보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통연구기획사업 최종 보고서

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001355-01

R&D/15RDPP-C101886-01

대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가와 운영감시시스템 개발 기획

최 종 보 고 서

2016. 03

주관연구기관 / 한국수자원공사

공동연구기관 / (주)날리지웍스

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

Ministry of Land Infrastructure and Transport

R&D Report

제 출 문

국토교통부장관 귀하

'대규모 용수공급 관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시 시스템 개발 기획연구'(연구개발 기간 : 2015. 08. 01 ~ 2016. 03. 31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016 . 09 . 22 .

주관연구기관명 : 한국수자원공사 (사장직무대행) 이 학 수 (인)

공동연구기관명 : ㈜날리지웍스 (대표이사) 이 철 원 (인)

주관연구기관책임자: 김 정 현

공동연구기관책임자: 류 형 근

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15RDPP-C101886-01</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2015.08.01.~
2016.03.31</td><td>단계구분</td><td>(1)/(1)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토연구기획사업</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">대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와
운영감시 시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김정현</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 18 명
내부: 13 명
외부: 5 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 80,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 80,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 18 명
내부: 13 명
외부: 5 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 80,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 80,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">한국수자원공사 K-water연구원</td><td colspan="2">공동연구기관: ㈜날리지웍스</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td colspan="2">보고서 면수: 387</td></tr>
</table>

-. 용수공급관로의 노후화 가속으로 사고 위험성 증가, 유지관리 소요 예산 급증에 따른 사고 예방 및 전략적 개량 추진을 위한 진단 · 감시 기술 개발 필요

-. 관 내부 상태평가에 육안조사(CCTV, 인력), 휴대용 측정장비 등을 활용하고 있으나, 국부적 표본 조사로 신뢰도 낮아 실질적 관 상태 반영 한계

-. 관 내 · 외부 정밀진단(Scanning)을 통한 관 잔존두께, 균열측정, 강도평가 등 자동화 장비 활용, 잔존수명 예측으로 개량 의사결정 필요

-. 선진국과 기술 격차(5~6년), 높은 해외 의존도(90%이상 수입)로 외화 및 정보유출 문제, 선진국은 비파괴(센서), ICT+Robot 융·복합기술 개발, 인프라 유지관리 고도화 및 해외 시장주도

-. 국가 용수공급 인프라의 체계적 정밀진단 · 감시를 통한 사고로 인한 경제적 피해 및 생활 불편 저감, 사용수명 연장, 안전성 제고 등 국가 자산관리 효율화 도모

-. 기획연구를 통하여 국내외 동향 분석, 기술수요 및 수준 · 예측조사, 연구개발과제 구성 · 추진전략, 사전타당성 검토, 소요예산 산정, 과제공모 방안 등 제시

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	◦ 목적 : 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단을 통한 최적 개량 및 구조적 상태 모니터링으로 과학적 관망관리를 위한 기술 개발 기획 ◦ 내용 : 광역상수도 관로를 포함하여 국내 대규모 용수공급관로(도수, 송수, 공업용수 등)에 대한 진단, 운영에 대한 현황과 문제점을 파악하고, 진단 감시 기술을 고도화하고 첨단화할 수 있는 기술개발 기획 수행				
연구개발성과	◦ 용수공급관로 개량을 위한 과학적인 진단체계 구축, 진단에 따른 적시 및 경제적인 개량 추진, 사고에 대한 선제적 대응을 위한 관로감시 고도화 체계 구축 기술 개발 필요 ◦ 현재 기술수준은 선진국 대비 64.4 %, 기술격차는 약 5.2년으로 평가 ◦ 대규모 용수공급관로에 대한 비파괴 정밀진단과 구조적 운영감시 시스템의 첨단 고도화를 위해, 가스·송유·원자력 배관에 대한 주요 관종, 관 내부상태, 사전탐상, 비파괴 이동탐상 장비 전처리 공정, 비파괴 주요 측정항목, 구조적인 운영감시 기술 등의 비교 분석을 통해, 대규모 용수공급관로에 필요한 기술을 도출하여 총 4개 중점분야(12개 세부과제) 도출 ① 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단기술 개발, ② 관외면 정밀진단 자동화 기술개발, ③ 비파괴 종합적 성능평가 기술개발, ④ 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	◦ 세계적 수준의 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 구조적 감시기술 첨단고도화 기술 확보와 국가적 주요 용수공급망의 중단 없는 용수공급 안정화 체계 구축 ◦ 구조적 상태 해석을 통한 위험구간 선제적 대응으로 관로사고 예방과 대규모 재해재난 방지를 통한 국민 물 복지 실현 ◦ 잔존수명 예측에 따른 관로 개량 우선순위 도출로 개량시 전략적 예산투자와 합리적인 정책수립 수립 ◦ 해외기술도입에 따른 수입대체효과 및 원천기술의 확보를 통해 해외 시장 경쟁력 확보 ◦ 관련 산업 활성화, 신규수요 창출 시장 확대, 일자리 창출 등 창조경제 기여				
핵심어 (5개 이내)	용수공급관로	비파괴	정밀진단	성능평가	구조적 감시

