분석 플랫폼 구성도

○ (국외 기술동향 시사점) 해외의 기술동향을 분석한 결과, 미국, 영국, 유럽에서는 주기적으로 모니터링되고 있는 시설물의 생애주기 데이터, 손상예측 데이터, 유지보수

데이터와 같은 빅데이터를 활용, 분석함으로써 철도 시설물의 안전성을 향상시키고 유지보수작업의 비용을 최소화 할 수 있는 최적화 및 분석 기술들을 개발하여 유지관리 실무에 적용하고 있음

(나) 국내 기술동향

<표 2-3-13> 국내 기술 목록

대상시설	개발년도	연구기관	기술명	특징
철도	2010	한국철도공사	고속선 궤도관리 의사결정 지원시스템	자원과 작업조건에 따른 궤도 유지보수작업을 최적화
	2007	한국철도공사	철도시설물 ERP 시스템	시설물의 유지 보수 우선순위 및 자원 확보
기타 SOC	2006	한국건설기술연구원	생애주기 성능 및 비용에 기초한 사회기반구조물의 최적유지관리전략 수립 방법	시간에 따른 성능변화를 추정하여 생애주기비용을 평가
	2002	한국건설기술연구원	포장관리시스템(PMS)	유지보수의 우선순위가 객관적으로 결정

① 철도 분야

○ (기술사례 1) 한국철도공사(KORAIL)은 궤도상태평가 및 비틀림 예측이 가능하고 자원과 작업조건에 따른 궤도 유지보수작업을 최적화를 목표로 고속선 궤도 관리 시스템(KTMSYS)을 기술을 개발하였으나 체계적 분석 및 대책수립이 부족함

○ (기술사례 2) 한국철도공사의 철도시설물 ERP 시스템(KOVIS: KORAIL Vision Innovation System)은 각종 시설물별 주기에 따라 육안 및 수동 계측 점검을 수행하고, “시설물의 안전 관리에 관한 특별법” 시행규칙의 판단 기준에 따른 점검 결과 등급을 KOVIS를 통해 취합하여 시설물의 유지 보수 우선순위 및 자원 확보의 자료로 활용 중이나, 유지보수이력을 추적하기 번거롭다는 단점이 있으며 시설고장과 관련되어 발생한 이벤트 정보를 담고있지않고 대형사고 및 장애정보만 기록하고 있음

② 기타 SOC 분야

○ (기술사례 1) 한국건설기술연구원은 유사 교량의 유지관리 이력의 통계분석을 통해 결정된 부재별 열화인자와 해당열화인자별 보수보강 대안을 선정하여 신뢰지수 및 상태지수를 도입을 통해 시간에 따른 교량의 부재별 성능변화를 추정하여 생애주기 비용을 평가하고, 이를 바탕으로 생애주기 성능과 비용간의 다중목적 조합 최적화문제를 유전자알고리즘을 활용하여 유지관리 시나리오는 생성하는 방법에 관한 연구를 수행함

○ (기술사례 2) 한국건설기술연구원은 도로포장 사업별 재료, 교통, 기후, 비용 등과

관련한 데이터를 수집하고, 이를 바탕으로 개별사업수준(Project Level)과 도로망수준(Network Level)으로 구분 후 개별사업수준(Project Level)에서 실시계획의 최적화(안)을 선정하고 도로망수준(Network Level)의 평가에 따라 도로포장 유지보수의 우선순위가 객관적으로 결정할 수 있는 포장관리시스템(PMS)을 개발하여, 도로포장의 유지보수를 위한 우선순위 선정 및 구체적인 계획과 예산산정 등을 원활히 수행할 수 있는 시스템을 구축하고 있음

○ (국내 기술동향 시사점) 국내의 기술동향을 분석한 결과, 교량이나 도로포장과 같은 교통시설물에 관련해서는 각 시설물별 생애주기를 관리하여 시설물의 성능이나 유지관리에 소요되는 비용 등을 최적화하는 기술을 개발하여 적용 중에 있으나, 철도시설물과 관련해서는 KOVIS를 통해 수집된 데이터가 유지보수이력에 주로 초점을 맞추고 있으며 손상관련 정보에 대해서는 수집된 데이터가 매우 부족하여 객관적인 생애주기 비용 분석에 어려움이 있음

(다) 국내외 기술동향 조사 시사점

○ 국내외 기술동향을 비교 분석한 결과, 해외에서는 시설물 및 부재별 손상예측정보나 시설물 위험발생정보, 유지보수이력정보 등을 활용하여 철도 시설물의 유지보수시기, 방법 등을 결정하거나 이에 따른 생애주기 비용을 예측하는 기술을 개발 및 실무 적용 중에 있으며, 이를 활용하여 각 철도시설물의 유지관리 비용을 최소화하기 위해 노력하고 있음

○ 국내의 경우에도, 한국철도공사에서 구축한 전사자원관리(ERP) 시스템인 KOVIS를 운영하여 유지보수의 유형이나 소요시간, 투입자원과 같은 이력정보를 수집 및 관리하고 있지만, 철도 시설물의 개별적인 상태정보나 시설물 생애주기에 걸쳐 발생하는 다양한 사건이나 환경정보를 수집하고 있지 않기 때문에, 시설물단위의 생애주기비용을 정확하게 예측 및 분석하는 데에 어려움이 있음

항목		해외	국내
분석 정보	정보유형	유지보수이력정보 시설물별, 부재별, 손상유형별 손상 예측정보 시설물별 위험정보	유지보수이력정보(KOVIS)
개발 및 적용 기술	기술내용	생애주기에 따른 비용분석 기술 시설물별 유지보수 비용 최적화 기술	생애주기 비용분석
	방법론	시뮬레이션, 최적화, 빅데이터분석	시뮬레이션, 최적화
성과	결과유형	시설물별 생애주기 시설물별 유지보수 최적 시기	시설유형별 일반적 생애주기 비용 시설유형별 유지보수 시기
	기대효과	시설물별 유지보수 비용	시설물에 따른 최적화 불가능

<그림 2-3-93> 국내외 기술동향 시사점

(2) 시뮬레이션 및 기존 유지보수 DB와의 비교분석을 통한 프로세스 검증

(가) 국외 기술동향

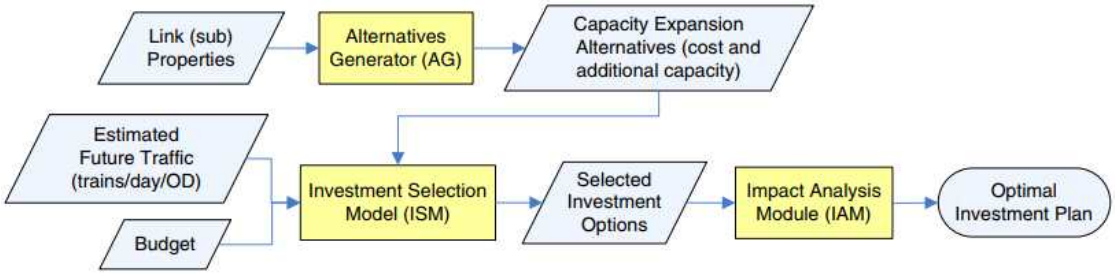
<표 2-3-14> 국외 개발기술 목록

국가	개발년도	연구기관	기술명	특징
미국	2011	일리노이 공과대학	Comprehensive Decision Support Framework for Strategic Railway Capacity Planning	전략적 철도용량계획을 위한 의사결정 프레임워크 제시
	2007	Tansporation Research Board(TRB)	Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems	교량수준 및 네트워크 수준의 교량유지관리를 최적화하는 방안
	2013	미시간대학	Network-Level Pavement Asset Management System Integrated with Life-Cycle Analysis and Life-Cycle Optimization	다양한 변수들은 인풋으로 활용하여 네트워크수준으로 도로포장을 관리하는 시스템 개발
영국	2017	Network Rail	Remote Condition Monitoring(RCM)	철도시설의 상태 파악을 통한 손실 예측 및 보수보강의 의사결정을 지원
	2017	철도안전표준 위원회	Safety Management Intelligence System+ program	지능형 자산관리 정보시스템
유럽	2015	포르투갈 리스본대학	Planning and scheduling efficient heavy rail track maintenance through a Decision Rules Model	중철도(heavy rail) 선로의 효율적 유지보수 계획 수립을 위한 모델
	2008	네덜란드 델프트 공과대학	Development of a quantitative performance model of track sections: A decision support tool for rail infrastructure maintenance policy makers	철도 유지보수 비용과 성과를 측정하는 정량적 모델
	2014	스웨덴 룰레오 대학	Data-driven model for maintenance decision support: A case study of railway signalling systems	철도 신호시스템의 유지보수를 위한 의사결정지원 방법
	2015	이태리 Mer Mec group	Optimal Structure and Two Case Study Implementations of a Railway Maintenance Management System	Railway maintenance management system(RMMS) 프레임워크
아시아	2017	일본 Toshiba	Maintenance Management Information System(MMIS)	유지보수 작업계획 및 관리, 작업인원, 유지보수 필요자재 등의 관리 및 생애주기비용모니터링
	2017	홍콩지하철(MTR)	Foresighted Asset Strategy 2030(FAST 2030+)	철도 유지보수 방안의 최적화 기술

① 미국

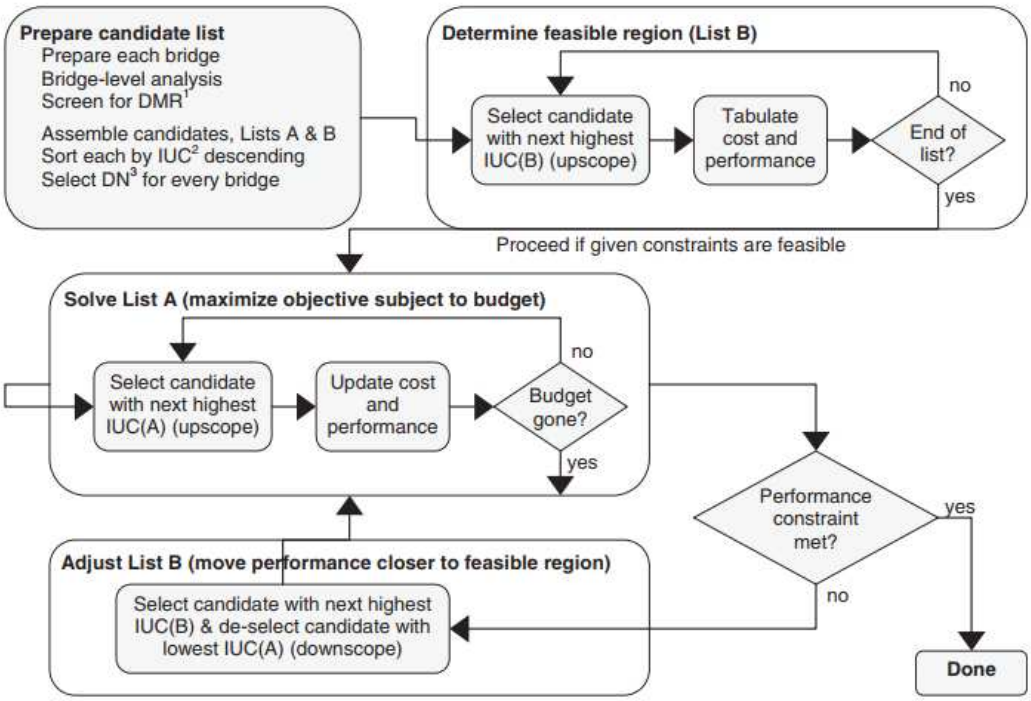
❍ (기술사례 1) 일리노이 공과대학에서 철도용량 계획 수립을 위해 대안수립모듈/투자선택모듈/효과분석모듈로 구성된 프레임워크를 제시하여 철도용량 대안들 중 비용 및 용량효과를 고려한 최적의 대안을 선정함으로써 그 대안의 소요되는 비용 및 시

간을 고려한 대안의 파급효과 분석을 통해 철도 용량 계획의 최적화 대안을 선정함



<그림 2-3-94> 의사결정 지원 프레임워크

❍ (기술사례 2) Tansporation Research Board(TRB)는 손상상태, 교통안전도, 재난취약도, 유지보수비용 등의 다양한 측면의 성과를 고려한 다기준 최적화기법(Multi-Criteria Optimization)을 활용하여 교량의 유지관리를 위한 의사결정 시스템을 개발함으로써 교량의 네트워크수준(Network-level)에서의 최적화된 유지관리방안 선정을 통해 프로그램관리자의 의사결정을 지원함



<그림 2-3-95> Multi-Criteria Optimization 플로우차트

❍ (기술사례 3) 미국 미시간대학은 생애주기분석기법과 최적화 이론을 활용하여 도로포장을 위한 생애주기최적화모델(life-cycle optimization model) 구축하여 다양한 변수들은 인풋으로 활용하고 네트워크수준으로 도로포장을 관리하는 시스템 개발을 통해 도로포장 네트워크의 유지보수 전략을 도로의 전 생애주기 관점에서 최적화된 비용을 도출함으로써 연간 약 삼백만달러의 유지보수 비용을 절감하는 기술을 개발함

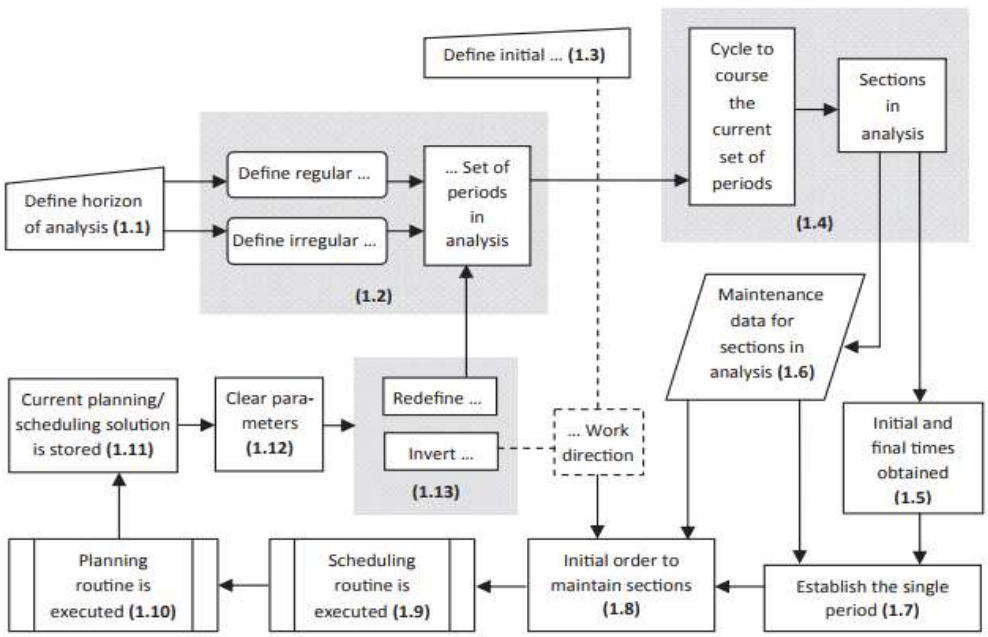
② 영국

○ (기술사례 1) 영국 런던의 Network Rail은 원격 상태 모니터링(RCM, Remote Condition Monitoring)시스템 구축을 통해 철도시설의 상태파악을 통한 손실예측 및 보수보강의 의사결정을 지원하여 영국의 약 12,000개의 철도관련 자산의 모니터링 시행을 통해 약 10%의 열차지연을 절감

○ (기술사례 2) 영국 런던의 철도안전표준위원회(RSSB, Rail Safety and Standards Board)는 1997년부터 지능형 안전관리 시스템(SMIS, Safety Management Intelligence System)을 운영, 최근 SMIS+ 프로그램이라는 명목 하에 안전관리정보시스템(SMIS, Safety Management Information System)을 구축하여 철도의 안전관리 소프트웨어와 영국 철도 네트워크 내에서 매년 75,000건 이상 발생하는 안전관련 빅데이터를 수집하여 관리하고 이를 타 시스템(자산관리시스템, 지리정보시스템, 운영시스템, 모바일 보고시스템 등)과 연계하여 빅데이터기반 지능형 자산관리 정보시스템을 구축 및 활용하고 있음

③ 유럽

○ (기술사례 1) 포르투갈 리스본대학은 의사결정 규칙 모델(DRM, Decision Rules Model)을 활용하여 중철도(heavy rail) 선로의 효율적 유지보수 계획 수립을 위한 모델을 개발하여 가용자원(travel costs, 작업시간)의 간섭을 고려하여 일정기간 내 유지보수의 계획 및 일정을 수립하는 기술을 개발함



<그림 2-3-96> DRM 루틴의 플로우차트

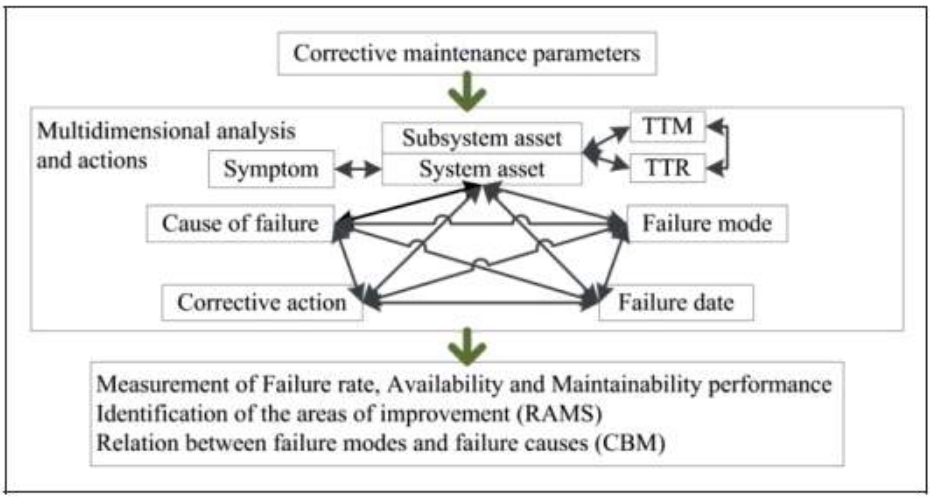
○ (기술사례 2) 네덜란드 델프트 공과대학은 독일 전철 Zevenaar~Winterswijk라인의

철도 데이터를 바탕으로 고장형태 영향분석(FMEA, Failure Mode and Effects Analysis)와 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션 기술을 활용하여 철도 유지보수 비용 및 성과를 측정하는 모델을 개발하여 유지보수 비용 및 시간의 정량적 산출을 통해 주어진 예산과 자원 내에 선정된 대안의 적합성을 판단하는 의사결정지원 기술을 개발함

* 고장형태 영향분석(FMEA, Failure Mode and Effects Analysis): 시스템이나 장치 등의 고장요인의 도출기법으로서, 시스템을 구성하는 기기 혹은 부품 등이 어떤 고장(고장모드)을 발생하였을 때, 그 고장이 시스템에 미치는 영향을 해석하는 기법

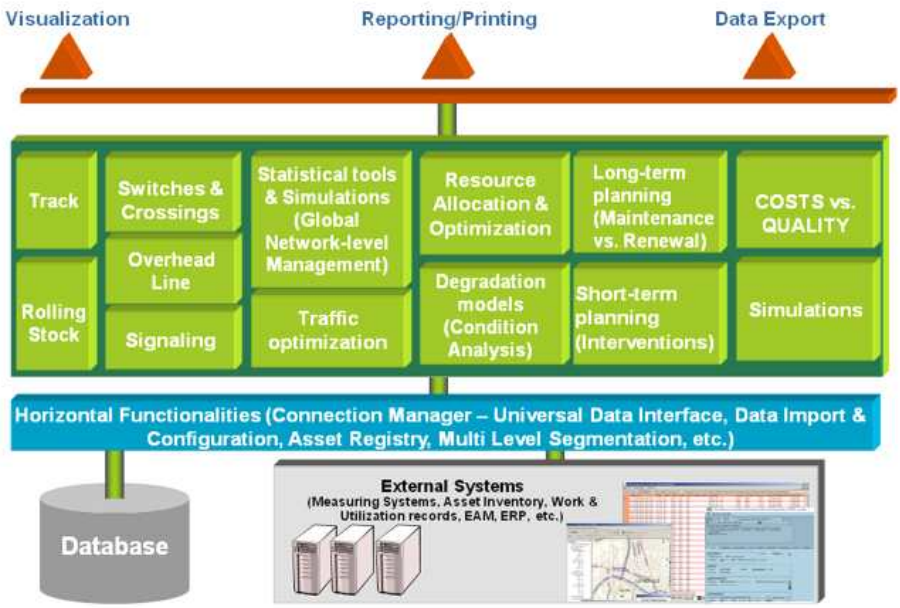
❍ (기술사례 3) 스웨덴 룰레오 대학은 약 9년간의 203km 길이 철도의 작업지시서(WOs, work orders) 및 유지보수이력 데이터를 바탕으로 손상진단(Failure Analysis) 기법을 활용하여 데이터기반 의사결정모델을 개발을 통해 Failure의 종류 및 유지보수 방안이 철도 신호 시스템에 어떤 영향을 미치는지에 관한 관계를 도출함으로써 예방적 유지보수 전략의 시스템 영향도를 파악할 수 있는 기술을 개발함

* 손상진단(Failure Analysis)기법: 구조해석과 재료분석을 통한 손상의 원인을 밝히는 방법



<그림 2-3-97> Failure Analysis 기반 의사결정지원 모델

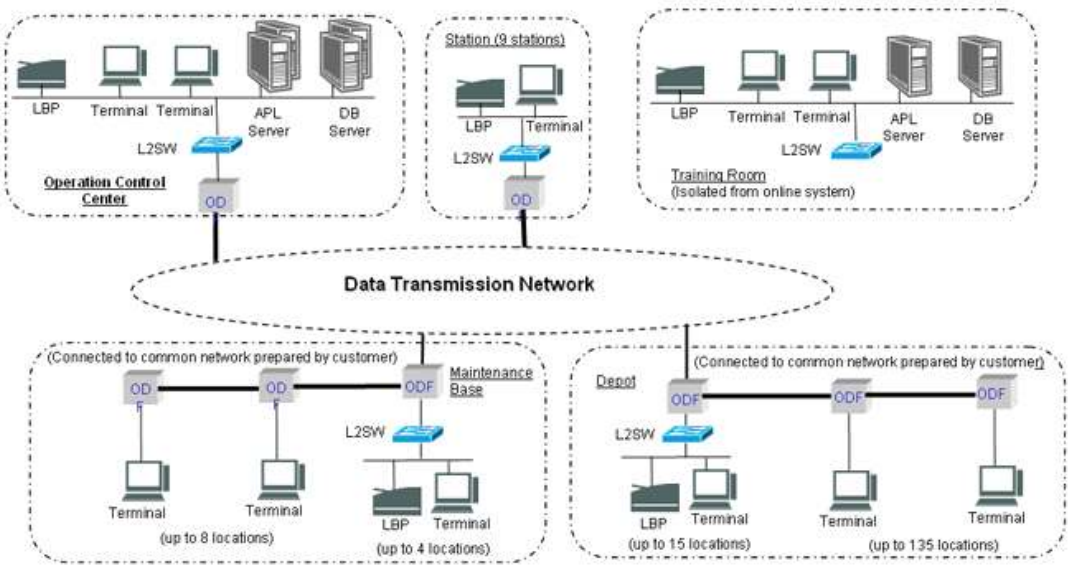
❍ (기술사례 4) 이태리 Mer Mec Group에서 철도 유지관리 시스템(RMMS, railway maintenance management system) 프레임워크를 개발하여 이태리 및 세르비아 지역의 철도 인프라에 본 프레임워크를 성공적으로 적용함으로써 취득된 빅데이터를 바탕으로 통계학기법 및 다양한 시뮬레이션 기술의 적용을 통해 최적의 유지보수 대안을 찾는 방법을 개발함



<그림 2-3-98> RMMS의 프레임워크

④ 일본

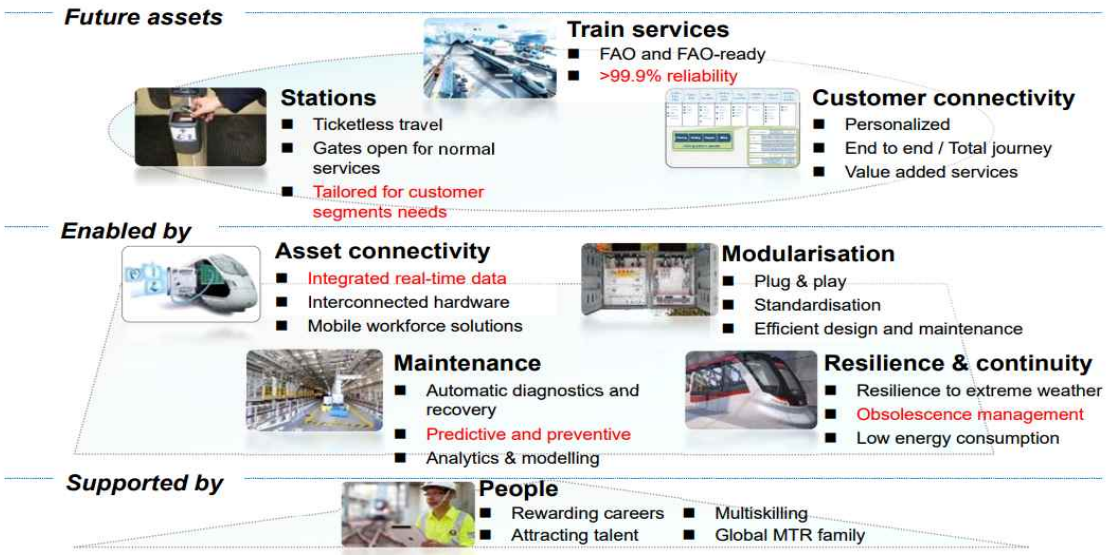
○ (기술사례 1) 일본 Toshiba사에서 고속철도의 Maintenance Management Information System(MMIS)를 개발하여 철도의 자산정보를 Asset Registration sheet(AR sheet)의 형태로 등록 및 유지관리를 위한 정보로 활용하여 유지보수 작업계획 및 관리, 작업인원, 유지보수 필요자재 등의 관리가 가능하고 비용관리기능을 통해 생애주기비용 모니터링이 가능함



<그림 2-3-99> 고속철도의 유지관리 정보시스템(MMIS, Maintenance Management Information System) 개념도

⑤ 홍콩

○ (기술사례 1) 홍콩 최대의 지하철 노선인 홍콩지하철(MTR, Mass Transit Railway)은 Foresighted Asset Strategy 2030(FAST 2030+)의 일환으로 다양한 센서(bogie, vibration, pantograph spring strength, track height 등)의 센서로 취득한 빅데이터를 바탕으로 IoT, 빅데이터 분석, 시뮬레이션, 통계학적 접근법 등의 기술을 활용하여 철도 네트워크 유지보수 방안의 최적화 기술을 개발하고 있음



<그림 2-3-100> FAST 2030+ 개념도

○ (국외 기술동향 시사점) 해외의 기술동향을 분석한 결과, 미국, 유럽, 홍콩, 일본에서는 다양한 자산 모니터링 빅데이터(생애주기 데이터, 유지보수 데이터, 센서 데이터 등)를 활용하여 가용자원 내 최적의 유지보수 대안을 적기에 선별하여 실행함으로써 철도 시설물의 안전성을 확보하고 철도의 생애주기 유지관리 비용을 최소화할 수 있는 최적화 및 시뮬레이션 기술들을 개발하여 시설물 유지관리 비용을 절감하고 있음

(나) 국내 기술동향

<표 2-3-15> 국내 기술 목록

대상시설	개발년도	연구기관	기술명	특징
철도	2008	한국철도기술연구원	철도유지관리 효율화 연구	철도차량분야의 RAMS기반 유지보수 주기산정, RCM기반 유지보수관리기술
기타 SOC	2016	한국건설기술연구원	ICT 기반 교량 생애주기 관리시스템 개발	교량 약 6천개소에 대한 생애주기관리 전략수립을 통해 의사결정지원을 위한 유용한 지식정보를 도출하는 관리시스템
	2002	한국건설기술연구원	포장관리시스템(PMS)	유지보수의 우선순위가 객관적으로 결정

① 철도

○ (기술사례 1) 한국철도기술연구원은 철도 차량분야에서 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)기반으로 유지보수의 주기를 산정하는 기술, 전력분야에서는 신뢰성 중심 보전(Reliability Centered Maintenance, RCM)기반 유지보수 관리기술을 개발하였고, 궤도분야에선 환경성(LCA)과 경제성(LCC)의 체계 및 계산 모델을 제시하였음

② 기타 SOC

○ (기술사례 1) 한국건설기술연구원은 교량 약 6천개소에 대한 생애주기관리 전략수립을 통해 의사결정지원을 위한 유용한 지식정보를 도출하는 관리시스템을 개발함으로써 교량의 생애주기 동안 발생되는 모든 정보의 객체기반 정보화를 수행하여 생애주기 성능 변화와 소요 예산의 추정을 바탕으로 중장기 전략 및 단기 관리계획의 수립을 지원하는 기술을 개발함

○ (기술사례 2) 한국건설기술연구원에서 도로의 포장관리시스템(PMS)를 개발하여 개별사업수준(Project Level)과 도로망수준(Network Level)으로 구분하여 계획과 설계 단계부터 설계기간 내의 포장 이용자에 대한 서비스를 일정하게 유지하기 위한 비용(도로와 관련된 환경, 시간 등의 손실과 유지비의 합계)를 최적화하는 기술을 개발하여 도로포장의 유지보수를 위한 의사결정을 지원하고 있음

○ (국내 기술동향 시사점) 교량 및 도로포장 같은 타 분야에선 시뮬레이션 및 기존 유지보수 DB와의 비교·분석을 통해 가용자원 내 시설물 유지보수의 우선순위 및 최적화된 유지보수 방안을 도출하는 의사결정 지원시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고 철도분야에서도 차량분야나 전력분야의 유지보수 의사결정지원 시스템에 대한 연구는 다수 진행되고 있는 반면, 철도 궤도분야에서는 환경성(LCA)과 경제성(LCC)의 체계 및 계산 모델 등을 제시하고는 있으나 산재된 유지보수 DB와 IT기술을 활용하여 최적화된 유지보수의 시기와 방법을 선정하는 의사결정을 체계적으로 지원할 수 있는 방법에 관한 연구는 부족한 실정임

(다) 국내외 기술동향 조사 시사점

○ 국내외 기술동향을 비교 분석한 결과, 해외에서는 전 국토에 산재되어 있는 수많은 철도 시설물을 효율적으로 관리하기 위해서, 철도 시설물의 운영 및 유지관리에 관한 데이터를 통합적으로 관리하고 이를 기반으로 시뮬레이션, 최적화, 기계학습과

같은 방법론을 이용하여 최적화된 운영 및 유지관리 계획을 수립할 수 있는 의사결정 자동화 시스템을 개발하여 도입하고 있음

○ 국내의 경우에도, 한국철도공사의 전사자원관리 시스템인 KOVIS를 중심으로 철도시설물의 운영 및 유지관리 정보를 관리하려고 시도하고 있지만, 한국철도공사 및 철도공단 간의 시공-유지관리 정보가 연계되지 않는 등 통합적인 정보의 관리가 부족한 상황이기 때문에, 데이터에 근거하여 최적화된 시설물 운영계획을 수립할 수 있는 의사결정 자동화 기술의 개발은 다소 미흡한 상황이며, 의사결정에 참고할 수 있는 현황분석 정도로 활용되고 있음

항목		해외	국내
분석 정보	정보유형	전체시설물의 생애주기 정보 유지보수이력정보 활용가능자원정보 시설물 운영정보 재해재난 정보	내구연한정보 유지보수이력정보(KOVIS)
개발 및 적용 기술	기술내용	자산운영현황 모니터링 및 평가 기술 철도 시설물 통합정보관리시스템 유지보수 의사결정 프로세스 및 자동화 기술 자산운영 계획 및 최적화 기술	철도공사 전사자원관리 시스템 (KOVIS) 철도 시설물 통합정보관리시스템 부재 (시공-유지보수-개설 데이터의 연계 부족) 전문가 및 관리자의 정성적 의사결정 운영 및 관리 최적화의 어려움
	방법론	시뮬레이션, 최적화, 빅데이터분석	정량적 분석기법 부족
성과	결과유형	시설물 운영 현황분석, 시설물 운영 최적화, 유지보수일정 최적화, 자원활용 최적화	시설물 운영 현황분석
	기대효과	의사결정 자동화 및 정량화 시설물 유지관리 예산 감소 시설물 안전성 향상	현황 분석을 통한 예산계획수립

<그림 2-3-101> 국내외 기술동향 시사점

2. 논문 분석

가. 논문 분석 범위

○ 본 분석에서는 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발에 대하여 ~17년 12월 까지 발표된 논문을 분석 대상으로 하였음

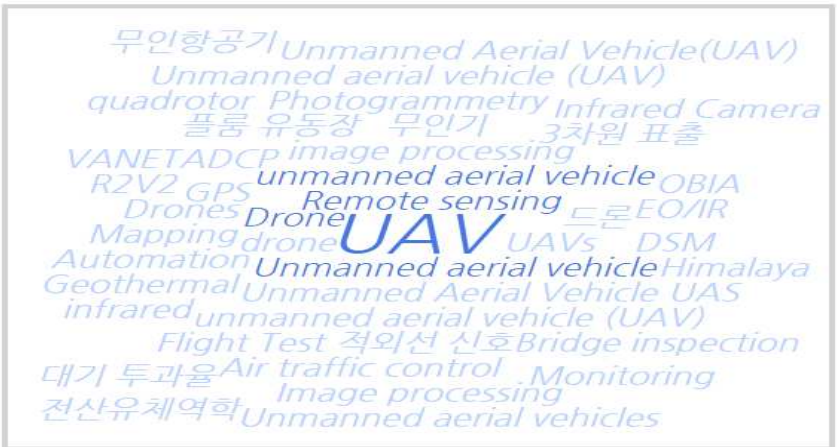
○ 논문 분석은 NDSL (National Digital Science Library) DB를 활용하여, 국내논문, 해외논문, 학위논문에 대하여 분석을 실시하였음

○ 본 분석에서는 해당 기술의 핵심키워드를 바탕으로, 다음과 같이 철도시설 분야, 상태진단 분야, 무인이동체 분야로 세분화 하였으며, 각 세부기술에 포함되는 키워드를 다음과 같이 선정하여 각 분야의 키워드를 1개 이상 포함하는 기술에 대한 검색을 수행함

<표 2-3-16> 분석대상 기술 및 키워드

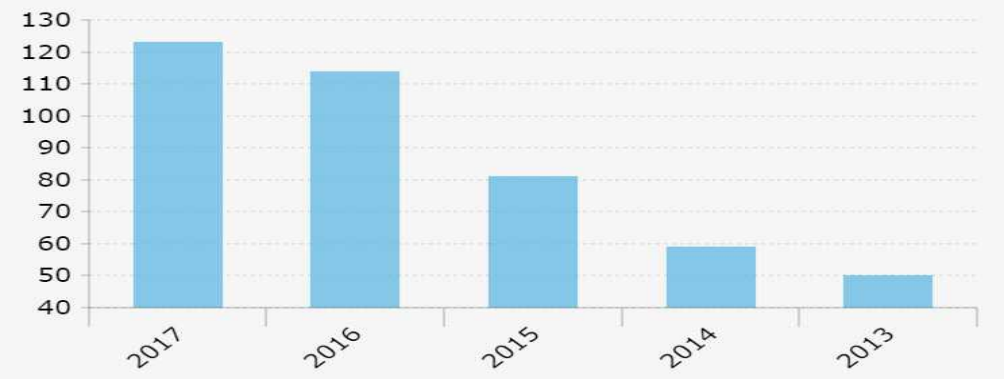
대상 기술	핵심 분야	관련 키워드
무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발	철도시설	철도, 철로, 철길, 기차길, 기찻길, 철도선로, 레일로드, 레일웨이, railway*, railroad*
	상태진단	진단, 점검, 검사, 감시, 평가, 테스팅, 체크, 모니터링, inspect*, check*, examin*, monitor*, diagnosis
	무인이동체	무인이동체, 무인항공기, 무인수상정, 무인비행, 무인항공, UAV, USV, 무인, unmanned, manless, 비행, 항공, 이동체, 이동물체, 항공기, 수상정, flight, vehicle, aerial, 드론, 로봇, 로보트, robot*, 헬리캠, helicam*, 자동*, auto*, 오토, 원격, 무인, unman*, manless*

○ 검색결과, 총 591건의 논문이 검색되었으며, 각각 국내논문 65건, 해외논문 4947건, 학위논문 32건이 검색되었으며, 키워드별 워드 클라우드를 아래 그림에 간략히 도시하였음



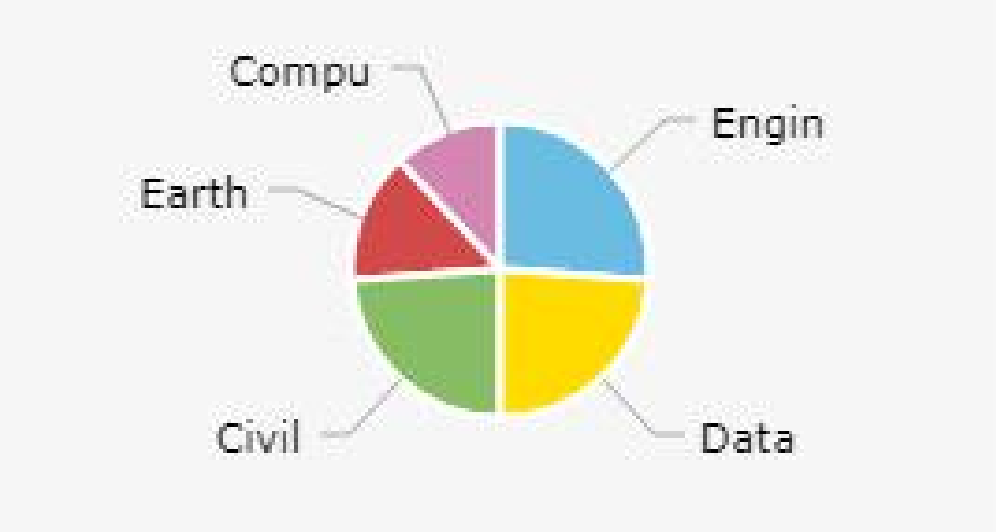
<그림 2-3-102> 논문 키워드별 워드클라우드

❍ 연도별 발표논문 건수의 경우, 2013년부터 지속적으로 증가하고 있으며 2017년에는 123건의 논문이 발표되어 2013년 대비 약 2.5배 증가하였음



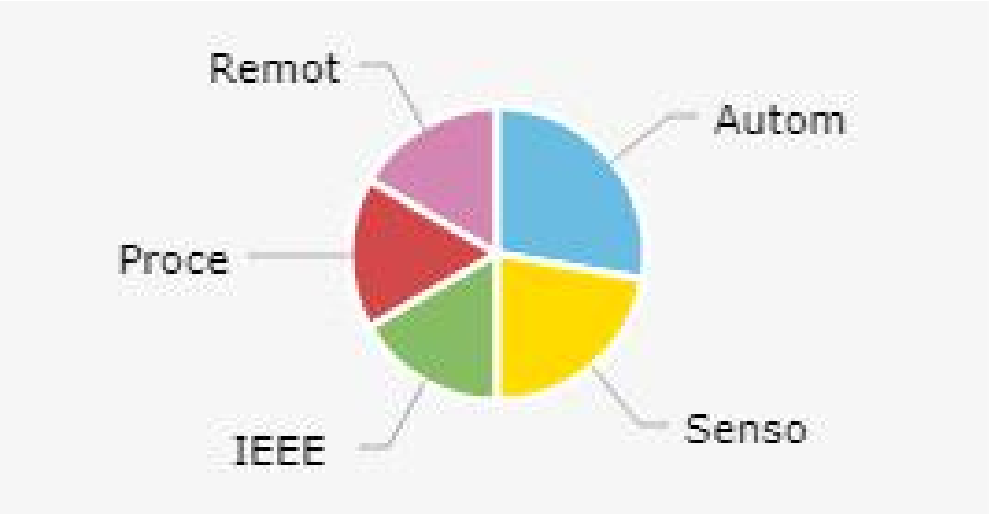
<그림 2-3-103> 연도별 발표논문 건수

❍ 주제분야별 논문 동향의 경우, Engineering and allied operations 분야, Civil engineering 분야, Data processing Computer science 분야에서 대부분의 논문이 출판되는 경향을 보이고 있음



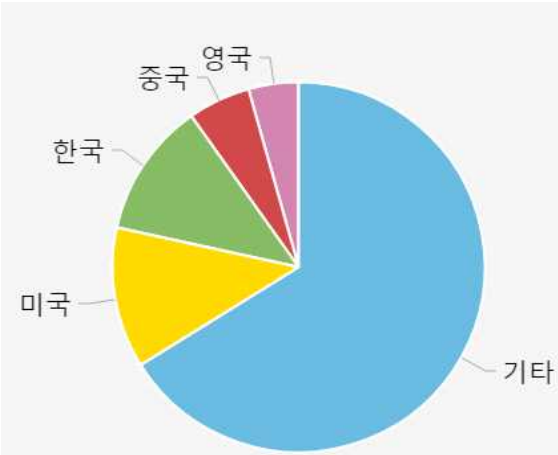
<그림 2-3-104> 발표 주제별 논문건수

❍ 저널별로는 Automation in construction, Sensors, IEEE transactions on geoscience and remote sensing : a publication of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Society등 미국, 유럽의 저널에서 많은 논문이 발표됨

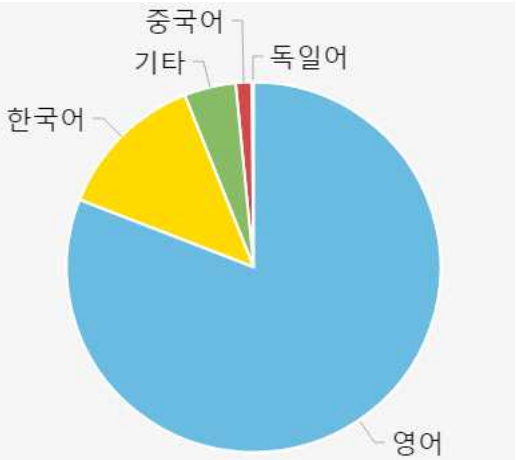


<그림 2-3-105> 발표 저널별 논문건수

○ 발표국가별 논문의 경우, 미국, 한국, 중국, 영국순으로 논문이 발표되었으며, 특정 국가에 편중되지 않고 기타 다양한 국가에서 논문이 발표되고 있음. 한편, 발표온어의 경우 영어 논문이 대부분을 차지하고 있으며, 그 외 한국어, 중국어, 독일어 논문도 발표가 되고 있음



<그림 2-3-106> 국가별 발표논문 건수



<그림 2-3-107> 언어별 발표논문 건수

○ 주요 핵심논문은 아래와 같음

<표 2-3-17> 주요 핵심 논문 분석

번호	논문 제목	저널명	발표년도
1	드론 기반 사진측량기법에 의한 고압 송전선 처짐량 모니터링에 관한 기초 연구	전남대학교	2017
2	A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits	Automation in construction	2007
3	Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective	Structural monitoring and maintenance	2015
4	드론을 활용한 지반시설물의 관리	한국지반공학회지	2016
5	드론의 철도산업 활용제안	철도저널	2015
6	자율주행 지원을 위한 고해상도 무인항공 영상처리 기반의 도로정보 추출	한국산학기술학회논문지	2017
7	무인항공영상을 이용한 교량 상판의 텍스처 매핑	디지털콘텐츠학회 논문지	2017
8	UAV 영상을 활용한 수변구조물 피해분석 및 정확도 평가	한국지형공간정보학회지	2016
9	Remote sensing of concrete bridge decks using unmanned aerial vehicle infrared thermography	Automation in construction	2017
10	무인항공기 노즐 형상 변화에 따른 IR 신호 영향성 연구	Journal of the Korean society for aeronautical & space sciences	2013
11	Scheduling UAVs to bridge communications in delay-tolerant networks using real-time scheduling analysis techniques	IEEE/SICE International Symposium	2014
12	Unmanned aerial vehicles (UAVs)-based thermal infrared (TIR) mapping, a novel approach to assess groundwater discharge into the coastal zone	Limnology and oceanography, methods	2016
13	Research on application of UAVS' infrared stealth technology	Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers	2017
14	편류보정을 통한 무인항공기 영상품질 향상에 관한 연구	Journal of the Korean Society for Quality Management	2013
15	UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects	Remote sensing of environment	2016
16	Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery	Automation in construction	2016
17	Obstacle Detection and Collision Avoidance for a UAV With Complementary Low-Cost Sensors	IEEE access : practical research, open solutions	2015
18	Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution	Sensors	2015
19	재난지역의 붕괴지형 3차원 형상 모델링을 위한 스테레오 비전 카메라 기반 드론 개발	한국산학기술학회논문지	2016
20	Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system	Automation in construction	2014

3. 특허분석

가. 특허동향 분석 목적

○ 철도시설물(궤도/노반/전차선 등)의 효율적, 체계적 유지보수를 위한 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템의 개발하고, 점검시간을 단축하고 작업자의 안전을 확보하며, 체계적인 이력관리 및 데이터 분석을 통해 사고/장애를 사전에 예방하기 위해 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발에 대한 사전 특허·기술 동향을 파악함으로써 해당 기술에 대한 R&D 방향성을 검토 하고자 함

○ 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보 확립 하고자 함

나. 특허 분석 범위

○ 본 분석에서는 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발에 대하여 ~17년 12월 까지 공개 된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 공개특허와 ~17년 12월 까지 출원등록 된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 등록특허를 분석 대상으로 함

(1) 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위

<표 2-3-18> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	검색구간	검색범위
공개특허	한국 KIPO	WIPSON	~ 현재(2017.12)	특허출원·공개 및 등록 전체문서
	미국 USPTO	WIPSON		
	일본 JPO	WIPSON		
	유럽 EPO	WIPSON		

* a : 피인용 지수, b : 특허 Family 수출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2016년부터 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~2015(2015.12.31.)년도 까지 한정함.