영문 요약문

Purpose & Contents	◦ Establish the non-destructive test (NDT) pipe inspection technology research and development (R&D) plan to precisely monitor structural integrity and provide effective assessment data for rehabilitation decision making process. ◦ The R&D planning project has two main objectives; 1) investigating technical status quo and identifying current issues of inspection, assessment, and O&M for large diameter water supply pipelines for raw, treated, and industrial water transmission, and 2) establishing a R&D plan for advanced and new technologies.
Results	◦ Current domestic technology for water pipes reaches at approximately 64.4 percent with 5.2 years of technology development gap. ◦ Reviewed and evaluated current technologies used in gas, petroleum, and nuclear power plant in several categories including ⓐ pipe material, ⓑ pipe internal condition, ⓒ pre-treatment prior to in-line pipe inspection, ⓓ non-destructible test (NDT) item, and ⓔ structural condition monitoring method. As a result of evaluation, K-water initiated new technology R&D strategy which is categorized into 4 main focus areas(12 specific tasks). ① Advanced Intelligent Pipe Internal Surface NDT Technology Development, ② Advanced Intelligent Pipe Exterior Surface NDT Technology Development, ③ NDT Performance Evaluation Technology Development, ④ Structural Condition Monitoring and Advanced Failure Prediction Model Development
Expected Contribution	◦ Development of top level NDT inspection technologies for precise structural and performance assessment, structural condition monitoring, no interruption and stabilized water supply ◦ Achievement of social well-being by proactively preventing pipe failure and catastrophic disaster in high risk pipe segments using structural condition inspection and assessment ◦ Setting order of a pipe rehabilitation priority plan based on a result of a pipe life prediction model to establish strategic budgeting and reasonable policy ◦ Procuring foreign market by acquiring fundamental technology and increasing import substitution effect ◦ Promoting pipe technology industry, creating new market demand, expanding economy, and job creation◦

Keywords	Water Transmission Main	Nondestructive	Precision Diagnosis	Performance Evaluation	Structural Monitoring

< Contents >

Chapter 1 : Technology Definition and Need ····· 1

1.1 Technology Definition and Classification ····· 1

1.2 The Need of Technology Development ····· 8

Chapter 2 : Domestic and International Trends and Environment Analysis ····· 12

2.1 Policy Trends ····· 12

2.2 Market Status and Prospects ····· 35

2.3 Technical Trends ····· 60

2.4 Research Infrastructures ····· 110

Chapter 3 : Technology Demand and Level, Forecasting Analysis ····· 135

3.1 Technology Demand Investigation ····· 135

3.2 Technology Level and Forecasting Investigation ····· 143

Chapter 4 : Research Development Project Composition and Implementation Strategies ·· 189

4.1 SWOT / Issue-Tree Analysis ····· 189

4.2 Vision and Goal ····· 196

4.3 Pictures of The Future in Research Development ····· 198

4.4 Research Development Project Composition ····· 201

4.5 Focused Research Projects and Implementation Strategies ····· 224

4.6 Core Technology and TRL ····· 256

4.7 Relation Between Sub-research projects ····· 262

4.8 Annual Technology and Performance Road-map ····· 263

Chapter 5 : Pre-Validity Reviews ····· 266

5.1 Policy Validity ····· 266

5.2 Technical Validity ····· 277

5.3 Economic Validity ····· 281

5.4 Economical and Social Impacts ····· 300

Chapter 6 : Manpower Plan and Budget Estimation ····· 305

6.1 Research Fund Estimation Guidelines ····· 305

6.2 Manpower Plan in accordance with Research Schedule ····· 305

6.3 Budget Estimation ····· 308

6.4 Budget Appropriateness Review ····· 312

Chapter 7 : Request for Proposal ····· 319

Reference ····· 366

< 목 차 >

제 1 장 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
제 1 절 기술의 정의 및 분류체계 ····· 1
제 2 절 기술개발의 필요성 ····· 8

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 12
제 1 절 정책동향 ····· 12
제 2 절 시장 현황 및 전망 ····· 35
제 3 절 기술동향 분석 ····· 60
제 4 절 연구개발 인프라 분석 ····· 110

제 3 장 기술수요 및 수준 · 예측조사 ····· 135
제 1 절 기술수요조사 ····· 135
제 2 절 기술수준 및 예측조사 ····· 143

제 4 장 연구개발 과제 구성 및 추진전략 ····· 189
제 1 절 SWOT / Issue-Tree 분석 ····· 189
제 2 절 비전 및 목표 ····· 196
제 3 절 기술개발에 따른 미래상 ····· 198
제 4 절 연구개발 과제 구성 ····· 201
제 5 절 중점분야별 주요 내용 및 추진전략 ····· 224
제 6 절 핵심기술요소 및 TRL 목표 ····· 256
제 7 절 세부과제 간 연계관계 ····· 262
제 8 절 과제별.연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 263

제 5 장 사전타당성 검토 ····· 266
제 1 절 정책적 타당성 ····· 266
제 2 절 기술적 타당성 ····· 277
제 3 절 경제적 타당성 ····· 281

제 4 절 경제사회적 파급효과 ····· 300

제 6 장 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 305

제 1 절 연구비 산정기준 ····· 305

제 2 절 연구일정에 따른 인력계획 ····· 305

제 3 절 소요예산 산정 ····· 308

제 4 절 소요예산 적정성 검토 ····· 312

제 7 장 과제공모 방안 ····· 319

제 1 절 연구단 과제 제안요구서 (RFP) ····· 319

제 8 장 참고문헌 ····· 366

〈 그림 목차 〉

그림 1.1.1 관로 비파괴 정밀진단 기술의 종류 ····· 2

그림 1.2.1 20년 이상 경과관로의 비율 및 증가 추이 ····· 9
그림 1.2.2 관 파손사고에 의한 피해 ····· 9
그림 1.2.3 비파괴 정밀진단 사례 ····· 10
그림 1.2.4 관로의 구조적 상태감시 시스템 사례 ····· 10