(2) 분석대상 기술 및 검색식 도출

○ 본 분석에서는 연구책임자 대상 상담 결과를 기초로 해당 기술을 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB) 및 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC)의 구성으로 분해하였으며, 일반적인 구성요소와 특징적인 구성요소를 다음과 같이 구별하였음

<표 2-3-19> 분석대상 기술분류

대상 기술	구성 요소	기술 정의
무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	- 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇) - 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 - 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술 - 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술 - 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 초점을 맞춤
	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 (AB)	- 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등) - 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술 - 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 - 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등에 초점을 맞춤
	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	- 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술 - 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 초점을 맞춤

❍ 상기의 기술분류를 바탕으로, 다음과 같은 기술검색 기준을 선정하였음

<표 2-3-20> 분석대상 기술검색기준

중분류	검색개요 (기술범위)
철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	- 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇) - 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 - 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술 - 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술 - 무인이동체간 실시간 정보전송 기술
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 (AB)	- 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등) - 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술 - 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 - 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	- 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술 - 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술

❍ 연구개발 계획서상에 제시된 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 분야의 핵심키워드 (철도시설물, 유지보수, 무인이동체, 상태진단, 이력관리)를 바탕으로 대상기술과 유사한 기술을 포함할 수 있는 최종 검색식을 아래와 같이 도출하였음

<표 2-3-21> 분석대상 기술검색기준

대상기술	구성요소	검색식	검색 건수				
			한국 KIPO	미국 USPTO	일본 JPO	유럽 EPO	합계
무인이동체 (UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	(철도 철로 철길 기차길 기찻길 철도선로 레일로드 레일웨이 railway* railroad*) AND (진단 점검 검사 감시 평가 테스팅 체크 모니터링 inspect* check* examin* monitor*) AND (무인이동체 무인항공기 무인수상정 무인비행	472	167	421	64	1124

		무인항공 UAV USV (무인 unmanned manless 비행 항공 이동체 이동물체 항공기 수상정 flight vehicle aerial (moving adj object) (aerial adj vehicle) (surface adj vehicle)) 드론 로봇 로보트 robot* 헬리캠 helicam* 자동* auto* 오토 원격 무인 unman* manless*)					
	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 (AB)	(철도 철로 철길 기차길 기찻길 철도선로 레일로드 레일웨이 railway* railroad*) AND (진단 점검 검사 감시 평가 테스팅 체크 모니터링 inspect* check* examin* monitor*) AND (무인이동체 무인항공기 무인수상정 무인비행 무인항공 UAV USV (무인 unmanned manless 비행 항공 이동체 이동물체 항공기 수상정 flight vehicle aerial (moving adj object) (aerial adj vehicle) (surface adj vehicle)) 드론 로봇 로보트 robot* 헬리캠 helicam* 자동* auto* 오토 원격 무인 unman* manless*) AND (탑재* payload 카메라 camera 초음파 ultrasonic SAR (Specific adj Absorption adj Rate) lidar* 라이더*)					
	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	(철도 철로 철길 기차길 기찻길 철도선로 레일로드 레일웨이 railway* railroad*) AND (진단 점검 검사 감시 평가 테스팅 체크 모니터링 inspect* check* examin* monitor*) AND (무인이동체 무인항공기 무인수상정 무인비행 무인항공 UAV USV (무인 unmanned manless 비행 항공 이동체 이동물체 항공기 수상정 flight vehicle aerial (moving adj object) (aerial adj vehicle) (surface adj vehicle)) 드론 로봇 로보트 robot* 헬리캠 helicam* 자동* auto* 오토 원격 무인 unman* manless*) AND (데이터 데이타 정보 data 빅데이터 빅데이타 bigdata 자동* 오토 auto* 원격 리모트 remot*)					

(3) 유효특허 선별 기준 및 결과

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발의 Raw Data 에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용을 하였으며(표 2-00 참조), 그 결과 표 2-00과 같이 유효특허를 선별하였음

<표 2-3-22> 대상기술 유효특허추출기준

대상기술	노이즈제거 및 유효특허추출기준
철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	- IPC 기반한 비관련분야 특허 제거 - 특허청구범위/요약서 상의 기재를 기초로 철도시설 진단용 무인이동체 기술을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출 - 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 (AB)	- IPC 기반한 비관련분야 특허 제거 - 특허청구범위/요약서 상의 기재를 기초로 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출 - 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	- IPC 기반한 비관련분야 특허 제거 - 특허청구범위/요약서 상의 기재를 기초로 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출 - 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등을 개시하고 있는 특허를 유효특허로 추출

<표 2-3-23> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발의 유효특허 선별결과

대상기술	유효데이터 건수				
	한국 KIPO	미국 USPTO	일본 JPO	유럽 EPO	계
철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	168	74	120	31	393
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 (AB)					
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)					

다. 특허기술 장벽도 분석

○ 표 2-00의 유효특허로부터 다음과 같이 핵심특허 리스트를 도출하였으며, 핵심특허에 대한 기술 장벽도 분석을 수행하여 각 기술별 IP확보 전략을 수립하였음

<표 2-3-24> 핵심특허 리스트

연번	세부기술	특허(등록/공개)번호	출원일자	출원인	권리상태	발명의 명칭
1	AA	KR 1300063	2011.11.16	재단법인대구경북과학기술원	등록	철로상태 검사로봇
2	AA	KR 1706271	2016.08.10	주식회사 에이베스트	등록	고속철의 도상 균열 검사장치
3	AA	JP 2013-148532	2012.01.23	RAILWAY TECHNICAL RES INST	공개	철도 재해 정보수집 시스템에 있어서의 자율 비행형 로봇의 운용 방법
4	AA	US 2015-0225002	2015.04.22	ELECTRO MOTIVE DIESEL INC	공개	RAILWAY INSPECTION SYSTEM
5	AB	KR 1806814	2016.01.27	(주)스마텍	등록	터널의 위치 정보 설정과 파악이 가능한 궤도차량을 이용한 철도시설물 감시시스템
6	AB	KR 1505504	2013.11.05	주식회사 대명엔지니어링	등록	선로점검 시스템
7	AB	US 9540018	2012.07.03	SMARTEC CORPORATION	등록	Railway installation synchronization monitoring system
8	AB	JP 6227962	2013.10.04	HITACHI LTD	등록	열차 운행 관리 시스템
9	AC	KR 1434303	2012.09.12	현대로템 주식회사	등록	철도시스템의 고장정보수집분석시스템
10	AC	KR 1499456	2013.10.31	(주)유엠로직스	등록	영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템 및 그 탐지 방법
11	AC	JP 2007-145178	2005.11.28	HIGASHI NIPPON TRANSPORTEC KK	공개	철도 설비의 원격 감시 시스템
12	AC	JP 2002-145071	2000.11.14	HITACHI LTD	공개	열차 운행 관리 장치의 설비 데이터 자동 진단 방법 및 그 장치

(1) 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA)

❍ IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

<표 2-3-25> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

조사대상 기술	발명의 명칭					
철도시설 진단용 무인이동체 기술	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	국내		☑			
	국외		☑			

❍ 유사도 분석

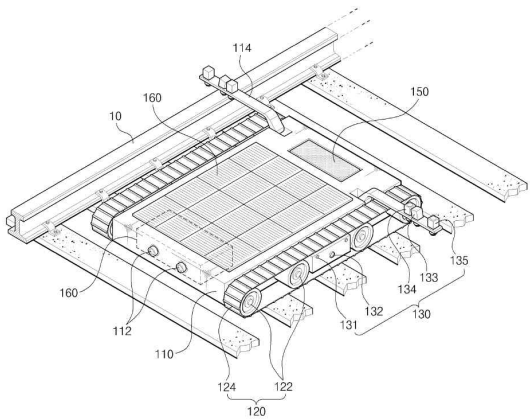
<표 2-3-26> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요장벽특허 유사도분석

기술명	구성 요소		
철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	① 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇) ② 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 ③ 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술 ④ 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술 ⑤ 무인이동체간 실시간 정보전송 기술		
유사특허 비교분석			
구 분	**특허(등록.출원)번호**	**비 고 (유사도)**	**권리비교**
국내	KR 10-1300063 (출원인: 재단법인대구경북과학기술원	유사점 (★★☆☆☆)	몸체의 전면에 부착된 카메라와 몸체의 양측에 위치하는 이동수단을 이용하여 자율주행하면서 센서부를 통해 철로의 너비 및 철로의 손상여부를 측정하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 일부 관련성이 있음
		차이점	철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	KR 10-1706271 (출원인: 주식회사 에이베스트)	유사점 (★★☆☆☆)	철도의 레일을 받치는 침목과 도상의 균열을 검사하는 장치를 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음

		차이점	철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
해외	JP 2013-148532 (출원인: RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE)	유사점 (★★☆☆☆)	철도 현장의 재해 정보를 수집하기 위한 시스템으로서 무선조종 비행기를 활용한 철도 재해 정보 수집 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 일부 관련성이 있음
		차이점	철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	US 2015-0225002 (출원인: ELECTRO MOTIVE DIESEL INC)	유사점 (★★☆☆☆)	무인 주행 차량에 철도의 상태를 검사하기 위한 센서를 포함하고 센서 및 열차와 통신하는 제어 시스템을 포함하는 철도 검사 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
검토 의견	철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술로 기출원된 KR 1300063 특허의 철로상태 검사로봇, KR 1706271 특허의 고속철의 도상 균열 검사장치 및 JP 2013-148532의 철도 재해 정보수집 시스템에 있어서의 자율 비행형 로봇의 운용 방법이 활용될 가능성이 있는 것으로 판단됨 다만, 국내외 모두 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 및 무인이동체간 실시간 정보전송 기술을 포함하는 제안기술과 유사도가 높은 핵심특허는 검색되지 않은 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 및 무인이동체간 실시간 정보전송 기술과 관련한 IP 창출의 필요성 및 가능성이 높은 것으로 사료됨		
대응 방안	철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 및 무인이동체간 실시간 정보전송 기술에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 IP확보가 가능할 것으로 예상되고, 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 관련하여 한국등록특허 1300063, 한국등록특허 1706271 및 일본공개특허 2013-148532의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으나, 기술적 관련도가 높지 않아 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참고문헌으로 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨		

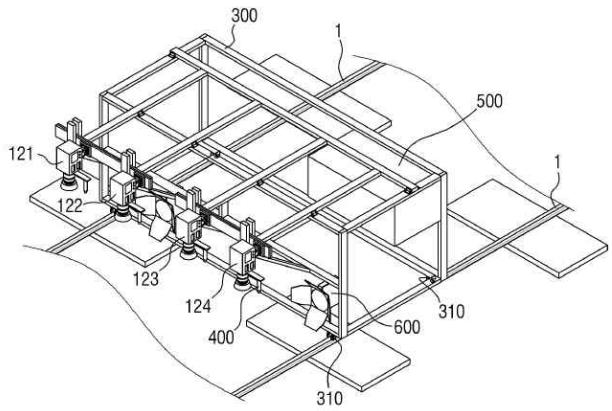
❍ 주요특허 권리분석

<표 2-3-27> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (1)

발명의 명칭	철로상태 검사로봇 (Inspection robot for tracks status)		
출원인	재단법인대구경북과학기술원	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2011-0119728/1300063	출원일	2011-11-16
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 전면에는 자율주행을 위한 카메라가 장착되는 몸체; 상기 몸체의 양측에 위치하며, 상기 몸체를 이동시키는 이동수단; 상기 몸체의 양측면 및 양측 상단에 위치하며, 철로의 너비 및 철로의 손상 여부를 측정하는 센서부; 상기 이동수단을 구동시키며, 상기 센서부에서 측정한 자료를 분석하는 제어부; 및 상기 몸체에 내장되며, 상기 이동수단을 구동시키는 동력원을 공급하는 배터리를 포함하며, 상기 센서부는 상기 몸체의 양측면에 위치하며 철로의 너비를 측정하는 제1센서와, 상기 제1센서의 하부에 위치하며 철로의 표면상태 및 철로 노치의 손상 여부를 검사하는 제2센서와, 상기 몸체의 양측 상단에 위치하며 철로의 접촉면 표면상태와 모서리의 손상여부를 검사하는 제3센서와, 상기 제3센서의 일측에 위치하며 철로의 내측 연결부위의 균열 및 손상여부를 검사하는 제4센서와, 상기 제3센서의 타측에 위치하며 철로의 외측 연결부위의 균열 및 손상여부를 검사하는 제5센서를 포함하는 철로상태 검사로봇을 제공한다. 따라서, 몸체의 양측면 및 양측 위치하는 복수개의 센서를 이용하여 철로의 너비 및 철로의 손상 여부를 측정하고, 제어부에서 분석하여 손상 여부를 판별하여 손상된 위치를 작업자에게 제공함으로 인하여 작업자가 철로를 보수함으로 인하여 열차 및 지하철의 탈선으로 인한 안전사고 및 인명사고를 방지할 수 있으며, 작업자에 의한 수동검사가 아닌 자동검사를 함으로 인하여 철로를 정밀하게 검사할 수 있고, 검사인원을 감소시킬 수 있어 비용을 절감할 수 있다.		
대표도면			
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 지하철 및 철도의 철로 간격, 마모상태, 균열 등을 검사하기 위한 철로상태 검사로봇에 관한 것임 몸체의 전면에 부착된 카메라와 몸체의 양측에 위치하는 이동수단을 이용하여 자율주행하면서 센서부를 통해 철로의 너비 및 철로의 손상여부를 측정		

	하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2011년 11월 16일 출원되고 2013년 08월 19일 등록된 한국 특허이며 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 등에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

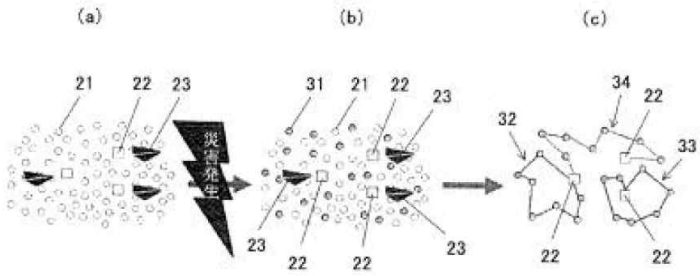
<표 2-3-28> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (2)

발명의 명칭	**고속철의 도상 균열 검사장치 (Ballast Crack Inspection Apparatus of A High Speed Rail)**		
출원인	주식회사 에이베스트	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2016-0101872/1706271	출원일	2016.08.10
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 철도의 레일을 받치는 침목과 도상의 균열을 검사하는 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 고속철의 도상 균열 검사장치에 관한 것이다. 복수의 콘크리트 침목(20)이 설치된 단위 도상(10), 연속되는 상기 도상(10)의 상기 콘크리트 침목(20)위에 설치된 레일(1)로 이루어진 고속철의 도상 균열 검사장치에 있어서, 단위 도상(10)을 복수의 촬영영역으로 분할하여 촬영하는 복수의 카메라들; 복수의 카메라가 촬영한 복수의 분할영상을 통합하여 정지영상을 생성하는 영상통합부(240); 도상(10)의 균열 분석을 위해 기준이 되는 기준영상이 저장된 메모리(170); 정지영상과 기준영상에 기초하여 도상(10)의 균열 여부를 분석하는 균열분석부(160); 및 카메라, 영상통합부(240), 메모리(170) 및 균열분석부(160)를 제어하는 제어부(190)를 포함하고, 대차(300, 600)에 탑재되어 레일(1)을 따라 이동하며 검사한다.		
대표도면			

분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 고속열차의 레일과 침목을 고속으로 이동하면서 균열을 수동검사가 아닌 자동검사할 수 있는 고속철의 도상 균열 검사장치에 관한 것임 철도의 레일을 받치는 침목과 도상의 균열을 검사하는 장치를 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2016년 08월 10일 출원되고 2017년 02월 07일 등록된 한국 특허이며 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 특허 청구범위의 권리범위가 비교적 넓지 않고, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술 등에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

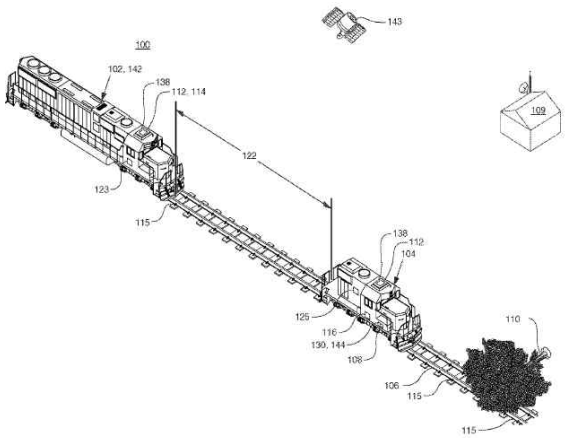
<표 2-3-29> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (3)

발명의 명칭	**철도 재해 정보수집 시스템에 있어서의 자율 비행형 로봇의 운용 방법**		
출원인	RAILWAY TECHNICAL	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2012-010886/2013-148532	출원일	2012-01-23
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	법적상태	공개
기술요약	대규모 철도 재해 발생 시의 재해 정보를 신속하고 안정적으로 수집하는 시스템의 자율 비행형 로봇의 운용 방법에 관한 것으로서, 대규모 철도 재해 발생 시의 재해 정보를 신속하고 안정적으로 수집하는 시스템의 자율 비행형 로봇의 운용 방법에 있어서 잠재적인 검사 대상 부분 21과 보수구 22와 자율 비행형 로봇 23의 대수와 상기 자율 비행형 로봇 23의 비행 가능 시간을 입력 정보로 하고, 상기 자율 비행형 로봇 23의 출발점과 종착점만 상기 보수구 22이며 상기 검사 대상 부분 21의 재해 정보는 1대의 상기 자율 비행형 로봇 23에 의해 수집되고 모든 상기 검사 대상 부분 21의 재해 정보를 수집하는 제약 조건에 기초해 실제의 철도 재해 발생 시에 상기 검사 대상 부분 21에서 실제의 검사 개소 31이 판명되면, 이 검사 개소 31의 재해 정보 수집 시간이 최소가 되는 상기 각자률비행형 로봇의 비행 경로 32,33,34를 구한다.		

대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 대규모 철도 재해 발생 시의 재해 정보를 신속하고 안정적으로 수집하는 시스템의 자율 비행형 로봇의 운용 방법에 관한 것임 철도 현장의 재해 정보를 수집하기 위한 시스템으로서 무선조종 비행기를 활용한 철도 재해 정보 수집 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2012년 01월 23일 출원되고 2013년 08월 01일 공개된 일본 특허이며 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

<표 2-3-30> 철도시설 진단용 무인이동체 기술 주요특허 권리분석 (4)

발명의 명칭	**RAILWAY INSPECTION SYSTEM**		
출원인	ELECTRO MOTIVE DIESEL INC	출원국가	US
출원번호/공개번호	14/692834/2015-0225002	출원일	2015.04.22
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 기술 (AA)	법적상태	공개
기술요약	In one aspect of the present disclosure, a railway inspection system is shown. The system includes: an unmanned self-propelled vehicle, a sensor, a position system and a control system. The unmanned self-propelled vehicle is adapted to travel on a railway track ahead of the train and has a sensor configured to detect an adverse railway condition. The positioning system is configured to determine the position of the self-propelled vehicle. The control system in communication with the sensor and the train; wherein the control system communicates the adverse railway condition to the train.		

대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 열차 전방의 열차 선로를 주행할 수 있는 무인 주행 차량을 포함하는 철도 검사 시스템에 관한 것임 무인 주행 차량에 철도의 상태를 검사하기 위한 센서를 포함하고 센서 및 열차와 통신하는 제어시스템을 포함하는 철도 검사 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 운용환경(고전압, 강풍, 낮은 외기온도, 산악지형 등)에 특화된 무인이동체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 무인이동체 간 실시간 정보전송 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2015년 04월 22일 출원되고 2015년 08월 13일 공개된 미국 특허이며 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

(2) 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)

○ IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

<표 2-3-31> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

조사대상 기술	발명의 명칭					
	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술	국내		☑			
	국외		☑			

○ 유사도 분석

<표 2-3-32> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요장벽특허 유사도분석

기술명	구성 요소
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)	① 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등) ② 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술 ③ 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 ④ 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술

유사특허 비교분석			
구 분	**특허(등록.출원)번호**	**비 고 (유사도)**	**권리비교**
국내	KR 1806814 (출원인: (주)스마텍)	유사점 (★★☆☆☆)	궤도차량에 감시카메라를 장착하여 철도 궤도, 전차선 및 기타 구조물에 대한 영상을 획득 및 저장하여 원격 모니터링 하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	KR 1505504 (출원인: 주식회사	유사점 (★★☆☆☆)	점검부는 상기 시설물의 상태를 촬영하는 카메라로 구비되며, 카메라로부터 영상정보를 전달

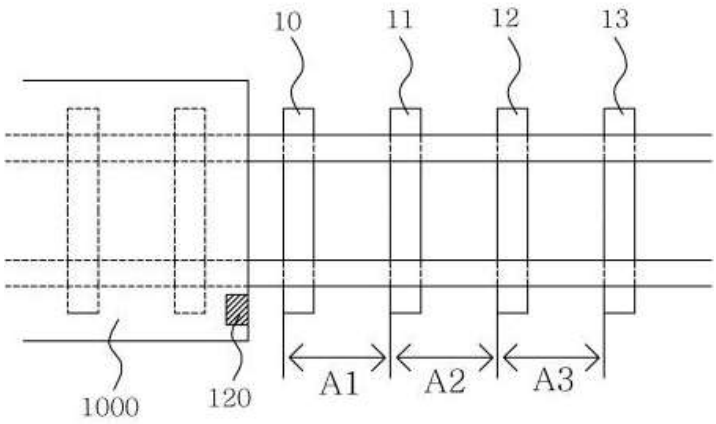
	대명엔지니어링)		받아서 모니터링할 수 있는 기술를 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
해외	US 9540018 (출원인: SMARTEC CORPORATION)	유사점 (★★☆☆☆)	레이저 발생기, 3차원 좌표획득용 카메라, 열차의 진동 등을 계측하는 계측장치로 구성되는 감시장치를 이용하여 철도시설물을 감시하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술과 기술분야가 일부 관련성 있음
		차이점	철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	JP 6227962 (출원인: HITACHI LTD)	유사점 (★★☆☆☆)	보수 작업 계획과 열차 운행 상황 데이터에 기초하여 위험 예지 정보 및 퇴피 정보를 연산하고 차량 탑재 장치에 통지하는 열차 운행 관리 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 기술분야가 일부 관련성 있음
		차이점	철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
검토 의견	철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술로 기출원된 KR 1806814 특허의 터널의 위치 정보 설정과 파악이 가능한 궤도차량을 이용한 철도시설물 감시시스템 및 US 9540018 특허의 철도 설치 동기화 모니터링 시스템을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단됨 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 관련하여 일부 기술 내용이 선행문헌에 개시되어 있으나, 국내외 모두 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술을 포함하는 제안기술과 유사도가 높은 핵심특허는 검색되지 않은 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 관련한 IP 창출의 필요성 및 가능성이 높은 것으로 사료됨		

대응 방안	철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 IP확보가 가능할 것으로 예상되고, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술과 관련하여 한국등록특허 1806814 및 미국등록특허 9540018의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있고, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 관련하여 한국등록특허 1505504 및 일본등록특허 6227962의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으나, 기술적 관련도가 높지 않아 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참고문헌으로 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨

○ 주요특허 권리분석

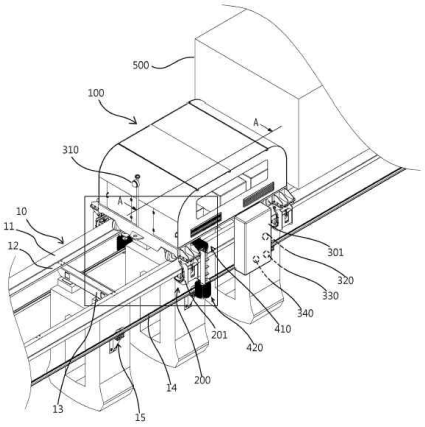
<표 2-3-33> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (1)

발명의 명칭	**터널의 위치 정보 설정과 파악이 가능한 궤도차량을 이용한 철도시설물 감시시스템 (the railroad tunnel inspecting system using train with the function of automatic registrating railroads tie ID and the sensing railroads tie ID)**		
출원인	(주)스마텍	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2016-0009937/1806814	출원일	2016.01.27
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 철도 차량을 이용한 철도시설물 감시 시스템에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는 궤도차량에 감시카메라를 장착하여 철도 궤도, 전차선 및 기타 구조물에 대한 영상을 획득 및 저장하여 원격 모니터링 하도록 하는데 있어 터널의 위치 정보를 설정할 수 있고, 설정된 위치 정보에 따라 추후 크랙이 발생한 정확한 위치의 파악이 가능한 궤도차량을 이용한 철도시설물 감시시스템에 관한 것이다. 본 발명은 열차(또는 지하철, 기차 등)에 구비되는 레이저 발생기(200), 상기 레이저 발생기와 연동되어 작동되며 철도시설물의 주요부를 감시할 수 있고 계측하는 영상정보 데이터를 취득하는 카메라(100), 상기 레이저 발생기와 카메라로부터 취득된 영상정보 데이터를 이용하여 3차원 영상정보로 변환하는 3차원 영상정보 변환장치(110), 계측대상인 철도시설물의 위치를 파악하는 위치확인부(300), 상기한 레이저 발생기 및 카메라의 가동명령을 발하는 신호처리장치(400) 및, 상기한 영상정보 데이터, 3차원 영상정보 또는/및 위치확인부로부터 전송되는 거리정도 또는/및 속도정보 등의 데이터를 가공, 분석, 해석 또는 저장하는 종합데이터처리장치(500)로 구성된 철도시설물 감시 시스템을 제공한다. 또한 본 발명은 고유식별전송장치(131) 및 고유식별인식장치(130)가 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 철도시설물 감시 시스템을 제공한다. 또한 본 발명은 상기 종합정보처리장치(500)는 영상정보판독보정부(510)가 구비된 것을 특징으로 하는 철도시설물 감시 시스템을 제공한다. 또한 본 발명은 거리촬영인식장치(120)가 부가된 것을 특징으로 하는 철도시설물 감시 시스템을 제공한다.		

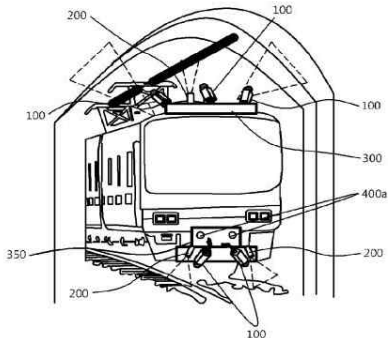
대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 궤도차량에 감시카메라를 장착하여 터널의 위치 정보를 설정할 수 있고, 설정된 위치 정보에 따라 추후 크랙이 발생한 정확한 위치의 파악이 가능한 궤도차량을 이용한 철도시설물 감시시스템에 관한 것임 궤도차량에 감시카메라를 장착하여 철도 궤도, 전차선 및 기타 구조물에 대한 영상을 획득 및 저장하여 원격 모니터링 하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2016년 01월 27일 출원되고 2017년 12월 04일 등록된 한국 특허이며 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 특허 청구범위의 권리범위가 비교적 넓지 않고,철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

<표 2-3-34> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (2)

발명의 명칭	**선로점검 시스템(Rail inspecting system)**		
출원인	주식회사 대명엔지니어링	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2013-0133325/1505504	출원일	2013-11-05
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 선로점검 시스템에 관한 것으로써, 특히, 주행롤러가 구비된 본체에 설치되어 시설물을 점검하는 점검부를 포함하여 자기부상철도 등의 선로		

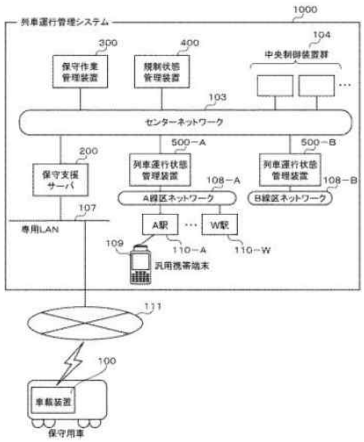
	시설물을 자동으로 신속하게 점검할 수 있는 선로점검 시스템에 관한 것이다.
대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 주행롤러가 구비된 본체에 설치되어 시설물을 점검하는 점검부를 포함하여 자기부상철도 등의 선로 시설물을 자동으로 신속하게 점검할 수 있는 선로점검 시스템에 관한 것임 점검부는 상기 시설물의 상태를 촬영하는 카메라로 구비되며, 카메라로부터 영상정보를 전달받아서 모니터링할 수 있는 기술를 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2013년 11월 05일 출원되고 2015년 03월 18일 등록된 한국 특허이며 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사 경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 특허 청구범위의 권리범위가 비교적 넓지 않고, 제안기술의 세부구성과 기술적 관련도가 높지 않으며, 특히 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

<표 2-3-35> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (3)

발명의 명칭	Railway installation synchronization monitoring system		
출원인	SMARTEC CORPORATION	출원국가	US
출원번호/공개번호	14/404401/9540018	출원일	2013.07.01
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)	법적상태	등록
기술요약	A railway installation monitoring system may include: a laser generator that is provided on a train; a camera that is operated in connection with the laser generator so as to be capable of monitoring a railway installation and of acquiring image information data that is measured; a three-dimensional image information conversion device that uses the image information data acquired by the laser generator and the camera and converts the data into three-dimensional image information; a position determination unit that determines the position of the railway installation to be measured; a signal processing device that sends an operating command for the laser generator or/and the camera; and an overall data processing device that processes, analyzes, interprets, or stores the image information data, the three-dimensional image information, or the data transmitted from the position determination unit.		
대표도면			
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 감시장치를 이용하여 레일, 전차선 및 터널구조물의 계측데이터를 반복적으로 축적하여 그 데이터를 처리하고 동시에 그와 같은 철도시설물을 감시하는 시스템에 관한 것임 레이저 발생기, 3차원 좌표획득용 카메라, 열차의 진동 등을 계측하는 계측장치로 구성되는 감시장치를 이용하여 철도시설물을 감시하는 기술을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2013년 07월 01일 출원되고 2017년 01월 10일 등록된 미국 특		

	허이며 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

<표 2-3-36> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (4)

발명의 명칭	**열차 운행 관리 시스템**		
출원인	HITACHI LTD	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2013-209281/6227962	출원일	2013.10.04
기술 분야	철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)	법적상태	등록
기술요약	【과제】열차 운행 관리 시스템의 철도 보수 작업 지원 시스템에 있어서 보수 작업원에 대한 보수용 차의 퇴피 가능한 행선지 루트 정보의 제공이나 위험 예지 등의 자동 진단 결과를 차량 탑재 장치에 알림 가능하게 하는 수단을 제공한다. 【해결 수단】열차 운행 관리 시스템의 보수 작업 지원 시스템 내에서 통상에 주행하는 열차에서 보수용 차가 퇴피 가능한 행선지 루트 정보를 산출하고 또한 위험 예지 정보를 자동으로 판단하는 보수 지원 서버를 마련해 전용 LAN 및 공중 무선 회선을 통해 시스템 외부의 차량 탑재 장치와 접속하고 자동으로 산출한 작업원에 대한 행선지 루트 정보와 위험 예지 정보를 시기적절하게 통지하는 것을 가능하게 한다.		
대표도면			
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 자동 진단 결과를 차량 탑재 장치에 알림 가능하게 하는 수단을 제공에 관한 것임 보수 작업 계획과 열차 운행 상황 데이터에 기초하여 위험 예지 정보 및 퇴피 정보를 연산하고 차량 탑재 장치에 통지하는 열차 운행 관리 시스템을 개시한다는 점에서 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설		

	자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2013년 10월 04일 출원되고 2017년 10월 20일 등록된 일본 특허이며 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사 경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

(3) 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC)

❍ IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

<표 2-3-37> IP장벽도 및 기술경쟁력 분석

조사대상 기술	발명의 명칭					
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술	구분	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
	국내		☑			
	국외		☑			

❍ 유사도 분석

<표 2-3-38> 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 주요장벽특허 유사도분석

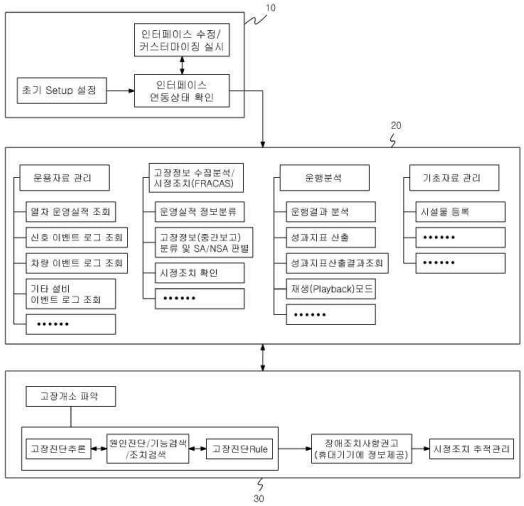
기술명	구성 요소
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	① 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술 ② 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘 ③ 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및

		이력관리 기술 ④ 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술 ⑤ 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술	
유사특허 비교분석			
구 분	**특허(등록.출원)번호**	**비 고 (유사도)**	**권리비교**
국내	KR 1434303 (출원인: 현대로템 주식회사)	유사점 (★★☆☆☆)	철도의 각 시스템에서 발생하는 고장정보를 자동으로 수집, 이를 사용자가 분석 / 판단하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	KR 1499456 (출원인: (주)유엠로직스)	유사점 (★☆☆☆☆)	관리하고자 하는 시설물을 이동식 카메라를 통해 촬영한 영상 데이터를 이용하여 시설물의 이상 여부를 탐지하는 영상을 통한 시설물 이상탐지 시스템을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
해외	JP 2007-145178 (출원인: HIGASHI NIPPON TRANSPORTEC KK)	유사점 (★★☆☆☆)	철도 설비 상태를 감지한 정보 및 철도 설비 상태가 통보된 정보를 저장해 이력을 파악하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
	JP 2002-145071	유사점	설비 데이터 기억 장치 내에 저장되어 있는 설

	(출원인: HITACHI LTD)	(★☆☆☆☆)	비 데이터를 진단 지시 입력에 따라 읽어내, 각 설비 데이터 간의 정합성 유무를 진단하고 진단 결과를 출력하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술과 기술분야가 일부 관련성이 있음
		차이점	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있음
검토 의견	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술로 기출원된 KR 1434303 특허의 철도시스템의 고장정보수집분석시스템 및 JP 2007-145178 특허의 철도 설비의 원격 감시 시스템을 활용할 가능성이 있을 것으로 판단됨 다만, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술을 포함하는 제안기술과 유사도가 높은 핵심특허는 검색되지 않은 것으로 분석되므로, 연구개발 수행의 과정에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술과 관련한 IP 창출의 필요성 및 가능성이 높은 것으로 사료됨		
대응 방안	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 IP확보가 가능할 것으로 예상되고, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술과 관련하여 한국등록특허 1434303 및 일본공개특허 2007-145178의 등록과정을 살펴볼 필요성이 있으나, 기술적 관련도가 높지 않아 연구개발 시 해당 특허의 기술내용을 참고문헌으로 활용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨		

○ 주요특허 권리분석

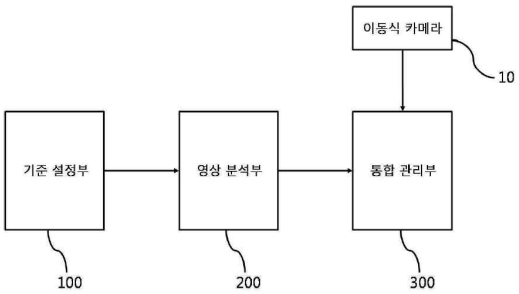
<표 2-3-39> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (1)

발명의 명칭	철도시스템의 고장정보수집분석시스템 (FAILURE INFORMATION CORRECTION AND ANALYSIS SYSTEM FOR RAILWAY SYSTEM)		
출원인	현대로템 주식회사	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2012-0100900/1434303	출원일	2012-09-12
기술 분야	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 철도시스템의 고장정보수집분석시스템에 관한 것이다. 본 발명에 따른 철도시스템의 고장정보수집분석시스템은 철도시스템의 운영과정에서 발생하는 운영정보와 이벤트정보를 수집하는 운영정보 및 이벤트정보 수집부, 상기 운영정보 및 이벤트정보 수집부가 수집한 운영정보 및 이벤트정보를 저장하고, 상기 운영정보 및 이벤트정보를 기초로 철도시스템의 고장정보를 수집하고 종합실적결과를 분석하는 고장정보수집 및 종합실적결과 분석부 및 상기 운영정보 및 이벤트정보 수집부가 수집한 정보와 상기 고장정보수집 및 종합실적결과 분석부가 수집/분석한 정보를 관리하는 종합자료관리부를 포함하여 구성되고, 상기 운영정보 및 이벤트정보 수집부는 상기 철도시스템의 운영과정에서 발생한 운영정보 및 이벤트정보를 사용자 선택에 의해 통신망을 이용하여 자동으로 수집하거나, 통신망을 이용하지 않고 사용자에 의해 수동으로 업로드하는 방식으로 수집하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.(Stand alone 및 네트워크 형 중에서 선택가능) 본 발명에 따르면, 철도시스템 발생 고장에 대한 고장정보 수집, 분류, 분석 및 시정조치가 자동화되기 때문에 고장에 대처하기 위해 소요되는 시간이 줄어들고 불필요한 인적자원의 소모를 방지하는 효과가 있다.		
대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 철도의 각 시스템에서 발생하는 고장정보를 자동으로 수집, 이를 사용자가 분석 / 판단하여 발생한 고장상황에 대해 신속하고 정확한 상태인식과 향후 대처 및 유사고장을 예방하고, 이에 대한 유지보수 지원체계를 능동적이고 체계적으로 수립하는 기술에 관한 것임		

	철도의 각 시스템에서 발생하는 고장정보를 자동으로 수집, 이를 사용자가 분석 / 판단하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2012년 09월 12일 출원되고 2014년 08월 20일 등록된 한국 특허이며 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

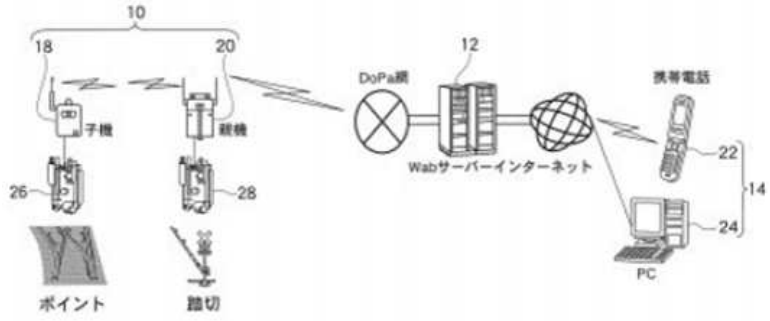
<표 2-3-40> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (2)

발명의 명칭	**영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템 및 그 탐지 방법 (Facility anomaly detection System and Method using image)**		
출원인	(주)유엠로직스	출원국가	KR
출원번호/등록번호	2013-0131777/1499456	출원일	2013-10-31
기술 분야	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	법적상태	등록
기술요약	본 발명은 영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템 및 그 탐지 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 관리하고자 하는 시설물을 이동식 카메라(10)를 통해 촬영하며, 촬영 영상 데이터를 이용하여 시설물의 이상 여부를 탐지하는 영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템에 있어서, 기저장되어 있는 상기 시설물의 기준 영상 데이터를 분석하여 상기 시설물의 이상 여부 탐지를 위한 기준 이미지를 설정하는 기준 설정부(100), 상기 기준 설정부(100)에서 설정한 상기 기준 이미지를 분석하여, 상기 시설물의 이상 여부 탐지를 위한 이상 탐지 규칙을 설정하는 영상 분석부(200) 및 상기 이동식 카메라(10)로부터 실시간으로 상기 시설물의 촬영 영상 데이터를 전달받아, 상기 영상 분석부(200)에서 설정한 상기 이상 탐지 규칙에 따라, 상기 촬영 영상 데이터를 분석하여 상기 시설물의 이상 여부를 판단하는 통합 관리부(300)를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템에 관한 것이다.		

대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 철도시설 등 시설물의 주변을 이동하면서 촬영한 영상 정보를 분석하여, 시설물의 이상 여부를 탐지하는 기술에 관한 것임 관리하고자 하는 시설물을 이동식 카메라를 통해 촬영한 영상 데이터를 이용하여 시설물의 이상 여부를 탐지하는 영상을 통한 시설물 이상 탐지 시스템을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2013년 10월 31일 출원되고 2015년 03월 02일 등록된 한국 특허이며 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

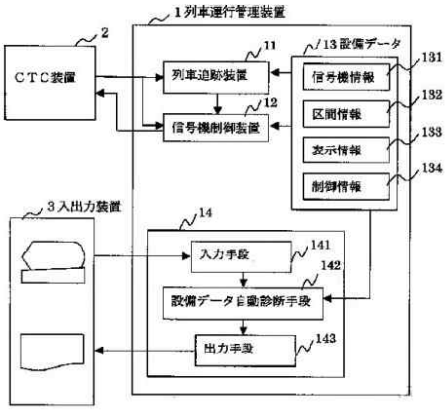
<표 2-3-41> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (3)

발명의 명칭	**철도 설비의 원격 감시 시스템**		
출원인	HIGASHI NIPPON TRANSPORTEC KK	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2005-342450/2007-145178	출원일	2005-11-28
기술 분야	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	법적상태	등록
기술요약	철도 설비 상태를 1시에 복수사람에 의해 파악함으로써 복수사람에 의한 정보의 공유를 도모하는, 철도 설비 상태를 감지한 정보 및 철도 설비 상태가 통보된 정보를 저장해 이력을 파악하는 것을 도모한다 및 철도 설비 상태 정보 송신 수단의 설치비 및 통신비를 저비용으로 하는 것을 도모할 수 있는 철도 설비의 원격 감시 시스템을 제공한다. 융설장치 상태 정보 송신 장치 10은 통신망인 DoPa(등록상표) 망을 통해 Web 서버 12에 정보를 송신하고 융설장치 상태 정보 수신 장치 14는 통신망인 인터넷을 통해 Web 서버 12로부터 정보를 수신하고 Web 서버 12는		

	융설장치 상태 정보 송신 장치 10으로부터 송신된 정보를 저장함과 동시에 메일로 변환해 그 메일을 저장하는 복수의 융설장치 상태 정보 수신 장치 14로 송신하는 것을 특징으로 하는 융설장치의 원격 감시 시스템.
대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 철도 설비 상태를 감지한 정보 및 철도 설비 상태가 통보된 정보를 저장해 이력을 파악하는 철도 설비 원격 감시 시스템에 관한 것임 철도 설비 상태를 감지한 정보 및 철도 설비 상태가 통보된 정보를 저장해 이력을 파악하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격 점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2005년 11월 28일 출원되고 2007년 06월 14일 공개된 일본 특허이며 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

<표 2-3-42> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술 주요특허 권리분석 (4)

발명의 명칭	**열차 운행 관리 장치의 설비 데이터 자동 진단 방법 및 그 장치**		
출원인	HITACHI LTD	출원국가	JP
출원번호/공개번호	2000-346490/2002-145071	출원일	2000-11-14
기술 분야	무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 (AC)	법적상태	등록
기술요약	시스템의 시뮬레이션 테스트 등을 실시하기 전에 설비 데이터를 자동으로		

	용이하게 검증할 수 있도록 하고 공정수의 감소를 도모한다. 철도의 현장 설비의 상태 정보가 입력되고 다이어그램 정보 및 설비 데이터에 따라 열차 추적 11 및 신호기 제어 12를 하는 열차 운행 관리 장치 1에 있어서 설비 데이터를 작성한 시점에서 설비 데이터 13의 각 데이터 간의 정합성을 진단하고 진단 결과를 출력한다. 이와 같이 계산기 처리에 의해 설비 데이터의 이상을 조기에 검출할 수 있기 때문에, 그 수정을 조기에 수행할 수 있고 이 설비 데이터에 기반한 시뮬레이션 등 결과에 대한 신뢰성도 향상된다.
대표도면	
분석결과 종합	기술의견 - 본 발명은 신호기나 선로 등의 각종 설비 데이터에 기반하여 열차의 운행을 관리하는 열차 운행 관리 장치와 관련되어 특히 설비 데이터의 정합성을 자동으로 진단하는 설비 데이터 자동 진단 방법 및 그 장치에 관한 것임 설비 데이터 기억 장치 내에 저장되어 있는 설비 데이터를 진단 지시 입력에 따라 읽어내, 각 설비 데이터 간의 정합성 유무를 진단하고 진단 결과를 출력하는 기술을 개시한다는 점에서 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술과 기술분야가 일부 유사하나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대해서는 구체적인 언급이 없어 다소 차이가 있으므로, 기술적 참고자료로 활용하는 것이 바람직하다고 판단됨 법적상태 - 2000년 11월 14일 출원되고 2002년 05월 22일 공개된 일본 특허이며 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술을 활용하고자 한다면 본 특허의 심사경과를 살펴보고 과제 방향설정에 있어서 참고 자료로서 활용될 수 있으나, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등에 대한 직접적이고 구체적인 언급이 없어 본 발명을 활용하되 회피설계 방안을 집중하여 고려할 필요는 없을 것으로 예상됨

(3) 특허기술 장벽도 분석 종합결과

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발과 관련하여, 각 세부 기술에 관하여 관련도가 높은 선행문헌은 검색되지 않은 것으로 판단되며, 현재 등록되어 있는 국내외 유사문헌의 권리범위를 살펴본 결과 권리범위가 비교적 넓거나 회피설계의 필요성이 높은 선행문헌은 검색되지 않아, 전체적인 장벽도는 낮은 것으로 판단되어, 향후 R&D를 진행하여 가치 있는 특허를 다수 창출할 수 있을 것으로 판단됨

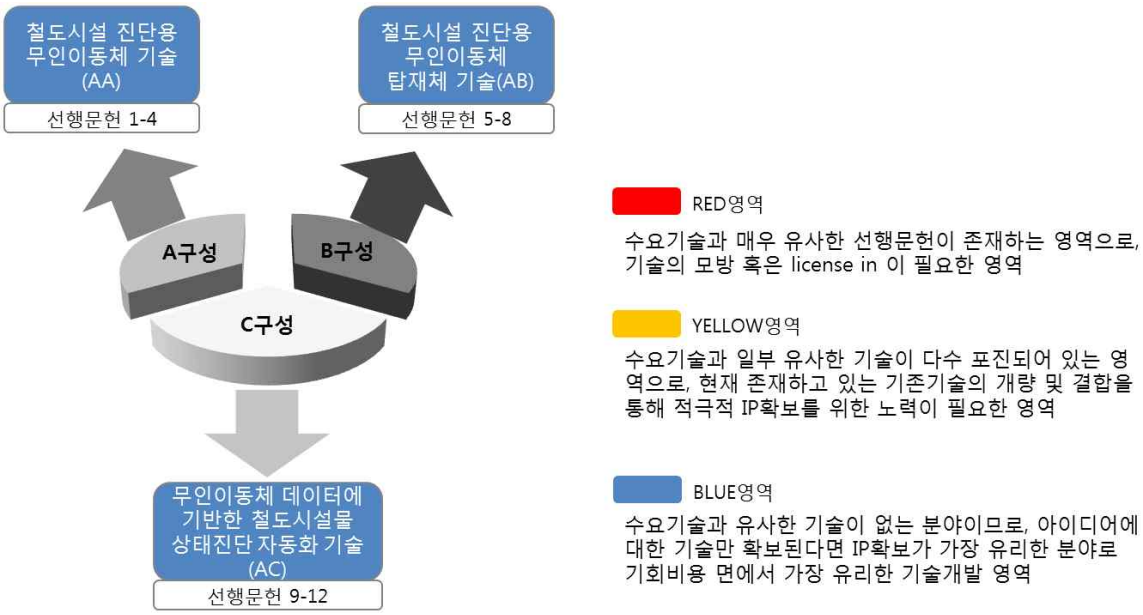
○ 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA) 분야의 경우 전체적인 장벽도는 낮은 것으로 판단됨. 구체적으로, 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술(UAV, USV, 드론, 로봇), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 제어 기술 등을 포함하는 제안기술과 기술분야가 일부 유사한 선행문헌이 검색되었으나, deep & reverse deep drawing 기술을 공정별 트랜스퍼 방식 적용 기술 등 제안기술의 핵심 기술구성에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 추가 R&D를 추진하여 IP확보가 가능할 것으로 판단됨

○ 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB) 분야의 경우 전체적인 장벽도는 낮은 것으로 판단됨. 구체적으로, 철도시설 진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO 카메라, 열화상 카메라, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등), 철도시설 자동화 점검을 위한 무인이동체 탑재체 운용 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 제어 기술 등을 포함하는 제안기술과 기술분야가 일부 유사한 선행문헌이 검색되었으나, 철도시설 점검 항목(전차선 처짐, 방음벽 탈락 등) 별 무인이동체 탑재체 기술 등 제안기술의 핵심 기술구성에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 추가 R&D를 추진하여 IP확보가 가능할 것으로 판단됨

○ 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC) 분야의 경우 전체적인 장벽도는 낮은 것으로 판단됨. 구체적으로, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터 분석 및 저장 기술, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술 등을 포함하는 제안기술과 기술분야가 일부 유사한 선행문헌이 검색되었으나, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등 제안기술의 핵심 기술구성에 대하여 구체적인 구성이 개시된 특허가 발견되지 않아 선행문헌과의 차별점을 바탕으로한 추가 R&D를 추진하여 IP확보가 가능할 것으로 판단됨

<표 2-3-43> 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과

구성요소	연구 아이템 장벽도				
	매우낮음 / 1	낮음 / 2	보통 / 3	높음 / 4	매우높음 / 5
철도시설 진단용 무인이동체 기술		O			
철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술		O			
무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술		O			



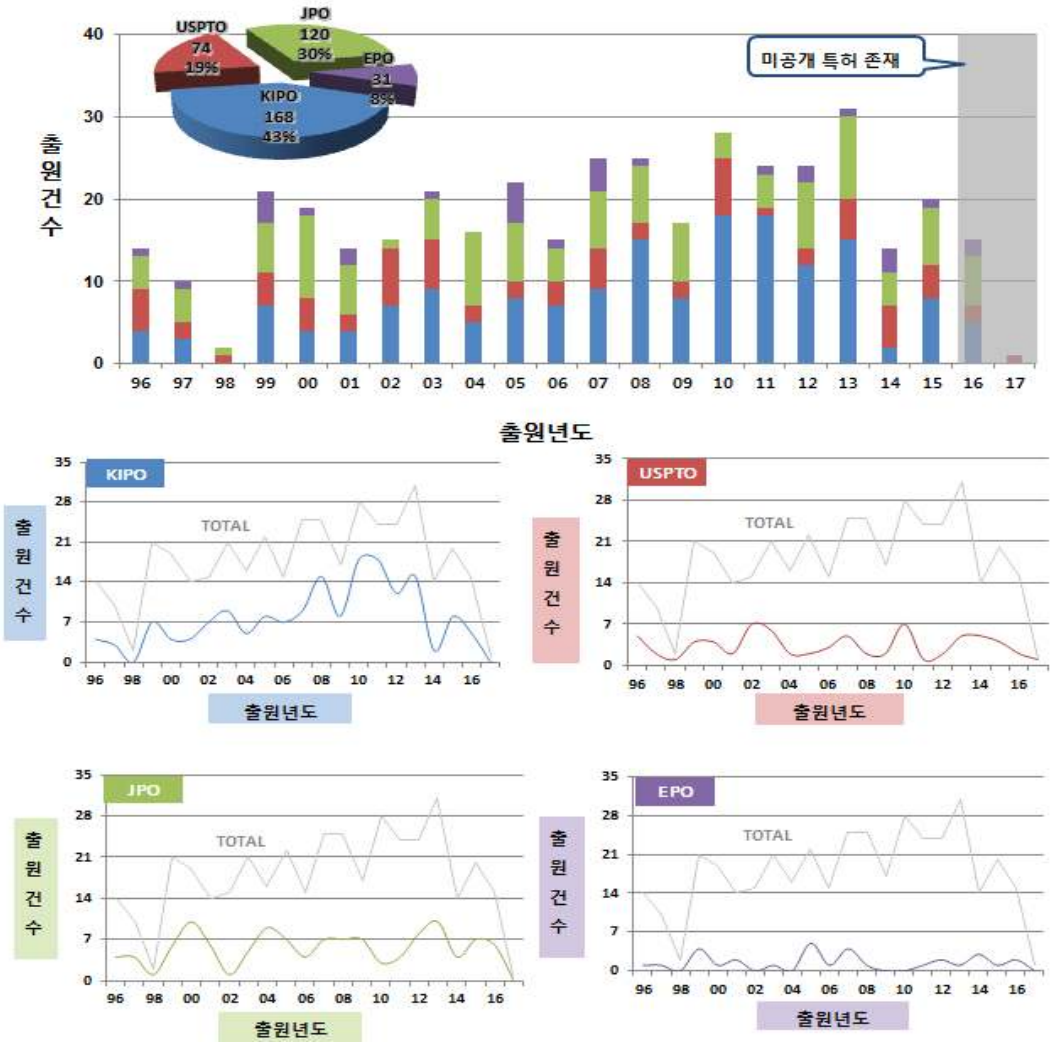
<그림 2-3-108> 연구 아이템 장벽도 종합 분석 결과

라. 특허기술 동향 분석

(1) 특허기술 Landscape (주요 국가별/연도별 동향, 내・외국인 출원동향 등)

① 주요 국가별 연도별 출원동향

○ 본 분석을 통해 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 특허기술 출원 점유율을 통해 해당 기술을 선도하는 국가 파악하고자 하며, 과거부터 최근까지의 국가별 특허기술 출원의 양적 트렌드를 비교하여 타 국가 대비 국내의 기술적 위치 파악하고자 함



<그림 2-3-109> 주요 출원국 특허출원현황 ('96~'17)

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 전체 특허 동향을 살펴보면, 분석구간 초기부터 최근까지 증감을 반복하는 추세가 나타나고 있음

○ 본 기술과 관련된 특허 동향에서 급격한 증가 혹은 감소하는 영역은 나타나지 않음. 분석구간 초기부터 최근까지 한국의 흐름이 전체 동향을 주도하고 있어, 한국의 출원 증가 및 감소에 따라 전체 동향이 증가 및 감소하는 추세를 나타내고 있음

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에 대한 국가별 특허 점유 현황을 살펴보면, 한국(KIPO) 168건(43%), 미국(USPTO) 74건(19%), 일본(JPO) 120건(30%), 유럽(EPO) 31건(8%)의 특허가 출원되어, 본 기술은 한국이 가장 많은 특허기술을 점유하고 있는 것으로 나타남

○ 분석구간 초기부터 최근까지는 한국 출원이 전체 특허 동향 형태의 주요한 원인으로 나타남

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에서 한국(KIPO)은 168건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 분석구간 초기부터 1998년까지 5건 이하의 저조한 출원건수를 보였으나, 1999년부터 2013년까지 증가세를 보이며 꾸준한 특허 출원을 하였고, 2014년 일시적으로 특허 출원이 감소하였다가 2015년 다시 증가하는 추세를 보여 미공개 존재구간을 고려할 때, 성장이 더욱 지속될 가능성에 대한 명확한 파악을 위해서는 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료됨

- 특히 분석구간 초기부터 최근까지는 한국 출원이 전체 특허 동향 흐름과 비슷한 형태로, 분석구간 전체에서 기술시장을 주도하고 있는 것으로 판단됨
- 한국 특허기술의 양적 흐름은 일본과 상당히 유사한 것으로 나타나나, 양적 흐름으로 기술 수준의 유사 여부를 판단하기는 어려우며 이후 심층분석을 통한 특허기술의 세부 내용 파악을 통해 판단할 수 있음
- 한국의 특허동향은 2007년과 2008년, 2009년과 2010년 사이에서 전 구간대비 비교적 큰폭으로 증가한 형태가 나타나고 있음. 해당 구간의 다출원 기관을 살펴본 결과, 한국철도기술연구원 등에서 다수의 특허를 출원한 것으로 나타남

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에서 미국(USPTO)은 74건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 분석구간 초기부터 최근까지 증감을 반복하고 있음

- 미국의 경우, 2004년 이후로 전체 특허기술의 출원 증감 흐름에 영향을 주고 있는 것으로 나타남
- 분석구간 초기부터 최근까지 미국은 한국에 비해 적은 출원건수를 나타내었으나, 꾸준한 출원 활동을 나타내고 있음
- 미국의 경우, 급격한 증가 및 감소 구간이 나타나지 않으며, 전체 구간에서 National Railroad Passenger Corporation, AEA Technology PLC, Amsted Rail Company, Inc. 등의 기업이 다출원한 것으로 나타남

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에서 일본(USPTO)은 120건의 특허가 출원된 것으로 나타나며, 분석구간 초기부터 최근까지 증감을 반복하고 있음

- 분석구간 초기부터 2004년까지의 전체 특허기술 흐름은 한국의 흐름 형태와 같이 일본의 흐름 형태 역시 유사하여 해당 구간은 한국과 일본이 다출원 기준에서 주도적인 위치였음을 알 수 있음
- 일본은 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에서 분석구간 초기부터 2004년까지 초기 시장을 선점하고 있으나, 2005년부터 최근까지는 출원활동이 한국에 비해 활발하지 않고 일정 수준에서 유지되고 있는 것으로 분석됨

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에서 유럽(EPO) 특허는 31건으로 분석구간 전체에서 미미하게 출원을 지속하고 있는 것으로 나타남

- 분석의 범위가 되는 유럽 특허는 유럽 개별국가별로 직접 출원한 특허가 아닌 유럽특허청(EPO)을 통해 지정국을 정하여 출원하는 건이며, 타 국가 특허와 비교적 기술적 중요도, 상품연계 가능성, 패밀리의 크기가 큰 특징이 있음. 또한 글로벌 정책으로부터의 영향이 상당히 크다고 할 수 있음

○ 유럽의 경우, 출원건수가 타 국가 대비 미미하여, 전체 특허기술의 증감 추세를 주도하는 구간 또한 나타나지 않으나, 유럽 특허 자체의 기술적 중요도를 고려하여 다출원기관 및 유럽에 진출한 글로벌 기업의 출원 추세를 살펴보는 것은 의미가 있음

○ 유럽 특허에서 National Railroad Passenger Corporation, AEA Technology PLC, Amsted Rail Company, Inc. 등의 기업에서 출원활동이 가장 활발한 것으로 나타남

<표 2-3-44> 시사점 정리

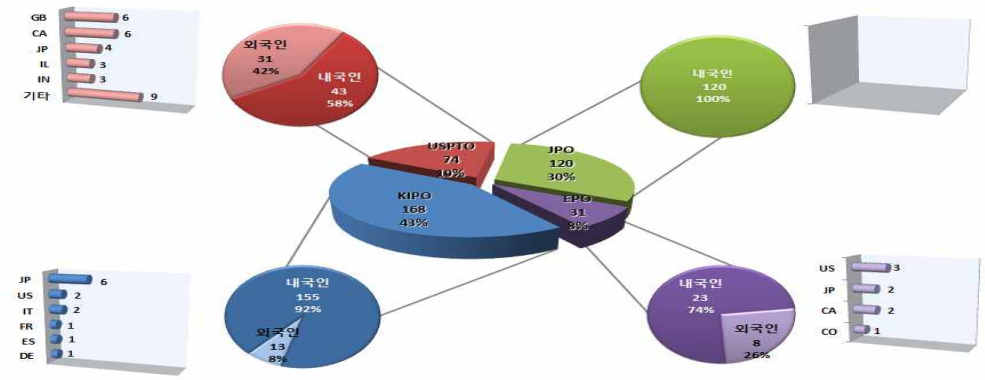
산업분야 특성과 특허동향 결과의 부합 정도	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술은 철도시설 진단용 무인이동체 기술, 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술, 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 등의 기술을 포함하는 것으로, 한국은 최근 무인이동체의 다양한 분야에서 활용 가능성이 있는 것을 고려하여 대규모 일자리 창출 효과를 기대하는 바, 무인이동체 발전 계획을 발표하였으며, 최근 분석구간에서 한국 출원이 증가한 양상이 무인이동체 산업의 활성화와 부합하는 것으로 판단할 수 있음
주목해야 할 출원기관 및 기업	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술과 관련하여 한국의 최근 다출원기관인 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 미국의 최근 다출원기관인 National Railroad Passenger Corporation, 일본의 원천기술 보유기관으로 판단되는 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, HITACHI LTD, 유럽에 특허기술을 다출원한 SENER, INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A. 등 기관/기업의 출원 활동이 두드러지는 것으로 나타나, 이후 출원인 분석 시 참고할 필요가 있음
한국(KIPO)의 특허기술적 위치	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술과 관련하여 한국은 43%의 특허기술을 출원하고 있으며 특히 전체 구간에서 전체 특허 흐름과 비슷한 양상을 보이며 상당 부분 기술개발을 주도하고 있는 것으로 판단됨. 단, 이후 주요 출원기관의 특성 및 특허 건별 심층분석 결과와 함께 종합적으로 판단하는 것이 요구됨

② 주요 국가별 내・외국인 출원동향

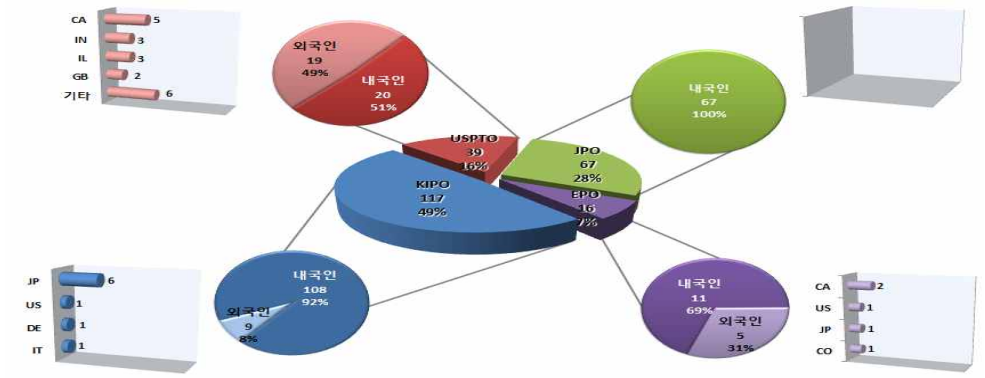
○ 본 분석을 통해 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 출원인 국적을 구분하여 내국인과 외국인의 출원 분포를 파악하고자 하며, 이를통해 국가별 외국인 국적별 출원건수를 분석하여 해당 국가 내 국외 기술의 유입 상황 및 국외 기술에 대한 의존도 여부, 자국 기술력 등을 유추하고자 함

○ 또한, 과거부터 최근까지의 국가별 내・외국인 출원건수를 비교하여 해당 국가 내에

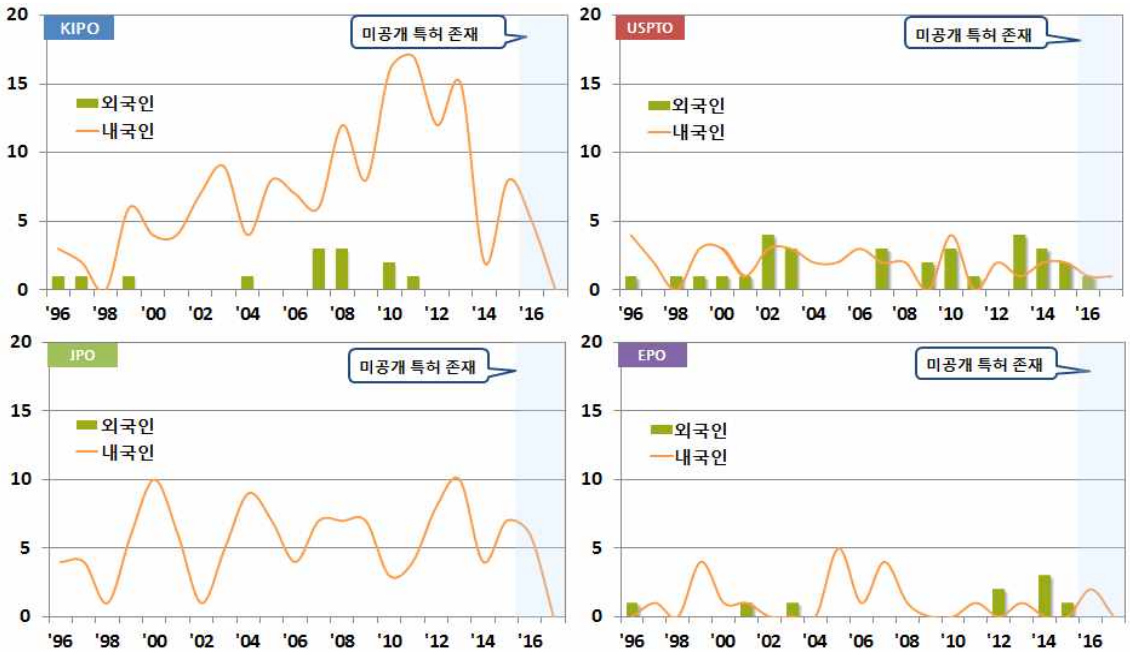
서 기술개발을 주도하는 내·외국인 여부의 변화 추이를 파악하고자 함



<그림 2-3-110> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황('96~'15)



<그림 2-3-111> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황('06~'15)



<그림 2-3-112> 연도별 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에 대한 국가별 출원된 특허는 한국(KIPO) 168건, 미국(USPTO) 74건, 일본(JPO) 120건, 유럽(EPO) 31건이며, 내·외국인의 특허출원 비율 및 현황은 국가별로 상이함

❍ 한국(KIPO)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 92%(155건), 외국인 8%(13건)의 비율이 나타남

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 한국의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 70~75%인 것과 비교하여, 본무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술은 자국 중심의 출원 경향이 강한 것으로 나타나며, 최근 10년 구간에서의 내국인의 출원 비율은 92%로 과거 대비 내·외국인 출원 비중의 큰 변동이 없는 것으로 나타남

- 한국(KIPO) 특허기술의 내·외국인 출원 현황에서, 분석구간 초기부터 최근까지 내국인 및 외국인 출원 비중 그래프 선의 변곡시점 없이 내국인의 출원 비중이 상당히 높은 것으로 유지되고 있으며, 특히 최근 구간에서 비중의 격차가 점점 더 커지는 경향이 나타남. 이는 해당 기술의 자국 중심 연구·개발 특성이 강하다는 것을 시사하는 것으로 해석할 수 있음

- 한국(KIPO)에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 전체 구간에서는 일본 국적의 출원인이 가장 많은 특허를 출원하였으며, 일본, 미국, 이탈리아, 프랑스, 스페인, 독일 국적의 출원인이 한국 내 특허를 출원하였음

❍ 미국(USPTO)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 58%(43건), 외국인 42%(31건)의 비율이 나타남

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 미국의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 65% 내외인 것과 비교하여, 해당 기술과 관련하여서는 미국은 자국 중심의 출원 경향이 다소 높은 것으로 나타나며, 최근 10년 구간에서의 외국인의 출원 비율은 49%로 과거 대비 외국인 출원의 비중이 더 확대되었음을 알 수 있음

- 미국(USPTO) 특허기술의 내·외국인 출원 현황에서, 분석구간 초기에부터 2012년까지 내국인의 출원이 다소 높은 것으로 나타났으나, 2013년부터 최근까지 외국인의 출원건수가 증가하여 외국인의 연구·개발 비중이 높은 것으로 나타남

- 미국(USPTO)에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 영국 및 캐나다 국적의 출원인이 가장 많은 특허를 출원하였으며, 영국, 캐나다, 일본, 이스라엘, 인도 등 국적의 출원인이 미국 내 특허를 출원하였음

❍ 일본(JPO)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 100%(120건), 왼국인 0%(0건)의 비율이 나타남

- 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 일본의 특허출원 경향이 내국인 출원 비율 약 85% 내외인 것과 비교하여, 일본 역시 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시

설 상태진단시스템 개발 기술에서 자국 중심의 출원 경향이 강한 것으로 나타남

- 일본(JPO)에 출원한 내국인의 비율이 100%로 외국인 출원 특허는 없는 것으로 나타남

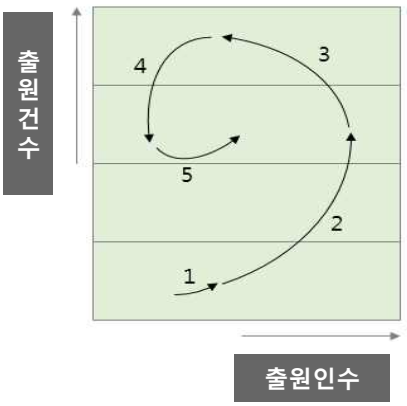
❍ 유럽(EPO)의 내·외국인 특허출원 비율 및 현황을 살펴보면, 내국인 74%(23건), 외국인 26%(8건)의 비율이 나타남. 유럽 특허에서의 내국인은 유럽연합(EU)가입국 국적의 출원인을 의미하고 외국인은 그 외 국적의 출원인을 의미함

- 본 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 유럽특허는 내국인의 비율이 74%로 외국인의 출원 비율과 비교하여 상대적으로 높은 것으로 나타나 내국인의 연구개발이 많은 것으로 나타남

- 유럽(EPO)에 출원한 외국인의 국적을 살펴보면, 미국 국적의 출원인이 가장 많은 특허를 출원하였으며, 일본, 캐나다, 콜롬비아 미국, 일본 등 국적의 출원인이 유럽 내 특허를 출원하였음

③ 특허기술(연구개발) 성장단계

❍ 본 분석을 통해 전체 출원 기간을 일정한 구간으로 나누어 구간별 출원건수와 출원인수의 증감 변화를 토대로 해당 기술분야의 특허기술 성장단계를 파악하고자 하며, 이를통해 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 특허기술 성장단계를 비교 분석 하고자 함



1. 태동	- 신기술의 출현 - 특허와 특허출원인의 적은 증가
2. 성장	- R&D의 급격한 증가, 경쟁의 격화 - 특허와 특허출원인의 빠른 증가
3. 성숙	- 지속적인 연구개발 활동, 일부 업체의 도태 - 특허 수의 정체, 특허출원인의 정체 또는 감소
4. 쇠퇴	- 대체기술의 출현, 기술발전의 불연속점 발생 - 특허 수의 감소, 특허출원인의 정체 또는 감소
5. 회복	- 기술의 유용성 재발견, 대체기술의 쇠퇴 - 특허와 출원인 수가 증가추세로 전환

<그림 2-3-113> 특허기술 성장단계별 의미

❍ 특허기술 성장단계 분석에서 출원건수의 증가는 기술개발이 활발한 것을 의미하고 출원인수의 증가는 기술시장에의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하며, 종합적으로 출원건수와 출원인수의 동시 증가는 해당 기술 시장이 확대되고 있다는 것을 의미함

○ 특허기술 성장단계 중 태동기 단계는 출원인과 출원건수의 증가가 시작되는 형태로 이후 연구개발 활동이 활발해질 것으로 예상할 수 있는 단계이며, 성장기 단계는 출원인과 출원건수가 급격하게 증가하는 형태로 본격적으로 해당 기술분야의 연구개발 활동이 이루어지고 있는 단계로 해석할 수 있음. 태동기와 성장기의 구분은 분석 데이터의 모수 대비 해당 구간의 증가 건수, 기술분야의 특성 및 출원인의 성격 등을 고려하여 판단할 수 있음. 성숙기 단계는 출원건수의 증가가 다소 주춤하고 출원인수가 감소하는 형태로 일부 선진 출원인만이 출원을 유지하고 그 외 진입자들은 도태가 되는 단계임. 쇠퇴기 단계는 출원건수 및 출원인수 모두 감소하는 형태로 해당 기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있으며, 회복기 단계는 원천기술을 이용하여 최근 기술 트렌드 및 신규 아이디어 등에 부합하는 기술이 개발되어 시장이 재형성되는 단계로 판단할 수 있음

○ 특허기술 성장단계 분석구간의 설정은 전체 기간을 일정한 연간 단위로 구간을 구분하되, 최근 급부상하거나 이슈가 있는 기술분야의 경우, 최근 기간 등으로 한정하여 구간을 설정하여 분석하는 것이 유의미할 수 있음

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 특허기술 성장단계를 분석하고자, 전체 분석구간 전체 분석구간 20년을 5년 단위 4개 구간으로 구분하여, 1구간(1996년~2000년), 2구간(2001년~2005년), 3구간(2006년~2010년), 4구간(2011년~2015년)을 설정하였음

○ 특허기술을 기반으로 한 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 성장단계는 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기로 나타나고 있음

○ 한국(KIPO)의 특허기술 성장단계는 출원건수와 출원인수가 증가하고 있는 형태로 성장기인 것으로 해석할 수 있음

- 1구간에서 3구간까지 출원건수 및 출원인수가 증가를 하였으며, 3구간 이후부터 최근구간까지 출원인수가 다소 멈춘 것으로 나타남
- 한국의 특허기술 성장단계는 1구간에서 3구간까지는 전체 성장단계 형태와 유사하게 나타남
- 한국의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 168건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음

○ 미국(USPTO)의 특허기술 성장단계는 출원건수는 증가하고 출원인수는 유지되고 있는 형태로 성장기 말기 혹은 성숙기 초기인 것으로 해석할 수 있음

- 1구간에서 2구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하였고, 2구간에서 3구간까지 출원건수가 감소하는 듯하였으나, 3구간부터 최근구간까지 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기로 나타나 3구간에서 최근까지의 형태는 전체 성장단계 형태

와 유사하게 나타남

- 미국의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 74건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음

○ 일본(JPO)의 특허기술 성장단계는 출원건수와 출원인수 모두 증가하고 있는 형태로 성장기인 것으로 해석할 수 있음

- 1구간에서 3구간까지 출원건수와 출원인수가 증가 하였으며, 3구간 이후부터 최근 구간까지 출원인수가 다소 감소하는 것으로 나타남

- 일본의 특허기술 성장단계는 1구간에서 3구간까지의 전체 성장단계 형태에 영향을 미치고 있는 것으로 나타남

- 일본의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 120건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 볼 수 있음

○ 유럽(EPO)의 특허기술 성장단계는 3구간에서 최근 구간까지 출원인수와 출원건수가 증가하고 있는 형태로 성장기인 것으로 해석할 수 있음

- 1구간에서 2구간까지 출원건수와 출원인수가 증가하였고, 2구간에서 3구간까지 출원건수와 출원인수가 감소하여 쇠퇴기 단계의 형태를 나타내는 듯하였으나, 3구간부터 최근구간까지 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기로 나타나 3구간에서 최근까지의 형태는 전체 성장단계 형태와 유사하게 나타남

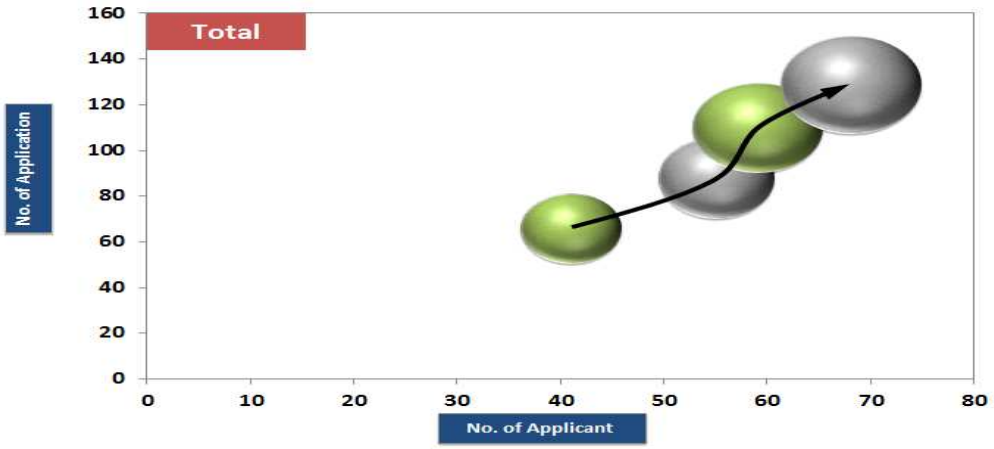
- 유럽의 특허기술 성장단계 분석 대상 데이터는 16건을 대상으로 하여 분석의 효용성이 인정된다고 보기가 어려움

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 성장단계는 1구간 이후부터 최근구간까지 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기로 나타나 이후 구간에서도 동일한 형태가 유지되어 출원건수와 출원인수가 증가할 것으로 보임

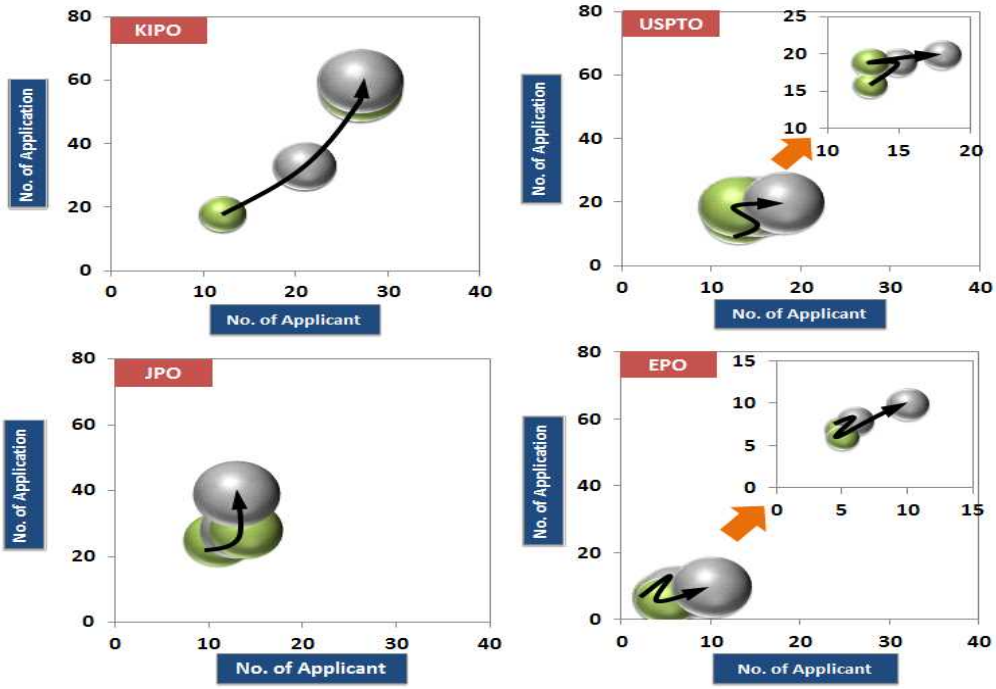
○ 한국(KIPO)의 특허기술 성장단계는 일본(JPO)과 가장 유사한 형태인 것으로 나타나고 있음. 한국(KIPO)의 특허기술 성장단계는 현재의 성장단계 양상을 유지하여 이후 구간에서 출원건수는 꾸준히 상승하고 출원인수는 증감없이 유지되는 형태가 나타날 것으로 보임

○ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 주요 국가별 특허기술 성장단계를 살펴본 결과, 국가별 성장단계 형태가 상이한 것으로 나타났으며, 이에 대한 원인을 짚어볼 필요가 있음. 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO)의 경우, 성장기의 유사한 그래프 형태로 초기 구간에서 출원건수 및 출원인수가 함께 증가한 이후 최근까지 한국의 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 미국의 National Railroad Passenger Corporation, 일본의 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, HITACHI LTD 등의 기업이 특허 출원을 유지하고 있는 것으로 나타남.

유럽(EPO)은 데이터 건수가 적어 성장단계 분석의 효용성이 다소 낮은 것으로 판단됨



<그림 2-3-114> 주요 국가별 특허기술 성장단계(계속)



<그림 2-3-115> 주요 국가별 특허기술 성장단계

<표 2-3-45> 시사점 정리

해당 기술의 향후 성장 추이	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 성장단계는 최근까지 성장기 형태가 나타나 이후 구간에서 성장기 단계를 유지할 가능성이 있음
기술의 장벽도 및 신규 진입의 성공 가능성	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술은 상당 부분 기술·산업분야가 성장하고 있어 장벽도가 낮고, 앞으로 다른 신규 출원인의 진입 성공 가능성이 존재함
해당 기술 기획의 적절성	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술은 성장기 단계인 것으로 분석 결과가 도출되었으며, 이는 해당 기술에 대한 시장성이 높고 장벽도가 낮지 않을 것을 의미함. 해당 기술에 신규 아이디어 및 최신 트렌드를 반영하여 진행할 필요가 있으며, 장벽이 되는 특허기술에 대한 사전검토가 요구됨

(2) 주요 출원인 분석

❍ 본 분석을 통해 특허의 정량적인 요소를 기준으로 하여, 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 기술을 주도하는 기관 및 기업을 파악하였으며, 타 국가 대비 국내 기관 및 기업의 출원 활동 현황 및 수준을 파악하여 거시적 관점의 향후 트렌드 예측 하였음. 또한 연구개발에 있어 심층적인 사전 파악이 필요한 기관 및 기업 제시하였음

① 다출원 기준 주요 출원인 현황 분석

<표 2-3-46> 다출원 기준 주요 출원인

순위	출원인	국적	기관 성격	출원 건수	주요IP 출원국 (건수,%)				최근5년 출원 증가율	주력 기술 분야
					KIPO	USPTO	JPO	EPO		
1	한국철도기술연구원	한국	연	33	33 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	-56%	AA
2	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	일본	연	22	0 (0%)	0 (0%)	22 (100%)	0 (0%)	80%	AA
3	HITACHI LTD	일본	산	18	0 (0%)	0 (0%)	18 (100%)	0 (0%)	900%	AA
4	한국철도공사	한국	산	15	15 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	450%	AC
5	EAST JAPAN RAILWAY CO	일본	산	11	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)	0 (0%)	200%	AA
6	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	일본	산	11	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)	0 (0%)	-17%	AA
7	CENTRAL JAPAN RAILWAY CO	일본	산	7	0 (0%)	0 (0%)	7 (100%)	0 (0%)	0%	AA
8	ALSTOM FERROVIARIA S.P.A.	이탈리아	산	5	3 (60%)	1 (20%)	0 (0%)	1 (20%)	-100%	AA
9	KYOSAN ELECTRIC MFG. CO., LTD.	일본	산	5	3 (60%)	0 (0%)	2 (40%)	0 (0%)	-100%	AA
10	샬롬엔지니어링 주식회사	한국	산	5	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	-100%	AC
11	주식회사 우진산전	한국	산	5	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	300%	AB
12	현대로템 주식회사	한국	산	5	5 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	400%	AC
13	National Railroad Passenger Corporation	미국	산	4	0 (0%)	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0%	AB
14	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	독일	산	4	1 (25%)	1 (25%)	0 (0%)	2 (50%)	100%	AA
15	TOSHIBA CORP	일본	산	4	0 (0%)	0 (0%)	4 (100%)	0(0%)	-67%	AA
16	주식회사 케이티이	한국	산	4	4 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	-100%	AC

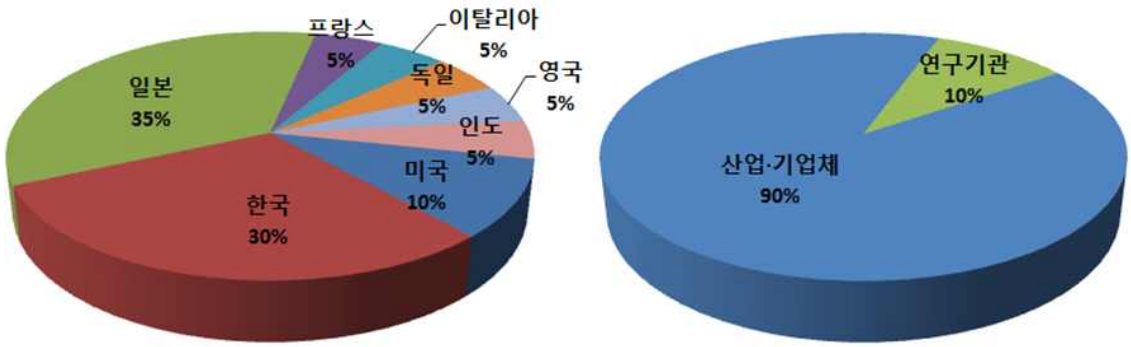
17	AEA Technology PLC	영국	산	4	0(0%)	3 (100%)	0(0%)	0(0%)	0%	AA
18	Alcatel Lucent	프랑스	산	3	0(0%)	1 (33%)	0 (0%)	2 (67%)	0%	AA
19	Amsted Rail Company, Inc.	미국	산	3	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0%	AC
20	Balaji VENKATRAMAN	인도	산	3	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	-100%	AB

* 기관특성: (산) 산업계, (학) 학계, (연) 연구계

* 최근5년 출원 증가율: 최근 10년 범위 내에서 과거 5년 대비 최근 5년의 출원 증가율

$$= \left(\frac{\text{최근5년 특허출원건수} - \text{과거 5년 특허출원건수}}{\text{과거 5년 특허출원건수}} \right) \times 100\ (\%)$$

* 주력 기술분야: (AA) 철도시설 진단용 무인이동체 기술, (AB) 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술, (AC) 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술



<그림 2-3-116> 다출원 기준 주요 출원인(상위 20위) 국적 및 기관특성 비중

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술과 관련하여 일본 국적 기업인 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, HITACHI LTD, EAST JAPAN RAILWAY CO, MITSUBISHI ELECTRIC CORP 등이 최다수의 특허를 보유하고 있어, 해당 기술은 다출원 기준으로 일본 및 미국이 주도하고 있는 것으로 파악됨. 국내 기관 및 기업은 한국철도기술연구원, 한국철도공사 등이 다출원 기준 순위 내 진입하고 있음

❍ 다출원 기준 상위 20위에 해당하는 주요 출원인의 국적 비중을 살펴본 결과, 일본 국적의 기업이 35%, 미국 국적의 기업이 30%, 한국 국적의 기관 및 기업이 10%, 프랑스, 이탈리아, 독일, 영국, 인도 국적의 기업이 각각 5%를 차지하였음. 주요 출원인의 기관특성 비중을 살펴본 결과, 출원인 중 90%가 산업계, 10%가 연구계로 나타나, 해당 기술은 산업계의 연구개발 활동이 활발한 것으로 판단할 수 있음