그림 2.1.1 국민안전처 안전강화를 위한 4개 분야 8대 과제 추진 전략 ····· 13
그림 2.1.2 국토교통 R&D 중장기 전략의 4대 핵심전략 ····· 24
그림 2.1.3 지능형 인프라 자동관리 로드 맵 ····· 25
그림 2.1.4 국토교통 R&D 중장기 물관리 문야 ····· 26
그림 2.1.5 물관리사업 기술로드맵 ····· 27
그림 2.1.6 국토교통 중장기전략('14~'23)과 국토교통 주요 R&D 사업과의 연계성 ····· 29
그림 2.2.1 국내 물시장 현황 및 전망 ····· 37
그림 2.2.2 상수관로 경과년 현황 ····· 38
그림 2.2.3 관로 정비시기에 따른 비용 증가 ····· 38
그림 2.2.4 내용연수에 도달한 지방상수도 시설에 의한 사고 개연성 ····· 39
그림 2.2.5 노후상수관 개량시기지연에 따른 사업비 증가 ····· 39
그림 2.2.6 연도별 매출액 추이('12년) 및 기대성장율 ····· 44
그림 2.2.7 국내 전문서비스용 로봇 생산액 추이 ····· 44
그림 2.2.8 세계 물시장 규모 및 전망 ····· 46
그림 2.2.9 상하수도 관망 비용 규모(2014) ····· 47
그림 2.2.10 상수도관망 분야별 비용 규모(2014) ····· 48
그림 2.2.11 국가별 세계 상수도관망 시장 현황 및 전망 ····· 48
그림 2.2.12 세계 상수도관망 유지관리 시장 현황 ····· 49
그림 2.2.13 스마트 용수공급 관망시장 현황 ····· 49
그림 2.2.14 비파괴검사 서비스 시장 수익 전망 ····· 51
그림 2.2.15 세계 로봇시장 전망 ····· 52

그림 2.2.16 미국 물시장 현황 및 전망 ····· 53
그림 2.2.17 미국의 관로관리에 대한 패러다임 변화 ····· 54
그림 2.2.18 중국 물시장 현황 및 전망 ····· 54
그림 2.2.19 인도네시아 물시장 현황 및 전망 ····· 55
그림 2.2.20 필리핀 물시장 현황 및 전망 ····· 56
그림 2.2.21 베트남 물시장 현황 및 전망 ····· 56
그림 2.3.1 기존의 관 상태 직접평가 방식 ····· 61
그림 2.3.2 대규모 용수공급관로의 인력에 의한 관 외면과 내면상태 조사 전경 ····· 61
그림 2.3.3 기존 국내에 도입된 사하라 시스템 ····· 62
그림 2.3.4 한국가스공사 연구개발원의 30 in 자기누설방식 피그 ····· 63
그림 2.3.5 신규 매설관에 적용된 누수감지 기술 ····· 64
그림 2.3.6 광섬유 케이블을 이용한 온도 & 변형률 측정 ····· 65
그림 2.3.7 기존 초음파와 AE를 이용한 결함 진단 비교 ····· 65
그림 2.3.8 AE를 다양한 진단적용 분야 ····· 66
그림 2.3.9 국내 싱크홀 발생 전경 ····· 66
그림 2.3.10 캐나다 Toronto시 관로 직접평가 전경 ····· 67
그림 2.3.11 동일구간의 서로 다른 관 상태 전경 ····· 67
그림 2.3.12 유도초음파에 의한 배관 두께손실, 결함위치 등 탐상 예 (TWI Ltd) ····· 67
그림 2.3.13 BEM과 MetConTM software에 의한 실시간 두께변화 탐상 예 (Rock solid group) 68
그림 2.3.14 MFL MagneScan에 의한 배관 부식탐상 예 (GE Energy) ····· 68
그림 2.3.15 Pipecheck에 의한 부식과 기계적 손상을 보여주는 디스플레이 소프트웨어(Creaform)68
그림 2.3.16 USEPA의 주요 비파괴 탐상기술 성능평가 전경(EPA, 2012) ····· 73
그림 2.3.17 구조물에 대한 진단과 감시 기술 변화 과정 ····· 76
그림 2.3.18 구조물에 대한 상태감시 기술 발전 단계 ····· 76
그림 2.3.19 일반적인 센서네트워크 기술을 이용한 온라인 감시 시스템 ····· 77
그림 2.3.20 외국의 SHM 적용분야 ····· 78
그림 2.3.21 초음파를 이용한 모니터링 시스템 (Rightrax 사의 M2 초음파센서) ····· 79
그림 2.3.22 유도초음파를 이용한 구조적 상태감시 예(A3 Monitoring) ····· 79
그림 2.3.23 AE 기술을 이용한 관로 구조적 상태감시기술 예(A3 Monitoring) ····· 80
그림 2.3.24 비파괴 정밀진단.성능평가 분야 국가별 출원동향 ····· 93
그림 2.3.25 구조적 상태감시.예측 분야 국가별 출원동향 ····· 93
그림 2.3.26 비파괴 정밀진단.성능평가 분야 국가별 기술수명 주기 ····· 94

그림 2.3.27 구조적 상태감시.예측분야 국가별 기술수명 주기 ····· 95
그림 2.3.28 주요 출원인 특허출원 건수 동향 ····· 97
그림 2.3.29 비파괴 정밀진단.성능평가 분야 기업별 기술력 분석 결과 ····· 98
그림 2.3.30 구조적 상태감시.예측분야 기업별 기술력 분석 결과 ····· 98
그림 2.3.31 관내면 비파괴 이동탐상 진단·성능평가 기술 텍스트마이닝 결과 thermo그래프 100
그림 2.3.32 트리맵(Tree Map) 이용한 공백영역 ····· 101
그림 2.3.33 논문검색 사이트별 검색 건수 예 (nondestructive & pipe) ····· 104
그림 2.3.34 연도별 논문게재 동향 ····· 105
그림 2.3.35 국가별 논문게재 동향 ····· 105
그림 2.3.36 기관별 논문게재 동향 ····· 106
그림 2.3.37 비파괴 센서 유형별 논문게재 동향 ····· 106
그림 2.4.1 한국가스공사 연구개발원의 언피거블 자가추진형 비파괴 탐상 장비 ····· 111
그림 2.4.2 한국원자력연구원의 화력발전소 배관 비파괴 탐상 장비 ····· 111
그림 2.4.3 인디시스템의 PE관 전기융착 검사 시스템 및 정밀탐상 스캐닝 장비 ····· 113
그림 2.4.4 수자원기술(주)의 상수관로 내부 화상분석 및 진단 장비 ····· 114
그림 2.4.5 성균관대학교의 8인치, 16인치 RFECT 언피거블 기술 ····· 116
그림 2.4.6 서울과학기술대학교의 유도초음파 및 비접촉 초음파 NDE 기술 ····· 117
그림 2.4.7 부산대학교의 자기누설비파괴 검사 시스템 ····· 119
그림 2.4.8 가이드 와이어 추진방식의 EPRI Robot ····· 121
그림 2.4.9 SwRI의 RFEC ILI 장비 ····· 122
그림 2.4.10 SwRI의 corrosion rate 측정 예 ····· 122
그림 2.4.11 NRC의 Modular Autonomous underwater vehicle ····· 123
그림 2.4.12 프라운호퍼 IZFP 균열 탐상 PIG(EMAT) 센서 ····· 124
그림 2.4.13 TWI long-range testing tool ····· 124
그림 2.4.14 언피거블 ILI 장비인 PIGWaves ····· 125
그림 2.4.15 TWD GMFL ILI 장비 ····· 126
그림 2.4.16 Russell NDE System Inc의 RFT ILI 장비 (좌)소구경, (우)대구경 ····· 126
그림 2.4.17 PII Pipeline Solutions의 ILI 탐상장비 ····· 127
그림 2.4.18 NDT Systems & Services GmbH & Co. KG 의 초음파 ILI 장비와 S/W ····· 128
그림 2.4.19 ROSEN's RoCombo MFL-C/XT ····· 128
그림 2.4.20 Baker Hughes GEMINI™ high-resolution MFL and caliper ILI tool ····· 129
그림 2.4.21 Pure technologies의 누수와 비파괴 탐상 장비 ····· 130

그림 2.4.22 Smartec의 가스배관 SMARTTape 설치 전경 ····· 130
그림 2.4.23 FOX-TEK의 광섬유를 이용한 구조적 상태 감시 ····· 131

그림 3.1.1 기술수요조사 프로세스 ····· 136
그림 3.1.2 기술분야별 기술수요조사 회신결과 ····· 137
그림 3.2.1 기술수준/예측조사 프로세스 ····· 144
그림 3.2.2 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술적 실현시기 예측 결과 ····· 153
그림 3.2.3 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 154
그림 3.2.4 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술적 실현시기 예측 결과 154
그림 3.2.5 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과 155
그림 3.2.6 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술적 실현시기 예측 결과 156
그림 3.2.7 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 156
그림 3.2.8 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술적 실현시기 예측 결과 158
그림 3.2.9 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과 158
그림 3.2.10 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술수준 및 기술격차 160
그림 3.2.11 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술격차 추세 · 160
그림 3.2.12 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술수준 및 기술격차 ···· 161
그림 3.2.13 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술격차 추세 ····· 161
그림 3.2.14 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술수준 및 기술격차 ···· 162
그림 3.2.15 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술격차 추세 ····· 162
그림 3.2.16 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술수준 및 기술격차 ··· 163
그림 3.2.17 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술격차 추세 ····· 163
그림 3.2.18 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술성숙도 ····· 164
그림 3.2.19 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술성숙도 ····· 164
그림 3.2.20 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술성숙도 ····· 165
그림 3.2.21 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술성숙도 ····· 166
그림 3.2.22 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 최고기술보유국 비중 167
그림 3.2.23 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술 최고기술보유국 비중 ····· 167
그림 3.2.24 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술 최고기술보유국 비중 ····· 168

그림 3.2.25 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 최고기술보유국 비중 ····· 169
그림 3.2.26 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 성숙도(대분류) ···· 170
그림 3.2.27 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 성숙도(중분류) ···· 171
그림 3.2.28 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술획득 방식 비중 172
그림 3.2.29 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 172
그림 3.2.30 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 173
그림 3.2.31 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 174
그림 3.2.32 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 정부우선 시행방안 비중 175
그림 3.2.33 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 정부우선 시행방안 비중 · 176
그림 3.2.34 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 정부우선 시행방안 비중 · 177
그림 3.2.35 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 정부우선 시행방안 비중 178
그림 3.2.36 기술수준-중요도 포트폴리오 영역구분 ····· 179
그림 3.2.37 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오 180
그림 3.2.38 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오 181
그림 3.2.39 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술분야 기술수준-중요도 포트폴리오 182
그림 3.2.40 기술격차-격차추세 포트폴리오 영역구분 ····· 182
그림 3.2.41 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오 183
그림 3.2.42 대규모 용수공급관로 비파괴 상태평가 기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오 184
그림 3.2.43 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술분야 기술격차-격차추세 포트폴리오 185
그림 3.2.44 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 영역구분 ····· 185
그림 3.2.45 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 ····· 186
그림 3.2.46 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 ····· 187
그림 3.2.47 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 분야의 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 ····· 188

그림 4.1.1 Issue Tree ····· 195
그림 4.2.1 개발기술의 목표 및 비전 ····· 197
그림 4.4.1 정부 부처별 관련 연구수행 현황(2000~2015) ····· 202
그림 4.4.2 분야별 관련 연구수행 현황(2000~2015) ····· 203
그림 4.4.3 기획연구와의 중복성 검토 결과 ····· 203

그림 4.4.4 대규모 용수공급관로의 재질별 현황(2014 상하수도 통계) ····· 216
그림 4.4.5 대규모 용수공급관로의 관경별 분포현황(2014년도) ····· 216
그림 4.5.1 단계별 연구 목표 및 추진 내용 ····· 241
그림 4.5.2 연구단 구성 체계 ····· 242
그림 4.5.3 연구추진체계 ····· 243
그림 4.5.4 기술개발에 따른 기술적 기대효과 ····· 248
그림 4.5.5 기술개발에 따른 경제적 기대효과 ····· 249
그림 4.8.1 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발 TRM ····· 263
그림 4.8.2 관외면 비파괴 정밀진단 자동화 기술 개발 TRM ····· 263
그림 4.8.3 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발 TRM ····· 264
그림 4.8.4 구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발 TRM ····· 264
그림 4.8.5 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시시스템 개발 TRM265