❍ 다출원 기준 상위 20위의 주요 출원인 중 타 국가 대비 이탈리아 국적 기업이 자국 외 출원건을 보유하고 있는 것으로 나타남. 이탈리아 국적 기업인 ALSTOM FERROVIARIA S.P.A은 자국 외 한국 및 미국에도 특허를 출원하였음. 독일 국적 기업의 경우, SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT가 자국 외 한국 및 미국에 특허를 출

원하였음

○ 다출원 주요 출원인별 최근 5년 출원 증가율은 최근 10년 범위 내에서 과거 5년 대비 최근 5년의 출원 증가율로 각 출원인별 보유 특허기술의 부상도를 가늠할 수 있음. 일본의 HITACHI LTD, 한국의 한국철도공사, 현대로템 주식회사의 경우, 최근 5년 출원 증가율이 높아 보유 특허 기술 중 최근 부상하고 있는 기술의 비중이 높은 것으로 판단할 수 있음

② 국가별 주요 출원인 현황 분석

<표 2-3-47> 다출원 기준 주요 출원인

순위	KIPO			USPTO			JPO			EPO		
	출원인(국적)	기관성격	출원건수	출원인(국적)	기관성격	출원건수	출원인(국적)	기관성격	출원건수	출원인(국적)	기관성격	출원건수
1	한국철도기술연구원 (KR)	연	33	National Railroad Passenger Corporation(US)	산	4	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE(JP)	연	22	SENER, INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A.(ES)	산	2
2	한국철도공사(KR)	산	15	AEA Technology PLC(GB)	산	3	HITACHI LTD(JP)	산	18	Hauch, Werner(DE)	산	2
3	샬롬엔지니어링주식회사(KR)	산	5	Amsted Rail Company, Inc.(US)	산	3	EAST JAPAN RAILWAY CO(JP)	산	11	MP S.R.L.(IT)	산	2
4	주식회사우진산전(KR)	산	5	Balaji VENKATRAMAN (IN)	산	3	MITSUBISHI ELECTRIC CORP(JP)	산	11	Alcatel Lucent(FR)	산	2
5	현대로템주식회사(KR)	산	5	Railway Equipment Company, Inc.(US)	산	3	CENTRAL JAPAN RAILWAY CO(JP)	산	7	SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT(DE)	산	2
6	주식회사케이티이(KR)	산	4	GENERAL ELECTRIC COMPANY (US)	산	2	TOSHIBA CORP(JP)	산	4	THALES(FR)	산	2
7	ALSTOM FERROVIARIA S.P.A.(IT)	산	3	Modular Mining Systems, Inc.(US)	산	2	WEST JAPAN RAILWAY CO(JP)	산	3	Thales Canada Inc.(CA)	산	1
8	KYOSAN ELECTRIC MFG. CO., LTD.(JP)	산	3	CT-ZOOM TECHNOLOGIES INC.(CA)	산	2	SUDO ISATO(JP)	산	3	Mondragon Soluciones, S.L.U.(ES)	산	1
9	엘에스산전	산	3	DavidRuskauff(	산	2	HIGASHI	산	3	CONSIGLIO	산	1

	주식회사(KR)			US)			NIPPON TRANSPORTEC KK(JP)			NAZIONALE DELLE RICERCHE(IT)		
10	주식회사 혁신전공사 (KR)	산	3	Michael Bar-Am (US)	산	2	ARIYOSHI KAZUO(JP)	산	2	Siemens Rail Automation S.A.U.(ES)	산	1

❍ 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청별 다출원 기준 주요 기관 및 기업을 살펴본 결과, 한국(KIPO)은 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 샬롬 엔지니어링 주식회사, 주식회사 우진산전, 현대로템 주식회사 등 자국 국적의 기관 및 기업이 다수의 특허를 출원한 것으로 나타남. 미국(USPTO)의 경우, National Railroad Passenger Corporation, Amsted Rail Company, Inc., Railway Equipment Company, Inc. 등의 미국 국적 기업 외 영국 국적 기업인 AEA Technology PLC, 인도 국적 기업인 Balaji VENKATRAMAN 등이 미국내에 특허를 출원한 것으로 나타남. 일본(JPO)은 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, HITACHI LTD, EAST JAPAN RAILWAY CO, MITSUBISHI ELECTRIC CORP 등의 자국 국적의 기업이 특허를 출원하고 있으며, 유럽(EPO)은 스페인 국적 기업인 SENER, INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A., 독일 국적 기업인 Hauch, Werner, 이탈리아 국적 기업인 프랑스 국적 기업인 MP S.R.L 등 다양한 국적의 기업이 유럽내에 특허를 출원한 것으로 나타남

❍ 타 기술분야에서 통상적으로 나타나는 주요 출원인의 기관 성격이 한국(KIPO)의 경우, 학계 및 연구소의 특허 출원이 활발하고, 미국(USPTO)은 학계 및 산업계의 특허 출원이 활발하며, 일본(JPO)은 산업계의 특허 출원 활동이 활발한 것과 비교하여, 본 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술은 한국(KIPO)의 경우, 한국철도기술연구원, 한국철도공사, 샬롬 엔지니어링 주식회사 등의 산업·기업체, 연구기관이 순위 내 진입하고 있어 산업계 및 연구소의 연구개발 및 출원 활동이 이루어지고 있는 것으로 나타남. 미국(USPTO)과 일본(JPO) 역시 산업·기업체의 출원 비중이 매우 높아, 해당 기술 분야는 타 기술분야 대비 산업계의 연구개발 및 출원 활동이 매우 활발한 분야인 것으로 판단할 수 있음

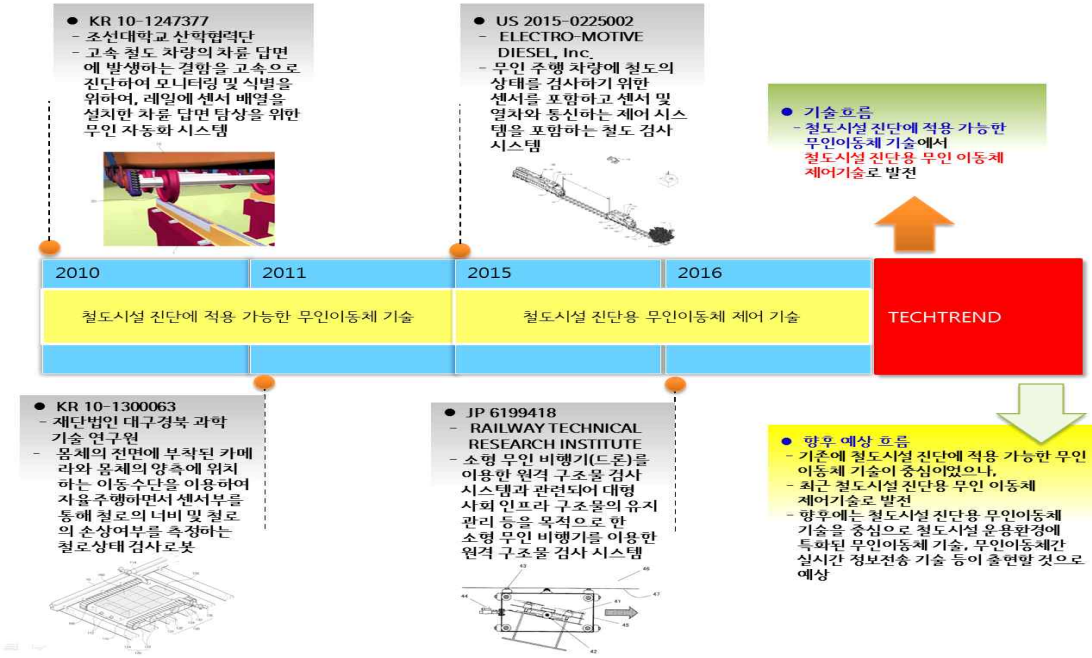
❍ 한국(KIPO)을 비롯한 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 모두 다출원 기준 주요 출원으로 산업·기업체의 비중이 높은 것으로 나타나며, 이는 주요 국가 전체에서 본 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 시장성 및 상업화 가능성이 높은 것으로 해석할 수 있음

<표 2-3-48> 시사점 정리

정량적 요소 기준 해당 기술을 주도하는 국가 및 기관/기업	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술에 대해 일본 국적의 산업·기업체인 일본 국적 기업인 RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE, HITACHI LTD, EAST JAPAN RAILWAY CO, MITSUBISHI ELECTRIC CORP, 한국 국적의 연구기관, 산업·기업체인 한국철도기술연구원, 한국철도공사 등이 최다수의 특허를 보유하고 있으며, 이탈리아의 ALSTOM FERROVIARIA S.P.A, 독일의 SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT가 자국 외 한국, 미국에 특허를 출원하는 등 글로벌한 연구개발 활동을 주도하고 있는 것으로 나타나 해당 국가 및 기업이 본 기술에 대해 특허 정량적으로 주도하고 있다고 판단됨
정량적 요소 기준 국내 기관/기업의 기술 수준	무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술 관련하여 타 국적 기업 대비 국내 기관/기업의 특허기술은 정량적으로도 건수가 많으나, 자국에 치중되어 출원하고 있어, 해외로의 진출이 활발하지 못한 실정임. 그러나 타 기술분야 대비 산업계 기업의 출원이 비중을 차지하고 있어 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술의 시장성 및 상업화 가능성을 기대할 수 있음
보유 특허기술에 대한 심층분석이 요구되는 기관/기업	국가별 주요 출원인은 출원건수의 정량적 기준으로 순위를 산정한 것이며, 출원인별 보유한 특허기술의 본 무인이동체(UAV, 로봇 등) 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 과제 기술과의 유사성 및 장벽도 등에 대한 정성적인 기준 및 판단 결과는 정량적 기준과 다를 수 있음. 그러나 정성적 심층 분석의 대상이 되는 출원 기관 및 기업을 선정할 시, 다출원인 순위 및 자국 외 출원 현황, 최근 출원 증가율 등의 정량적 결과는 효과적으로 참조될 수 있는 바, 국내에 다수의 특허를 출원한 이탈리아의 ALSTOM FERROVIARIA S.P.A, 일본의 KYOSAN ELECTRIC MFG. CO., LTD. 등이 보유한 특허를 심층적으로 분석하는 것을 제안함

(3) 기술 트렌드 분석

① 핵심기술 분류 1: 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA)

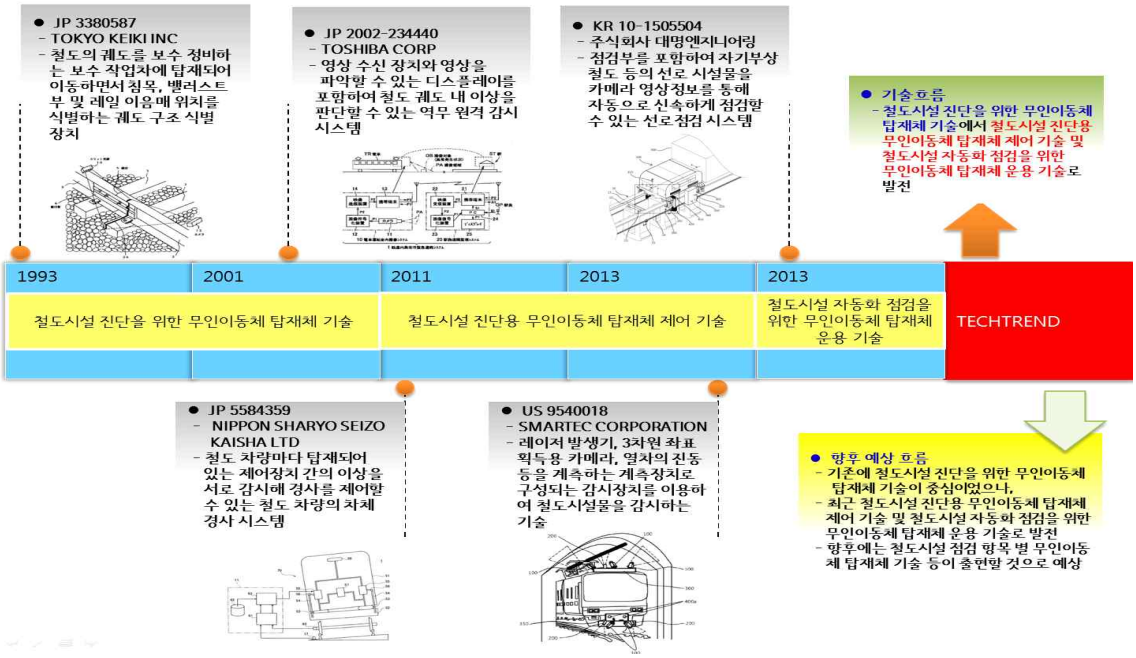


<그림 2-3-117> 철도시설 진단용 무인이동체 기술(AA)의 기술진화 분석

○ 철도시설 진단용 무인이동체 기술 분야는 2010년에 철도의 레일을 받치는 침목과 도상의 균열을 검사하는 장치에 대한 기술, 2011년에 철로의 손상여부를 측정하는 철로상태 검사로봇 기술 등이 검색되어 철도시설 진단에 적용 가능한 무인이동체 기술을 중심으로 개발되었으며, 2015년에는 열차 전방의 열차 선로를 주행할 수 있는 무인 주행 차량을 포함하는 철도 검사 시스템 기술, 2016년에는 소형 무인 비행기를 이용한 구조물의 검사 시스템 기술로 개발됨

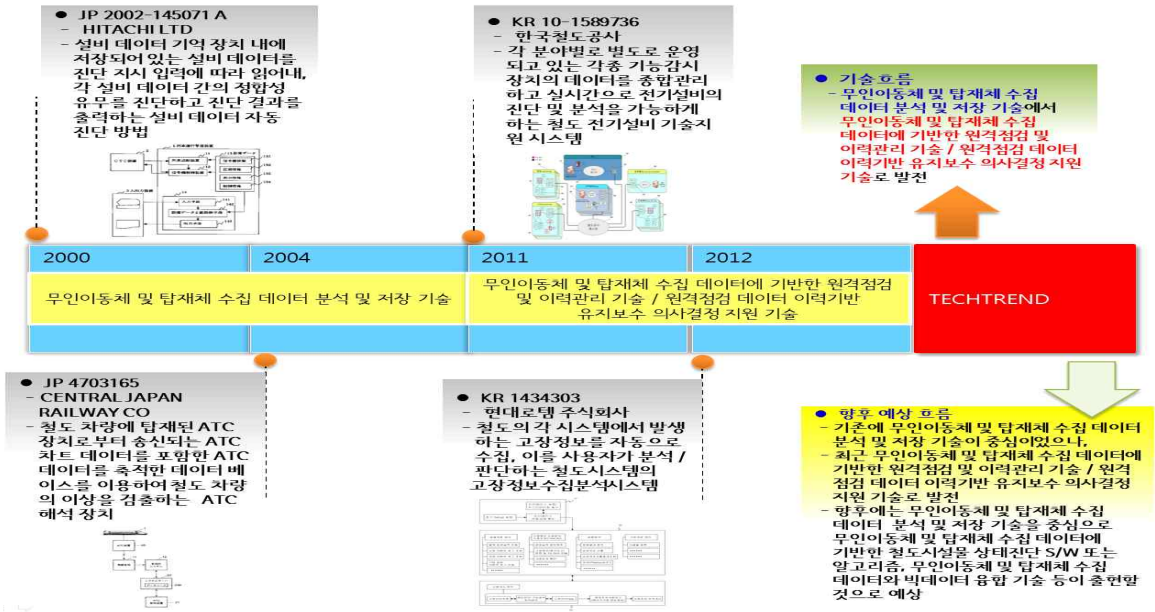
○ 철도시설 진단용 무인이동체 기술은 종래 철도시설 진단에 적용 가능한 무인 이동체 기술을 중심으로 하는 연구 개발 흐름이었으나, 최근 철도시설 진단용 무인 이동체 제어 기술이 개시되고 있고, 향후 철도시설 진단용 무인이동체 기술과 관련된 중심으로 철도시설 운용환경에 특화된 무인이동체 기술, 무인이동체간 실시간 정보전송 기술 등이 핵심 이슈 사항으로 부상할 것으로 분석됨

② 핵심기술 분류 2: 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)



<그림 2-3-118> 철도시설 진단용 무인이동체 탑재체 기술(AB)의 기술진화 분석

③ 핵심기술 분류 3: 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC)



<그림 2-3-119> 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술(AC)의 기술진화 분석

○ 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술 분야는 2000년에 열차 운행 관리 장치의 설비 데이터 자동 진단 방법 및 그 장치, 2004년에 자동열차 제어 데어티 해식 시스템 등이 검색되어 무인이동체 및 탑재체 수집 분석 및 저장 기술을 중심으로 개발되었으며, 2011년에 철도 전기설비 기술지원 시스템, 2012년에 철도시스템의 고장정보수집분석 시스템 등이 검색되어 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술 / 원격점검 데이터 이력기반 유지보수

의사결정 지원 기술로 개발됨

○ 무인이동체 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 자동화 기술은 종래 무인이동체 및 탑재체 수집 분석 및 저장기술을 중심으로 하는 연구 개발 흐름이었으나, 최근 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 원격점검 및 이력관리 기술, 원격점검 데이터 이력기반 유지보수 의사결정 지원 기술 등이 개시되고 있고, 향후 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터에 기반한 철도시설물 상태진단 S/W 또는 알고리즘, 무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술 등이 핵심 이슈 사항으로 부상할 것으로 분석됨

제4절 기술수준 분석

1. 기술 수요조사

가. 기술수요조사의 목적 및 수행방법

○ 기술수요조사의 목적 : 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술 연구에 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출

○ 기술개발의 우선순위를 파악하고 기술개발과제 간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

○ 기술수요조사의 편의성을 위해 크게 **철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술**, **상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술**, **철도시설물 상태진단 자동화 기술**, 그리고 **철도시설 유지보수 연계 기술**의 네 분야로 나누어 전문가 집단에게 기술 수요조사 자문 및 설문 조사를 실시하였음

나. 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술 수요조사

(1) 기술 수요조사 발송 및 응답 결과

○ 기획 참여 기관 및 연구원, 자문위원, 외부전문가 등 관련분야의 전문가들을 대상으로 메일발송을 통해 조사함

<표 2-4-1> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술수요조사 내용 및 응답

구분	내용
조사기간	2018년 5월 21일(월)~2018년 6월 4일(월) 15일간
조사대상	참여기관 및 연구원, 자문위원, 외부전문가
조사방법	이메일 발송 및 자문회의 참여 전문가 대상으로 설문조사
응답자 수	23명(이메일 수신 건수 기준)
기술수요조사 응답건수	• 철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술 15건 • 상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술 5건 • 철도시설물 상태진단 자동화 기술 8건 • 철도시설 유지보수 연계 기술 10건

(2) 기술 수요조사 결과 요약

❍ 회신된 기술수요조사서의 결과를 분석한 결과 총 38개의 제안과제가 도출이 되었음

제 안 과 제	
1	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발
2	철로 및 철로 주변상태 감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발
3	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발
4	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발
5	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작
6	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술
7	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발
8	무인이동체 고정밀 제어기술 개발
9	지장물 자동회피 기술 개발
10	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발
11	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구
12	이미지 정합 기반 측정 개소 위치인식 기술 개발
13	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술
14	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발
15	무인이동체의 철도시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발
16	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발
17	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발
18	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발
19	철도 분기기 자동점검 기술 개발
20	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발
21	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발
22	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발
23	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술
24	구조물 피해 영향 평가 기술 개발
25	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술
26	AI기반 철도시설물 상태진단 기술
27	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단
28	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구
29	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발
30	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발
31	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발
32	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증
33	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술
34	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발
35	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리
36	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용
37	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼
38	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발

❍ 중점기술분야별/연구수행기관별로 취합된 기술 수요는 아래 표와 같음

<표 2-4-2> 중점기술분야별/기관별 기술 수요

구분	중점기술분야				계
	철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술	상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술	철도시설물 상태진단 자동화 기술	철도시설 유지보수 연계 기술	
기업	8	4	4	6	22
대학	3	1	0	2	6
연구기관	4	0	4	2	10
계	15	5	8	10	38

❍ 소분류별 제안과제 수는 아래 표와 같음

<표 2-4-3> 무인이동체 기반 철도시설 상태진단시스템 개발 기술수요조사 제안과제명 매칭

중분류	소분류	제안과제 수	합계
철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술	철도시설 운용환경(전차선 고전압, 열차풍)에 특화된 무인이동체(드론, 로봇) 기술	6	15
	철도환경에서 무인이동체 운영 및 제어 기술	4	
	철도환경에서 무인이동체 측위 및 통신 기술	4	
	철도시설 운용 안전 확보를 위한 시험평가 기술	1	
상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술	상태진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술(EO, 열화상, SAR, LiDAR, 초분광 카메라, 초음파 장비 등)	5	5
철도시설물 상태진단 자동화 기술	탑재체 데이터 분류 및 관리 자동화 기술	3	8
	철도시설물 상태진단 기술개발	4	
	Test Bed 실증	1	
철도시설 유지보수 연계 기술	철도시설 관리 및 운용 기술	4	10
	생애주기 비용을 고려한 유지보수 의사결정 지원 기술	2	
	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술	4	

(3) 기타의견

- 여러대의 무인비행체를 이용하여 철도구조물 상태를 점검할 수 있는 장기체공 무인비행체 시스템의 개발 필요

- 열차 탑재 점검기술 외에 인력 순회로만 점검이 가능한 철도보호지구, 선로인접 공사 등을 드론으로 대체 할 수 있는 기술개발 필요

- 동절기 운용 등 운용환경을 고려하여야 함

2. 기술예측조사

가. 기술예측조사 개요

○ 기술예측조사의 목적: 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용함

○ 기술예측조사를 수행하기 위하여 1) 기술예측조사지 설계 → 2) 기술예측조사 수행 → 3) 결과분석 순으로 진행

○ 조사기간 : 2018년 7월 18일, 20일

○ 조사대상 : 산학연 전문가 6인

○ 조사항목 : 기술적 실현시기, 사회·경제적 실현시기, 기술획득 방식, 정부개입 필요성, 기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안, 기술수준, 미래사회에서의 중요도

○ '기술적 실현시기'는 2018년 기준, 해당 예측기술명이 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time) 임

○ '사회경제적 실현시기'는 2018년 기준, 해당 예측기술명이 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time) 임

- '기술적 실현시기'에 대한 세계 시기와 국내 시기와의 격차는 기술수준에 대한 격차로 해석할 수 있으며, 이는 해당과제에 대한 추진전략 설정에 활용
- '기술적 실현시기'와 '사회경제적 실현시기'와의 격차는 실용화 능력 혹은 사회적 수용성에 대한 대리지표로 활용할 수 있음

○ '기술획득방식'은 해당 예측기술명의 기술개발을 위한 적합한 연구 주체를 조사함

- 예측기술명에 대해 아래의 4개의 조사 항목 중 적합한 연구 주체를 선택함

<표 2-4-4> 기술획득방식 조사항목

조사항목		내용
자체개발	민간주도	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 적합
	정부주도	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 적합
	정부민간주도	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직
기술도입 및 공동연구		국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감

○ ‘정부개입 필요성’은 해당 예측기술명의 개발과 경쟁력 확보를 위해 정부가 개입할 필요성 정도를 조사함

- ‘정부개입 필요성’은 5점 척도 (매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

○ ‘기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안’은 해당 예측기술명의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 조사함

- 해당 예측기술명에 대해 아래의 5개의 조사 항목 중 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 선택함

<표 2-4-5> 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목

조사항목	내용
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라 구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비 확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도 개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

○ ‘기술수준’은 해당 예측기술명의 특정시점에서의 최고기술보유국 대비 우리나라의 기술수준을 조사함

- 해당 예측기술명의 최고기술 보유국과 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준

(백분율) 작성함

<표 2-4-6> 기술수준 조사항목

조사항목	내용
최고기술 보유국	해당기술 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 국가
우리나라 기술수준	현재시점에서 최고기술보유국의 기술수준을 100%라고 했을 때 우리나라의 기술수준

❍ ‘미래사회에서의 중요도’는 해당 예측기술명에 대해 아래의 3가지 조사항목에 대해 5점 척도로 조사함

- 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

<표 2-4-7> 미래사회 중요도 조사항목

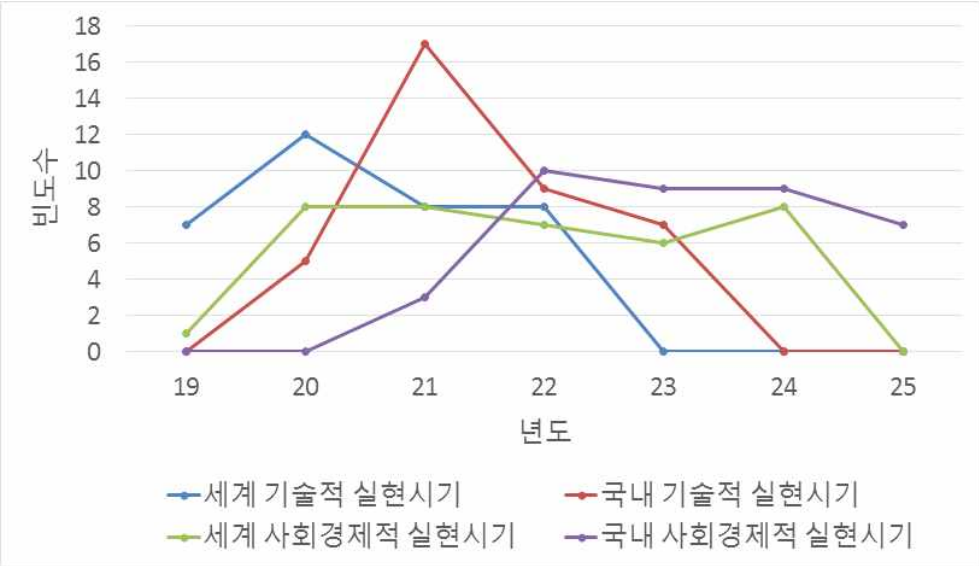
조사항목	내용
과학기술적 중요도	과학기술적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 중요도
사회공공적 중요도	사회문제의 해결 및 공익 측면의 중요도
경제산업적 중요도	경제산업적 부가가치 창출 측면의 중요도

나. 기술예측조사 결과

○ 기술예측조사결과 예측기술의 기술적 실현이 이루어진 후 사회경제적으로 실현되기까지는 약 2년 이상 소요되는 것으로 나타남

○ 세계 기술적 실현시기는 2020년, 국내는 2021년에 집중되어 있음

○ 세계 및 국내의 사회경제적 실현시기는 대부분 2022년 이후에 집중되어 있음



<그림 2-4-1> 수요조사 기술의 실현시기

<표 2-4-8> 수요조사 기술의 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적 실현시기	
		세계	국내	세계	국내
1	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발	20	21	21	22
2	철로 및 철로주변 상태감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발	20	21	21	22
3	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	20	22	21	24
4	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발	19	21	20	22
5	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작	19	21	20	22
6	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	20	20	22	22
7	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발	19	20	20	21
8	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발	20	21	21	22
9	지장물 자동회피 기술 개발	19	20	20	21
10	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	19	20	20	21

11	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구	20	22	21	24
12	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	20	22	21	24
13	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	20	22	21	24
14	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발	21	21	23	23
15	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험평가 기술 개발	18	20	20	22
16	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발	21	23	23	25
17	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발	20	23	22	25
18	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발	20	23	23	25
19	철도 분기기 자동점검 기술 개발	17	21	19	23
20	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발	18	21	20	23
21	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발	22	23	24	25
22	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	20	21	22	23
23	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술	21	21	23	23
24	구조물 피해 영향 평가 기술 개발	22	22	24	24
25	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술	21	21	22	22
26	AI기반 철도시설물 상태진단 기술	22	22	24	24
27	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단	21	21	22	22
28	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구	22	22	24	24
29	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발	21	21	23	23
30	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발	19	21	20	23
31	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발	19	21	21	23
32	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증	21	21	23	23
33	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술	22	23	24	25
34	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발	21	21	22	22
35	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리	20	23	22	25
36	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	22	23	24	25
37	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼	22	22	24	24
38	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발	22	22	24	24

○ 기술획득 방식은 대체적으로 기술도입 및 공동연구 보다는 정부와 민간 주도로 수행하는 것이 바람직 한 것으로 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.7로 비교적 높은 편으로 나타남

- 민간주도: 26.3%, 정부주도: 18.4%, 정부와 민간주도: 55.3%

<표 2-4-9> 수요조사 기술의 기술획득방식 및 정부개입의 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%)				정부 개입의 필요성
		민간 주도	정부 주도	정부/ 민간 공동	기술 도입 및 공동 연구	
1	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발			V		5
2	철로 및 철로주변 상태감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발	V				4
3	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	V				4
4	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발			V		3
5	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작			V		4
6	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	V				5
7	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발			V		5
8	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발			V		4
9	지장물 자동회피 기술 개발	V				1
10	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	V				5
11	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구			V		5
12	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	V				2
13	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	V				2
14	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발			V		3
15	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발			V		3
16	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발			V		3
17	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발			V		3
18	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발			V		4
19	철도 분기기 자동점검 기술 개발		V			4

20	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발			V		3
21	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발		V			4
22	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	V				4
23	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술			V		3
24	구조물 피해 영향 평가 기술 개발		V			4
25	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석 크기 및 상태진단 자동화 기술			V		5
26	AI기반 철도시설물 상태진단 기술			V		3
27	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단		V			4
28	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구		V			5
29	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발			V		3
30	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발		V			5
31	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발	V				3
32	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증			V		3
33	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술			V		3
34	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발			V		3
35	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리			V		4
36	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	V				3
37	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼			V		3
38	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발		V			4

❍ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남

❍ 기술 개발을 위한 연구개발비 확대가 가장 시급한 것으로 나타났으며, 인프라 구축, 인력양성, 제도개선 순으로 투자가 필요한 것으로 나타남

<표 2-4-10> 중점분야별 정부시행방안 결과

구분	인력양성	협력교류 활성화	인프라구축	연구비 확대	제도개선	합계
횟수	6	2	7	17	6	38

○ 수요조사 기술에 대해서 최고기술은 모두 해외에서 보유하고 있으며, 특히 미국이 많이 보유한 것으로 나타나며, 유럽에서도 기술을 많이 보유하고 있음.

○ 우리나라의 기술수준은 최고기술대비 전체적으로 66%의 수준임



<그림 2-4-2> 수요조사 기술의 최고기술 보유국

<표 2-4-11> 수요조사 기술의 정부의 시행방안 및 기술수준

번호	예측기술명	기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안 1. 인력양성 2. 교류활성화, 3. 인프라구축, 4. 연구비확대, 5, 제도개선	기술수준	
			최고기술 보유국	우리나라 기술수준 (%)
1	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발	3	미국	75%
2	철로 및 철로주변 상태감시를 위한 장기체공 무인 비행체개발	4	미국	80%
3	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	4	미국	60%
4	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발	4	영국	85%
5	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작	4	캐나다	80%
6	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	3	미국	50%
7	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발	5	미국	80%
8	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발	4	미국	75%
9	지장물 자동회피 기술 개발	4	미국	80%
10	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	5	미국	80%
11	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구	4	미국	60%

12	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	1	미국	60%
13	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	2	미국	60%
14	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발	4	영국	65%
15	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발	5	미국	70%
16	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발	4	독일	75%
17	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발	4	미국	65%
18	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발	4	독일	60%
19	철도 분기기 자동점검 기술 개발	4	이탈리아	50%
20	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발	4	영국	65%
21	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발	3	영국	70%
22	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	5	영국	65%
23	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술	1	미국	60%
24	구조물 피해 영향 평가 기술 개발	3	미국	75%
25	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석 크기 및 상태진단 자동화 기술	5	미국	50%
26	AI기반 철도시설물 상태진단 기술	1	미국	60%
27	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단	1	영국	60%
28	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구	3	미국	70%
29	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발	2	일본	65%
30	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발	4	영국	70%
31	철도시설물 관리 시스템 연계기술 개발	4	프랑스	70%
32	열화모델기반 철도교량 유지보수기술 개발 및 성능검증	3	미국	65%
33	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술	1	영국	60%
34	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발	1	미국	60%
35	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리	4	미국	50%
36	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	4	영국	60%
37	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼	3	독일	60%
38	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발	5	미국	50%

❍ 미래사회의 중요도 평균은 3.0점으로 나타났음

❍ 과학기술적 중요도가 전체적으로 가장 높게 나왔으며, 다음으로는 사회공공적 중요도, 경제산업적 중요도 순임

<표 2-4-12> 중점분야별 미래사회의 중요도

예측기술명	미래사회에서의 중요도 (5점척도)			
	과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균
전체	3.2	3.0	2.8	3.0

<표 2-4-13> 수요조사 기술의 미래사회에서의 중요도

번호	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)			
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균
1	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발	4.0	4.2	3.8	4.0
2	철로 및 철로주변 상태감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발	4.0	3.2	3.3	3.5
3	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	3.8	3.0	2.5	3.1
4	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발	4.0	2.8	2.0	2.9
5	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작	3.5	3.0	2.5	3.0
6	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	4.2	2.0	4.0	3.4
7	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발	3.3	3.5	3.3	3.4
8	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발	3.8	3.2	3.3	3.4
9	지장물 자동회피 기술 개발	3.7	3.8	3.2	3.6
10	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	3.7	3.3	3.3	3.4
11	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구	3.5	3.5	3.7	3.6
12	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	3.5	2.8	2.5	2.9
13	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	3.0	3.3	3.5	3.3
14	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발	3.0	3.0	2.2	2.7
15	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발	3.8	3.8	3.2	3.6
16	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발	3.7	2.0	3.5	3.1
17	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개	3.8	3.5	2.7	3.3

	발				
18	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발	3.2	3.5	3.2	3.3
19	철도 분기기 자동점검 기술 개발	3.3	3.5	2.5	3.1
20	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발	3.3	3.5	3.0	3.3
21	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발	3.7	3.8	3.3	3.6
22	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	3.5	2.8	2.8	3.1
23	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술	3.2	3.0	2.5	2.9
24	구조물 피해 영향 평가 기술 개발	2.8	2.5	2.7	2.7
25	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술	3.2	3.3	3.3	3.3
26	AI기반 철도시설물 상태진단 기술	3.0	2.0	2.5	2.5
27	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단	2.8	3.0	3.0	2.9
28	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구	3.3	2.7	2.5	2.8
29	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발	2.7	2.3	1.5	2.2
30	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발	1.7	1.7	1.5	1.6
31	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발	2.7	4.0	3.5	3.4
32	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증	3.0	3.5	3.5	3.3
33	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술	2.5	4.0	3.5	3.3
34	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발	2.3	2.5	2.3	2.4
35	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리	2.5	1.5	1.7	1.9
36	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	2.2	2.0	1.7	1.9
37	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼	2.5	1.8	1.8	2.1
38	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발	2.0	1.5	1.3	1.6

제5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

1. 유사과제 분석

○ 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)에 아래와 같은 키워드로 검색한 결과는 아래와 같음 (2012년 이후)

<표 2-5-1> 키워드 검색결과

	검색어	검색수	미해당분야 제외	주요내용
1	철도+드론	13	2	소형무인기 제어(1) SW플랫폼(1)
2	철도+무인이동체	8	2	수상 무인이동체(1) SW플랫폼(1)

<표 2-5-2> 유사과제와의 중복성 검토

부처명	유사과제명	연구기관 (책임자)	연구기간	총연구비 (정부/민간, 백만원)	중복성 검토
중소벤처기업부	드론을 이용한 IoT 기반 철도 궤간틀림 측정 시스템 개발	토탈지오솔루션 (조호진)	2017.09.01-2018.08.31	33.33/33.34	- 철도 궤간 틀림을 위한 드론 및 궤간 거리 측정용 모듈 개발 - 철도 궤간측정 시스템 개발을 목표로 하는 기술로, 본 과제의 철도 시설 및 손상 점검항목에 포함되지 않아 중복성 없음
미래창조과학부	ICT기반 지능형 크라우드 센싱을 활용한 철도교량 원격점검시스템 핵심기술 개발	한국철도기술연구원 (윤혁진)	2016.01.01.-2016.12.31	290	- 철도교량 원격점검을 위한 수상 무인이동체(USV) 및 위치측위 기술 개발 - 교량 세굴 검지를 위한 무인 수상이동체 및 균열측정을 목표로 하는 기술로, 철도시설관리 무인이동체(항공) 플랫폼을 개발하는 본 과제와는 중복성 없음
미래창조과학부	철도시스템 유지보수 고도화를 위한 첨단 센싱 기술 개발	한국철도기술연구원 (강동훈)	2017.01.01.-2017.12.31	2,064	- IoT기반 하이브리드계측시스템 개발 및 성능평가 - 비접촉식 상태검사를 목표로 하는 센싱 기술로, 철도시설 관리를 위한 무인이동체 플랫폼 개발을 목표로 하는 본 과제와는 중복성 없음
국토교통부	무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발	한국과학기술원 (정형조)	2016.08.29.-2019.08.28	5,749/2,099	- 도로 교량 외관조사를 위한 무인검사장비 및 비접촉식 상태검사 기술 개발 - 전차선 고전압에 의한 항법교란 및 철도교량 손상진단 항목에 대한 고

					려가 없어, 본 과제와는 중복성 없음
국토교통부	다차원 객체기반 철도인프라 시공관리 기술 개발	경상대학교 (강인석)	2016.05.05. -2018.12.31	2,279/763.49	- 드론을 활용한 철도 인프라 시공관리를 위한 기술 개발 - 철도 인프라 시공시 현장관리를 위한 기술로, 철도시설의 유지관리를 위한 무인이동체 플랫폼 개발을 목표로하는 본 과제와는 중복성 없음 본 과제와는 중복성 없음

2. 유사과제 연계성

❍ 앞서 수행된 연구과제에서 개발된 기술의 고도화를 통해 전체 시스템을 개발하기 위한 비용절감 및 개발시간 단축을 꾀할 수 있음

<표 2-5-3> 선행과제에 따른 연구 연계방법

구분	선행과제명	주요 연구결과	연구결과 연계	연계방법
1	드론을 이용한 IoT 기반 철도 궤간틀림 측정 시스템 개발	철도 궤간 틀림을 위한 드론 및 궤간 거리 측정용 모듈 개발	점검항목의 크기를 측정하는 영상처리 기술에 활용	고도화
2	ICT기반 지능형 크라우드 센싱을 활용한 철도교량 원격점검시스템 핵심기술 개발	철도교량 원격점검을 위한 수상 무인이동체(USV) 및 위치측위 기술 개발	무인이동체 항법 기술에 활용	고도화
3	철도시스템 유지보수 고도화를 위한 첨단 센싱 기술 개발	IoT기반 하이브리드계측시스템 개발 및 성능평가	기존 센싱 기술과 개발되는 무인이동체 기술과 연계에 활용	기존기술과의 연계
4	무인검사장비 기반 교량구조물 신속진단 및 평가기술 개발	도로 교량 외관조사를 위한 무인검사장비 및 비접촉식 상태검사 기술 개발	철도교량의 변상측정을 위한 비젼인식 기술에 활용	고도화 및 유사기술에 활용
5	다차원 객체기반 철도인프라 시공관리 기술 개발	드론을 활용한 철도 인프라 시공관리를 위한 기술 개발	철도인프라 유지관리 기술에 활용	고도화 및 연계기술로 활용

제6절 연구개발 인프라 분석

1. SWOT 분석

○ 무인이동체를 기반으로 한 철도시설 상태진단을 위하여 세부 기술에 대한 SWOT 분석을 통한 전략방향을 설정

○ 국내 무인이동체 기술은 국외의 수입에 의존하던 형태에서 점차 국가 주도의 활성화 정책에 힘입어 현재에는 국내 자체 개발 진행 중이나, 적용하고 있는 센싱 및 분석 기술의 한계로 인하여 아직까지 완전히 정착된 단계는 아님

○ 현재 국내에서 운영 중인 무인이동체 탑재체 기술에 사용되는 기술은 단순 카메라 비전기술에 의존하고 있으며, 비전기술의 기술적 한계로 인하여 기술의 발전이 더디게 이루어지고 있음



<그림 2-6-1> SWOT 분석

○ 철도분야 이외의 물류 분야 등에서의 비전기술 활용은 점차 증가하고 있으며, 정밀도가 높은 기술의 도입이 필요함

○ 철도시설 상태진단 기술의 활용분야는 점차 확대되고 있으며, 4차 산업을 기반으로 한 첨단 무인이동체 기술의 비약적인 발전으로 다가올 미래에는 기술의 적용성이 대폭 확대될 것으로 전망됨

○ 정부는 4차 산업에 대한 인식의 전환을 계기로 하여 다양한 지원책이 마련되고 있으며, 이와 함께 국내 기술도 비약적으로 발전될 것으로 전망됨

○ 과거 국외 기술 의존적 인식이 바뀌면서 국내 기술에 대한 신뢰도가 점차 높아지고 있으며, 이에 따라 기술개발에 대한 기회가 점차 확대되고 있음



<그림 2-6-2> SWOT 분석기반의 추진전략

2. 인프라 설비

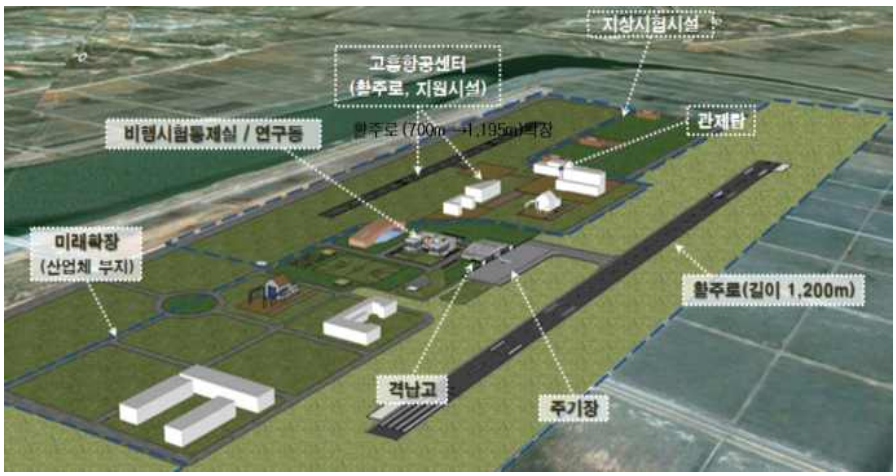
○ 연구개발을 수행하기 위한 시험장비 및 해석 S/W 등 연구기반시설 구축현황을 조사, 평가하고 선진국 대비 인프라 수준을 파악함

○ 우리나라의 경우, 규제프리존 지역을 설정하여 무인기 전용 공역에서 시험비행할 수 있는 여건을 조성 중에 있음



<그림 2-6-3> 무인기 규제프리존 조성방안(전남고흥 일대)

- 국토부, 산업부, 지자체와 공동으로 고흥지역에 유무인기의 개발 및 인증단계의 시험비행이 가능한 국가 공인비행시험장 구축 추진 중



<그림 2-6-4> 국가 종합성능비행시험센터 조감도

❍ 규제프리존 지역 내 다음과 같은 세부추진 전략을 진행 중에 있음

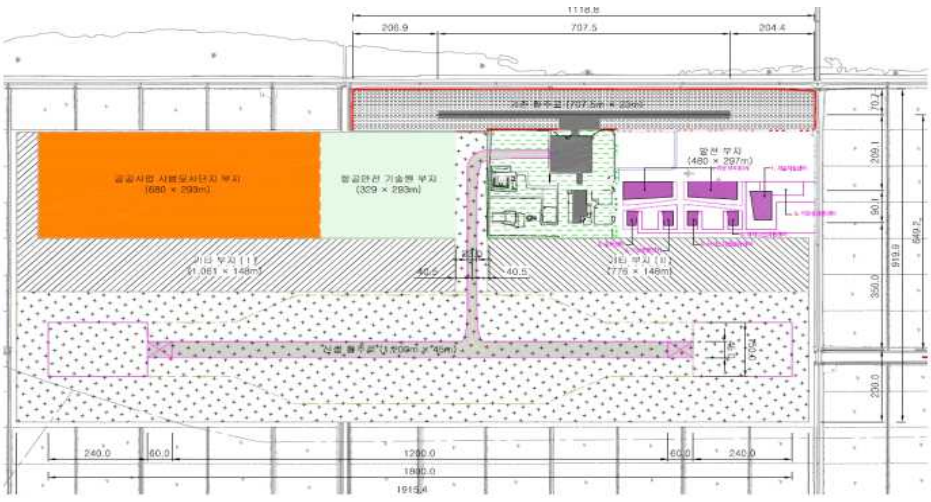
- 규제 프리존 범위 : 전남 고흥군 고소리 고흥만 간천지 일원, 2,346 km2
- 국가 종합비행성능시험장 (1,686 km2)
- 우주기술 특화 사업단지 (660 km2)
- 전남 고흥 공역 (직경 22km, 고도 450 m, 면적 380 km2)

❍ 고흥군에는 무인기 시험평가 수행이 가능한 활주로, 기반설비 및 지원시설이 기 구축되어 있고, 주변에 무인기 산업생태계 구축을 지원할 각종 산업단지가 자리하고 있음

- (동부권) 금속소재・가공산업(광양, 순천)과 석유화학기반 고분자소재산업(여수), 에너지설비산업(광양, 여수)
- (서부권) 조선해양플랜트산업(영암, 목포)가 집적, 나노융합소재산업(광양, 영암, 목포), 바이오식품산업(영광, 여수)과 바이오활성소재산업(해남, 고흥)권 분포

<표 2-6-1> 국가종합성능비행시험센터 시설 계획안

항목	세부항목	면적 (m^2)
1. ATC 타워 등	ATC 타워, 격납고, 기상 station 등	6,100
2. 교육센터	지상요원, 조종사, 임무장비운용요원 교육	2,400
3. 가상훈련센터	교육용/연구용, 비행시험계획용	1,800
4. 서비스지원설비센터	이동지상국, 이동레이더 등 보관	2,100
5. 비즈니스 지원센터	창원지원 등	1,200
6. 적합성 검증센터	항전, 기체, SW	3,400
7. 기술지원 연구센터	소재, 부품, 항전, 가상현실, 임베디드, ATM	7,200



<그림 2-6-5> 국가 종합성능비행시험센터 발전부지 시설

❍ 무인이동체기반 철도시설 상태진단관련 인프라 수준 비교 및 시사점

- 무인이동체기반 철도시설 상태진단 기술 관련 인프라 현황을 선진국과 비교하면 전문인력, 산학연 공동연구 기반은 동등한 수준을 나타내며, 연구기반시설, 기술이전 및 국제기술협력 분야는 다소 부족한 상황임
- 관련 기술 개발은 최근 운영처 및 철도 관련 연구기관에서 활발히 이루어지고 있으나, 발전하는 IT 기술을 접목한 유지보수 관련기술을 발전시키기 위하여 장기적인 계획과 꾸준한 연구개발이 추진될 필요 있음

<표 2-6-2> 선진국 대비 인프라 수준 비교

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
무인이동체기반 철도시설 상태진단 관련	전문인력 보유현황			○		
	연구기반시설 구축현황		○			
	산학연 공동연구기반			○		
	기술이전 및 거래		○			
	국제기술협력	○				
	관련 업체현황		○			

3. 법제도 현황

가. 항공법 상 무인항공기의 정의

○ 항공기에 사람이 탑승하지 않고 원격조종 또는 자동으로 비행할 수 있는 항공기(항공법 제 2조)를 무인 항공기라 칭하며 연료를 제외한 자체 중량에 따라 150kg 초과의 무인항공기와 150kg 이하의 무인 비행장치로 분류한다

○ 무인 비행장치는 초경량 비행장치의 한 종류에 속함. (항공법 시행규칙 제 14조)

○ 초경량 비행 장치를 이용한 사업은 농약살포, 사진촬영, 측량관측, 탐사 등이 가능하다. (항공법 제2조 제44호)

○ 자체중량 150kg 이상의 무인항공기의 예시

<표 2-6-3> 군사목적으로 사용되는 무인항공기

이름	Predator	Reaper
사진		
날개길이	14.8m	20m
중량	512kg	2,223kg
최대이륙중량[3]	1,020kg	4,760kg
최대 속도	217km/h	482km/h
비행시간	24시간	14시간
비행 범위	1,100km	1,852km

출처 : Wikipedia

○ 자체중량 150kg 이상의 무인항공기의 예시

<표 2-6-4> 상업화된 드론

이름	S1000+	Phantom 3 Pro	eXom	RMAX
제조사	DJI(중국)	DJI(중국)	senseFly(유럽)	Yamaha(일본)
사진				
날개길이	105cm	59cm	-	3.1m
중량	4.4kg	1280g	1.8kg	64kg
최대이륙중량	11kg	-	-	94kg
최대 속도	-	16m/s	12m/s	-
비행시간	15분	23분	22분	1시간
비행 범위[7]	-	3.5~5km	2km	-

출처 : 각 제조사 웹페이지

* 25kg 초과 무인 비행장치의 예시 : Yamaha사의 RMAX (자체중량 64kg)
* 25kg 이하 무인 비행장치의 예시 : DJI사의 S1000+ 등 상업용, 취미용 무인항공기
(2016 하반기 12kg -> 25kg 법 개정)

나. 국내 무인항공기 규제

(1) 무인 비행장치 비행을 위한 절차

(가) 자체중량 25kg 초과

❍ 사업용

- 지방 항공청에 사업등록
- 지방 항공청에 장치신고
- 교통 안전공단에 안정성 인증
- 교통 안전공단에 조종자 증명
- 지방 항공청, 합참, 수방사 등에 비행 승인
- “조종자 준수사항”에 따라 비행

❍ 비사업용

- 지방 항공청에 장치신고
- 교통 안전공단에 안정성 인증
- 지방 항공청, 합참, 수방사 등에 비행 승인
- “조종자 준수사항”에 따라 비행

(나) 자체중량 25kg 이하

❍ 사업용

- 지방 항공청에 사업등록
- 지방 항공청에 장치신고
- 관제공역, 통제공역, 주의공역을 비행하는 경우 사전 비행승인 필요
- 상기 조항에 해당하지 않는 경우는 비행승인 불필요
- “조종자 준수사항”에 따라 비행

❍ 비사업용

- 관제공역, 통제공역, 주의공역을 비행하는 경우 사전 비행승인 필요
- 상기 조항에 해당하지 않는 경우는 비행승인 불필요
- “조종자 준수사항”에 따라 비행

(다) 분석

25kg 이하의 사업용 무인비행장치의 경우 특정 영역에서의 비행을 제외하고 사전 비행승인을 받지 않아도 되는데, 철도 상태진단을 위한 비행 특성상 매 회마다 사전승인을 받는 것은 무리가 있으므로 탑제체를 포함한 비행장치의 무게를 25kg 이하로 하는 것이 본 과제에 유리할 것으로 판단됨.