그림 5.1.1 국가환경종합계획과 타 환경계획간 관계 ····· 266
그림 5.1.2 수도의 정비에 관한 기본방향 ····· 270
그림 5.1.3 기획연구 비전과 목표 ····· 277
그림 5.1.4 본 기획의 목표달성을 위한 중점추진 분야 ····· 278
그림 5.1.5 본 기획의 중점추진 분야 TRM ····· 280
그림 5.3.1 순현재가치법의 기본개념 ····· 283
그림 5.3.2 본 개발기술의 개발 편익 구성 ····· 290
그림 5.3.3 노후관 개량시 잔존 수명 연장 기대에 대한 개념도 ····· 295

그림 6.3.1 중점분야별 연구개발비 ····· 313
그림 6.3.2 비목별 예산 구성비 ····· 313
그림 6.3.3 중점분야 1의 연차별 소요예산 ····· 314
그림 6.3.4 중점분야 1의 비목별 소요예산 ····· 314
그림 6.3.5 중점분야 2의 연차별 소요예산 ····· 315
그림 6.3.6 중점분야 2의 비목별 소요예산 ····· 315
그림 6.3.7 중점분야 3의 연차별 소요예산 ····· 316
그림 6.3.8 중점분야 3의 비목별 소요예산 ····· 316
그림 6.3.9 중점분야 4의 연차별 소요예산 ····· 317
그림 6.3.10 중점분야 4의 비목별 소요예산 ····· 317

〈 표 목차 〉

표 1.1.1 기획연구의 기술 분류 ····· 4

표 2.1.1 정밀안전진단 대상 1,2종 시설물(발췌) ····· 15
표 2.1.2 정밀안전진단과 상수도관망 기술진단 비교 ····· 16
표 2.1.3 시설물 안전 및 유지관리 분야 지능형 기술수준 비교 ····· 18
표 2.1.4 162개 수도사업자 최근 6년간 관망기술진단 실시율 ····· 20
표 2.2.1 장래 노후관 비율 전망 ····· 37
표 2.2.2 관로 안정화계획 연차별 투자계획 ····· 38
표 2.2.3 사업대상 및 소요사업비 현황 ····· 40
표 2.2.4 기시행 정밀안전진단 관로분야 진단비 현황 (예시) ····· 41
표 2.2.5 상수관망 기술진단 규모 ····· 42
표 2.2.6 2012년 인력규모별 신고업체 현황(한국엔지니어링협회, 2013) ····· 43
표 2.2.7 업종별 세계 물시장 규모(2013) ····· 47
표 2.2.8 분야별 세계 물시장 규모(2013) ····· 47
표 2.2.9 상수도관망 자본투자비(2011~2018) ····· 50
표 2.2.10 세계 10대 도시 상수도관망 시장(2011~2018) ····· 50
표 2.3.1 국내에 도입 또는 개발 중인 관로 감시기술 현황 ····· 64
표 2.3.2 해외 최신 주요 배관 적용 비파괴 탐상기술 ····· 69
표 2.3.3 관내면 비파괴 In-line 탐상장치 유형 ····· 70
표 2.3.4 비파괴 외면 탐상장치 유형 ····· 72
표 2.3.5 해외 수도시설 비파괴 적용과 활용영역 ····· 73
표 2.3.6 주요 비파괴 탐상기술 성능비교(EPA, 2012) ····· 74
표 2.3.7 주요 비파괴 탐상기술의 배관내부 환경에 대한 성능 검토(EPRI) ····· 75
표 2.3.8 대표적인 관로 구조적 모니터링 기술 현황 ····· 80
표 2.3.9 관로 구조적 감시와 모니터링 기술 적합성 분석결과 (Reed 등, 2004) ····· 81
표 2.3.10 가스, 송유, 용수공급관로의 비교를 통한 기술개발 방향 설정 ····· 87
표 2.3.11 검색수식 vs 국가별 특허출원 건수 ····· 91
표 2.3.12 분석대상 기술의 기술 등급별 출원 건수 ····· 92
표 2.3.13 국가별/기술별 주요 출원인 현황 ····· 96

표 2.3.14 비파괴 면적 스캐닝을 통한 관로 진단·평가 중심의 기술분석 결과 ····· 99
표 2.3.15 공백영역 내 주요 키워드를 이용한 선행특허 검색결과 목록 ····· 102
표 2.3.16 자율주행 진단·성능평가 기술의 매트릭스 분석 결과 ····· 103
표 2.3.17 논문검색 수식 ····· 104
표 2.4.1 국내 주요 비파괴, 구조 감시 관련 업체 주요 보유기술 현황 ····· 114
표 2.4.2 해외 주요 대학 R&D 영역과 수행 프로젝트 ····· 132

표 3.1.1 기술수요조사 발송 및 응답개요 ····· 137
표 3.1.2 기술분야별 기술아이템 ····· 139
표 3.1.3 기술분야별 확정 기술아이템 ····· 142
표 3.2.1 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요 ····· 145
표 3.2.2 기술수준 평가 기준 ····· 145
표 3.2.3 기술격차추세 평가 기준 ····· 146
표 3.2.4 기술성숙도(TRL) 평가 기준 ····· 146
표 3.2.5 기술기반 성숙도 평가 기준 ····· 147
표 3.2.6 기술 핵심성 평가 기준 ····· 147
표 3.2.7 시급성 평가 기준 ····· 148
표 3.2.8 과학기술적 파급효과 평가 기준 ····· 148
표 3.2.9 기술획득방식 조사 항목 ····· 149
표 3.2.10 정부우선 시행방안 조사 항목 ····· 149
표 3.2.11 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 실현시기 ····· 155
표 3.2.12 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 실현시기 ····· 157
표 3.2.13 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 실현시기 ····· 159
표 3.2.14 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 최고기술보유국 조사결과 ·· 168
표 3.2.15 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 최고기술보유국 조사결과 ·· 169
표 3.2.16 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 최고기술보유국 조사결과 · 170
표 3.2.17 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술획득 방식 조사결과 ···· 173
표 3.2.18 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술획득 방식 조사결과 ···· 174
표 3.2.19 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술획득 방식 조사결과 ··· 175
표 3.2.20 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 정부우선 시행방안 조사결과 176
표 3.2.21 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 정부우선 시행방안 조사결과 177
표 3.2.22 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 정부우선 시행방안 조사결과 178