(2) 조종자 준수사항

❍ 항공법 제 23조, 시행규칙 제 68조에서 초경량 비행장치의 조종사가 준수해야할 사항을 규정

- 낙하물 투하 금지
- 비행금지구역(서울 도심, 비행장 반경 9.3㎞이내, 고도 150m 이상) 비행 불가
- 야간 시간이나 안개가 심할 때 비행 금지
- 육안으로 식별 가능한 범위 내에서만 비행
- “조종자 준수사항”에 따라 비행

(3) 초경량 비행장치 조종자 준수사항 (항공 안전법 제 129조)

❍ 국토교통부령으로 정하는 준수사항을 지켜야함

❍ 무인 비행 장치를 이용하여 개인의 공적 사적 생활과 관련된 정보를 수집하거나 이를 전송하는 경우 타인의 자유와 권리를 침해하지 않도록 해야 함.

❍ 무인 비행장치 조종사로서 야간에 비행 등을 위하여 국토교통부 장관의 승인을 받은 자는 그 승인 범위 내에서 비행가능.

(4) 자체 중량 및 용도에 따른 규제 차이

○ 자체중량 25kg 이하의 경우 안정성 인증, 조종자증명(사업용만 해당) 및 비행승인 과정은 생략하지만 관제공역, 통제공역, 주의공역을 비행하는 경우에는 자체중량과 무관하게 무조건 사전 비행승인을 얻어야 함.

○ 사업용의 경우 지방항공청에 사업등록 및 장치신고를 해야 하며, 25kg 초과의 경우 추가적으로 교통안전공단에 조종자 증명도 필요함.

다. 비행 금지

(1) 비행 금지 구역 (항공법 제 38조)

○ 관제공역: 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행을 금지하거나 제한할 필요가 있는 공역

○ 통제공역: 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행을 금지하거나 제한할 필요가 있는 공역

○ 주의공역: 항공기의 비행 시 조종사의 특별한 주의, 경계, 식별 등이 필요한 공역



<그림 2-6-6> 수도권 공역도

출저 : 국토교통부

(2) 비행 금지 구역의 예

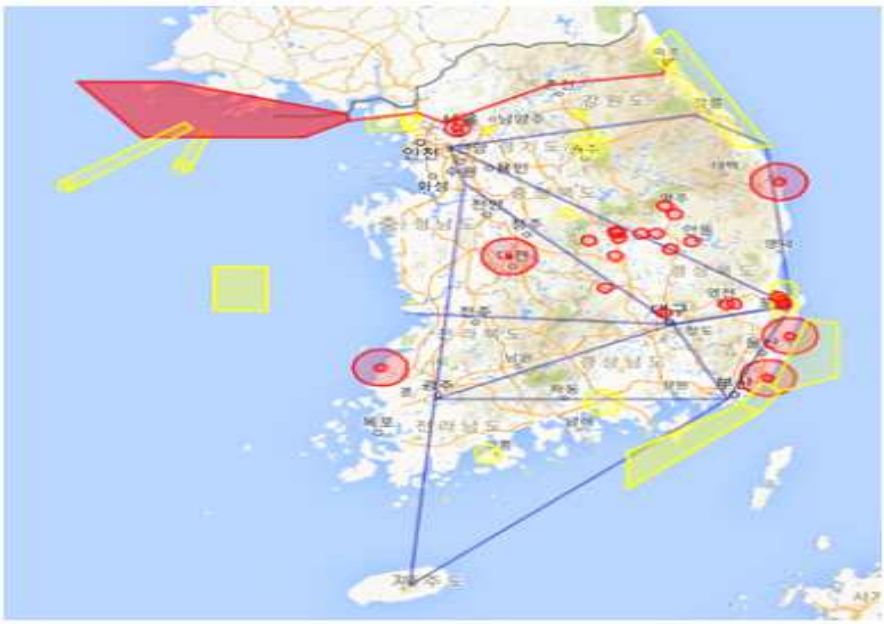
○ 비행장으로부터 반경 9.3km(5해리) 이내

○ 휴전선 인근, 서울도심 상공 일부

○ 150m(500ft) 이상의 고도

(3) 비행 금지 구역 지도

○ 아래의 지도에서 붉은색이 나타내는 곳은 비행 금지구역, 노란색이 나타내는 곳은 비행 제한 구혁이다.



자료: 국토교통부 UBIKAIS 사이트

<그림 2-6-7> 대한민국 공역도

(4) 비행 금지구역의 철도시설 상태진단

전국의 철도 및 수도권 지하철 노선 중 서울 도심의 철도 와 공항 주변을 지나는 노선 등 비행금지구역에 위치한 노선 주변에서는 항공법에 의거하여 드론이 비행할 수 없으므로, 무인 이동체 기반 철도 상태 진단을 위한 비행금지구역 특별 비행 허가에 관한 법 조항 신설과, 서울 시내 비행 제한구역에 대한 비행 또한 예외적으로 승인될 수 있는 조항에 대한 토의가 필요함.

* 서울지역 철도 노선 (총 79 km)
  인천공항 -> 디지털미디어시티 : 48.5 km
  행신 -> 서울 : 8.3 km
  서울 -> 용산 : 3.4 km
  용산 -> 광명 : 18.8 km



<그림 2-6-8> 대한민국 철도 노선도



<그림 2-6-9> 수도권 경부선 노선도



<그림 2-6-10> 수도권 경강선 노선도



<그림 2-6-11> 수도권 호남선 노선도

라. 관련 법규

(1) 초경량 비행장치 관련 법규

<표 2-6-5> 초경량 비행장치 관련 법규

관련 법규	상세 내용
항공법 제 23조(초경량 비행장치 등)	- 초경량 비행장치의 신고 (제 23조 제 1항) - 초경량 비행장치 비행제한 공역에서 비행하려는 경우의 비행승인 (제 23조 제 2항) - 초경량 비행장치 조종자 증명 (제 23조 제 3항) - 초경량 비행장치 안정성 인증 (제 23조 제 4항) - 초경량 비행장치 조종자 전문교육기관 지정 (제 23조 제 6항) - 초경량 비행장치 사고보고 (제 23조 제 7항) - 초경량 비행장치 비행에 관한 조종자 준수사항 (제 23조 제 8항)
항공법 제 23조의 2 (초경량 비행장치의 변경신고 등)	- 초경량 비행장치 신고 내용의 변경신고 (제 23조의 2 제 1항~제3항) - 초경량 비행장치 말소신고 최고 (제 23조의 2 제 4항) - 초경량 비행장치 말소신고 사실통보 (제 23조의 2 제 5항)
항공법 제 23조의 3 (초경량 비행장치의 조종자 증명의 취소 등)	- 부정취득, 항공법의 위반, 사고발생, 법제 23조의 준수사항 위반, 효력정지상태에서의 비행 등
항공법 제 85조 (금지행위)	- 초경량 비행장치를 향하여 물건을 던지거나 그 밖의 항행위험 초래 행위 금지

(2) 이/착륙장 관련 법규

❍ 이착륙장의 설치 (법제 75조의 2 제 1항)

❍ 이착륙장의 관리 (법제 75조의 2 제 2항)

❍ 이착륙장 사용중지 (법제 75조의 2 제 4항)

(3) 비행장치의 활용 관련 법규

<표 2-6-6> 비행장치의 활용 관련 법규

관련 법규	상세 내용
항공법 제 141조 (초경량 비행장치 사용 사업)	- 초경량 비행장치 사용사업의 등록 (법제 141조 제 1항)
항공법 제 142조 (준용 규정)	- 항공기 대여업 및 항공레저 스포츠사업 (법제 142조 제 4항, 제 119조 제2호, 제 120조 , 제 122조 제 123조부터 제 126조까지, 제 127조제 2항 및 제 3항 제 128조제 2항 제 129조 및 제 131조 준용
초경량 비행장치 사용사업 (법제 142조 제5항)	- 제119조제2호, 제120조, 제122조(제6호에 관한 사항은 제외한다), 제123조부터 제126조까지, 제127조제2항 및 제3항, 제128조제2항, 제129조 및 제131조를 준용
항공법 제 153조(항공안전 활동)	- 업무에 관한보고 또는 서류제출 명령 (법제 153조 제 1항) - 업무의 일시정지 명령 (법제 153조 제 9항)

(4) 청문 및 수수료

❍ 항공법 제 154조의 2 (청문)

❍ 항공법 제 155조 (수수료 등)

(5) 비행장치 관련 범죄

❍ 항공법 제 156조 (항공상 위험 발생 등의 죄)

❍ 항공법 제 157조 (항행 중 항공기 위험 발생의 죄)

❍ 항공법 제 158조 (항행 중 항공기 위험 발생으로 인한 치사, 치상의 죄)

❍ 항공법 제 159조 (미수범)

❍ 항공법 제 160조 (과실에 따른 항공상 위험 발생 등의 죄)

❍ 항공법 제 172조 (초경량 비행장치 불법 사용 등의 죄)

○ 항공법 제 174조 (항공 운송 사업자의 업무 등에 관한 죄)

○ 항공법 제 177조 (항공 운송 사업자의 업무 등에 관한 죄)

(6) 비행장치 관련 과태료

○ 항공법 제 182조 (과태료)

○ 항공법 제 182조의 2 (과태료)

○ 항공법 제 183조 (과태료)

○ 항공법 제 183조의 4 (과태료)

(7) 철도시설물 유지관리 관련 법규

○ 철도안전법, 도시철도법, 선로유지관리지침 등 철도시설물 유지관리와 관련한 법규를 검토하였으며, 무인이동체 적용을 규제하고 있지 않음

○ 무인이동체는 도입초기로 철도 구조물 근접을 위한 기준규격 및 시험평가는 선진국에서도 아직 체계화되지 못하였음

마. 제도개선 계획

○ (현황 및 문제점) 무인이동체를 통한 철도시설물 상태점검을 수행하기 위해서는 비가시 비행이 가능해야 하나, 법으로 규정된 비가시 비행 가능 조건에 해당 조건이 포함되어 있지 않음

- (비가시 비행 가능 조건) ① 재난·재해 등으로 인한 수색·구조, ② 응급환자 장기 이송 등 구조·구급, ③ 산불의 진화 및 예방, ④ 산림보호사업을 위한 화물 수송, ⑤ 산림 방제·순찰 등
- 철도 영업노선이 3,729km ('14)에 달해 비가시 비행이 불가능할 경우 시스템 적용의 효과가 크게 반감될 것으로 판단됨

○ (관련법령) 항공안전법 제131조의2 제2항 및 항공안전법 시행규칙 제313조의2 제1항

- 담당부서 : 국토교통부 첨단항공과

○ (개선방안) 항공안전법 시행령 개정을 통해 비가시 비행 조건에 '철도 등 국가시설물 유지관리' 추가

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표설정

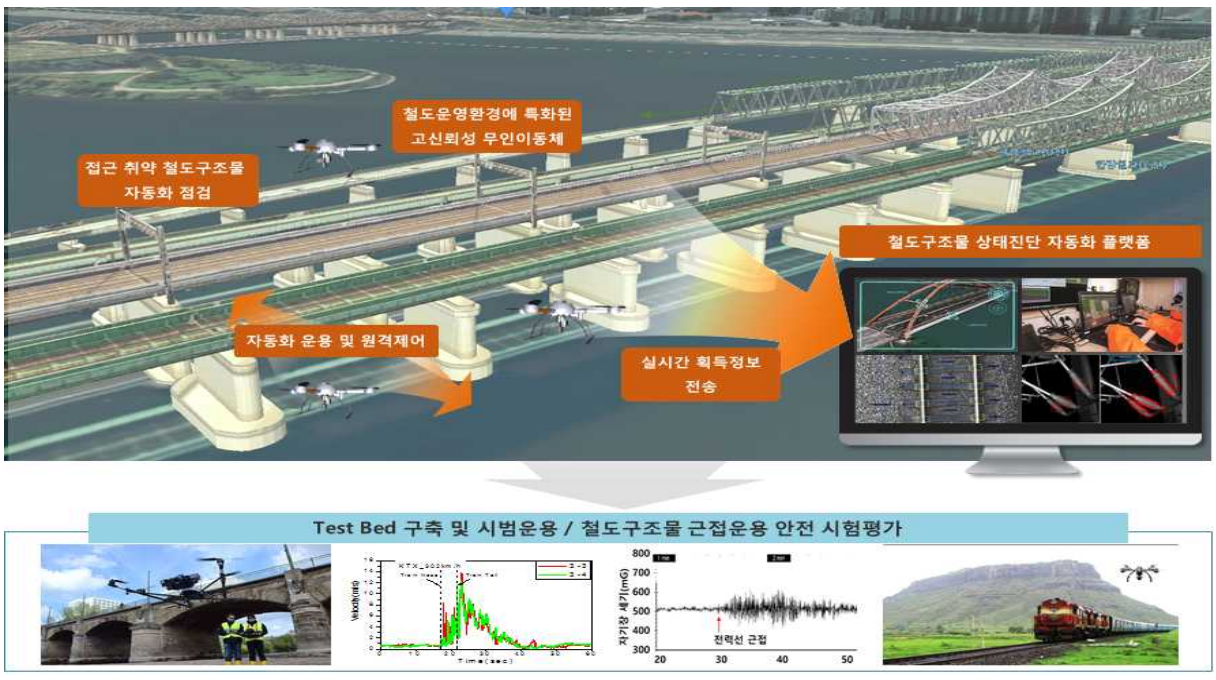
1. 비전 및 목표

○ (비전) 무인이동체를 활용한 접근취약 철도구조물의 자동점검 및 점검결과의 자동 해석 등을 수행하는 철도구조물 점검 자동화 시스템 적용을 통해 상태점검시간 70% 단축, 작업자 안전사고율 50% 감소를 비전으로 함

○ (목표) 효율적·체계적 유지보수 및 작업자 인명피해 예방을 위한 무인이동체 기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발 및 현장실증

<표 3-1-1> 접근취약 철도구조물 및 순회 점검항목

접근취약 철도구조물		순회 점검항목
교량	교대, 교각, 거더, 익벽	균열, 이동, 부식
	상부구조	손상, 부식, 마모 등 변상유무
	거더	방청도장의 상태
터널	라이닝	표면 균열, 낙반, 철근부식
낙석우려개소		낙석 및 붕괴 발생 여부
송전선로		불량애자 검출
	지선	부식, 단선, 늘어짐
	전선	접속부의 부식, 부풀음
송전철탑	철재부	녹, 탈락, 변형
	볼트, 너트	탈락 및 이완



<그림 3-1-1> 연구개발 과제의 목표

제2절 기술개발에 따른 미래상

1. 미래상(As-Is VS To-Be)

○ 무인이동체 기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템의 미래상을 다음과 같이 제시함



<그림 3-2-1> 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템의 미래상

○ 현재는 절도구조물의 점검을 위하여, 점검자의 현장점검 계획 수립, 고소 작업차등에 의한 현장점검, 영상획득 및 계측, 도면상 위치표시, 점검결과 정리, 유지보수 결정의 6단계를 수행하고 있음

○ 미래에는 무인이동체를 이용한 점검 시나리오 수립, 운용 및 원격제어, 자동화된 상태분석, 이력정보 통합관리, 유지보수 결정 과정이 자동화되어, 점검자의 현장접근이 최소화 될 것으로 보임

○ 무인이동체 데이터 후처리는 센터에서 수행하여 이력관리 및 유지보수 지원에 활용

제3절 연구개발 과제 구성

1. 후보과제 도출

○ 기술분류별로 취합된 기술수요조사 제안과제 매칭 결과는 다음과 같음

<표 3-3-1> 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제 명칭

중분류	소분류	기술수요조사 제안과제
철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술	철도시설 운용환경(전차선 고전압, 열차풍)에 특화된무인이동체(드론,로봇)기술	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발
		철로 및 철로 주변 상태 감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발
		수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발
		철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발
		송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작
		무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술
	철도환경에서 무인이동체 운영 및 제어 기술	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발
		무인이동체 고정밀 제어기술 개발
		지장물 자동회피 기술개발
		무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발
	철도환경에서 무인이동체 측위 및 통신 기술	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구
		이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발
		무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술
		터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발
	철도시설 운용 안전 확보를 위한 시험평가 기술	무인이동체의 철도시설물 근접 운용 안전확보를 위한 시험 평가기술 개발
상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술	상태진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술 (EO,열화상,SAR,LiDAR,초분광카메라, 초음파장비등)	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상분석시스템개발
		드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술개발
		열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발
		철도 분기기 자동점검 기술개발
		철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터처리 알고리듬 개발
철도시설물 상태진단 자동화 기술	탑재체 데이터 분류 및 관리 자동화 기술	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발
		데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리기술 개발
		머신러닝을 이용한 철도시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술
	철도시설물 상태진단 기술개발	구조물 피해 영향 평가 기술 개발
		무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술
		AI기반 철도시설물 상태진단 기술
		UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단
	Test Bed 실증	철도시설물 상태진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구
철도시설 유지보수 연계 기술	철도시설 유지보수 및 운영 기술	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발
		철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발
		철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발
		열화모델기반 철도교량 유지보수 기술개발 및 성능검증

	생애주기 비용을 고려한 유지보수 의사결정 지원 기술	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술
		무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발
	무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리
		ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용
		BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼
		Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성기반철도시설물설계기법개발

❍ 제안된 기술수요조사 제안 과제의 세부 연구개발내용은 아래 표와 같음

<표 3-3-2> 기술수요조사 제안과제별 연구개발 내용

중분류	기술수요조사 제안과제	연구개발 내용
철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술	위성항법 미약지역에서 철도시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발	- 교량/특수교량 주변 및 터널내부 등 시설물 근접 비행을 위한 고신뢰성 무인이동체 플랫폼 설계 및 제작기술 연구 - 위성항법 음영 지역에서 seamless navigation을 수행하기 위한 정밀 복합항법 기술 연구 - 위성항법 음영지역에서 공통 탑재체 센서를 이용한 시설물 진단 및 고신뢰성 제어 연동 기술 개발 - 고전압, 고자기장에 강인한 무인이동체 하드웨어기술 - 철도환경(대상체: 교량, 전차선애자, 터널 등)에 맞는 자동항법 기술
	철로 및 철로 주변 상태 감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발	- 장기체공 무인비행체 개발 - 철로를 이동하기 위한 경로 추종 비행 알고리즘 개발 - 근접 감시를 위한 정밀 비행 제어 알고리즘 개발
	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	- 무인이동체를 수중에서 제어가능한 기술 개발 - 수중 구조물의 구체 스캔을 통한 세굴, 침식 점검 기술개발 - 무인이동체의 하상 측량기술
	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발	- 모노레일 장착 모바일 로봇플랫폼 설계기술 개발 - 비전 카메라를 이용한 궤도결함 검사기술 개발 - 무인이동체 협조운영기술 개발
	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작	- 영상처리를 통한 송전선 인식 알고리듬 개발 - 가공송전선로 이동 자동 추종 비행 알고리즘 개발 - 자동경로 비행 중 경로 일시정지 및 이전 비행 지점 복귀 기능 - 임무비행 중 송전선로 이상지점 발견시 정지 비행을 통한 실시간 정밀분석 개발

		- 이중화 비행조종시스템 개발 - 고도별 자동항법 임무 기능 탑재 개발
	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	- 송전선로 유도전압을 이용한 무선충전기술 개발 - 전차선로 유도전압을 이용한 무선충전기술 개발 - 태양광을 이용한 충전기술
	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발	- 철도시설 진단용 무인이동체의 운영 환경 분석 및 모델링 - 자동화 점검을 위한 운영 시나리오 개발
	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발	- 자동수직이착륙 제어 및 1시간 이상 비행이 가능한 비행체 개발 - 풍속 10m/s 이상에서 위치 및 자세유지 가능한 구조물 외관 조사용 무인기 개발 - 실시간 데이터 처리 및 자율비행을 위한 탑재장비류 개발 - 지상통제차량과 제어/상태 데이터 송수신 개발 - 지상통제차량에 영상 및 센서 데이터 송신 개발
	지장물 자동회피 기술 개발	- 전선 등 면적이 작아 검지가 어려운 지장물에 대한 회피기술 - 유도전압을 검출하여 회피할 수 있는 기술개발
	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	- 무인검사장비에서 운영 및 원격통제가 가능한 지상관제센터개발 - 효율적이고 안정적으로 운영하기 위한 플렛폼 개발
	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구	- 장거리 저지연 고신뢰 송수신 기술 개발 - 무인이동체 제어에 적합한 프로토콜 개발 - 철도시설물 주변 무선신호 간섭 연구
	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	- 위치를 측정하고자 하는 대상물을 무인이동체를 이용하여 여러 위치에서 촬영한 뒤, 대상물의 위치를 3D Point Cloud 모델, 더 나아가서는 CIM모델과 유한요소모델과 결합하는 기술 개발
	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	- 저전력 RF 모듈 개발 - 영상정보 압축 기술 개발 - 선택적 영상정보 전송 기술 개발
	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위기술 개발	- GPS 음영지역인 터널 등에서 전차선로를 무인 점검 할 수 있는 측위 기술
	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발	- 철도시설물 근처 사용 장비에 대한 국내·외 기준규격 및 가이드라인 조사·분석 - 철도시설물 근처의 운행하는 무인이동체의 안전성 및 필수성능 시험평가 항목 도출 - 도출된 시험평가 항목에 대한 시험검증
상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 기술	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상분석시스템개발	- 고속 영상분석 모듈 개발 - 고속 영상분석 알고리즘 및 운영시스템 개발
	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발	- 열차가 다니지 않는 차단시간에 기관차를 운행하여 측정하는 방식을 격자 마커를 교량에 설치하여 영상 촬영 후 이미지를 분석하여 처짐

		량 측정
	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발	- 적외선 카메라를 이용한 철근콘크리트 내부 균열 및 박리 감지 기술 개발 - 유도가열 및 적외선 카메라를 이용한 철근콘크리트 내부 철근 부식 평가 - 적외선 카메라 탑재 드론을 활용한 실 구조물의 내구성 평가 및 사용수명 예측 기술 개발
	철도 분기기 자동점검 기술 개발	- 분기기 점검 모듈 개발(라이다, 레이져 스캐닝 기술 등) - 관리운영 시스템 개발(분기기 상태평가 및 유지보수 우선순위 결정 등)
	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체및데이터처리알고리듬 개발	- 레일 선로 점검을 위한 영상획득 무인항공기 정밀 자동항법기술 개발 - 레일 영상분석을 통한 레일의 변형과 노후화 예측 기술개발 - 레일 영상 처리결과 데이터를 활용한 유지보수 계획 최적화 기술개발
철도시설물 상태진단 자동화 기술	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발	- 무인이동체 수집 데이터의 손상별 분석 - 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 개발 - 무인이동체 수집 데이터 통합관리 체계 개발 - 안전등급 산정, 외관조사망도, 보수보강 물량 및 우선순위 등 안전점검 체계 자동화 및 현장 여건을 고려한 최적 활용 Tool 개발 - 현장 안전점검을 통한 실용성 확보 및 피드백
	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	- 교량에 형태(모양)에 따른 자동비행 프로그램 개발 - 드론의 장대교량 효율적인 점검을 위한 제어거리 확대 개선 - 2회차 점검 시 1회차 점검 데이터 값을 활용한 변상의 진행상태 등 자동측정 프로그램 개발 - 외관망도 자동 작성 프로그램 개발 - 점검결과를 이력관리 시스템과 연계될 수 있는 프로그램 필요
	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술	- 머신러닝 기반 철도시설물 구분 기술 개발 - 위치, 특징 정보를 이용한 철도시설물 상세 분류 및 태깅 기술 개발 - 유지보수 우선순위에 따른 분류 기술 개발
	구조물 피해 영향 평가 기술 개발	- 무인 이동체를 이용하여 교량의 동적 변위측 기술 개발 - 무인 이동체를 이용하여 교량 부재의 균열, 침하, 좌굴 진단 기술 개발 - 측정한 정보로부터 구조물의 시스템을 예측하는 System ID 기술 개발 - 예측한 시스템과 유한요소모델을 비교, 구조물 피해 영향 평가 기술 개발
	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술	- 측정개소 크기인식 기술 개발 - 상태진단 S/W 또는 알고리즘 개발

	AI기반 철도시설물 상태진단 기술	- 계측정보 수집 및 라벨링을 통한 학습데이터 생성 - 학습알고리즘을 통한 상태진단 모델 생성 - 학습데이터 및 학습모델 생성을 위한 철도상태 진단 플랫폼 개발 - 철도시설물 (궤도, 교량, 터널 및 전주 등) 적용 및 분석 - 인공지능 기반 철도시설물 부재유형별 손상 인식, 평가, 예측기술
	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단	- 영상 정보를 통한 균열의 정량적 평가 - 철도 교량의 상태 진단 기술 개발 - 터널, 옹벽 등 콘크리트 구조물의 상태 진단 기술 개발
	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구	- 철도시설물 주변 드론 주행 성능 검증 시스템 개발 - 시설물 점검 결과 평가 시스템 개발 - 유지보수 관리 시스템 효율성 분석 시스템 개발
철도시설 유지보수 연계 기술	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발	- 현재 지진 발생 후 시설물의 이상유무를 확인하고 열차 운행 개시, 인력점검을 드론으로 활용할 경우 시간, 비용 단축 가능 - 지진 발생 후 드론을 이용한 시설물 변형 등 평가 할 수 있는 드론탑재체 개발
	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발	- 터널 내 철도시설물을 점검할 수 있는 무인이동 로봇을 개발하여 이상개소 발견 시 통보하면 현장 출동하여 즉시 해결할 수 있는 시스템을 구축해 열차 안전운행을 확보한다. - 무인이동로봇이 양쪽 레일 중심을 기준으로 공중으로 이동하며 레일 및 체결구, 기타 지장물 유무를 점검하고 분기기에서는 필요한 점검을 왕복 운행하며 실시한다.
	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발	- 상태진단 데이터 연계를 위한 DB 설계 기술 개발 - 시스템간 효율적 연동 기술 개발 - 클라우드 기반의 데이터 관리 및 연동 시스템 구축 - 철도시설 이력관리 시스템과 인터페이스 기술 개발
	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증	- 철도교량의 열화에 영향을 미치는 주요인자 분석 및 주요인자의 우선순위 선정 (교량의 상세정보, 관리업체, 기후 등 평가) - 교량 유형별 열화모델 개발 · 검측 자료와의 비교를 통한 성능 검증 - 측정결과 정확도 평가 시스템 개발
	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술	- 철도시설물 유지관리를 위한 통합데이터베이스 설계 기술 - 시뮬레이션기반 철도시설물 유지관리 대안 평가 기술 - 철도시설물 유지관리 의사결정 최적화 기술

		- 유효 데이터 추출기법 개발 및 유효데이터 관리방안 개발 - 외관조사망도의 정량화 기술, 보수보강 물량 자동 산출 기술 - 대절도사면 등 활동 예측 분석 프로그램 개발
	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발	- 기존 절토사면 유지관리방안 조사 및 분석 - 절토사면 데이터 수집에 특화된 무인이동체 개발 - 낙석 및 절토사면 안전성 분석기법 개발 - 분석결과기반 유지관리 의사결정지원 시스템 개발
	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리	- BIM Data와 M.R 시스템간의 효율적 연동 기술 개발 - 무인이동체의 FPV(First Person View)를 통한 실시간 유지관리 점검 기술 - 현실 속 시설물과 M.R상의 BIM Data간의 정합 기술 - AmazonServer 또는 독자 플랫폼에 의한 클라우드 기반의 MR 시스템 구축 - On-Offline 기반의 유연한 시스템 구축 - 3D 모델의 갱신에 따른 모델 관리 시스템 개발
	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	- 기존 철도구조물의 유지관리 프로세스를 드론/빅데이터 분석/CIM과 같은 최신 IT 기술을 적용하여 실시간으로 유지관리 정보를 등록/관리하고 이상 상태를 예측하는 시스템 개발 및 실무적용을 수행함.
	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼	- 3D로 가시화시킨 시설물 손상 여부 판단 알고리즘 - 무인이동체의 위치정보를 반영한 수집Data와 BIM Data간의 정합 기술 - 시설물의 이력관리 (문제발생 구간 및 보수.보강위치, 관련도면 및 서류 등)가 실시간으로 확인이 가능하고 자료관리가 체계화된 3D 뷰어 개발 - 언제 어디서든 정보 확인 및 협업이 가능한 모바일 통합시스템 개발 - 점검 이력에 따른 시설별 3D 모델 갱신 및 데이터관리 플랫폼
	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계 기법 개발	- LRFD 및 한계상태설계법의 철도시설물 (터널 및 궤도시설물) 적용방안 제시 - Adaptive SVM기법 개발을 통한 한계평형해석 기법의 최적화 방안 제시 - 수치해석 및 ASVM의 통합을 통한 철도시설물 설계기법 개발 등

2. 우선순위 도출

○ 후보과제로부터 우선순위를 도출하기 위하여 1) 우선순위 조사항목 도출 → 2) AHP 분석을 통한 조사항목간 가중치 도출 → 3) 중요도 전문가 설문조사 → 4) 조사결과 분석을 통한 중점연구분야별 우선순위 도출 순으로 진행

○ (우선순위 조사항목 도출) 각 조사항목간 우선순위 가중치는 정책 정합성, 실현 가능성, 사업화 가능성, 파급성의 4개 평가항목으로 구성함

<표 3-3-3> 우선순위 조사 항목

평가항목	정의
정책 정합성	국가의 중장기 R&D 전략에 부합하고 사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 수요가 증가 할 것으로 예상 가능성에 대한 평가
실현 가능성	현재의 기술수준, 과제가 추구하는 목표 등 국내·외 기술수준을 고려할 때 해당기술의 구체성과 실현될 가능성에 대한 평가
사업화 가능성	해당기술이 개발된 후 실제 철도구조물 자동화 점검시스템으로서 사업화가능성 및 기술의 개발투자로 인한 수익창출 가능성에 대한 평가
파급성	해당기술에 대한 경제적, 기술적(과학적 혁신, 지식창출), 사회적(사회문제 해결 및 공익증대) 파급성에 대한 평가

○ (AHP분석기법을 이용한 조사항목 간 가중치 도출) 조사항목 간 중요도를 고려한 가중치 도출을 위하여 관련분야 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하고 AHP분석을 수행함

<표 3-3-4> 평가항목별 가중치 산정 결과

평가항목	가중치(a)
정책 정합성	0.15
실현가능성	0.34
사업화가능성	0.21
파급성	0.30

○ 후보과제에 대한 평가지표 항목에 대한 9점 척도 평가 수행

- 9점 척도 기준 : 매우 높음(9점), 높음(7점), 보통(5점), 낮음(3점), 매우낮음(1점)

❍ 후보과제 평가 결과에 평가지표 가중치를 반영하여 9점 만점으로 환산

❍ 평가결과 9점 만점 중 6.0점 이상인 과제를 최종 연구과제로 선정

❍ (우선순위 도출결과) 중요도 설문조사 결과에 상기 우선순위 평가항목 가중치를 적용하여 각 대분류별 우선순위를 도출함

<표 3-3-5> 철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술 우선순위 조사 결과

중점분야	기술수요조사 제안 과제명	구성기술 중요도				합계	순위
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성		
철도시설 운용환경(전차선 고전압, 열차풍)에 특화된 무인이동체(드론, 로봇) 기술	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발	1.1	2.4	1.4	2.3	7.2	2
	철로및철로주변상태감시를위한장기체공무인비행체개발	0.9	2.2	1.2	1.8	6.1	4
	수중구조물(교량 기초 등) 점검용 무인이동체 개발	0.8	1.5	0.8	1.3	4.3	12
	철도교량 레일결함검사용 모노레일 장착 소형 모바일 로봇 플랫폼 개발	0.7	1.5	0.7	1.0	3.8	14
	송전선로 감시용 무인헬기 시스템 설계 및 제작	0.9	2.1	1.2	1.6	5.8	6
	무선충전 및 태양광을 이용한 무인비행체 충전기술	0.8	1.8	1.0	1.7	5.3	9
철도환경에서 무인이동체 운영 및 제어 기술	무인이동체의 자동화 운영 시나리오 개발	0.9	1.9	1.1	1.5	5.3	10
	무인이동체 고정밀 제어 기술 개발	0.8	2.0	1.1	1.8	5.7	7
	지장물 자동회피 기술 개발	0.8	2.1	1.2	2.1	6.3	3
	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발	0.9	2.1	1.2	1.8	6.0	5
철도환경에서 무인이동체 측위 및 통신 기술	탑재체 제어를 위한 통신 기술 연구	0.9	2.0	1.0	1.5	5.4	8
	이미지 정합 기반 측정개소 위치인식 기술 개발	0.6	2.1	0.7	0.9	4.3	13
	무인이동체를 위한 실시간 영상 전송기술	0.9	2.4	0.9	1.1	5.2	11
	터널 내 전차선로 점검을 위한 측위 기술 개발	0.7	1.5	0.5	1.0	3.8	15
철도시설 운용 안전 확보를 위한 시험평가 기술	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발	1.1	2.5	1.2	2.4	7.3	1

<표 3-3-6> 상태진단을 위한 무인이동체의 탑재체 및 자동화 기술 우선순위 조사 결과

중점분야	기술수요조사 제안 과제명	구성기술 중요도				합계	순위
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성		
상태진단을 위한 무인이동체 탑재체 기술	철도시설물 유지관리 효율성 향상을 위한 고속영상 분석 시스템 개발	0.7	1.9	0.9	1.4	4.9	10
	드론을 활용한 철도 교량 처짐 측정 자동점검 기술 개발	0.8	2.0	1.0	1.4	5.2	7
	열화상 카메라를 탑재한 드론을 이용한 RC 및 PSC 구조물의 내구성 저하에 따른 내부 균열 및 철근 부식 탐지기술 개발	0.9	1.2	1.0	1.6	4.7	11
	철도 분기기 자동점검 기술 개발	0.7	1.6	0.8	1.3	4.5	12
	철도 레일의 상태 점검을 위한 무인항공기 자동항법, 탑재체 및 데이터 처리 알고리듬 개발	0.8	1.8	1.1	1.5	5.2	6
탑재체 데이터 분류 및 관리 자동화 기술	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발	1.1	2.5	1.3	2.0	7.0	1
	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발	1.1	2.2	1.2	1.9	6.4	2
	머신러닝을 이용한 철도 시설물 영상 자동 분류 및 태깅 기술	0.8	1.9	1.0	1.4	5.1	8
철도시설물 상태진단 기술개발	구조물 피해 영향 평가 기술 개발	0.8	1.5	0.8	1.1	4.2	13
	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석 우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술	0.8	2.2	1.3	1.6	6.0	5
	AI기반 철도시설물 상태진단 기술	1.0	2.0	1.1	2.0	6.1	4
	UAV를 활용한 철도시설물의 상태진단	0.9	1.7	0.9	1.5	5.0	9
Test Bed 실증	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구	1.0	2.4	1.0	2.0	6.3	3

<표 3-3-7> 유지보수 지원 기술 우선순위 조사 결과

중점분야	기술수요조사 제안 과제명	구성기술 중요도				합계	순위
		정책 정합성	실현 가능성	사업화 가능성	파급성		
철도시설 유지보수 및 운영 기술	지진 발생 후 드론을 활용한 철도 시설물 점검 기술 개발	1.0	2.2	0.9	1.8	6.0	5
	철도시스템 관리 및 운영 플랫폼 개발	0.9	2.0	0.9	1.4	5.2	7
	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발	1.1	2.5	1.4	2.1	7.2	1
	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증	1.0	2.0	1.1	1.9	6.0	3
생애주기 비용을 고려한 유지보수 의사결정 지원 기술	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션 기반 유지보수 의사결정 최적화 기술	1.0	2.1	1.2	2.2	6.5	2
	무인이동체를 이용한 철로주변 절토사면 유지관리 체계 개발	0.9	2.1	1.3	1.7	6.0	4
무인이동체 및 탑재체 수집 데이터와 빅데이터 융합 기술	혼합현실(Mixed Reality)을 이용한 철도시설 유지관리	0.8	1.6	0.7	1.4	4.6	9
	ICT융합기술 기반의 도시철도 기반시설물 스마트 유지관리 시스템 개발 및 적용	0.9	1.6	0.7	1.6	4.8	8
	BIM(Building Information Modeling) 기반 유지관리 플랫폼	0.9	2.0	1.1	1.9	5.9	6
	Adaptive Support Vector Machine 기법을 이용한 신뢰성 기반 철도시설물 설계기법 개발	0.6	1.2	0.5	1.0	3.2	10

3. 중점추진과제 선정

○ 상기 도출된 기술수요조사 제안 과제의 우선순위 도출 결과를 바탕으로 과제별 추진 단계(시점)을 아래와 같이 설정하였음

○ 우선순위 도출시 평가점수 합계가 6점 미만인 기술수요조사 제안 과제는 중점추진과제 선정에서 제외하였음

○ 제안된 과제 38개 중 중점추진과제 13개를 선정하였음

<표 3-3-8> 중점추진과제 선정 결과

중점분야	제안기술명	1단계	2단계	3단계	4단계
철도 운영환경을 고려한 무인이동체 기술	위성항법 미약지역에서 철도 시설물 정밀 진단을 위한 고신뢰성 무인이동체 기술 개발				
	철로 및 철로주변 상태감시를 위한 장기체공 무인비행체 개발				
	지장물 자동회피 기술 개발				
	무인 검사장비의 운영 및 원격제어 기술 개발				
	무인이동체의 철도 시설물 근접 운용 안전 확보를 위한 시험 평가 기술 개발				
철도시설물 상태진단 자동화 기술	철도시설물 상태진단 및 통합관리 S/W 개발				
	데이터 이력기반 변상 자동측정 및 관리 기술 개발				
	무인이동체(드론, 로봇)을 통한 낙석우려개소 낙석크기 및 상태진단 자동화 기술				
	AI기반 철도시설물 상태진단 기술				
	철도시설물 상태 진단 자동화 기술의 검증을 위한 Test Bed 구축 연구				
유지보수 지원 기술	철도시설물 관리 시스템 연계 기술 개발				
	열화모델기반 철도교량 유지보수 기술 개발 및 성능검증				
	생애주기 비용을 고려한 시뮬레이션기반 유지보수 의사결정 최적화 기술				