표 4.2.1 단계별 목표 및 추진내용 ····· 198
표 4.3.1 Smart SCM기반 선제적 재난·재해 방지 ····· 199
표 4.4.1 후보과제 목록 ····· 201
표 4.4.2 후보과제의 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과) ····· 204
표 4.4.3 후보과제의 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과) ····· 209
표 4.4.4 최근 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과) ····· 210
표 4.4.5 후보과제 우선순위 산정 평가표 ····· 213
표 4.4.6 연구개발 과제 구성(안) ····· 214
표 4.4.7 첨단지능형 비파괴 ILI(In-line inspection) 이동체 개발방향 ····· 218
표 4.5.1 국토교통부 연구개발사업 운영규정의 과제분류 체계 ····· 242

표 5.1.1 27개 기후변화 적응 유망산업 ····· 268
표 5.1.2 사업계획 총괄 ····· 271
표 5.1.3 국토교통부 소관 부문별 세출예산 중 수자원 부문 ····· 272
표 5.1.4 환경부 2015년도 상수도분야 예산현황 ····· 273
표 5.3.1 경제성 평가지표의 특징 ····· 282
표 5.3.2 예비타당성조사 수자원부문 편익항목 및 산출방식 ····· 284
표 5.3.3 편익추정법의 분류 ····· 286
표 5.3.4 연차별 연구개발비 ····· 291
표 5.3.5 연차별 운영시스템 설치비 ····· 291
표 5.3.6 정밀점검 및 정밀안전진단의 실시 주기 ····· 293
표 5.3.7 누수탐사절감비용 산정 ····· 294
표 5.3.8 도송수관 관로교체연장(2014년) ····· 295
표 5.3.9 관로부설단가(강관 1,000mm일 경우) ····· 296
표 5.3.10 비용-편익 비율 도출 ····· 299
표 5.3.11 생산유발효과 산출 값 ····· 301
표 5.3.12 부가가치유발액 산출 값 ····· 302
표 5.3.13 고용유발효과 산출 값 ····· 303
표 5.3.14 파급효과 ····· 304

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

가. 대규모 용수공급관로

□ **용수공급관로**는 **원수, 수돗물, 공업용수**를 수처리시설 및 수용가, 산업단지에 공급하기 위해 매설된 관로로 **도수, 송수, 공업용수(산업용수 등), 농업용수 등**

□ 다만 본 기획과제에서 **대규모 용수공급관로**라 함은 **배수지 이후의 배수본관, 배수지관, 급수관을 제외한 도·송수·공업용수관로를 의미**하며, **단선관로이면서 사고발생시 면적·공간적 피해 규모가 큰 관로**를 의미

- **시설물의 안전관리에 관한 특별법** "제7조에 해당하는 **1종 시설물**로서 안전점검 및 정밀안전진단 지침"에 따라 **정기적으로 정밀안전진단 수행이 필요한 시설**로서, 대부분 도수, 송수, 공업용수가 1종 시설물에 해당

□ 2014년도 환경부 상수도통계에 따르면, **국내 수도관 총 연장은 185,778 km**이며, 이중 지자체가 관리하는 지방상수도가 180,688 km(97.2%), K-water가 관리하는 광역상수도 관로가 5,090 km(2.8%) 전 국토에 매설되어 있음

- 이 가운데 도수, 송수, 공업용수 등 **대규모 용수공급관로의 연장은 14,356 km**로 **사고발생시 시, 군, 전체 산업단지의 용수공급 불가로 국가적 재난재해가 발생**될 수 있음

  * 2012년 구미 도수관로 파손으로 구미시 전체의 용수공급 중단된 사례가 있음

□ 대규모 용수공급관로의 **관 재질**로서는 **주철관종 또는 강관**이 주로 사용되고 있음

나. 비파괴 정밀진단

□ 일반적으로 비파괴 정밀진단은 조사대상 **물체에 대하여 파괴하지 않고, 직접조사 수준으로 그 손상이나 결함 등을 정량적으로 파악할 수 있는 기술을 의미**

- 관로의 두께변화(부식 등), 결함(void 등), 균열(crack) 등을 탐상하는 대표적인 비파괴

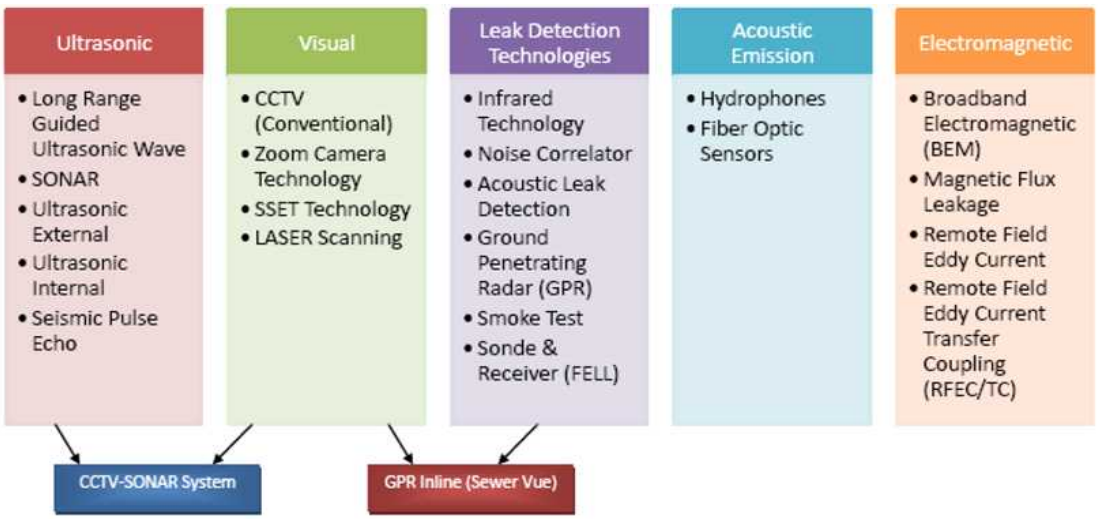
기술(Non-destructive technology(NDT))로는 초음파, 전자기장, 방사선 등이 있음

* 일반적인 액체침투법, 자기탐상법, 초음파검사법, 음향방사법, 음향충격법, 방사선투과법, 와전류탐상법, 열탐상법, 홀로그래피기술 등이 비파괴 기술에 해당

- 관로에 구멍(hole)이나 균열 등으로 누수가 발생되는 경우 이를 탐지하는데 사용되는 기술들이 비파괴 기술로 현재는 누수 탐사기술(leakage detection technologies)로 분류되고 있으며, 누수 이전 균열의 시작(initiation)과 진척(propagation)을 파악할 수 있는 음향방출(acoustic emission) 기술 등은 구조적인 상태감시 분야에 적용되고 있음

- 인간의 눈을 대신하여 관로 내부의 다양한 상태(슬라임, 녹 발생, 도장재 박리, 변형 등)를 조사하는 기술은 육안분석 기술(visual technology)로서 현재는 단순한 CCTV를 벗어나 수중음파탐지기(sonar) 또는 레이저를 활용하여 관 내부의 단면을 촬영하는 수준까지 가능

□ 최근 이러한 기술들은 **하나의 센서(프로브 또는 탐촉자)로 관로의 일부분을 점적, 면적으로 scanning하거나 다양한 이동장비에 탑재한 형태의 인라인(in-line) 탐상장비로** 관로 구간 **전체를 탐상하여 조사된 결과를 3차원으로 이미지화**하여 관로상태를 한 눈에 들여다보고 그 상태를 정량적으로 파악할 수 있는 기술수준에 도달하고 있음



▌그림 1.1.1 관로 비파괴 정밀진단 기술의 종류▐

다. 성능평가

□ 성능평가(performance evaluation)는 **사물이나 대상이 어떠한 수준이나 상태에 도달하였는지를 파악**하여 그 **수준이나 상태 또는 기능을 원래 상태로 되돌리기 위한 대안을 도출하기 위한** 것으로,

* 일반적인 성능의 의미는 사용목적을 수행하기 위해 갖추어야 할 성질 또는 기능을 말함

□ 본 기획에서의 성능평가라 함은 **비파괴 정밀진단을 통하여 확보된 정량적 분석결과를 기반**으로 그 외 해당 대규모 용수공급관로의 운영과 매설환경 등이 종합적으로 고려된 일련의 절차, 방법, 기준, 알고리즘, 의사결정과정을 통하여 **대규모 용수공급관로의 상태에 따라 수리, 수질, 구조적인 기능을 복원하기 위한 개량방안(계속사용, 보수, 보강, 교체 등)에 대한 solution을 제공**하는 것을 의미

라. 운영감시 시스템

□ 본 기획에서 운영감시 시스템은 기존의 수질, 수압, 유량 등 수질·수리적 운영 상태를 감시하는 것이 아니라, 대규모 용수공급관로의 **구조적 상태(structural condition)를 실시간으로 감시하여 파손에 대한 위험성을 사고발생 이전에 예측하여 선제적으로 대응함으로서 사고를 미연에 방지할 수 있는 시스템**을 의미

2. 기술의 분류체계

□ 본 기획과제에서 추진하고 있는 **대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시시스템** 개발 기획 연구의 **기술 분류**를 나타내면 다음 표 1.1.1과 같음

▌표 1.1.1 기획연구의 기술 분류▐

대분류	중분류	소분류
대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술	▪ 관 내면 비파괴 탐상 기술 ※ 관 내부에서 접근하는 기술	- 관 내면 비파괴 진단 센서 기술
		- 데이터 처리 기술
		- 3차원 영상화 분석 기술
	▪ 관 외면 비파괴 탐상 기술 ※ 관 외부에서 접근하는 기술	- 관 외면 비파괴 진단 센서 기술
		- 데이터 처리 기술
		- 3차원 영상화 분석 기술
	▪ 관로 이동장비 기술	- 관로 내부 이동장비 제작 기술
		- 관로 내부 이동장비 투입, 회수 기술
		- 관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술
		- 관로 외부 이동장비 제작 기술
대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술	▪ 비파괴 구조해석 평가기술	- 구조적 안전성 해석 기술
		- 구조적 파손 위험도 평가 기술
	▪ 물리적 잔존수명 예측 기술	- 물리적 잔존수명 예측 기술
	▪ 종합적 비파괴 성능평가 시스템	- 비파괴 진단평가 표준 가이드라인
		- 비파괴 종합 개량의사 결정 기술
		- 비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축(시범사업)
대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술	▪ 실시간 구조적 상태 감시 기술	- 구조적 상태 감시센서 기술
		- 센서네트워크 기반 온라인 감시 기술
		- 원거리 감시기술
		- 지중 매설환경 모니터링 기술
	▪ 실시간 구조적 파손 예측 기술	- 상태변화에 따른 구조적 해석 기술
		- 물리적 파손위험 예측 기술
	▪ 실시간 구조적 상태 통합관리 기술	- 구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술
		- 구조적 감시 통합관리 시스템

3. 기술의 내용

가. 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단 기술

□ 관내면 비파괴 탐상 기술

○ 관내면 비파괴 진단 센서 기술

- **관 내면에 배치된 센서를** 이용하여 **관의 상태**(관 두께변화(손실), 균열, 결함 등)**를 면적 scanning하여 진단할 수 있는 multi-sensor, 신호 처리 및 해석 기술**