4. 과제구성

□ 본 과제는 연구단(2세부과제)로 구성함

○ (연구단) 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발

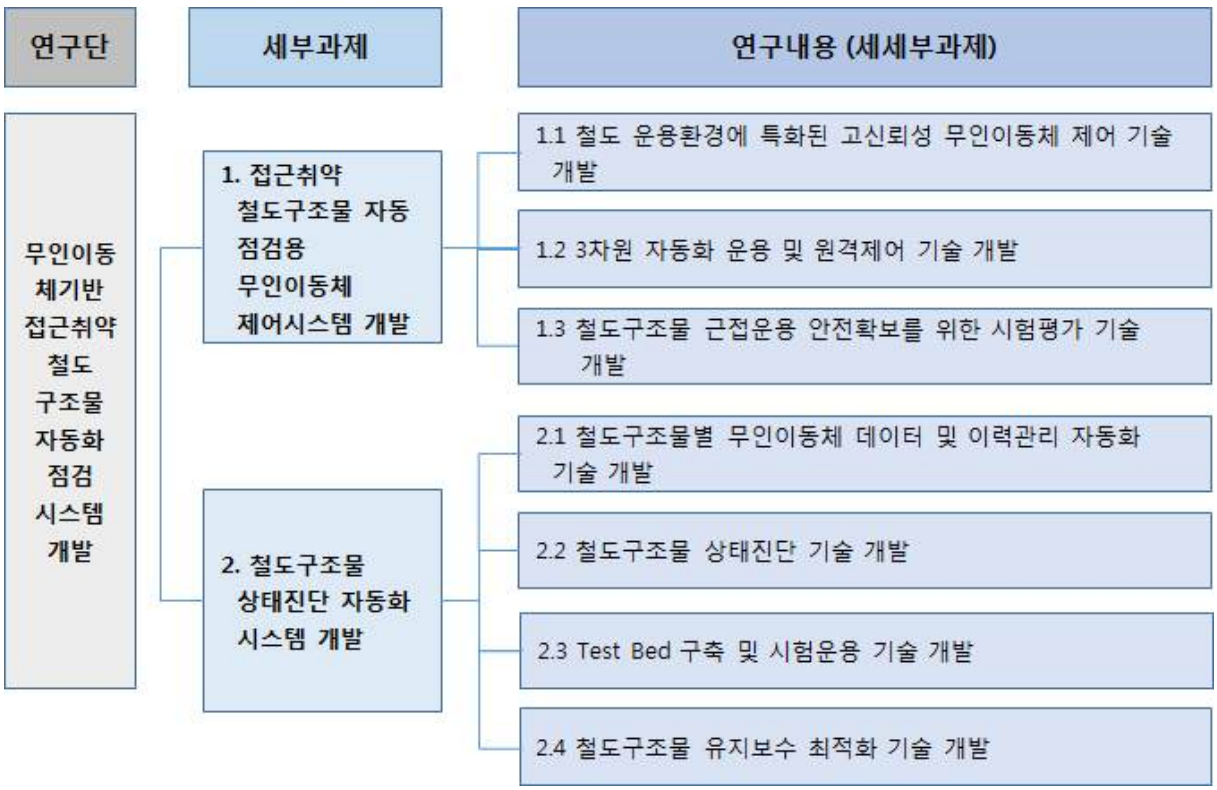
- 연구개발의 기획관리, 평가조정, 성과의 활용 및 홍보전략 수립
- 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 기술 전략 수립 및 관리

○ (1세부) 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발

- 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발
- 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발
- 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발

○ (2세부) 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발

- 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발
- 철도구조물 상태진단 기술 개발
- Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발
- 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발

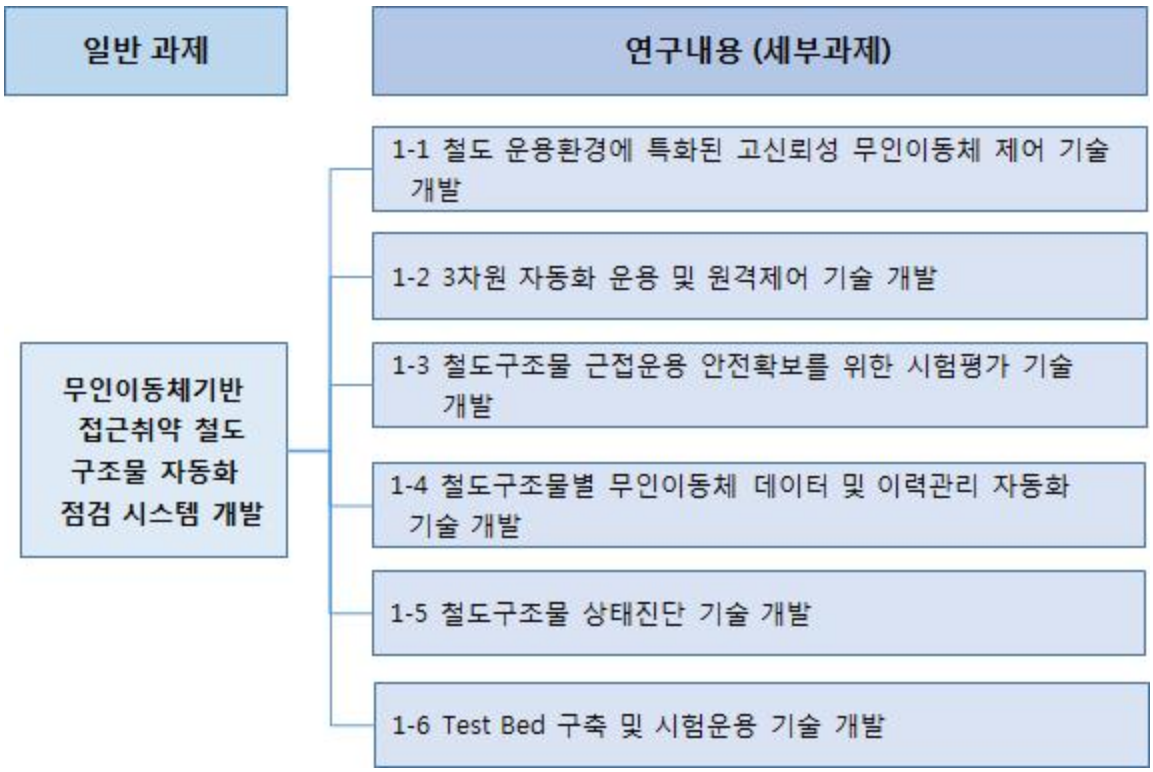


<그림 3-3-1> 연구단 과제 구성도

❍ (일반과제) 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발

- 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발
- 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발
- 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가
- 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발
- 철도구조물 상태진단 기술 개발
- Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발

※ 일반과제는 다부처 R&D로 편성되면서 1개 세부로 통합되었고, 축소된 예산요구를 반영하였음



<그림 3-3-2> 일반과제 구성도

❍ R&D 과제카드는 아래와 같음

과제명	무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발

과제구분	기존과제(계속)	신규과제	예타과제
		√	
기술개발 및 상용화 유형	기술개발 유형	상용화 가능 시기	
	□기초 □응용 ■개발	□단기(3년 이내) ■중・장기	

연구배경	필요성	ㅇ (유지보수 효율화) 노후 시설 및 신규 노선의 효율적·체계적 관리를 위해 인력중심・아날로그적인 유지보수 방식을 자동・디지털식으로 전환 필요 - 30년을 초과한 철도시설 : 13,911개소 (전체의 58%, '16년 기준) - 영업거리(km, 제3차 국가철도망 구축계획) : ('14) 3,729 → ('26) 5,364 ㅇ 신규노선 확충 및 노후 시설 증가 등으로 인해 유지보수 개소는 증가된 반면 관련 예산 및 인원은 감소추세로 효율적 유지보수 기술 수요가 늘어나는 상황 - 유지보수 예산 : ('13) 662억 → ('17) 336억 (49% 감소) - 인력철도공사) ('13) 4,282명 → ('17) 3,982명 (7% 감소) - '제3차 철도산업발전 기본계획' 내 km당 유지보수 인력 저감 목표(명) : ('15) 0.796 → ('20) 0.676 이하 ㅇ 인력 중심의 시설점검으로 인해, 점검 결과에 작업자의 주관적 판단이 개입될 소지가 많아 점검 결과의 신뢰성이 떨어지며, 검측 결과가 정성적이고 휘발성이 강해 데이터 분석 등을 통해 체계적 유지보수 수행이 어려움 ㅇ (작업자 안전확보) 우리나라 작업자 사망자수는 선진국 대비 높은 수준으로, 이를 개선하기 위해 작업 위험도 저감을 위한 기술 확보 필요 - 열차운행 1억km당 작업자 사망자수 : 한국 6.17 / 독일 0.77 ('14년) ㅇ 작업자를 대신하여 검측을 대신할 수 있는 무인이동체 기술 및 검측결과 분석을 위한 빅데이터 기술 등이 최근 급성장 - 금융, 의학, 농업, 물류 분야 등에서 빅데이터, 드론 등이 실제 적용되는 사례가 늘어나는 추세
	국내외 동향	ㅇ 철도시설 관리를 위한 무인이동체 및 손상분석 기술은 프랑스, 영국, 미국 등 해외 철도 운영기관에서 '17년부터 현업에 적용하기 사용 중이며, 국내에서는 국토교통부 주관으로 시범운용('17.05~10)을 수행하여 도입 타당성을 검토하였음 - 무인이동체의 철도시설 유지관리 목적으로 적용 가능성 검토 목적으로 수행 - 상용 UAV를 이용하여 접근취약개소의 영상 획득 수행 ㅇ 해외에서는 드론을 이용한 전차선 검사뿐만 아니라 획득한 데이터를 바탕으로 자동화된 전차선 유지관리 솔루션을 개발 중

		ㅇ 손상분석을 위한 탑재체는 카메라, 배터리 등과 같은 구성요소의 소형화로 무인이동체에 탑재가 가능한 기술 수준에 올라와 있음 ㅇ 빅데이터 분석 기술이 철도에 도입되어 손상 인식 및 손상정도 평가가 가능하여, 손상개소 및 정도 등을 종합적으로 검토하여 전체 시설물의 위험도를 평가하는 기술이 개발 중 ㅇ 관련 핵심 기술들이 실험실 단계의 검증이 완료되어 시작품 제작 단계로 올라와 있어, 현장 적용성 평가 및 품질인증 통해 실용화를 추진 중 ㅇ 영국 Network Rail은 드론을 이용하여 전차선 검사 및 자동화된 유지관리를 수행 중 - UAV와 전용SW, 전문 운용인력으로 구성됨 - 인력 접근이 어려운 전차선 상부를 포함하여 철도시설물 전체 점검 수행 가능 - UAV를 이용한 데이터 획득, 검사, 보고 매트릭스 생성, 뷰어, 유지관리 단계로 구성 - 점검시간 단축 뿐만 아니라 선로상 작업을 제거하여 작업자의 안전 위험을 최소화 ㅇ 프랑스 SNCF는 무인이동체기반 철도시설물 유지관리 수행을 위한 자회사 ALTAMETRIS를 설립('17)하여 운영중 - 누적 점검거리 22,600km, 1,040회 비행('17), 1km 트랙 스캔에 4시간 소요 - 12대의 전용 드론, 영상 및 포인트 클라우드 정보 처리를 위한 IT 자원 보유 - 전차선, 역사 구조물, 철도 교량을 대상으로 원격점검 수행 ㅇ 유럽의 DESTination RAIL 프로젝트는 유럽의 철도관련 인프라 시설물에서 발생하는 수많은 문제점을 해결하기 위해 50.6억원 규모로 '15년~'18년에 수행 - 문제발견, 분석, 분류, 보수, 기술 통합 및 보급 · 관리로 총 6개의 업무계획을 통해 철도시설물의 유지관리 · 보수를 수행 중 - 선로 뿐만 아니라 노반, 비탈면, 자연재해에 의한 선로시설의 피해 등을 드론을 활용하여 데이터를 수집, 실시간 분석 중이며, 데이터 분석 SW를 개발하여 유지보수 계획 개선에 활용
과제목표		○ 효율적 · 체계적 유지보수 및 작업자 인명피해 예방을 위한 무인이동체 기반 주요 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발 및 현장실증
연구내용		○ 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발 - 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발 · 전차선 고전압, 고자기장에 강인한 무인이동체 제어 기술 개발 · 열차풍에 의한 위치, 자세 안정화 기술 개발 · 철도 터널 등 위성항법 음영지역에서의 항법 기술 개발 · 무인이동체간 점검시나리오 연계기술 개발 - 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발 · 전차선등 지장물 자동회피 기술 개발 · 점검을 위한 철도 구조물별 3차원 자동화 운용 기술 개발 · 철도 운영과 연계된 원격제어 안정성 향상 및 현시 기술 개발 - 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발

	・ 철도구조물 근접을 위한 기준규격 및 시험평가 항목 도출 ・ 시험평가 항목에 대한 계측장비 개발 ・ 철도구조물 운용안전확보 시험체계 및 평가시설 구축 ○ 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발 - 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발 ・ 무인이동체 데이터의 GIS기반 현시기술 개발 ・ 무인이동체 수집 데이터 통합관리 체계 개발 ・ 데이터 이력기반 변상추적 기술 개발 ・ 철도구조물 외관 조사망도 표출 및 생성 기술 개발 - 철도구조물 상태진단 기술 개발 ・ 구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기술 개발 ・ 점검 구조물별 외관 정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발 ・ AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발 - Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발 ・ Test Bed 선정 및 구축 ・ 장기 시험운용을 위한 확장방안 수립 ・ 시험운용 및 성능평가를 위한 센터 구축 - 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발 ・ 운용기관의 철도구조물 관리시스템과 연계 기술 개발 ・ 생애주기 비용을 고려한 유지보수 의사결정 최적화 기술 개발 ・ 열화모델기반 철도구조물 유지보수 기술 개발
산출물	ㅇ 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어시스템 ㅇ 자동화 운용 및 원격제어 시스템 ㅇ 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 장비 ㅇ 무인이동체 데이터 관리 자동화 시스템 ㅇ AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 ㅇ 자동화 점검시스템 성능시험을 위한 테스트베드 구축 ㅇ 철도구조물 유지보수 최적화 지원시스템

예산

총 소요금액 : 18,667백만원 (정부출연금 14,000백만원/민간 4,667백만원)

[단위 : 백만원]

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
정부(75%)	1,000	4,700	4,800	3,500	-	**14,000**
민간(25%)	333	1,567	1,600	1,167	-	**4,667**
합계	1,333	6,267	6,400	4,667	-	**18,667**

산출내역

구분	예산(억원) 정부+민간	연차별 연구내용	비고
1차년도	1,333	ㅇ 접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 설계 - 철도구조물 운용환경분석 및 무인이동체 제어시스템 기본 설계 - 국내외 기준규격 및 시험평가 항목분석 ㅇ 철도구조물 상태진단 자동화 기술 설계	

	- 무인이동체 데이터 분류 및 GIS기반 현시기술 개발 - 구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기법 설계 - Test Bed 선정을 위한 사양도출 - 철도구조물 유지보수를 위한 열화모델 분석		
2차년도	6,267	ㅇ 접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 핵심기술 개발 - 운용환경에 강인한 무인이동체 항법기술 개발 - 자동화 운용 및 원격제어 알고리즘 개발 - 시험평가항목 및 시험체계 구축 ㅇ 철도구조물 상태진단 자동화 핵심기술 개발 - 무인이동체 데이터 통합관리 시스템 구현 - 외관정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발 - 철도구조물 시험을 위한 Test Bed 선정 - 유지보수 의사결정 최적화 알고리즘 개발	
3차년도	6,400	ㅇ 접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 구현 및 성능시험 - 고신뢰성 무인이동체 제어시스템 개발 및 실내시험 - 자동화 운용 및 원격제어 시스템 프로토타입 구축 - 시험평가를 위한 계측장비 개발 ㅇ 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 구현 - 데이터 이력기반 변상추적 알고리즘 개발 - AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발 - 시험운용 및 성능평가를 위한 센터 구축 - 무인이동체 데이터 연계 유지보수 지원 시스템 구축	
4차년도	4,667	ㅇ 접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 시험평가 및 고도화 - Test Bed 시험평가 및 고도화 기술 개발 - 상태진단 자동화 시스템과 연계된 운용 시스템 개발	

		- 철도구조물 운용 안전확보 시험평가 시설 구축 o 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 현장시험 - 철도구조물 외관조사망도 표출 및 생성 기술 개발 - Test Bed 성능시험을 통한 플랫폼 고도화 - 장기시험운용을 위한 확장방안 구축 - 운용기관의 철도구조물 관리시스템과 연계	
합계	18,667		

연구성과 활용방안 및 기대효과	o '19년 도출될 기본설계(안) 및 파급효과 분석 결과를 바탕으로, '20년부터 한국철도공사, 한국철도시설공단, 도시철도 운영기관 등과 협의하여 현장 시범운영을 위한 후보지를 선정 · 구축하여 개발된 시스템의 성능을 검증 · 보완 예정 o 시범운영은 '22년부터 수행할 예정이며, 시범적용에 따른 파급효과를 km당 유지보수 비용절감 효과 등으로 산출하여 확대적용을 위한 홍보 예정 o 개발될 기술은 전세계적으로도 개발 성공사례가 적은 최신 기술로서, 신뢰성 검증 등을 통해 기술 확보에 조기 성공할 경우 경쟁업체 등이 적어 해외진출에 유리할 것으로 예상 - 미국('16.10, BNSF) 및 프랑스('17.3, SNCF) 등에서도 최근 관련 연구에 착수 o 무인이동체를 활용한 정기 검측개소의 자동점검 및 빅데이터 분석 기술을 통한 점검결과의 자동 해석 등을 통해 유지보수에 소요되는 인력 · 비용 절감 가능 - 드론을 활용한 철도시설 유지관리 시범사업('17.5～10, 철도공사) 추진결과, 점검시간 단축효과가 발생됨을 확인 o 제3차 국가철도망 구축계획('16～'25)에 따라 철도 연장은 약 5,400km까지 확충될 예정으로, 본 과제의 연구성과물을 통해 연장된 철도 노선의 효율적 유지보수 가능 - 철도 연장이 '25년까지 '16년 대비 44% 연장(3,729→5,364km)될 계획인 바, 자동화시스템 등이 지원되지 않는 인력 중심의 현 체계로는 원활한 유지보수가 어려울 것으로 예상됨 o 무인이동체를 활용하여 유지보수 활동을 전개함으로서 작업자의 현장작업 빈도를 감소시켜 작업자 사망사고 저감 - (직무사고에 의한 인명 피해, '16년) 부상 9명, 사망 5명

제4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제별 주요내용

❍ 접근취약 철도구조물 자동화 점검용 무인이동체 제어시스템 개발 주요내용

<표 3-4-1> 접근취약 철도구조물 자동화 점검용 무인이동체 제어시스템의 주요내용

과제	접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발
목표	○ 철도구조물 자동화 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 개발
주요 연구내용	○ 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발 - 전차선 고전압, 고자기장에 강인한 무인이동체 제어 기술 개발 - 열차풍에 의한 위치, 자세 안정화 기술 개발 - 철도터널 등 위성항법 음영지역에서의 항법 기술 개발 - 무인이동체간 점검시나리오 연계 기술 개발 ○ 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발 - 전차선등 지장물 자동회피 기술 개발 - 점검을 위한 철도구조물별 3차원 자동화 운용 기술 개발 - 철도 운영과 연계된 원격제어 안정성 향상 및 현시 기술 개발 ○ 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발 - 철도구조물 근접을 위한 기준규격 및 시험평가 항목 도출 - 철도특화 시험평가 항목에 대한 계측장비 개발 - 철도구조물 운용안전확보 시험체계 및 평가시설 구축

❍ 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발 주요내용

<표 3-4-2> 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 주요내용

과제	철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발
목표	○ 무인이동체 데이터기반 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발
주요 연구내용	○ 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발 - 무인이동체 데이터의 GIS기반 현시기술 개발 - 무인이동체 수집 데이터 통합관리 체계 개발 - 데이터 이력기반 변상추적 기술 개발 - 철도구조물 외관 조사망도 표출 및 생성 기술 개발 ○ 철도구조물 상태진단 기술 개발 - 구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기술 개발 - 점검 구조물별 외관 정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발 - AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발

	○ Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발 - Test Bed 선정 및 구축 - 장기 시험운용을 위한 확장방안 수립 - 시험운용 및 성능평가를 위한 센터 구축 ○ 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발 - 운용기관의 철도구조물 관리시스템과 연계 기술 개발 - 생애주기 비용을 고려한 유지보수 의사결정 최적화 기술 개발 - 열화모델기반 철도구조물 유지보수 기술 개발

❍ 핵심성과

<표 3-4-3> 세부과제별 핵심성과

연번	세부	핵심성과	기술의 정의	최종 성과유형	TRL 단계	
					전	후
1	1	철도 운용환경에 특화된 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어 기술	접근취약 철도구조물의 순회점검 자동화를 위한 무인이동체 제어 기술	시스템	5	7
2	1	철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 체계	철도운용환경(전차선 고전압, 열차풍)에서 무인이동체 운용안전을 확보하기 위한 시험평가 기술	시스템	4	7
3	2	무인이동체기반 철도구조물 상태진단 시스템 기술	무인이동체를 이용하여 철도구조물의 외관을 조사하여 상태를 진단하는 기술	시스템	4	7
4	2	철도구조물 유지보수 최적화 지원 시스템 기술	철도구조물 상태진단 결과를 바탕으로 유지보수를 결정하기 위한 최적화 기술	시스템	4	7

❍ (일반과제 주요내용) 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검시스템 개발

<표 3-4-4> 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검시스템의 주요내용

과제	무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발
목표	○ 효율적 · 체계적 유지보수 및 작업자 인명피해 예방을 위한 무인이동체 기반 주요 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발 및 현장실증 ○ 접근취약 철도구조물 : 철도교량, 낙석우려개소, 송전철탑
주요 연구내용	○ 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발 - 전차선 고전압, 고자기장에 강인한 무인이동체 제어 기술 개발 - 열차풍에 의한 위치, 자세 안정화 기술 개발 - 무인이동체간 점검시나리오 연계 기술 개발 ○ 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발

	- 전차선등 지장물 자동회피 기술 개발 - 점검을 위한 철도구조물별 3차원 자동화 운용 기술 개발 - 철도 운영과 연계된 원격제어 안정성 향상 및 현시 기술 개발 ○ 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발 - 철도구조물 근접을 위한 기준규격 및 평가 항목 도출 - 철도특화 시험평가 항목에 대한 계측장비 개발 - 철도구조물 운용안전확보 시험선로 선정 및 구축 ○ 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발 - 무인이동체 데이터의 GIS기반 현시기술 개발 - 무인이동체 수집 데이터 통합관리 체계 개발 - 데이터 이력기반 변상추적 기술 개발 - 철도구조물 외관 조사망도 표출 및 생성 기술 개발 ○ 철도구조물 상태진단 기술 개발 - 구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기술 개발 - 점검 구조물별 외관 정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발 - AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발 ○ Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발 - Test Bed 선정 및 구축 - 장기 시험운용을 위한 확장방안 수립 - 유지보수 의사결정 최적화 기술 개발

❍ (일반과제) 핵심성과

<표 3-4-5> 일반과제 핵심성과

연번	핵심성과	기술의 정의	최종 성과유형	TRL 단계	
				전	후
1	철도 운용환경에 특화된 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어 기술	접근취약 철도구조물의 순회점검 자동화를 위한 무인이동체 제어 기술	시스템	5	7
2	철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 체계	철도운용환경(전차선 고전압, 열차풍)에서 무인이동체 운용안전을 확보하기 위한 규격 및 평가 기술	시스템	4	7
3	무인이동체기반 철도구조물 상태진단 시스템 기술	무인이동체를 이용하여 철도구조물의 외관을 조사하여 상태를 진단하는 기술	시스템	4	7

2. 과제 추진전략

○ 2022년 상용화가 가능한 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검시스템을 개발하도록 추진함

○ 요소기술 확보, 현장데이터 수집 및 시작품 제작, 테스트베드 성능검증, 현장 적용의 4단계로 추진



<그림 3-4-1> 단계별 추진전략

○ 무인이동체 사업은 국토교통부, 과기정통부, 산업부 등에서 부처에 특화된 각각의 기술을 개발하고 있으므로, 다부처사업 등을 통해 상호 우위에 있는 기술의 원할한 협업을 수행하는 것이 필요

○ 단기목표달성을 감안하여 시급성 및 기술구현성에 근거한 추진과제를 선정함

- 기술개발 현황, 제작사의 기술수준, 현재 지원 가능한 인프라 기술, 국내외 정책 등을 고려하여 기술 수준 및 목표 설정

○ 산·학·연 이 유기적으로 결합하여 과제를 추진하되, 무인이동체 기술은 산업체 위주, 상태진단 기술은 연구원과 학계 중심, 그리고 Test Bed 구축 및 시험운용 기술은 철도 운영기관 위주로 추진

○ 기존기술의 활용 및 부족역량 보완

- 기존 선행연구기술을 분석하고 중복성을 피하며, 적용할 수 있는 기술은 바로 적용하여 부족한 부분의 완성도를 높임
- 전문가 자문 등을 통해 각 연구내용별 최적의 컨소시엄 구성 및 인력배치
- 국내외 전문가 활용 및 기존 개발 기술의 벤치마킹
- 학계, 산업계, 연구계 전문가 활용을 통한 융·복합연구 수행
- 철도 운용기관의 요구사항을 반영하여 현장 적용성 지속적 논의

제5절 연구추진체계

○ 본 과제는 국토교통부가 사업을 총괄하며 국토교통과학기술진흥원이 과제의 관리·평가를 담당하며, 연구단은 본 연구목표 달성을 위하여 효율적인 계획 및 체계를 구성·추진하여 연구를 수행함

○ (국토교통부) 본 과제 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본 및 시행계획 수립등의 역할을 담당함

○ (국토교통과학기술진흥원) 수요 발굴·기획·평가·성과관리 등 과제 전주기의 실무를 담당

○ (연구단) 본 연구목표 달성을 위하여 필요한 연구 활동 및 연구 지원활동 등 효율적인 계획 및 체계를 구성하여 추진함

○ (세부과제) 연구단 핵심과제를 구성하는 개발 단위과제로, 실제 기술개발이 이루어지는 과제의 최소단위임

○ 본 연구의 효율적 수행을 위해 각 세부과제별로 산 · 학 · 연 협동 연구체계를 구축하도록 함

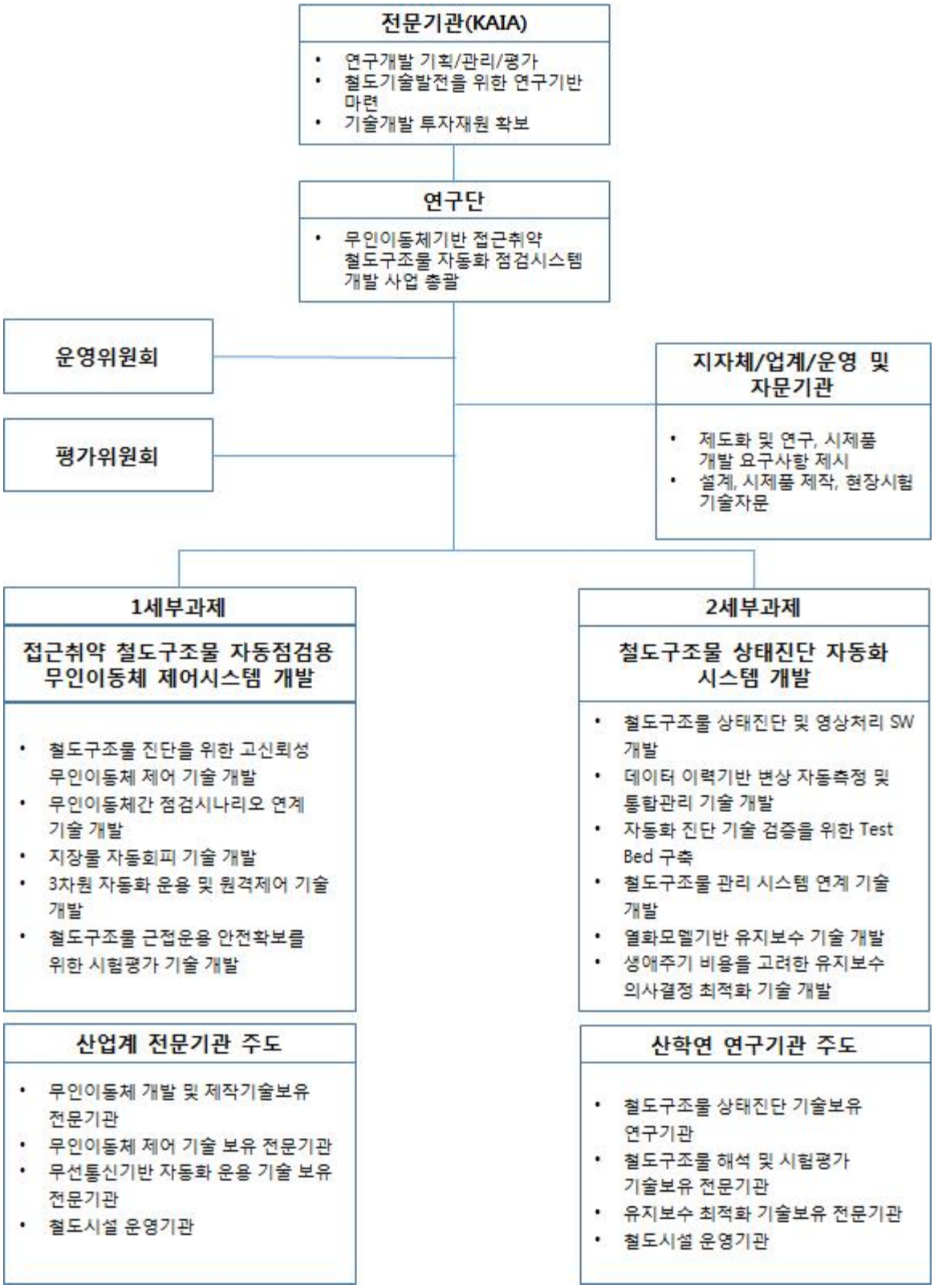
○ 연구기반의 효율적 활용 위해 세부과제 간 조율을 통해 장비 및 인프라 등을 공유하도록 함

○ 연구단 내 세부과제 사이의 상호 정보 교류를 위한 정기적인 발표회(세미나 포함) 및 워크숍을 추진함

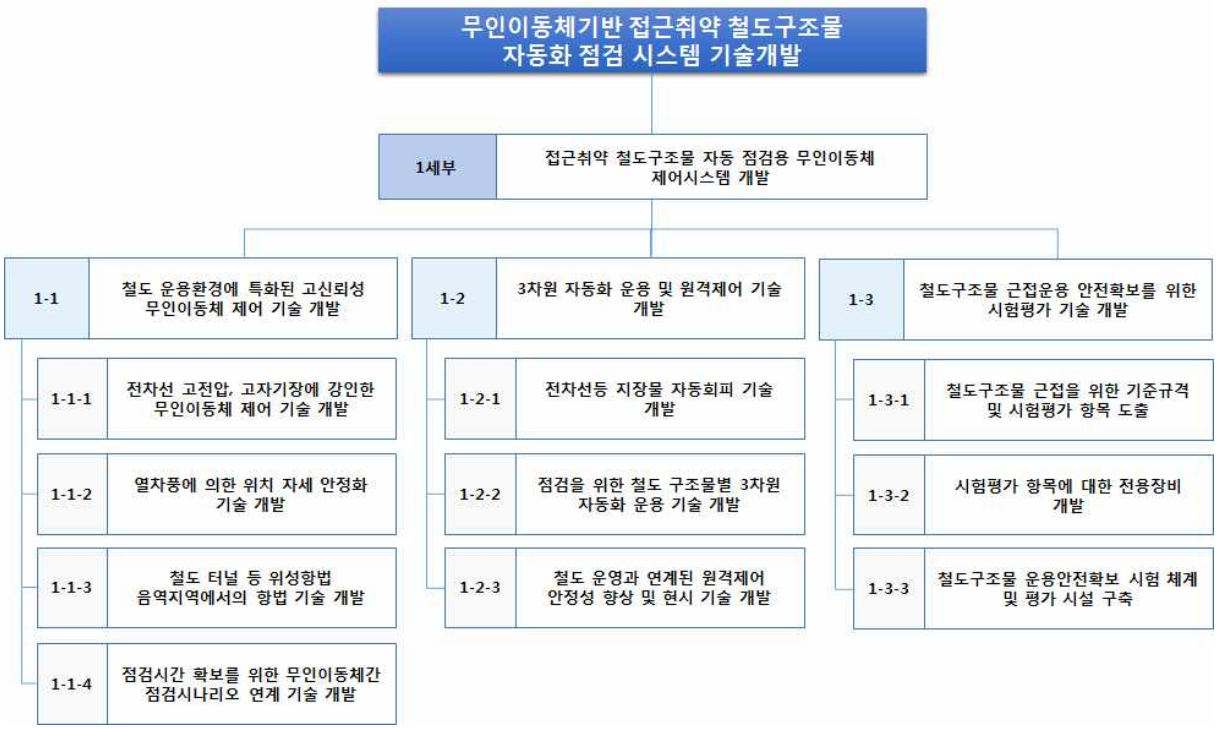
○ 수요자의 요구사항을 반영하기 위하여 과제를 추진하는데 있어 수요자 중심의 협의체를 구성하여 기술개발 내용에 대한 피드백을 받을 수 있도록 함

○ 산 · 학 · 연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 연구단을 중심으로 유기적으로 종합하여 연구효율 극대화함

○ 연구단 과제추친체계



<그림 3-5-1> 연구단 연구추진 체계도



<그림 3-5-2> 1세부 연구추진체계도



<그림 3-5-3> 2세부 연구추진체계도



<그림 3-5-4> 일반과제 연구추진체계도

제6절 기술성과 로드맵

1. 총괄 기술성과 로드맵

○ 2개의 세부과제로 구성된 연차별 총괄로드맵은 아래와 같음

○ 1세부는 접근취약 철도구조물 자동화 점검용 무인이동체 제어시스템 개발을 담당하며, 철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체, 자동화운용 및 원격제어시스템, 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 장비를 최종 성과물로 도출함

○ 2세부는 철도구조물 상태진단 자동화 기술 개발을 담당하며, 철도구조물별 무인이동체 데이터 관리 자동화 시스템, AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼, 자동화점검시스템 성능시험을 위한 테스트베드 구축, 철도구조물 유지보수 최적화 지원시스템을 최종 성과물로 도출함

<표 3-6-1> 연차별 중간성과물 및 최종성과물 일람

세부	최종성과물	단계	중간성과물
1	철도운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어시스템	1차년도	무인이동체 제어시스템 기본설계서
		2차년도	철도 운용환경에 강인한 무인이동체 항법시스템
		3차년도	고신뢰성 무인이동체 제어시스템 시작품
		4차년도	Test Bed 시험평가를 통한 신뢰성 검증
	철도구조물 3차원 자동화 운용 및 원격제어 시스템	1차년도	철도구조물 운영환경 분석서
		2차년도	철도구조물 3차원 자동화 운용 및 제어 알고리즘
		3차년도	자동화 운용 및 원격제어 시작품
		4차년도	운용 매뉴얼 및 확장방안
	철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 장비	1차년도	철도구조물 근접운용을 위한 국내외 기준규격
		2차년도	철도특화 시험평가항목 및 시험체계
		3차년도	철도특화 시험평가를 위한 전용장비
		4차년도	철도구조물 운용안전확보 시험평가 시설
2	무인이동체 데이터관리 자동화 시스템	1차년도	무인이동체 데이터관리 자동화시스템 설계서
		2차년도	무인이동체 데이터 통합 DB
		3차년도	데이터 관리 자동화 시스템 시작품
		4차년도	운용 매뉴얼 및 확장방안
	AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼	1차년도	철도구조물 상태진단 플랫폼 기본설계서
		2차년도	구조물별 상태진단 알고리즘 구축
		3차년도	철도구조물 상태진단 플랫폼 시작품
		4차년도	Test Bed 시험평가를 통한 현장적용성 검증
	자동화 점검시스템 성능시험을 위한 테스트베드 구축	1차년도	Test Bed 사양서
		2차년도	Test Bed 선정
		3차년도	시험운용 및 성능평가를 위한 센터
		4차년도	운용 및 확장방안
	철도구조물 유지보수 최적화 지원 시스템	1차년도	철도구조물별 열화모델 분석서
		2차년도	유지보수 의사결정 최적화 알고리즘
		3차년도	무인이동체 데이터 연계 유지보수 지원시스템 시작품
		4차년도	운영기관의 구조물 관리시스템과 인터페이스


무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발
세부 과제
세세부 과제
1차년도 (목표사양설정)
2차년도 (핵심기술개발)
3차년도 (제작 및 구현)
4차년도 (테스트베드 구축 및 시험)
최종성과물
(제1세부) 접근취약 철도구조물 자동 점검 무인이동체 제어시스템 개발
철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발
3차원 자동화 운용 및 원격 제어 기술 개발
철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 시험평가 기술 개발
철도구조물 운용환경 분석 및 무인이동체 제어시스템 기본 설계
국내외 기준규격 및 시험평가 항목 분석
운용환경에 강인한 무인이동체 항법기술 개발
자동화 운용 및 원격제어 알고리즘 개발
시험평가 항목 및 시험체계 구축
고신뢰성 무인이동체 제어 시스템개발 및 실내시험
자동화 운용 및 원격제어 시스템 프로토타입 구축
철도구조물 근접운용 안전 시험평가 시설 제작
Test Bed 시험 평가 및 고도화 기술 개발
상태진단 자동화 시스템과 연계된 운용 시스템 개발
철도구조물 운용안전확보 시험평가시설 구축
철도 운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어시스템
철도구조물 3차원 자동화 운용 및 원격제어 시스템
철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 시험규격 및 시설
(제2세부) 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발
철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발
철도구조물 상태진단 기술 개발
Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발
철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발
무인이동체 데이터 분류 및 GIS기반 현시기술 개발
구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기법 설계
Test Bed 선정을 위한 사양 도출
철도구조물 유지보수를 위한 열화모델 분석
무인이동체 데이터 통합관리 시스템 구현
외관정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발
철도구조물 시험을 위한 Test Bed 선정
유지보수 의사결정 최적화 알고리즘 개발
데이터 이력기반 변상 추적 알고리즘 개발
AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발
시험운용 및 성능평가를 위한 센터 구축
무인이동체 데이터 연계 유지보수 지원 시스템 구축
철도구조물 외관 조사망도 표출 및 생성 기술 개발
Test Bed 성능시험을 통한 플랫폼 고도화
장기 시험운용을 위한 확장방안 수립
운용기관의 철도구조물 관리시스템과 연계
무인이동체 데이터 관리 자동화시스템
AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼
자동화 점검시스템 성능시험을 위한 테스트베드 구축
철도구조물 유지보수 최적화 지원 시스템
단계별 성과
• 철도구조물 운영환경 분석서
• 무인이동체 제어시스템 기본설계
• 철도구조물 근접운용을 위한 국내외 기준규격
• 무인이동체 데이터 관리 자동화 시스템 설계서
• Test Bed 사양서
• 철도 운용환경에 강인한 무인이동체 항법시스템
• 자동화 운용 및 원격제어 알고리즘
• 무인이동체 데이터 통합관리 시스템
• 손상진단 자동화 기술
• 유지보수 의사결정 알고리즘
• 고신뢰성 무인이동체 제어시스템 시작품
• 자동화 운용 및 원격제어 시스템
• 시험평가 장비
• 철도구조물 상태진단 플랫폼
• 시험운용 센터
• 유지보수 지원 시스템 시작품
• Test Bed 시험평가를 통한 무인이동체 제어시스템 신뢰성 검증
• 철도구조물 운용안전확보 시험평가 시설 구축
• Test Bed 장기시험운용을 위한 확장방안 수립
• 운용기관의 시스템과 연계체계

<그림 3-6-1> 총괄 로드맵

2. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 기술성과 로드맵

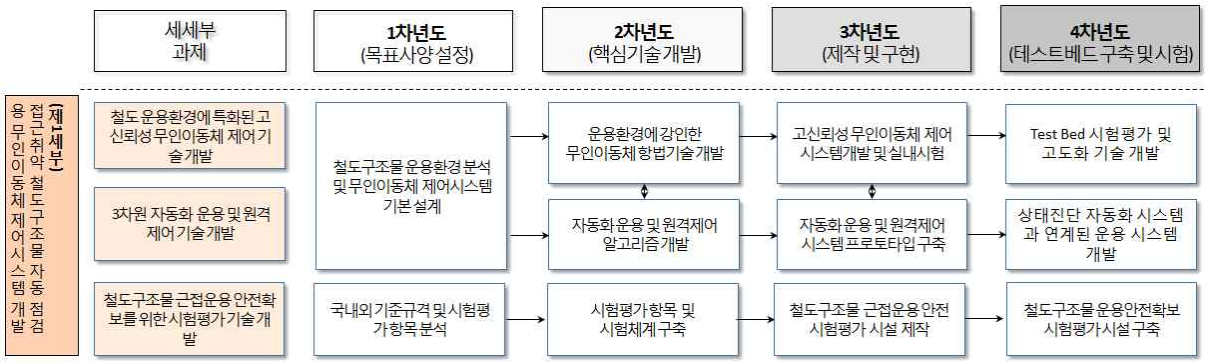
❍ 1세부 연차별 연구목표, 내용, 성과

<표 3-6-2> 1세부 연차별 연구내용 및 성과

연차	연구목표	연구내용	성과
1차년도	접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 설계	**[철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발]** **[3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발]** ○ 철도구조물 운용환경 분석 및 무인이동체 기본설계 **[철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발]** ○ 국내외 기준규격 및 시험평가 항목 분석	○ 철도구조물 운영환경 분석서 ○ 무인이동체 기본설계 ○ 철도구조물 근접운용을 위한 국내외 기준규격
2차년도	접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 핵심기술 개발	**[철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발]** ○ 운용환경에 강인한 무인이동체 항법기술 개발 **[3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발]** ○ 자동화 운용 및 원격제어 알고리즘 개발 **[철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발]** ○ 시험평가항목 및 시험체계 구축	○ 철도 운용환경에 강인한 무인이동체 항법시스템 ○ 자동화 운용 및 원격제어 알고리즘
3차년도	접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템 구현 및 성능시험	**[철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발]** ○ 고신뢰성 무인이동체 제어시스템 개발 및 실내시험 **[3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발]** ○ 자동화 운용 및 원격제어 시스템 프로토타입 구축 **[철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발]** ○ 시험평가를 위한 전용장비/시설 개발	○ 고신뢰성 무인이동체 시작품 ○ 자동화 운용 및 원격제어시스템 ○ 시험평가 장비
4차년도	접근취약 철도구조물 자동 점검을 위한 무인이동체 제어시스템	**[철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발]** ○ Test Bed 시험평가 및 고도화 기술 개발 **[3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발]** ○ 상태진단 자동화 시스템과 연계된 운용 시스템	○ Test Bed 시험평가를 통한 무인이동체 신뢰성 검증 ○ 철도구조물 운용안전확보 시

	시험평가 및 고도화	개발 **[철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발]** ○ 철도구조물 운용안전확보 시험평가 시설 구축	험평가 시설

○ 1세부 연차별 로드맵



<그림 3-6-2> 1세부 연차별 로드맵

3. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 기술성과 로드맵

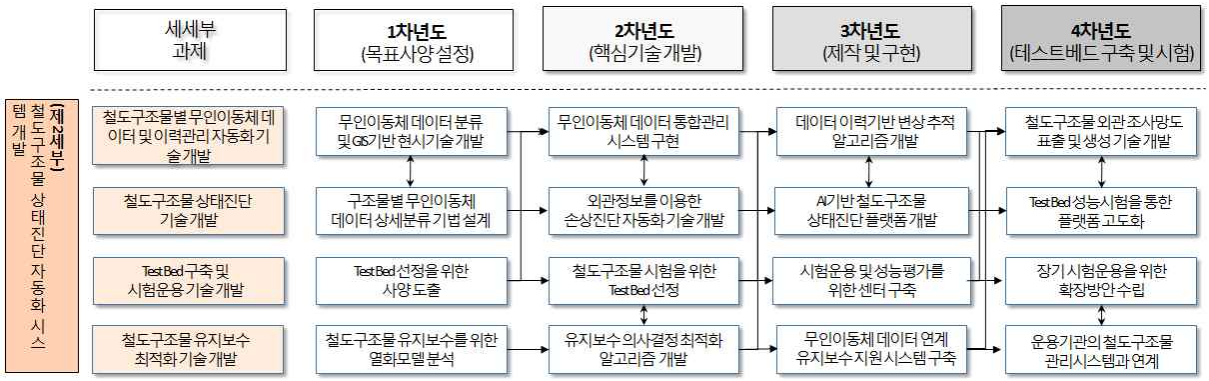
❍ 2세부 연차별 연구목표, 내용, 성과

<표 3-6-3> 2세부 연차별 연구내용 및 성과

연차	연구목표	연구내용	성과
1차년도	철도구조물 상태진단 자동화 시스템 설계	**[철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 시스템 개발]** ○ 무인이동체 데이터 분류 및 GIS기반 현시기술 개발 **[철도구조물 상태진단 기술 개발]** ○ 구조물별 무인이동체 데이터 상세분류 기법 설계 **[Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발]** ○ Test Bed 선정을 위한 사양도출 **[철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발]** ○ 철도구조물 유지보수를 위한 열화모델 분석	○ 무인이동체 데이터 관리 자동화 시스템 설계서 ○ Test Bed 사양서
2차년도	철도구조물 상태진단 자동화 시스템 핵심기술 개발	**[철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 시스템 개발]** ○ 무인이동체 데이터 통합관리 시스템 구현 **[철도구조물 상태진단 기술 개발]** ○ 외관정보를 이용한 손상진단 자동화 기술 개발 **[Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발]** ○ 철도구조물 시험을 위한 Test Bed 선정 **[철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발]** ○ 유지보수 의사결정 최적화 알고리즘 개발	○ 무인이동체 데이터 통합관리 시스템 ○ 손상진단 자동화 기술 ○ 유지보수 의사결정 알고리즘
3차년도	철도구조물 상태진단 자동화 시스템 구현	**[철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 시스템 개발]** ○ 데이터 이력기반 변상추적 알고리즘 개발 **[철도구조물 상태진단 기술 개발]** ○ AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 개발 **[Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발]** ○ 시험운용 및 성능평가를 위한 센터 구축	○ AI기반 철도구조물 상태진단 플랫폼 ○ 시험운용 센터 ○ 유지보수 지원 시스템 시작품

		[철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발] ○ 무인이동체 데이터 연계 유지보수 지원시스템 구축	
4차년도	철도구조물 상태진단 자동화 시스템 현장시험	**[철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 시스템 개발]** ○ 철도구조물 외관조사망도 표출 및 생성기술 개발 **[철도구조물 상태진단 기술 개발]** ○ Test Bed 성능시험을 통한 플랫폼 고도화 **[Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발]** ○ 장기시험운용을 위한 확장방안 수립 **[철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발]** ○ 운용기관의 철도구조물 관리시스템과 연계	○ Test Bed 장기 시험운용을 위한 체계 구축 ○ 운용기관의 시스템과 연계체계

❍ 2세부 연차로드맵



<그림 3-6-3> 2세부 연차별 로드맵

제7절 산업생태계 분석

1. 공공수요 기반 무인이동체 산업생태계

○ (국내현황) 부품(모터・기체・센서 등), 소프트웨어(항법・제어, 획득정보처리 등), 임무장비(카메라 등) 업체로 생태계가 구성되고 점차 관련 영역이 확대중

- 모터・배터리・센서 등 범용 부품은 대부분 중국산을 수입하고, SW는 미국 등 선진국이 우수하나 국산과 외산이 경합 중

- 8대 핵심부품*은 선진국과 격차 존재하나 스마트폰과 공통 부품인 AP, 배터리, 디스플레이, 일부 SW 등은 세계적 수준으로 경쟁력 보유

  * 로터・프로펠러, 동력장치, 추진장치, 전기식 작동기, 비행조종컴퓨터, 항법장치, 탑재안테나, 통신장비 등

- 국내 기술수준은 세계 최고수준대비 66% 수준으로 조사됨

- 수자원 및 하천관리, 지적재조사, 공공건설 분야 전반, 시설물 점검, 산림, 소방, 경찰, 해양감시 및 관리 등 다양한 공공분야의 무인기 활용 수요증가

- 항법장치, 제어SW, 핵심센서 등은 자사의 완제품 개발에 필요한 부품을 자체 개발하는 경우는 있으나 전문 업체는 없는 실정

- 정부는 다양한 무인기활용 모델을 발굴, 확산하는 차원에서 공공수요에 기반한 시장형성 추진 - 드론산업 발전 기본 계획(2017 ~ 2026)

- 항법제어 S/W 및 기술을 보유한 자체 개발업체와 외산부품을 조립하는 업체를 포함하여 약 40개로 추정

- 철도 유지관리에 필수적인 영상분석, 상태진단, 유지보수 최적화 등 획득정보 분석 및 처리 SW는 일부 업체가 존재하나 초보적 수준

- 정부 주도로 산업생태계를 확장하고 민간수요를 창출하는 전략이 필요

○ (해외동향) 항법・제어 SW등 고부가가치 부품은 미국 등 선진국이, 구조물 상태진단 SW등 특화된 부품은 EU, 소형 모터프로펠러 등 범용 부품은 중국이 비교 우위

- 드론의 핵심부품 중 CPU, 센서, 카메라, 가속도계, 자이로스코프, 일부 SW 등은 스마트폰 부품(대량생산 규모의 경제 달성)을 동일하게 사용 가능

- (미국) 3D 로보틱스(드론코드), 에어웨어 등 업체는 오픈소스 방식으로 운영체계

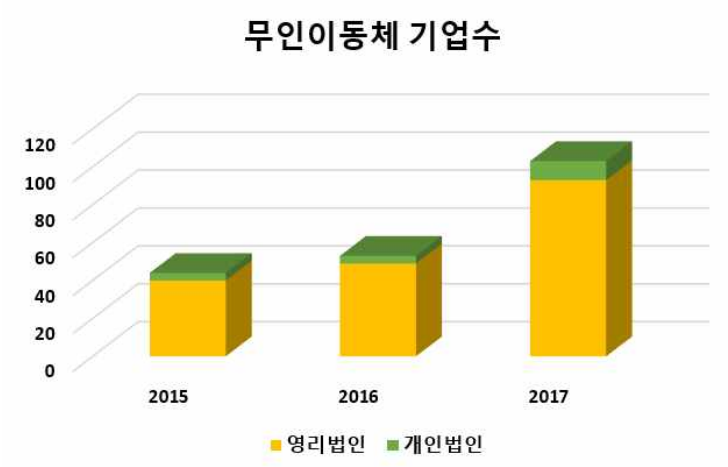
(OS) 선점 전략을 통한 플랫폼 비즈니스모델 구축

- (유럽) Cyberhawk. Plowman Craven 등 업체는 수요자 맞춤형인 무인항공기를 활용한 검사 및 측량분야의 시각적 자산관리 유지 보수 SW 개발

- 미국 등 선진국은 산업육성을 위해 제도정비, 인프라 투자, 지원 등을 경쟁적으로 추진중

2. 무인이동체 산업현황

○ 무인이동체 관련 기업현황은 매년증가하는 추세이며, 영리법인 뿐만 아니라 개인법인도 증가하고 있음. 최근 현황조사에 따르면 2017년도에는 무인이동체 관련 기업수는 103개로 조사됨.

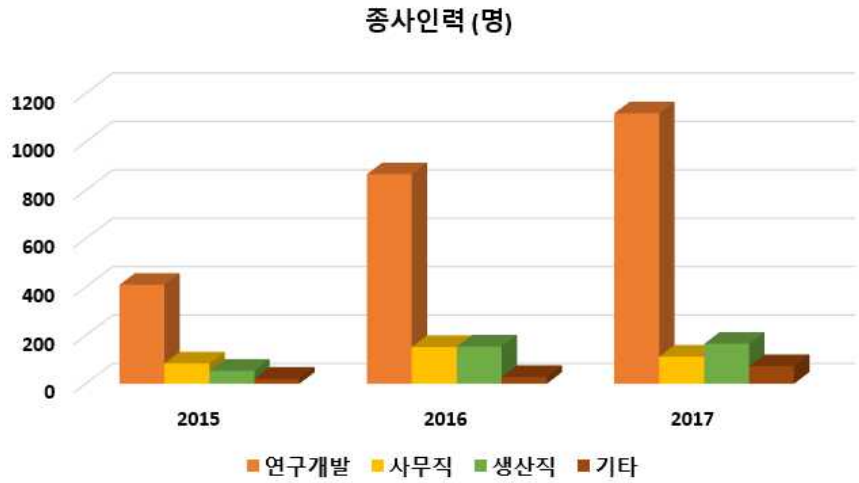


<그림 3-7-1> 무인이동체 기업수

출처 : 2017 무인이동체 산업실태조사, 무인이동체미래선도핵심기술개발사업단, 2018

○ 무인이동체 종사인력수는 연구개발직이 가장 많으며, 다음으로는 생산직, 사무직 순이며, 2015년 종사인력은 약 600여명이었으나 2017년에는 약 1500명으로 2.5배 증가하고 있음

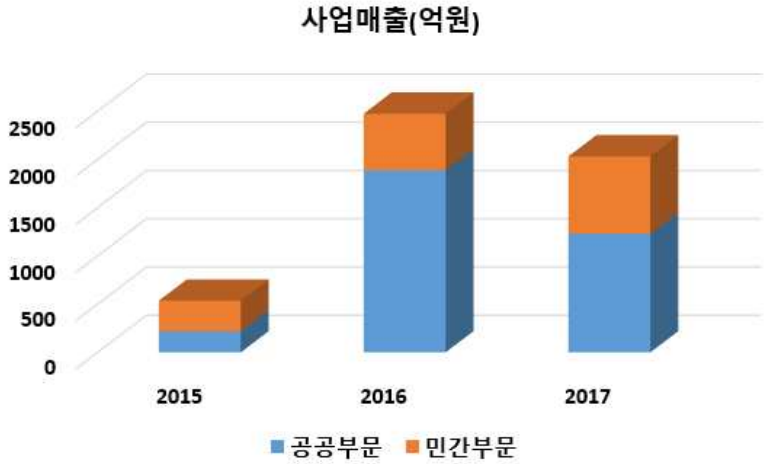
○ 특히 연구인력은 2015년 409명, 2016년 866명, 2017년 1,118명으로 매년 꾸준히 증가하고 있음



<그림 3-7-2> 무인이동체 종사인력수

출처 : 2017 무인이동체 산업실태조사, 무인이동체미래선도핵심기술개발사업단, 2018

❍ 무인이동체의 글로벌 시장은 평균 22% (2015년 248억불 -> 2020년 673억불) 성장이 예상이 되며, 국내시장도 이에 준하여 성장할 것으로 예상됨. 최근 무인이동체 업체들의 사업매출을 보면 2017년 537억원에서 2017년 2033억원에 이르고 있으며, 특히 2015년에서 2016년으로 넘어가면서 급성장하고 있음. 민간분야의 경우 지속적인 활용분야 증대로 꾸준히 매출이 증대할 것으로 보임.



<그림 3-7-3> 무인이동체 사업매출

출처 : 2017 무인이동체 산업실태조사, 무인이동체미래선도핵심기술개발사업단, 2018

제8절 연구과정상 위험요소 및 대응방안

1. 기술개발의 위험요인 및 대응방안

○ 접근취약 철도구조물 자동화 점검용 무인이동체 제어시스템은 철도환경(전차선 고전압, 고전류 그리고 고속열차에 의한 열차풍)에 따라서 드론의 원격제어와 자세제어가 불안정하여 연구수행중 추락할 수 있는 위험요소가 있음

- 철도구조물 근접 시험평가를 수행할 수 있는 시험평가 시설을 활용하여 연구개발을 수행함으로써, 철도구조물 운용안전을 확보하여야 함

- 열차풍은 측정하는 개소의 위치 및 열차의 속도에 따라 달라지는 요소로, 국내 고속열차의 경우 300km/h 로 이동시 발생하는 열차풍인 13m/s를 견뎌야 하며 이에 따른 제어기술이 개발되어야 함

- 철도구조물 상태진단의 경우 전차선으로부터 약 3m 정도의 이격거리에서 측정을 하게 되며, 이 거리에서 무인이동체가 잘 운용될 수 있는 신뢰성 있는 시스템이 되어야 함. 전차선의 전자기장에 의해 항법 오작동의 우려가 있으며 시험평가기준에서 전자기장의 기준값을 제시하고, 이에 적합한 기체 개발을 통해 위험성을 제거할 필요가 있음

○ 무인이동체(항공)의 자체중량 25kg 이상인 경우 안정성 인증, 조종자증명(사업용만 해당) 및 비행승인 과정이 필요하여, 현장 운용이 어려워지는 위험요소가 있음

- 무인이동체(항공)의 자체중량 25kg 이하로 개발을 수행하고, 운영환경인 관제공역, 통제공역, 주의공역을 비행하는 경우에는 사전 비행승인을 득하여야 함. 사업용의 경우 지방항공청에 사업등록 및 장치신고 완료가 필요함

○ 최근 세계적으로 무인이동체 시장이 급성장하고 있어, 본 과제의 연구개발중 철도운영환경에 안전 확보가 가능한 무인이동체가 국외에서 개발될 수 있음

- 과제 수행중 지속적으로 국외 기술개발 현황을 모니터링하고, 운영기관이 참여하영 현장실증 시기를 앞당겨 추진

- 시스템 전체개발보다는 특화된 항법, 제어시스템, 운용SW 개발에 주력하여, 외부 시스템과 유연하게 융합하여 기술이 활용될 수 있도록 추진할 필요가 있음

○ 무인이동체기반 철도구조물 상태진단 자동화 시스템은 획득되는 정보가 무인이동체의 떨림, 날씨, 바람 등 운영환경적인 요인에 의하여 품질이 낮아, 실제환경에서 상태진단 정확도가 떨어질 위험요소가 있음

- 연구개발중 운용시 많은 현장 데이터를 획득하여 AI기술을 접목함으로써 학습율

을 올리고, 정형화된 분류체계를 구축하여 데이터를 분류함으로서 대응이 가능함

- 순회 점검의 효율성을 위하여 전체 프로세스 자동화에 주력하여 개발하고, 미세 손상 등은 정밀 점검에서 진단할 수 있도록 차별화하여 개발을 수행하여야 함

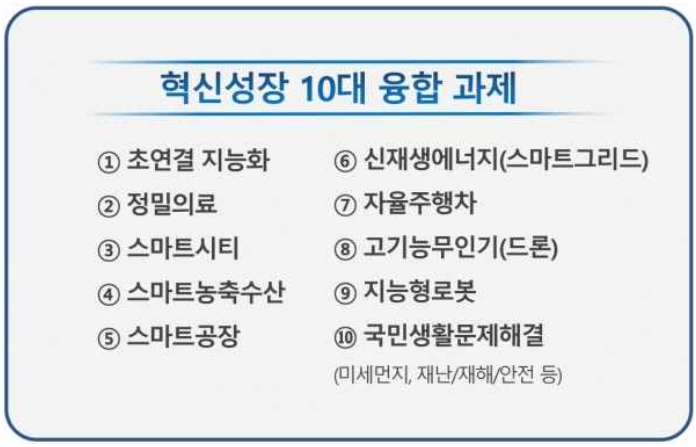
- 상태진단 SW 개발시 국외 SW(Pix 4D, Photoscan 등)를 참고하고, 영상기반 손상 분석 연구 결과들을 활용하여 도입할 수 있는 기술을 도입하고, 개발이 필요한 기술에만 집중하여 실용화 가능성을 높여야 함

○ 이상 기술개발의 위험요소들은 산학연 협력, 철도구조물 시험시설 활용, 선택과 집중의 전략을 활용하여 대응이 가능할 것으로 보임

2. 재원조달의 위험요인 및 대응방안

○ 과학기술정보통신부와 기획재정부는 4차 산업혁명에 효과적으로 대응하고 혁신성장을 뒷받침하기 위해, 국가 R&D 예산의 기획 및 편성 방식을 개선하였고, 본 사업이 이와 일치하지 않을 경우 재원조달에 어려움이 있을 수 있음

- 주요 골자는 R&D예산을 혁신성장 선도 프로젝트 중심으로 다부처 융합형, 산학연 연계형, 패키지형 체계로 개편하고, 이를 위하여 R&D 예산편성에 중점을 둘 혁신성장 10대 융합과제를 선정하였음



<그림 3-8-1> 혁신성장 10대 융합과제

○ 본 사업은 혁신성장 10대 융합 과제중 고기능무인기 사업과 일치하고, 공공부문 유지보수 체계를 자동화하여 국가재산보호와 국민의 삶의 질 향상 등으로 정부지원의 필요성이 높음

- 분야별로 무인이동체 개발을 추진하고 있는 부처가 다수 있으므로, 중복적인 개발을 피하고 사업을 효율화하기 위하여 타 부처와 연계하여 다부처 사업등을 추진하

여 재원 조달 필요

3. 인력수급의 위험요인 및 대응방안

○ 본 과제를 수행하기 위한 국내 인력 현황을 파악하기 위하여 NTIS의 국가 R&D 참여인력정보를 활용하여 분석을 진행하였음

- 방법론으로 NITS의 참여인력 검색중 논문으로 키워드(철도시설, 유지보수, 무인이동체, 상태진단) 검색을 통해 연구인력을 추출함

- 연구개발이 가능한 인력은 총 1,075명(키워드간 중복포함)으로 파악됨

○ 과제 수행을 위한 인력수급의 위험요인은 적을 것으로 판단됨

○ 또한 정부는 2022년까지 8대 핵심선도사업으로 30조원을 투자할 계획이며, 8대 핵심선도사업내 드론 기술이 포함되어 있고 공공수요 창출 및 규제혁신 등으로 신산업 일자리 1,000여개를 창출할 계획이기 때문에 향후 인력수급과 관련한 위험요인은 점점 감소할 것으로 보임

제9절 성과활용 및 사업화전략

1. 성과 활용 방안

○ 본 과제의 최종 성과물은 아래와 같음

<표 3-9-1> 본 과제의 최종 성과물

세부	최종 성과유형	성과물	성과물 기능 및 특징
1	시스템	접근취약 철도구조물 자동점검용 무인이동체 제어시스템	- 열차 운용환경(전차선 고전압, 고자기장, 열차풍)에서 제어 안전성 확보 - 철도 터널 등 위성항법 음영지역에서 운용 가능 - 전차선 등 지장물 자동회피 기능 보유 - 철도구조물별 3차원 자동화 운용 가능 - 무인이동체간 점검시나리오 연계 기능 보유
1	시스템	철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및평가 체계	- 철도구조물 근접을 위한 무인이동체 규격 및 시험평가 항목 - 철도특화시험평가 항목에 따른 장비 - 시험 체계 및 철도전용 시험평가 시설
2	시스템	무인이동체기반 철도구조물 상태진단 시스템	- 무인이동체 데이터의 GIS기반 현시 - 무인이동체 수집 데이터 통합관리 - 데이터 이력기반 변상 추적 - 무인이동체 데이터를 이용하여 철도구조물 외관정보를 이용한 손상진단 자동화 - AI기반 철도구조물 상태진단 기능 - 철도구조물 외관 조사망도 표출 및 생성
2	시스템	철도구조물 유지보수 최적화 지원 시스템	- 철도구조물 상태진단정보를 이용한 유지보수 판단 - 열화모델기반 철도구조물 유지보수 주기 설정 - 철도 운영기관의 철도구조물 관리시스템과 연계하여 유지보수 의사결정 최적화

○ 접근취약 철도구조물 순회점검 및 손상탐지에 활용

- 현재 정기점검이 필요한 노후 철도구조물은 기하급수적으로 증가하고 있으나, 접근이 어려운 시설물의 안전진단에 많은 시간과 비용이 소요됨
- 접근이 어려운 철도구조물의 데이터를 무인이동체를 통해 획득하고 자동화된 상태분석 및 유지보수 결정
- 철도 운영기관(한국철도공사, 한국철도시설공단, 서울교통공사 등)에 보급하여 접근

성 취약 시설물의 순회점검에 활용하게 함

- 계절별로 사고 위험성이 있는 철도구조물의 상태정보를 주기적으로 측정하고, 이력관리시스템을 통하여 손상여부를 진단 및 탐지하여 예방 안전 조치 시행

○ 접근취약 철도구조물 자동 점검시스템의 상용화 및 해외진출

- 영국 Network Rail, 프랑스 SNCF, 미국 BNSF 등 해외 유수의 철도 운영기관에서는 무인이동체를 철도유지관리에 활발히 적용하고 있어, 이를 자동화할 수 있는 시스템에 대한 수요가 높은 상황임

- 현재 상용화된 무인이동체, 관련 SW는 해외제품이 대부분임

- 부분별로 개발되고 있는 시스템을 철도 운용환경에서 안전성을 확보하고 유지보수 지원까지 자동화시켜 산업에 활용 및 해외 수출이 가능함

2. 사업화 전략

○ 타깃 고객

- 본 과제를 통하여 개발될 제품의 1차 타깃 고객은 철도 운영기관을 포함한 공공기관으로 설정하며, 연구개발 3단계부터 2차 타깃 고객인 민간기관으로 기술을 제공하고, 해외시장으로 진출할 계획임

○ 단계별 사업화 전략 수립

- 관련 산업 및 시장 확대를 위해 단계별 실용화 전략을 수립하여 수행기관 및 참여업체가 지속적으로 노력

- 기술개발과 동시에 상용화를 추진하여 조기에 활용 가능한 시스템을 구축



<그림 3-9-1> 단계별 사업화 전략

<표 3-9-2> 단계별 사업화 추진계획

구분	추진 내용
1단계 (~2022)	(기술이전 및 실증(현장 적용)을 통한 상용화 제품 개발) - 연구결과물의 참여기업 및 잠재 수요자에 기술이전 - 장비 및 시스템의 안정성 확보 및 현장 적용을 위한 필드 테스트 - 공공기관 보급·구축을 위한 상용화 수준의 제품 개발
2단계 (2023~)	(공공기관 우선 적용 및 기술 제공) - 제품 개발 후 1년차부터 긴급 수요 공공기관대상을 대상으로 시스템 구축 - 철도시설물 운영 및 유지관리 관련 공공 기관 보급 - 민간기관 수요조사를 통한 서비스 개발 방향 정립
3단계 (2025~)	(민간기관 기술 제공 및 사업 확대/해외시장 진출) - 민간기관 수요조사를 통한 서비스 개발 방향 정립 - 자동화시스템 및 개별 시스템 민간기관 제공 - 지속적인 무인이동체, SW 개발을 통한 자동화 시스템 범위 확대 - 재난, 안전, 국방, 물류, 환경등 활용 범위 확대 및 신산업 창출 - 공공 및 민간기관에 적용함으로써 검증되고 개선된 기술을 바탕으로, 미국, 중국, 유럽 등 해외 시장 진출

- 다만, 1세부의 성과물인 철도운용환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어시스템 및 철도구조물 3차원 자동화 운용/원격제어 시스템의 경우 급속도로 성장하고 있는 기술 발전속도를 고려하여, 과업기간이내 우선적으로 조기에 제품 출시 및 공공기관 우선 적용이 필요함

○ 시장진입 및 마케팅 계획

- 활용분야의 범용성 확보로 시장의 범위를 넓히고 기존 방식 대비 가격적 우위성과 편의성에 중점을 맞춰 진입

- 개발 종료 후 1년차에는 공공기관 위주로 판매 (B2G) 추진

- 개발 종료 후 3년차에는 관련 기업체와 산업체 판매 (B2B) 추진. 수출을 통한 해외기관 판매 추진

<표 3-9-3> 마케팅 전략

항목	추진 내용
기관별 공략	- 기관별 프로젝트 제안 및 공략: 철도구조물 순회점검을 요하는 기관에의 홍보 및 개별제안으로 영업하며, 기관 맞춤형 무인이동체 및 SW 제작을 지원하는 방안 고려
유통전략	- 특정 고객군에 강점이 있는 영업파트너로 하여금, 해당시장에의 영업접근을 유도하며 자체 영업인력을 통해 공급망을 관리
광고전략	- 홈페이지 제작, 다양한 홍보책자 및 브로셔를 제작하며 배포함. 해외시장 진출을 위하여 관련 국제 철도학회, 철도 박람회에 참가하여 제품의 활용성과 우수성을 광고함
홍보전략	- 국내외의 관련 공공기관 및 민간기관에 홍보메일 발송 등을 통해 관심유

	도 및 정기적으로 제품의 활용 결과를 논문, 세미나 및 언론매체를 통해 알림
기타전략	- 활용 대상인 철도구조물에 대한 맞춤형 시스템 주문 제작을 통해 사용자에게 편의성 제공 - 국제기준에 부합하는 품질인증등 공인기관의 인증을 통하여 제품의 신뢰성을 확보하고, 기존 방식에 비해 보다 저렴한 가격으로 서비스를 제공 - 고객의 제품 활용을 최대화하기 위한 초기 교육 및 정기적/비정기적 교육 제공 - 즉각적이고 체계화된 사후관리를 통하여 고객의 만족도 향상 및 고객의 시장 유출 방지 - 수요자의 요구사항을 파악하고 적용성을 모니터링 분석하여 지속적으로 개선 및 발전시켜 제공

제4장 자원투입 계획

제1절 연구시설 및 장비 투입계획

○ 고신뢰성 무인이동체 기술, 원격제어기술등의 시험은 현재 항공안전기술원에서 2020년까지 구축예정인 드론전용 비행시험장에서 시험을 진행

- 비행시험장 운영모델 및 시험절차 수립('17.4 ~ '18.2), 실시설계('17.10 ~ '18.1)
- 경남 고성, 충북 보은, 강원 영월에서 비행시험장 공사 착수('18.5)

○ 무인항공기의 비행시험, 비가시권, 장거리 비행시험, 다양한 기상조건에 따른 성능시험, 환경시험, 추진력 시험, 내풍시험 등 일반적인 성능시험이 해당함

- '20년부터는 시험장을 운영하며, 비행시험 결과에 대한 분석 및 피드백이 가능함



드론 비행시험통제 운영센터(강원 영월)

운영센터 및 정비고(연면적 : 1,000m² 이내)
헬리패드(21x21m)



드론 비행시험통제 운영센터(충북 보은)

운영센터 및 정비고(연면적 : 1,000m² 이내)
헬리패드(21x21m)



드론 비행시험통제 운영센터(경남 고성)

운영센터 및 정비고(연면적 : 1,000m² 이내)
헬리패드(21x21m), 활주로(200x20m)



드론 비행시험통제 운영센터(신규 2개소)

운영센터 및 정비고(연면적 : 1,000m² 이내)
헬리패드(21x21m) 혹은 활주로(200x20m)

<그림 4-1-1> 드론전용 비행시험장

○ 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 평가는 한국철도시설공단에서 2019년까지 구축예정인 철도종합시험선로에서 수행함.

- 종합시험선로 구축을 위한 TFT 출범('09), 예비타당성 조사('10), 타당성 조사 및 기본계획 수립('12), 설계 및 시공('14.9 ~ '18.12)

○ 철도시험선로는 실제 운행하는 열차와 동일한 주행환경을 제공하고 이에 따른 차량이나 철도 용품의 성능을 테스트해 적용성과 신뢰성 등을 평가할 수 있도록 구축한 사전 검증 시설임. 기존 운행 노선과 간섭이 없고, 장기적인 신뢰성 평가가 가능하며, 시험을 위한 독립적인 기반시설을 갖추고 있음

○ 총연장 13 km 로 철도교량 8개소, 철도터널 6개소, 전차선 등의 철도 구조물을 포함하고 있음

○ 열차풍에 의한 위치, 자세 안정화 기술, 철도 지장물 자동회피 기술 등에 대한 시험이 가능하며, 전차선 고전압에 의한 무인이동체 안전성 검증 시험도 가능함. 또한 철도 터널 내 운영 기술 등도 기존 운행선 시험전 사전 시험이 가능할 것으로 보임.

○ 철도구조물 운용안전 확보 및 기술규격에 따른 시험평가 항목 등을 도출하고, 시험평가를 수행할 수 있음

<그림 4-1-2> 철도종합시험선로

제2절 인력투입계획

❍ 2017년 학술연구용역인건비 기준단가의 책임연구원 기준으로 25 ~ 50% 참여시 인력 인원수를 산정함

<표 4-2-1> 연구단 연차별 인력투입계획

구분			'19	'20	'21	'22	합계
1세부	1. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발	1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	3	4	4	4	15
		1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	3	4	4	4	15
		1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	3	4	4	4	15
2세부	2. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발	2-1. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	2	5	5	4	16
		2-2. 철도구조물 상태진단 기술 개발	2	9	10	7	28
		2-3. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	2	5	5	4	16
		2-4. 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발	2	9	10	7	28
전체인원							133

❍ 1세부과제 연구개발을 수행하기 위하여 45명, 2세부과제 연구개발을 수행하기 위하여 88명이 투입되어, 4년간 총 133명 투입 계획임

❍ 일발과제(단일세부)로 추진시 인력투입계획은 아래와 같으며, 연구개발을 수행하기 위하여 총 76명 투입 계획임

<표 4-2-2> 단일세부과제의 연차별 인력투입계획

구분		'19	'20	'21	'22	합계
1. 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발	1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	2	4	4	3	13
	1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	2	4	4	3	13
	1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	1	4	4	3	12
	1-4. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	2	4	4	3	13
	1-5. 철도구조물 상태진단 기술 개발	2	4	4	3	13
	1-6. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	1	4	4	3	12
전체인원						76

제3절 소요예산 투입계획

1. 소요예산 산정방법

○ 기타경비 및 간접비 기준 : 연구비 표준식 활용

○ 인건비 기준 : 학술연구용역인건비 기준단가의 책임연구원 기준(월 3,018천원, 50% 기준)

2. (연구단) 세부과제별 소요예산

○ 1세부과제

<표 4-3-1> 1세부과제 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	`19	`20	`21	`22	소 계
인건비	196	435	435	348	1,412
연구장비 및 재료비	211	1,329	1,329	969	3,838
기타경비 및 간접비	94	236	236	183	749
총 계	500	2,000	2,000	1,500	6,000

○ 1세부과제는 6,000 백만원의 예산이 소요되며, 그 중 인건비가 23.53%, 연구장비 및 재료비가 64%를 차지

- 1세부과제 인건비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비 단가)
1. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발							소계	1,412,424
1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	4년	1차년	3	12	30%	10.8	6,036	65,189
		2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		4차년	4	12	40%	19.2	6,036	115,891

	1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	4년	1차년	3	12	30%	10.8	6,036	65,189
			2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			4차년	4	12	40%	19.2	6,036	115,891
	1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	4년	1차년	3	12	30%	10.8	6,036	65,189
			2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			4차년	4	12	40%	19.2	6,036	115,891

- 1세부과제 연구장비 및 재료비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	규격	수량	단가	소계
1. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발						총계	3,838,000
	1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	4년	1차년	카메라 등 탑재제 부품 구매	1	15,000	15,000
				로터 등 무인이동체 부품 구매	1	60,000	60,000
			2차년	제어성능 계측기 구매	1	200,000	200,000
				1차 시작품 제작	2	70,000	140,000
				부품단위 시험 비용(철도 운영환경)	5	20,000	100,000
			3차년	터널등 음영지역 항법을 위한 부품 및 개발툴 구매	1	199,000	199,000
				2차 시작품 제작	2	70,000	140,000
				시작품단위 철도환경 시험 비용(실외)	5	22,000	110,000
			4차년	최종 시작품 제작	2	70,000	140,000
				신뢰성 인증	1	150,000	150,000
	1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	4년	1차년	무인이동체 부착을 위한 몰드 제작	1	60,000	60,000
				지장물 인식 센서류 구매	1	16,000	16,000
			2차년	자동화 및 원격 운용 개발툴 구매	1	200,000	200,000

				구조물별 3차원모델 제작	1	180,000	180,000
				철도 운영스케쥴 인터페이스 제작	1	69,000	69,000
			3차년	운용 및 원격제어 GUI제작	1	200,000	200,000
				자동화 운용 플랫폼 제작	1	240,000	240,000
			4차년	시작품 제작	1	300,000	300,000
	1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	4년	1차년	기술규격 및 시험평가 항목 조사	1	60,000	60,000
			2차년	위치 및 자세 측정용 계측기 구매	1	200,000	200,000
				무인이동체 철도 운용안전성평가 장비 제작	1	240,000	240,000
			3차년	시험평가 시설 제작	1	200,000	200,000
				계측시설 성능평가 시험	4	60,000	240,000
			4차년	시험평가 시설 설치	1	129,000	129,000
				센터구축	1	250,000	250,000

○ 2세부과제

<표 4-3-2> 2세부과제 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	`19	`20	`21	`22	소 계
인건비	217	1,014	1,086	797	3,115
연구장비 및 재료비	173	1,048	1,026	708	2,955
기타경비 및 간접비	109	638	688	496	1,930
총 계	500	2,700	2,800	2,000	8,000

○ 2세부과제는 8,000 백만원의 예산이 소요되며, 그 중 인건비가 39%, 연구장비 및 재료비가 37%를 차지

- 2세부과제 인건비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입	② 참여기간	③ 참여율	④ M/M산출	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비

			인원수	(개월수)	(%)	(①x②x③)		단가)
2. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발							소계	3,114,576
2-1. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	4년	1차년	2	12	25%	6	6,036	36,216
		2차년	5	12	50%	30	6,036	181,080
		3차년	5	12	50%	30	6,036	181,080
		4차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
2-2. 철도구조물 상태진단 기술 개발	4년	1차년	2	12	50%	12	6,036	72,432
		2차년	9	12	50%	54	6,036	325,944
		3차년	10	12	50%	60	6,036	362,160
		4차년	7	12	50%	42	6,036	253,512
2-3. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	4년	1차년	2	12	25%	6	6,036	36,216
		2차년	5	12	50%	30	6,036	181,080
		3차년	5	12	50%	30	6,036	181,080
		4차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
2-4. 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발	4년	1차년	2	12	50%	12	6,036	72,432
		2차년	9	12	50%	54	6,036	325,944
		3차년	10	12	50%	60	6,036	362,160
		4차년	7	12	50%	42	6,036	253,512

- 2세부과제 연구장비 및 재료비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	규격	수량	단가	소계
2. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발					계	2,955,000
2-1. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	4년	1차년	GIS기반 데이터 표출 GUI 제작	1	40,000	40,000
		2차년	무인이동체와 통신 인터페이스 제작	1	100,000	100,000
			이력관리를 위한 DB 구매	1	150,000	150,000
		3차년	데이터 및 이력관리 SW 제작을 위한 툴구매	1	150,000	150,000
			데이터관리 서버 구매	2	100,000	200,000
		4차년	외관 조사망도 표출 GUI 제작	2	100,000	200,000
2-2. 철도구조물 상태진단 기술 개발	4년	1차년	손상 영상 취득	1	30,000	30,000

				전산 재료비	1	13,000	13,000
			2차년	상태진단 알고리즘 개발을 위한 툴구매	1	150,000	150,000
				손상 시편 제작	3	50,000	150,000
			3차년	AI 고속처리를 위한 머신 구매	1	150,000	150,000
				빅데이터 분석을 위한 영상 획득	2	50,000	100,000
			4차년	상태정보 표출 GUI 제작	2	100,000	200,000
	2-3. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	4년	1차년	무인이동체를 이용한 유지관리 사양 조사	1	50,000	50,000
			2차년	성능시험 테스트베드 조사	2	99,000	198,000
			3차년	통합 운용 센터 구축	1	226,000	226,000
			4차년	센터 유지관리	1	108,000	108,000
	2-4. 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발	4년	1차년	실험용 센서류 구매	1	40,000	40,000
			2차년	철도구조물 구조해석툴 구매	2	150,000	300,000
			3차년	유지보수 지원 SW제작을 위한 툴구매	1	200,000	200,000
			4차년	운영기관 관리시스템과 인터페이스 제작	2	100,000	200,000

3. 일반과제의 소요예산

❍ 연차별 소요예산

<표 4-3-3> 일반과제 소요예산

(단위 : 백만원)

예산 항목	`19	`20	`21	`22	소 계
인건비	311	869	869	652	2,702
연구장비 및 재료비	318	1,093	1,093	956	3,460
기타경비 및 간접비	171	538	538	392	1,638
총 계	800	2,500	2,500	2,000	7,800

❍ 일반과제는 총 7,800 백만원의 예산이 소요되며, 그중 인건비가 34.6%, 연구장비 및 재료비가 44.5%를 차지

- 일반과제 인건비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	① 투입 인원수	② 참여기간 (개월수)	③ 참여율 (%)	④ M/M산출 (①x②x③)	인건비 단가	⑥ 인건비 (④x인건비 단가)
1. 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검시스템 기술개발							소계	2,701,714
1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	4년	1차년	2	12	40%	9.6	6,036	57,946
		2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648
1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	4년	1차년	2	12	40%	9.6	6,036	57,946
		2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648
1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	4년	1차년	1	12	40%	4.8	6,036	28,973
		2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
		3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864

			4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648
	1-4. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	4년	1차년	2	12	40%	9.6	6,036	57,946
			2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648
	1-5. 철도구조물 상태진단 기술 개발	4년	1차년	2	12	50%	12	6,036	72,432
			2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648
	1-6. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	4년	1차년	1	12	50%	6	6,036	36,216
			2차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			3차년	4	12	50%	24	6,036	144,864
			4차년	3	12	50%	18	6,036	108,648

- 일반과제 연구장비 및 재료비 상세

(단위 : 천원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	규격	수량	단가	소계
1. 무인이동체기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검시스템 기술개발						총계	3,460,000
	1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	4년	1차년	카메라 등 탑재제 부품 구매	1	15,000	15,000
				로터 등 무인이동체 부품 구매	1	60,000	60,000
			2차년	1차 시작품 제작	1	70,000	70,000
				부품단위 시험 비용(철도 운영환경)	5	20,000	100,000
			3차년	2차 시작품 제작	1	73,000	73,000
				시작품단위 철도환경 시험 비용(실외)	5	24,000	120,000
			4차년	신뢰성 인증	1	150,000	150,000

	1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	4년	1차년	지장물 인식 센서류 구매 및 부착몰드제작	1	60,000	60,000
			2차년	구조물별 3차원모델 제작	1	180,000	180,000
				철도 운영스케쥴 인터페이스 제작	1	69,000	69,000
			3차년	운용 및 원격제어 GUI제작	1	200,000	200,000
			4차년	시작품 제작	1	150,000	150,000
	1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	4년	1차년	기술규격 및 시험평가 항목 조사	1	50,000	50,000
			2차년	무인이동체 철도 운용안전성평가 장비 제작	1	240,000	240,000
			3차년	시험평가를 위한 선로변 장치제작	1	200,000	200,000
			4차년	계측시설 성능평가 시험	1	129,000	129,000
	1-4. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	4년	1차년	GIS기반 데이터 표출 GUI 제작	1	40,000	40,000
			2차년	무인이동체와 통신 인터페이스 제작	1	100,000	100,000
			3차년	데이터관리 서버 구매	2	100,000	200,000
			4차년	외관 조사망도 표출 GUI 제작	2	100,000	200,000
	1-5. 철도구조물 상태진단 기술 개발	4년	1차년	손상 영상 취득	1	30,000	30,000
				전산 재료비	1	13,000	13,000
			2차년	상태진단 알고리즘 개발을 위한 툴구매	1	150,000	150,000
				손상 시편 제작	1	50,000	50,000
			3차년	빅데이터 분석을 위한 영상 획득	2	50,000	100,000
			4차년	상태정보 표출 GUI 제작	2	100,000	200,000
	1-6. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	4년	1차년	무인이동체를 이용한 유지관리 사양 조사	1	50,000	50,000
			2차년	성능시험 테스트베드 조사	1	134,000	134,000
			3차년	유지보수 지원 SW제작을 위한 툴구매	1	200,000	200,000
			4차년	테스트베드 시범운영	1	127,000	127,000

제4절 타당성 검토

1. 정책적 타당성 검토

○ (정책적 타당성 분석항목 도출) 평가항목은 국가연구개발사업 예비타당성조사 분석 항목인 정책의 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인으로 하였음

<표 4-4-1> 정책적 분석 항목

평가항목 (1계층)	평가항목 (2계층)	평가항목 (3계층)	세부내용
정책적 분석	정책의 일관성 및 추진의지	상위·유관계획과의 일치성	정부최상위 계획, 범부처 계획, 부처계획과의 부합성
		사업추진의지 및 선호도	기관 및 담당부처의 사업추진의지, 유관기관과의 협조체계
	사업추진상의 위험요인	사업특수평가항목	법제도적 위험요인, 인력수급의 위험요인, 추가사업 연계여부

○ 상위・유관계획과의 일치성

- 정부 상위계획인 국정운영 5개년 계획, 제3차 철도안전종합계획, 제3차 철도산업발전 기본계획, 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획, 제8차 국가교통안전기본계획을 기준으로 분석하였음

- 국정과제 32 '국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화' 에 노후 SOC 고도화 및 안전강화가 포함되어 있고, 국정과제 34 '고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴・육성' 과 관련하여 드론산업 활성화 지원, 인프라 구축 및 관련 기술 개발을 목표로 하고 있어, 본 사업에서 추구하는 무인이동체의 철도 유지관리 분야 적용 기술 및 노후 철도구조물의 안전강화 시스템 개발과 내용이 일치함

- 제3차 철도안전종합계획('16～'20)의 추진과제 1.5 '철도 운행선로 작업 안전강화' 에 작업자의 선로진입 최소화가 포함되어 있고, 2.4 '시설 유지보수 효율화' 에 유지보수 작업의 효율화 추진, 위험개소 모니터링 기술 개발 등이 반영되어 있어, 본 사업에서 추진하는 기술개발을 통해 작업자의 접근취약개소 접근을 최소화하고 유지보수 작업의 시간단축을 통한 효율화를 달성할 수 있음

- 제3차 철도산업발전 기본계획의 주요 추진목표 '철도시설 유지보수 효율화' 와 관련하여 km당 유지보수 인력(명)을 ('15) 0.796 → ('20) 0.676 이하로 목표하고 있어, 본 사업의 미래상인 무인이동체를 활용한 자동화 점검시스템을 이용한 철도구조물 유지관리를 통해 목표 달성에 기여할 수 있음

- 스마트 철도안전관리시스템 구축 기본계획의 추진과제 2.1 '시설관리 과학화 기술

개발’, 2.2 ‘공간정보기반 스마트 시설관리 기술개발’과 관련하여 드론 영상정보를 활용한 시설관리 과학화 기술 등을 개발하도록 하고 있어, 본 사업에서 수행하고자하는 연구개발 내용과 완전히 일치함

- 제8차 국가교통안전기본계획('17～'21)의 추진대책 2.2 ‘안전하고 투명한 유지보수 체계 구축 및 유지보수 효율화’와 관련하여 위험도가 높은 취약개소에 대한 작업시간 확보를 목표로 하고 있어, 본 사업의 목표인 효율적·체계적 유지보수 및 작업자 인명피해 예방과 일치함

○ 사업추진의지 및 선호도

- 사업 시행기관인 국토교통부는 드론을 활용한 철도시설 유지관리 시범사업('17.5～9)을 한국철도공사 및 한국철도시설공단을 대상으로 추진하여 기존 대비 평균 67%의 점검시간 단축 효과를 확인하였고, 이를 확대하여 실용화하기 위한 국가R&D 수행에 적극적임

- 철도 운영기관인 한국철도공사는 교량, 낙석우려개소 등에 드론을 활용하여 영상을 획득하는 등 시설 점검에 일부 활용하고 있으며, 본 기획과제에 참여하여 확대 적용을 위해서 필요한 기술을 제안하는 등 자동화 점검 시스템의 개발 및 Test Bed 제공, 현업 활용에 강한 의지를 가지고 있음

- 한국철도기술연구원, 한국철도공사 및 한국철도시설공단 3사는 기술교류회를 정기적으로 개최하여 본 사업과 관련된 후보기술을 도출하고, 현업에 적용하기 위한 체계를 검토하는 등 산·학·연 협조체제가 우수하며, 관련 기관들의 추진의지가 높음

○ 사업특수평가항목

- 철도안전법, 도시철도법, 선로유지관리지침 등 철도시설물 유지관리와 관련한 법규 검토 결과, 무인이동체를 본 사업의 대상인 철도구조물 유지관리에 적용하는데 제약이 없어, 사업이 성공적으로 종료된 이후 현업 적용에 어려움이 없음

- 항공안전법 제131조의 2 제2항 및 항공안전법 시행규칙 제313조의2 제1항에 비가시 비행 가능 조건이 명시되어 있으나, 철도시설물 유지관리가 포함되어 있지 않아 현재는 가시권에서만 비행이 가능함

- 추후 법개정이 추진되어 비가시 비행이 가능해지면 선로 등 유지관리와 안전분야로 확대적용 되어 활용성이 훨씬 증대될 수 있음

- 야간, 비가시권 비행을 사례별로 검토, 허용하는 드론 특별승인제가 도입되었고 검토기간을 90일에서 30일로 단축하는 방안이 추진중임

2. 기술적 타당성 검토

○ 본 사업의 기술적 타당성을 분석하기 위하여 1) 기술적 분석 항목 도출 → 2) 기술적 타당성 조사항목별 중요도 설정 → 3) 설문조사 → 4) 기술적 타당성 결과 도출 순으로 진행

○ (기술적 분석항목 도출) 평가항목은 국가연구개발사업 예비타당성조사 분석항목인 기술개발계획의 적절성, 기술개발 성공가능성, 기존사업과의 중복성으로 하였음

<표 4-4-2> 기술적 분석 항목

평가항목 (1계층)	평가항목 (2계층)	세부내용
기술적 분석	기술개발계획의 적절성	사업의 목표와 내용, 사업추진전략의 적절성, 연구개발계획의 완성도, 기술개발로드맵
	기술개발 성공가능성	기술수준, 기술적 위험요인, 기술개발 실현 가능성
	기존사업과의 중복성	기존에 수행중인 사업의 내용목적의 중복 여부, 유사사업에 대한 상대적 효율성

○ 평가항목별 세부내용은 본 보고서에서 조사 및 분석된 내용을 사용하였음

- 기술개발계획의 적절성 : 제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

- 기술개발 성공가능성 : 제2장 제4절 기술수준분석 및 제6절 연구개발 인프라 분석

- 기존사업과의 중복성 : 제2장 제5절 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

○ (기술적 타당성 분석 항목별 중요도) 기술적 타당성 분석항목별 중요도는 5대 사업목적(공공복지, 기초원천, 산업기술, 연구기반, 장비개발)별 중요도를 사용하였음

<표 4-4-3> 기술적 타당성 조사항목별 중요도(사업목적별)

구분	기술개발계획의 적절성	기술개발성공가능성	기존 사업과의 중복성
공공복지	39.4%	37.4%	23.2%
기초원천	49.4%	22.1%	28.5%
산업기술	37.5%	40.9%	21.6%
연구기반	35.0%	32.3%	32.7%
장비개발	41.9%	39.7%	18.4%
전 체	39.7%	36.4%	23.9%

출처 : 연구개발사업의 기술적 타당성 사전평가의 객관화 방안, 한국과학기술평가원, 2009

○ 본 과제에서 대상으로 하고 있는 사업은 산업기술개발사업으로 기술개발성공가능성 항목에 대한 중요도를 40.9%로 평가하고, 기술개발계획의 적절성과 기존 사업과의 중복성에 대한 중요도가 낮게 고려됨. 이는 시장 진출을 위한 신기술 또는 신제품을 개발하는 사업이므로 기술수준, 시장진입 등을 고려하여 세운 당초의 기술개발 목표의 달성 여부가 중요하게 고려되기 때문임

○ 본 사업에 대한 평가항목에 대한 9점 척도 평가 수행

- 9점 척도의 기준 : 매우 높음(9점), 높음(7점), 보통(5점), 낮음(3점), 매우낮음(1점)과제의 목적 달성

○ 평가기간은 2018년 10월 2일 ~ 5일 이며, 산학연 전문가 6인의 평가를 수행

○ 평가항목에 대한 평가 결과에 중요도를 반영하여 최종 점수를 도출하였음

<표 4-4-4> 기술적 타당성 분석 결과

구분 (만점)			기술개발 계획의 적절성(3.38)	기술개발 성공가능성 (3.68)	기존 사업과의 중복성(1.94)	합계 (9.0)
1세부	1. 접근취약 철도구조물 자동 점검용 무인이동체 제어시스템 개발	1-1. 철도 운영환경에 특화된 고신뢰성 무인이동체 제어 기술 개발	3.1	3.5	1.5	8.1
		1-2. 3차원 자동화 운용 및 원격제어 기술 개발	3.2	3.3	1.7	8.2
		1-3. 철도구조물 근접운용 안전확보를 위한 규격 및 평가 기술 개발	3.0	3.3	1.9	8.1
2세부	2. 철도구조물 상태진단 자동화 시스템 개발	2-1. 철도구조물별 무인이동체 데이터 및 이력관리 자동화 기술 개발	3.2	3.5	1.8	8.5
		2-2. 철도구조물 상태진단 기술 개발	3.3	3.3	1.8	8.4
		2-3. Test Bed 구축 및 시험운용 기술 개발	3.2	3.5	1.7	8.5
		2-4. 철도구조물 유지보수 최적화 기술 개발	3.3	3.3	1.8	8.4
						8.3

※ 중복성의 경우 점수가 높을수록 중복성이 없음

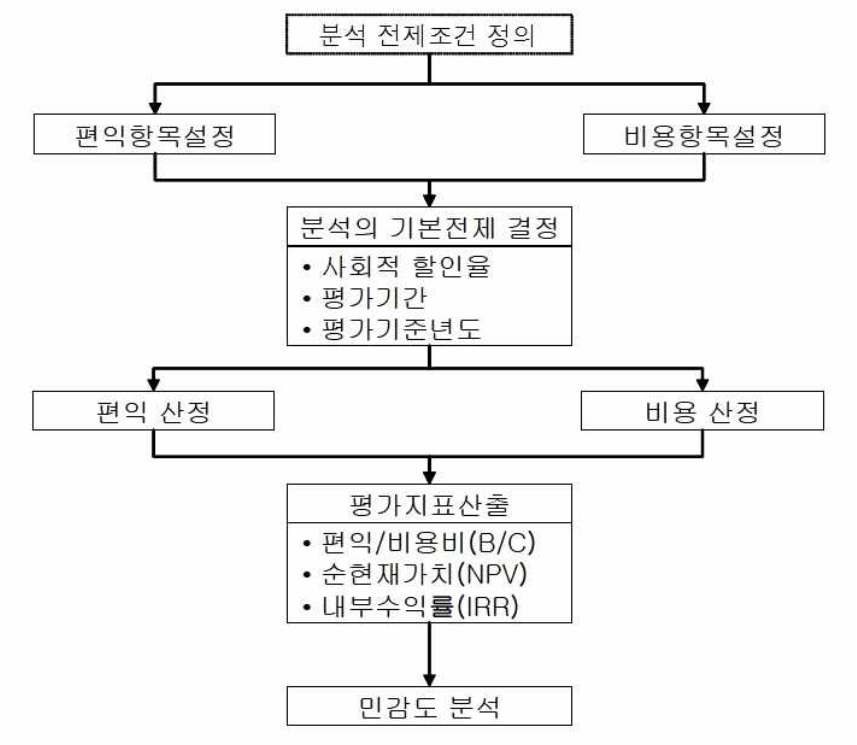
※ 최종점수는 각위원별로 9점척도로 평가된 값을 평균하고, 해당항목의 비중(표 4-4-3의 산업기술 비율 참고)을 곱하여 산출하였음

○ 분석 결과 8.3점으로 기술적 타당성이 높은 것으로 판단됨.

3. 경제적 타당성 검토

가. 분석 개요

○ 경제적 타당성 평가란 공공사업의 비용과 편익을 국가 전체적(사회적) 입장에서 측정하고 이에 따라 경제적 수익성을 계산하여 타당성 여부를 결정하는 것이며, 경제적 타당성 분석을 위한 절차는 아래와 같음.



<그림 4-4-1> 경제적 타당성 분석 절차

○ 비용은 연구개발 비용과 무인이동체 도입 비용으로 구분되며, 혜택은 직접편익만 포함하며, 인건비 절감, 특수장비비(고소차) 절감, 안전사고 감소로 구분됨.

○ 본 과제의 대상구조물은 다음에 적용하는 것으로 하였음. 단, 교량은 전체교량 가운데 육안 검사가 어렵고, 특수장비가 요구되는 교량만을 대상으로 하였음. 따라서 전체 1·2종 교량 중 연장 200m 이상인 하천통과 교량 329개를 대상으로 하였음. 또한 점검대상인 송전선로는 주변 송전철탑 점검시 함께 이루어지는 것으로 하였음.

<표 4-4-5> 철도구조물 자동화 점검시스템 도입 대상

구분	교량	터널	낙석우려개소	송전철탑	합계
개소	329	784	127	447	1,687

나. 분석의 전제

○ 경제적 타당성 분석의 전제조건은 “도로・철도 부문사업의 예비타당성 표준지침(제5판) (2008)”에서 제시한 기준을 적용함

- 기준년도: 2019년

- 평가기간: 2019년~2043년 (25년)

○ 사회적 할인율: 5.5% (분석은 위에서 산정한 편익 및 비용을 근거로 수행하였음)

○ 할인율은 과거와 미래의 가격을 현재 가치로 전환하는데 사용되는 계수를 의미하며 경제성 평가에서 모든 비용과 편익을 기준년도의 불변가격을 표시하기 위한 것임

○ 철도・도로 부문사업의 예비타당성 표준지침(제5판) (2008) 에서는 지금까지 사용되어 온 할인율 수치에서 지나치게 벗어남으로써 나타나는 혼란을 방지하고, 또 물가상승에 기대가 크지 않다는 사실을 근거로 하여 경제성 분석을 위한 실질할인율을 최종적으로 5.5% 수준을 제안하고 있으며 본 분석에서도 이를 수용함

다. 분석 범위

○ 본 사업의 평가기간(25년)은 1단계와 2단계로 나누어짐

- 1단계 (2019~2023년) : 연구개발비가 투입되는 기간으로 연구개발결과가 나오기 이전의 단계로 무인이동체 기반 철도구조물 자동화 점검 시스템 적용 범위가 제한적임

- 2단계 (2024~2043년) : 연구개발비 투입의 결과로 무인이동체 기반 철도구조물 자동화 점검 시스템 적용 범위가 터널 등으로 확대되어 혜택이 증가하는 단계

○ 2019~2022년 동안 “무인이동체 기반 접근취약 철도구조물 자동화 점검 시스템 개발”과제의 연구개발비를 비용으로 산정하고, 1년의 연구개발 회임기간을 거친 다음 연구개발의 효과가 이후 20년간(2024~2043년) 발생한다고 가정함

○ 분석기간 동안(2019~2043년) 무인이동체 기반 철도구조물 자동화 점검 시스템 적용에 따른 비용과 혜택은 적용대상 범위에 따라 변동함

○ 무인이동체의 수명은 조달청의 내용연수(조달청고시 제2016-40호)에 근거하여 5년으로 가정함

라. 분석 가정

○ 인건비 절감

- 교량, 터널, 낙석우려개소의 경우 무인이동체 기반 철도구조물 자동화 점검으로 인건비가 절감됨

- 절감 인건비는 사원급 4급24호봉 기준으로 1일 307,190원으로 가정함 (철도공사 내부 자료 근거)

- 모든 대상 철도구조물의 점검은 관련 규정에 의거 연 2회 실시한다고 가정함.

○ 특수장비(고소차) 비용 절감

- 점검대상 교량가운데 길이가 200미터 이상이고, 하천을 통과하는 교량의 경우 특수장비(고소차)가 필요함

- 무인이동체기반 철도구조물 자동화 점검을 실시하게 되면 특수장비(고소차) 비용이 절감됨

- 고소차 비용은 1일 500,000만원으로 산정하며, 1회 점검 시 소요되는 고소차는 평균 2대로 가정함 (철도공사 내부자료 기준)

○ 안전사고 감소

- 무인이동체기반 철도구조물 자동화 점검 시스템 도입 시 안전사고의 감소로 인한 혜택을 다음과 같이 추정함

- 철도구조물 점검 연인원 * 재해율 * 건당 손실액

- 재해율 = 재해자수/ 근로자수 * 100 (%)

○ 제3차 국가철도망 구축계획('16～'25)에 따라 철도 연장은 약 5,400km까지 확충될 예정으로, 본 과제의 연구성과물을 통해 연장된 철도 노선의 효율적 유지보수가 가능해짐.

- 철도 연장이 2025년까지 2016년 대비 44% 연장(3,729→5,364km)될 계획임.

- 따라서 철도 연장은 2025년까지 매년 3.7%씩 확장되며, 이에 따라 점검대상 철도구조물도 2025년 까지 같은 비율로 증가한다고 가정함.

- 1단계 (2019~2023년) 사업기간 동안 적용 범위가 제한적이므로 점검대상 철도구조

물의 수량이 그대로 유지됨.

- 2단계 (2024~2043년) 사업기간 동안 제3차 국가철도망 구축계획('16～'25)에 따라 점검대상 철도구조물의 수량이 다음과 같이 확대됨.

- 2단계 1년차(2024년)부터 10년차(2033년)까지 매년 3.7%씩 점검대상이 확대되어, 2단계 사업기간 초기 10년간 점검대상이 44%가 확대된다고 가정하며, 그 이후는 일정하다고 가정함.

마. 비용분석

(1) 연구개발 비용

❍ 연구개발 비용은 본 과제의 연구개발비용에 근거하여 다음과 같이 추산함

- 투입되는 총 연구개발비용은 140억 원이며, 2019년도부터 4년간 투입된다고 가정함

<표 4-4-6> 연구개발 비용

연도	예산(억원)	연차별 연구내용
1차년도	10	·접근취약 철도구조물 자동화 점검을 위한 무인이동체 설계 ·철도구조물 상태진단 자동화 기술 설계
2차년도	47	·접근취약 철도구조물 자동화 점검을 위한 무인이동체 핵심기술 개발 ·철도구조물 상태진단 자동화 핵심기술 개발
3차년도	48	·접근취약 철도구조물 자동화 점검을 위한 무인이동체 구현 및 성능시험 ·철도구조물 상태진단 자동화 시스템 구현
4차년도	35	·접근취약 철도구조물 자동화 점검을 위한 무인이동체 시험평가 및 고도화 ·철도구조물 상태진단 자동화 시스템 현장시험
합계	140	

(2) 무인이동체 구입 및 유지보수비용

❍ 무인이동체는 크게 본체, 탑재체(열영상획득모듈, 광학영상획득모듈 등)로 구분되며, 구입 단가는 세계시장 점유율 1위인 DJI사의 대표적인 산업용 드론인 M210 RTK를 구입한다고 가정함

- M210 RTK 단가 : 51,987,500원

❍ 유지보수비는 구입 2년차부터 발생하며, 구입비용의 10%가 소요된다고 가정함.

❍ 무인이동체 소요 대수 산정

- 연평균 근무 일수를 250일으로 산정하고, 기상 등의 제약조건을 감안하여 근무 일수 가운데 50%인 125일 동안 무인이동체가 현장에 투입된다고 가정함. 따라서 1대의 무인이동체가 125회 철도구조물 점검에 투입됨

- 모든 적용대상 철도구조물에 무인이동체가 적용된다고 가정하여 최대소요 대수를 구함

- 무인이동체의 기대수명은 5년이므로 5년마다 새로 수요를 산정하여 구매함

- 1단계(2019~2023년)는 적용 대상 가운데 터널을 제외한 교량, 낙서우려개소에 적용되며, 2단계(2024~2043년)은 증가하는 적용 대상에 비례하여 무인이동체 구매 대수도 증가함

<표 4-4-7> 무인이동체 소요대수

년도	교량	터널	낙석우려개소	송전철탑	합계	점검횟수	소요수량	구매 수량
2019	329		153	143	625	1,250	10	11
2020	329		153	143	625	1,250	10	
2021	329		153	143	625	1,250	10	
2022	329		153	143	625	1,250	10	
2023	329		153	143	625	1,250	10	
2024	329	784	153	143	1,409	2,818	23	26
2025	341	813	159	148	1,461	2,922	23	
2026	354	843	165	153	1,515	3,030	24	
2027	367	874	171	159	1,571	3,142	25	
2028	381	906	177	165	1,629	3,258	26	
2029	395	940	184	171	1,690	3,380	27	31
2030	410	975	191	177	1,753	3,506	28	
2031	425	1,011	198	184	1,818	3,636	29	
2032	441	1,048	205	191	1,885	3,770	30	
2033	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2034	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	31
2035	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2036	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2037	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2038	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2039	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	31
2040	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2041	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2042	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	
2043	457	1,087	213	198	1,955	3,910	31	

❍ 소요 대수와 유지비용을 고려한 연도별 투입 비용은 아래 표와 같음.

<표 4-4-8> 무인이동체 구입 및 유지보수비용

년도	구입비용	유지보수비용
2019	571,862,500	
2020		57,186,250
2021		57,186,250
2022		57,186,250
2023		57,186,250
2024	1,351,675,000	
2025		135,167,500
2026		135,167,500
2027		135,167,500
2028		135,167,500
2029	1,611,612,500	
2030		161,161,250
2031		161,161,250
2032		161,161,250
2033		161,161,250
2034	1,611,612,500	
2035		161,161,250
2036		161,161,250
2037		161,161,250
2038		161,161,250
2039	1,611,612,500	
2040		161,161,250
2041		161,161,250
2042		161,161,250
2043		161,161,250

❍ 따라서 본 경제성 분석의 대상이 되는 해당년도별 투입 비용은 다음 표와 같음

<표 4-4-9> 투입비용 (단위:백만원)

년도	연구개발비	무인이동체 구입비	무인이동체 유지비	합계
2019	1,000	572	-	1,572
2020	4,700	-	57	4,757
2021	4,800	-	57	4,857
2022	3,500	-	57	3,557
2023	-	-	57	57
2024	-	1,352	-	1,352
2025	-	-	135	135
2026	-	-	135	135
2027	-	-	135	135
2028	-	-	135	135
2029	-	1,612	-	1,612
2030	-	-	161	161
2031	-	-	161	161
2032	-	-	161	161
2033	-	-	161	161
2034	-	1,612	-	1,612
2035	-	-	161	161
2036	-	-	161	161
2037	-	-	161	161
2038	-	-	161	161
2039	-	1,612	-	1,612
2040	-	-	161	161
2041	-	-	161	161
2042	-	-	161	161
2043	-	-	161	161

바. 편익 분석

○ 다음과 같은 직접편익만을 분석하였음

- 인건비 절감

- 특수장비(고소차) 비용 절감

- 안전사고 감소

(1) 인건비 절감

○ 인건비 절감 혜택은 기존점검 방식에 비해 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식 도입에 따라 점검효율이 향상되어 점검 시간이 단축되고 투입인원이 감소하여 발생하는 편익을 의미하며, 단위 인건비 및 운영 방식은 철도공사 내부 자료에 근거함

- 절감 인건비는 사원급 4급24호봉 기준으로 1일 307,190원으로 가정함

① 교량

○ 기존 점검 방식의 경우 교량 1회 점검에 소요되는 시간은 1일이며, 인원은 3인 1조 방식으로 운영되는 반면, 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식은 2인 1조로 운영이 가능함

○ 따라서 교량 1회 점검 시 인건비 절감액은 307,190원/회 임.

○ 2019년 기준, 점검 대상 교량 329개에 모두 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 적용된다고 할 때 총 비용절감액은 다음과 같이 계산됨

- 329 개 * 2 회/개소 * 307,190 원/회 = 202,131,020 원

② 낙석우려개소

○ 기존 점검 방식의 경우 1회 점검에 소요되는 시간은 1일이며, 인원은 3인 1조 방식으로 운영되는 반면, 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식은 1인 1조로 운영이 가능함

○ 따라서 낙석우려개소 1회 점검 시 인건비 절감액은 307,190*2 = 614,380원/회 임.

❍ 2019년 기준, 점검 대상 127개에 모두 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 적용된다고 할 때 총 비용절감액은 다음과 같이 계산됨

- 127 개 * 2 회/개소 * 614,380 원/회 = 156,052,520 원

③ 송전철탑

❍ 기존 송전철탑 점검은 외주업체에 의해 이루어지며, 1회 점검에 소요되는 인원은 2명으로 산정됨

- 외주인력 1명 당 비용은 370,000원/일 임

- 1회 점검 시 평균 3개의 송전철탑과 주변 송전선로를 점검함

❍ 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식이 적용될 경우 내부 점검인원 2명이 소요된다고 가정함

- 따라서 1회 점검 시, 외주인력 비용과 내부인건비의 차이(62,810원*2명 = 125,620원)만큼 절감된다고 가정함

❍ 송전철탑 1개소당 비용절감액은 다음과 같음

- 125,620 원 / (3개소/1회) = 41,873 원

❍ 2019년 기준, 점검 대상 447개에 모두 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 적용된다고 할 때, 총 비용절감액은 다음과 같이 계산됨

- 447 개 * 2 회/개 * 41,873 원/회 = 37,434,760 원

④ 터널

❍ 터널의 경우 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식이 2단계(2024~2043)부터 적용되는 것으로 가정함

❍ 기존 점검 방식은 터널 1회 점검에 소요되는 시간은 1일이며, 인원은 3인 1조 방식으로 운영되는 반면, 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 방식은 2인 1조로 운영이 가능함

❍ 따라서 터널 1회 점검 시 인건비 절감액은 307,190원/회 임.

❍ 2024년 기준, 점검 대상 교량 784개에 모두 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 적용된다고 할 때 총 비용절감액은 다음과 같이 계산됨

- 784 개 * 2 회/개 * 307,190 원/회 = 481,673,920원

(2) 특수장비 비용

❍ 교량의 경우 1회 점검 당 평균 2대의 고소차가 소요됨. 고소차 1대의 1일 대여 비용은 500,000원으로 산정됨 (철도공사 내부자료 기준)

❍ 따라서 교량 1회 점검의 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 적용시 비용절감액은 다음과 같음

- 2 대 * 500,000 원/대 = 1,000,000 원/회

❍ 2019년 기준, 점검 대상 교량 329개에 모두 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 적용된다고 할 때 총 비용절감액은 다음과 같이 계산됨

- 329 개 * 2 회/개 * 1,000,000 원/회 = 658,000,000 원

(3) 안전사고 감소

❍ 무인이동체기반 자동화 점검 시스템 도입 시 기존 점검방식에 비해 안전사고가 대폭 감소될 것으로 추정됨

❍ 안전사고 예방 혜택을 본 보고서에서는 다음과 같이 추정함

- 철도 구조물 점검 연인원 * 재해율 * 건당 손실액

❍ 산업안전보건공단의 2017년 산업재해 발생현황 자료에 따르면 우리나라 평균 재해율은 0.48%로 추산됨

- 재해율 = 재해자수/ 근로자수 * 100 (%)

❍ 산업재해로 인한 산재보상금 지급액은 4,280,055백만원, 직·간접손실을 포함한 경제적 손실 추정액은 21,400,275백만원으로 추산되며, 총 근로자 수는 2017년 기준 18,431,716명임

- 따라서 안전사고 건당 276,750,000원의 손실이 발생한다고 가정할 수 있음

○ 따라서 기존 철도구조물점검 인원 1명이 무인이동체기반 철도구조물 자동화 점검 시스템에 투입되면 연간 혜택은 다음과 같음

- 안전사고 절감 혜택 (1인/1년) = 0.49% * 276,750,000원 = 1,160,000 원

○ 1단계(2019~2023년)의 적용 대상인원은 현재 철도구조물점검 인원인 38명으로 함

- 따라서 연간 혜택은 38명 * 1,160,000 원 = 44,082,298 원

○ 2단계(2024~2043년)의 적용 대상인원은 제3차 국가철도망 구축계획(2016～2025)에 의거 적용 대상 철도구조물이 44% 증가함에 따라 적용 대상인원도 2024년부터 2033년까지 10년간 매년 3.7%까지 증가하여, 혜택도 같은 비율로 증가하는 것으로 산정함

○ 이후 2034년부터 2043년까지는 더 이상의 인원증가는 없으면 혜택은 2033년도 수준과 같다고 가정함

(4) 편익산정 결과

○ 본 보고서에서는 다음과 같이 3가지 시나리오(낙관, 중립, 비관)에 따라 편익을 산정함

○ 3가지 시나리오의 투입비용은 동일하나 편익산정에서 다음과 같은 차이가 있음

- 낙관 시나리오: 점검대상 철도구조물의 100%에 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입됨

- 중립 시나리오: 점검대상 철도구조물의 90%에 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입됨

- 비관 시나리오: 점검대상 철도구조물의 80%에 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입됨

○ 중립시나리오의 경우 분석기간 동안 발생하는 편익을 요약하면 다음 표와 같음

<표 4-4-10> 편익산정결과-중립 시나리오 (단위:백만원)

년도	인건비 절감	특수장비 비용 절감	안전사고 감소	합계
2019	339	592	44	975
2020	339	592	44	975
2021	339	592	44	975
2022	339	592	44	975
2023	339	592	44	975
2024	871	614	46	1,531
2025	904	637	47	1,588
2026	937	660	49	1,646
2027	972	685	51	1,707
2028	1,008	710	53	1,771
2029	1,045	736	55	1,836
2030	1,084	763	57	1,904
2031	1,124	792	59	1,974
2032	1,165	821	61	2,048
2033	1,209	851	63	2,123
2034	1,209	851	63	2,123
2035	1,244	851	66	2,161
2036	1,280	851	68	2,199
2037	1,318	851	71	2,240
2038	1,357	851	73	2,281
2039	1,397	851	76	2,325
2040	1,439	851	79	2,369
2041	1,483	851	82	2,416
2042	1,528	851	85	2,464
2043	1,575	851	88	2,514

사. 경제적 타당성 분석

(1) 기본개념

○ 대부분의 투자에 있어서 비용의 발생은 한 시점에서만 발생하는 것이 아니라 일정 기간 중 적절한 시기에 나누어서 지출하게 되는데 이러한 비용의 지출 시기와 각 시점에 지출되는 액수를 현금흐름(cash flow)이라 함

○ 이 때 서로 다른 시점에 지출되는 비용의 가치는 액수가 같더라도 이자율 때문에 달라진다. 즉 같은 액수의 지출이라도 언제 지출하느냐에 따라 그 가치가 달라짐

- 예를 들면 현시점에서 10,000원을 투자하는 것은 이자율을 10%라고 가정할 때 1년 뒤에 11,000원을 투자하는 것과 같은 비용을 수반하게 됨

○ 따라서 서로 다른 대안의 경제성 분석을 위해서는 현금흐름 상에 나타난 지출 시기와 비용을 같은 시점에서 지출할 때의 가치로 환산하여 비교하는 것이 타당함

○ 단일 투자안이나 서로 다른 대안의 경제성 분석에 자주 사용되는 할인율(discount rate), 편익/비용 비율(Benefit-Cost ratio, B/C ratio), 순현가(Net Present Value : NPV), 그리고 내부수익률(Internal Rate of Return : IRR)에 대한 개념과 그 의미는 다음과 같음

① 할인율

○ 경제성 분석에서는 통산 현금할인기준의 대안선택방법을 사용하고 있는데, 그 이유는 대부분의 사업에서 지출과 수입은 장기간에 걸쳐 발생하므로 자금의 발생시점에 따른 가치의 차이를 정식으로 고려해야만 올바른 분석이 가능하기 때문임

- 가치의 차이는 통상 이자에 있기 때문에 발생하게 됨. 따라서 대안의 경제성을 비교하고 평가하기 위해서는 동일기준, 즉 동일시점에서의 가치로 변환하는 것을 현금할인이라 하며, 변환된 가치는 그전의 금액과 경제적 등가(equivalence) 관계에 있다고 함.

○ 현금할인 시 사용되는 할인율은 여러 가지가 있을 수 있으나, 경제성 분석의 대상이 특정기관일 경우에는 그 기업에서 필요한 수익률의 하한선인 최저요구수익률(Minimum Attractive Rate of Return, MARR)을 사용하는 것이 합리적임

- MARR은 기업에서 투자할 때 기업에서 요구하는 수익률은 적어도 이 만큼은 되어야 하겠다는 하한치임

- 수익률은 통산 수익에 대하여 소득세를 납부한 후의 순수익과 투자액의 비율이 됨

- 요구수익률은 대개의 경위 자본비용을 고려하여 기업의 경영진의 정책에 의하여 결정되며, 통상 요구수익률은 이자에 따른 자본비용, 기회비용, 이익, 인플레이션, 손실위험, 경쟁상대의 요구수익률, 그리고 현 기업의 재정상태와 미래의 전략적 투자조건 등을 참조하여 책정되어야 함

② 편익/비용 비율 (Benefit-Cost ratio, B/C ratio)

○ 경제적 타당성을 평가하기 위해서는 우선 편익/비용 비율(B/C비)을 구함.

- 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것이며, 일반적으로 편익/비용비 ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익/비용 비율} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} \Big/ \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

B_t: t 시점의 편익
C_t: t 시점의 비용
r: 할인율(이자율)
n=분석기간

③ 순현가 (Net Present Value : NPV)

○ 대부분의 경제적 타당성 분석은 서로 다른 현금흐름을 가지는 대안 들 중 경제성이 가장 높은 대안을 선택하는 것을 목적으로 함

- 이 때 각 대안의 현금 흐름에서 비용이 지출되는 시점이나 수익이 발생하는 시점을 무시하고 단순히 금액을 합산하는 것은 시간에 따른 돈의 가치를 제대로 반영하지 못하기 때문에 정확한 비교 방법이 될 수 없음

- 각 대안의 경제성에 대한 정확한 비교를 위해서는 현금흐름의 시간적 가치를 고려하여 각 시점에서 지출되는 비용과 발생하는 수익을 공통된 한 시점에서의 가치로 환산한 후 그 결과를 비교하는 것이 타당한 방법임

- 이 때 공통의 시점을 현재로 설정하여 각 시점에 발생하는 비용이나 수익을 현재의 가치로 환산하는 방법을 생각할 수 있는데 이를 순현가 방식이라 함

- 순현가는 각 시점에서 발생한 비용이나 수익을 이자율을 고려하여 현시점의 가치로 바꾼 것을 전부 합한 가치를 의미함

- 즉, 순현재가치(순현가)란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치

로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값임

○ 순현가 방식은 대안들의 경제성 분석 시 가장 널리 쓰이는 방법 중 하나로 각 대안별 현금 흐름상에 나타나는 비용이나 수익의 가치를 동일한 기준으로 비교할 수 있도록 해주며 대안별로 계획 기간(planning horizon)이 다르더라도 적용할 수 있음. 또한 단일 대안의 경제성 평가에도 적용할 수 있다는 장점이 있으나 투자한 자본의 회수기간을 알기에는 어려운 점이 있음

○ 순현재가치 ≥ 0 이면 경제성이 있음

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

④ 내부수익률 (Internal Rate of Return : IRR)

○ 내부수익율은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율 R 을 구하는 방법임

- 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율이며, 내부수익률이 사회적 할인율 또는 최저수익률(Minimum Attractive Rate of Return : MARR)보다 크면 경제성이 있다고 판단함

- 내부수익률이 최저수익률보다 크면 투자가 경제성이 있다는 것을 의미하고 그렇지 않으면 최저수익률을 제공하는 곳에 투자하는 것이 더 낫다는 것을 의미함

○ 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율을 의미함

$$\text{내부수익률(IRR)} : \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+R)^t} \quad \text{을 만족하는 R}$$

○ 수익률은 현금흐름을 순현가로 바꿀 때 0이 되어야 하므로 순수투자와 같이 현금흐름상에 비용만 발생하는 경우에는 단일 대안의 평가에 적용할 수가 없음. 그러나 순수투자의 경우에도 여러 개의 대안을 비교하는 경우에는 대안을 쌍으로 묶어서 대안별 우위관계를 분석할 수가 있음. 먼저 두 개의 대안에 대한 현금흐름의 차액을 (대안1 - 대안2) 구하여 그 차액을 새로운 단일 현금흐름으로 간주하여 수익률을 구함. 구해진 수익률이 MARR 보다 크면 대안 1이 대안 2보다 경제성이 있다는 것을 의미하고 그렇지 않을 경우는 대안 2가 대안 1보다 경제성이 있는 것으로 간주됨.

○ 수익률을 사용하기 위해서는 일반적으로 현금 흐름 상에서 계획 기간의 초기에는 투자비용만 발생하고 투자가 끝난 이후에는 수익이 발생하는 것으로 가정하고 있음. 따라서 계획기간 동안 투자비용과 수익이 교차해서 발생하는 경우에는 수익률을 구

하기가 어렵다는 단점이 있음.

(2) 경제적 타당성 분석 결과

① 중립 시나리오

○ 중립 시나리오는 점검대상 구조물의 90%에 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입된다고 가정함

○ 중립 시나리오는 본 보고서의 기본 시나리오로서 다음 절에 제시된 민감도 분석에서 기준으로 사용됨

- 편익/비용비(B/C)가 1.15, 순현재가치(NPV)가 2,242 백만원, 내부수익률(IRR)이 7.9%로 경제적 타당성이 있는 것으로 분석됨

<표 4-4-11> 경제적 타당성 분석 결과 - 중립 시나리오 (단위: 백만 원)

년도	비용	편익
2019	1,572	975
2020	4,757	975
2021	4,857	975
2022	3,557	975
2023	57	975
2024	1,352	1,531
2025	135	1,588
2026	135	1,646
2027	135	1,707
2028	135	1,771
2029	1,612	1,836
2030	161	1,904
2031	161	1,974
2032	161	2,048
2033	161	2,123
2034	1,612	2,123
2035	161	2,123
2036	161	2,123
2037	161	2,123
2038	161	2,123
2039	1,612	2,123
2040	161	2,123
2041	161	2,123
2042	161	2,123
2043	161	2,123
현가(PV)	16,271	18,513
B/C: 1.14, NPV: 2,242 백만 원, IRR: 7.9 %		

② 낙관 시나리오

❍ 낙관 시나리오는 점검대상 구조물의 100%에 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입된다고 가정함

- 편익/비용비(B/C)가 1.26, 순현재가치(NPV)가 4,238 백만원, 내부수익률(IRR)이 10.0%로 경제적 타당성이 있는 것으로 분석됨

<표 4-4-12> 경제적 타당성 분석 결과 - 낙관 시나리오 (단위: 백만 원)

년도	비용	편익
2019	1,572	1,079
2020	4,757	1,079
2021	4,857	1,079
2022	3,557	1,079
2023	57	1,079
2024	1,352	1,697
2025	135	1,759
2026	135	1,824
2027	135	1,892
2028	135	1,962
2029	1,612	2,034
2030	161	2,110
2031	161	2,188
2032	161	2,269
2033	161	2,353
2034	1,612	2,353
2035	161	2,353
2036	161	2,353
2037	161	2,353
2038	161	2,353
2039	1,612	2,353
2040	161	2,353
2041	161	2,353
2042	161	2,353
2043	161	2,353
현가(PV)	16,271	20,509
B/C: 1.26, NPV: 4,238 백만 원, IRR: 10.0%		

③ 비관 시나리오

❍ 비관 시나리오는 점검대상 구조물의 80%만이 무인이동체기반 자동화 점검 시스템이 도입된다고 가정함

- 편익/비용비(B/C)가 1.02, 순현재가치(NPV)가 257 백만 원, 내부수익률(IRR)이 5.7%로 경제적 타당성이 있는 것으로 분석됨

- 대상 구조물의 80%만 도입되는 경우에는 비용과 편익이 거의 같아짐. 따라서 경제적 타당성을 갖기 위해서는 대상 철도 구조물의 최소 80%이상은 도입해야 할 것으로 분석됨.

<표 4-4-13> 경제적 타당성 분석 결과 - 비관 시나리오 (단위: 백만 원)

년도	비용	편익
2019	1,572	872
2020	4,757	872
2021	4,857	872
2022	3,557	872
2023	57	872
2024	1,352	1,366
2025	135	1,417
2026	135	1,469
2027	135	1,524
2028	135	1,580
2029	1,612	1,638
2030	161	1,699
2031	161	1,762
2032	161	1,827
2033	161	1,895
2034	1,612	1,895
2035	161	1,895
2036	161	1,895
2037	161	1,895
2038	161	1,895
2039	1,612	1,895
2040	161	1,895
2041	161	1,895
2042	161	1,895
2043	161	1,895
현가(PV)	16,271	16,528
B/C: 1.02, NPV: 257 백만 원, IRR: 5.7 %		

❍ 경제적 타당성은 3가지 시나리오(중립, 낙관, 비관)에 따라 분석한 결과, 3가지 시나리오 모두에서 경제적 타당성이 있는 것으로 나타남

아. 민감도 분석

○ 민감도 분석(Sensitivity Analysis)은 타당성평가 과정에서 사용된 여러 가지 변수들을 변화시켜봄으로써 최종적인 경제적 타당성평가 결과가 미래에 예측치 못한 상황변화에 대한 예상을 할 수 있도록 하는 것으로 주요 변화항목에는 편익, 비용, 할인율 등이 있음

○ 경제적 타당성 분석을 위한 민감도 분석은 비용과 편익, 그리고 할인율 등이 일정비율 변화되었을 경우에 대해 시행함

○ 중립 시나리오를 대상으로 민감도 분석을 수행함

<표 4-4-14> 민감도 분석 범위

구분	적용범위
비용	+10%, +20%
할인율	4.5%, 6.5%, 7.5%

- 중립 시나리오의 경우 비용이 10% 증가할 경우는 경제적 타당성을 확보할 수 있으나, 20% 이상 증가할 경우에는 경제적 타당성이 떨어질 것으로 분석됨

- 할인율은 7.5%까지 증가할 경우에 대해서도 경제적 타당성을 확보할 수 있을 것으로 분석됨

<표 4-4-15> 경제적 타당성 분석의 민감도 분석 결과

구분		B/C	NPV (백만 원)	IRR(%)
기준점	중립 시나리오	1.15	2,242	7.9
비용변동	+10%	1.03	615	5.9
	+20%	0.95	-1,012	4.5
할인율 변동	4.5%	1.20	3,468	7.5
	6.5%	1.08	1,202	7.5
	7.5%	1.02	321	7.5

○ 향후 무인이동체의 보급이 확산됨에 따라 구입가격이 하락할 것으로 전망되나, 정확한 전망치가 제시되지 않아 본 분석에서는 제외하였으며, 향후 구입가격이 하락할 경우에는 본 사업의 경제성이 더욱 커질 것으로 예상됨

○ 무인이동체기반 철도구조물 자동화 점검시스템이 향후 도로 구조물(교량, 터널 등)에 확대 적용될 경우 본 사업의 경제성이 더 커질 수 있음

제5장 참고문헌

1. 무인이동체미래선도핵심기술개발사업단, 무인이동체 기술로드맵, 2017.
2. 한국교통연구원, 철도시설 안전제고를 위한 철도안전시설 보완 종합계획안 마련, 2016.
3. 국토교통부, 제 3차 철도안전 종합계획(안), 2016.
4. kotra 해외시장뉴스: https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/
5. 부동산포커스 기획특집, 국내외 드론 산업 현황 및 활성화 방안, 2016.
6. 국가법령정보센터, 철도시설 안전기준에 관한 규칙, 2013.3.23.(시행).
7. 서울교통공사, 선로검사내규, 2016.12.01.(개정).
8. Loccioni inc., Felix, the robot for railroad switch dimensional measurement, 2013.
9. Protran technology, Vertical track deflection measurement system, 2015.
10. Omnicom Engineering, Omnivision spec sheet.
11. DESTination RAIL 홈페이지 : http://www.destinationrail.eu/
12. DGSI, Track Monitoring System - Slope indicator data sheet.
13. Plowman Craven, VOGEL R3D data sheet.
14. Sky technologies 홍보영상 : https://www.youtube.com/watch?v=VdBzA503kPo
15. NCDOT Project, Unmanned Airecraft Systems (UAS) Opertaions Support [Final report], 2016.
16. 상지대학교 지형정보연구센터, 건설분야 GIS 활용(6), 2017.
17. 한국철도기술연구원, 철도 유지관리 자동화 기술개발사업 기획, 2017.
18. Photonics 홈페이지 : http://photonics.com
19. ESARS ITEC, Railway infrastructure monitoring by drones, 2016.
20. Transportation Research Procedia, A new methodology for assessment of railway infrastructure condition, 2016.
21. Institute of Railway Technology, The Next Generation Rail Inspection and Maintenance Robots, 2016.
22. Interdisciplinary Description of Complex Systems, Radiofrequency Indentification by Using Drones in Railway Accidents and Disaster Situations, 2017.
23. ASME, Quality Safety Assurance of Railway Tracks by UAV, 2015.
24. AJAST, Railway Track Fault Detection System by Using IR Sensors and Bluetooth Technology, 2017.
25. IIER, Rail Inspection Robot Using The AHRS Algorithms, 2016.
26. Lufthansa Aerial Services 홈페이지 : http://www.lufthansa-aerial-services.com/
27. RSK Orbital Ltd 홈페이지 : http://www.rskorbital.com/
28. Cyberhawk 홈페이지 : https://www.thecyberhawk.com/
29. US AERIAL VIDEO 홈페이지 : https://www.usaerialvideo.com/
30. ProRail 홈페이지 : https://www.prorail.nl/

31. Aerial Vision 홈페이지 : https://www.aerialvision-intl.com/
32. Baoding Tianpeng Aviation Technology 홈페이지 : www.tipeu.com/en/index.html
33. SELECTRA VISION 홈페이지 : www.selectravision.com/
34. bvSys 홈페이지 : www.bvsys.de/
35. Zhang, G., Liu, Z., & Han, Y. (2016). Automatic recognition for catenary insulators of high-speed railway based on contourlet transform and Chan?Vese model. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 127(1), 215-221.
36. Wu, X., Yuan, P., Peng, Q., Ngo, C. W., & He, J. Y. (2016). Detection of bird nests in overhead catenary system images for high-speed rail. Pattern Recognition, 51, 242-254.
37. Shen-pei, Zhou, et al. "Research on Insulator Fault Diagnosis and Remote Monitoring System Based on Infrared Images." Procedia Computer Science 109 (2017): 1194-1199.
38. Han, B., & Wang, X. (2017). Detection for Power line Inspection. In MATEC Web of Conferences (Vol. 100, p. 03010). EDP Sciences.
39. Zhao, Z., Xu, G., Qi, Y., Liu, N., & Zhang, T. (2016, July). Multi-patch deep features for power line insulator status classification from aerial images. In Neural Networks (IJCNN), 2016 International Joint Conference on (pp. 3187-3194). IEEE.Deng, C., Liu, J. Y., Liu, Y. B., & Tan
40. Y. Y. (2016, October). Real time autonomous transmission line following system for quadrotor helicopters. In Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE), 2016 International Conference on (pp. 61-64). IEEE.
41. Katrasnik, J., Pernus, F., & Likar, B. (2008, September). New robot for power line inspection. In Robotics, Automation and Mechatronics, 2008 IEEE Conference on (pp. 1195-1200). IEEE.
42. 산업통상자원부, 무인기산업 국내외 현황조사 및 수요기반 발전방안 연구, 2016.
43. 국토교통부, 국토교통 R&D 동향조사 시설물분야, 2015
44. IRS글로벌, 4차 산업혁명 시대의 지능형 로봇 분야별 기술개발 동향과 시장 전망, 2018
45. IRS글로벌, 급성장하는 무인이동체 시장전망과 개발동향 및 참여업체 사업전략, 2015
46. Capacity4Rail 프로젝트 홈페이지 : https://www.capacity4rail.eu/
47. 드론 활성화 지원 로드맵 연구, 한국항공우주연구원, 2017.
48. 연구개발사업의 기술적 타당성 사전평가의 객관화 방안, 한국과학기술기획평가원, 2009.
49. 2017년도 국가연구개발사업 집행현황, KISTEP
50. 2018 대한민국 혁신성장 보고대회 보고안건 '혁신성장 추진성과 및 향후계획', 2018. 5. 17, 관계부처 합동
51. 드론산업 발전 기본계획(2017~2026), 관계부처 합동
52. 2017 무인이동체 산업실태조사, 무인이동체미래선도핵심기술개발사업단, 2018

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.