* multi sensor는 다양한 종류의 센서들이 모듈화된 센서를 의미

○ 데이터 처리 기술

- **관내면 비파괴 탐상**으로 발생되는 **측정신호를 센서에서 송신하고, 송신된 신호를 수신받기 위한 기술**

○ 3차원 영상화 분석 기술

- 장거리 비파괴 탐상에 따른 **상태진단 결과를 3차원으로 이미지화하여 관 모체(pipe wall)의 상태를 정량화할 수 있는 기술**

□ 관외면 비파괴 탐상 기술

* 관 외부에 장비를 배치하여 탐상하는 기술

○ 관외면 비파괴 진단 센서 기술

- **관외면에 배치된 센서를** 이용하여 관 두께변화(손실), 균열, 결함 등을 **탐상할 수 있는 multi-sensor, 신호처리, 해석기술**

○ 데이터 처리 기술

- **관외면 비파괴 탐상**에 따라 발생되는 **측정신호를 센서에서 송신하고, 송신된 신호를 수신받기 위한 기술**

○ 3차원 영상화 분석 기술

- **관외면 비파괴 탐상**에 따른 **상태진단 결과를 3차원으로 이미지화**하여 관 모체의 상태를 정량화할 수 있는 기술

□ 관로 이동장비 기술

○ 관로 내부 이동장비 제작 기술

- **관 내부에 배치**하여 **유체흐름**에 따라 관로를 유영, 이동(유동저항과 수질영향 최소화)하면서 관로 내부를 탐상하거나 또는 **자율주행 형태로** 무인 원격조정에 의해 이동하면서 **관로 내부를 탐상할 수 있는 이동체 제작 기술**

○ 관로 내부 이동장비 투입 및 회수 기술

- **단수시 또는 무단수시의** 환경에서 관 내부 비파괴 탐상을 위해 **이동체를 관로 내부에 투입·배치하고, 탐상 후 이동체를 회수하는 기술**

○ 관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술

- **단수시 또는 무단수시** 환경에서 장비 고장 등으로 발생할 수 있는 다양한 **비상상황에 유연하게 대응할 수 있는 방안과 이를 해결하기 위한 기술**

○ 관로 외부 이동장비 제작 기술

- **관 외부에 배치**하여 관의 상태를 원주방향 또는 축방향으로 **자동으로 이동하면서 탐상할 수 있는 무인이동체 제작 기술**

나. 대규모 용수공급관로의 비파괴 종합적 성능평가 기술

□ 비파괴 구조 해석 및 평가 기술

○ 구조적 안전성 해석 기술

- **관외면 또는 장거리의 관내면을 면적으로 scanning한 비파괴 탐상결과**를 토대로, 운영, 매설환경 등을 종합적으로 고려한 **구조적 해석과 3차원으로 그래픽화하여 표출하는 기술**

○ 구조적 파손 위험도 평가 기술

- 구조적 해석결과를 토대로 **관의 손상(두께변화, 균열, 결함 등) 정도에 따라 관로의 구조적인 파손위험성을 평가할 수 있는 기술**

□ 물리적 잔존수명 예측 기술

○ 물리적 잔존수명 예측 기술

- 관외면 또는 장거리의 관내면 **비파괴 탐상 결과와 매설·운영환경 등을** 종합적으로

고려한 물리적 상태변화 예측(구조적인 안전성 변화 예측)으로 **잔존수명을 예측할 수 있는 기술**

□ 종합적 비파괴 성능평가 시스템

○ 비파괴 진단평가 표준 가이드라인

- **관외면 또는 관내면 장거리 탐상** 절차, 방법, 기준, 데이터 처리 등의 내용을 포함하는 **표준 가이드라인**

○ 비파괴 종합 개량의사 결정 기술

- 비파괴 탐상을 통하여 취득된 정보와 평가결과를 종합하여, **관의 상태에 따라 개량 방안을 결정하기 위한 절차, 방법, 기준, 프로그램 등**

○ 비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축

- 대규모 용수공급관로에 대한 **장거리 성능검증을 위한 테스트베드를 구축**하고, **개발된 각각의 기술들을 적용하여 효과, 성능, 신뢰성 등을 검증**

라. 대규모 용수공급관로의 구조적 상태감시·예측기술

□ 실시간 구조적 상태 감시 기술

○ 구조적 상태 감시센서 기술

- **기존(노후)관, 취약매설구간(하천, 교량, 철도 등 횡단구간), 밸브실 등의 노출관 감시를 위한** 다양한 상태감시 센서(초음파, 유도초음파, 가속도계, 광섬유, LVDT, 가속도계 등), 감시지점 위치선정, 우선순위, 감시방법(광역적, 국부적 모니터링 등) 등의 **요소기술**

○ 센서네트워크 기반 온라인 감시 기술

- **센서 무선 송수신 네트워킹 기술** (중/장거리 송신, 동기화, 무선 데이터 전송 등)

○ 원거리 감시기술

- **드론 등 항공기술과 융합**하여 원거리 상으로 **관의 상태를 감시하여 조기에 관의 구조적인 파손(누수 등)을 인지**할 수 있는 센서(열적외성 등), 드론 운영기술, 통신기술, 이미지 영상화 기술 등

○ 지중 매설환경 모니터링 기술

- 다양한 **지중 매설환경 변화(지진, 슬라이딩, 싱크홀 등)가 관의 구조적인 상태에 미치**

는 영향을 실시간으로 감시를 통하여 탐지하고, **구조적인 안전성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 대응할 수 있는 감시방법과 평가기술**

□ 실시간 구조적 파손 예측 기술

○ 상태변화에 따른 구조적 해석 기술

- **실시간 구조적 상태감시**(부식, 응력, 변위, 균열 등)를 통해 **수집된 빅데이터를 수집, 관리, 분석**하고, 운영매설환경을 고려한 **구조적인 해석을 할 수 있는 기술**

○ 물리적 파손위험 예측 기술

- **상태변화에 따른 구조적 해석을 통하여** 구조적인 **파손을 예측할 수 있는 기술**

□ 실시간 구조적 상태 통합관리 기술

○ 구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술

- 실시간 감시 데이터 저장, 관리, 이상변화와 **상태변화에 따른 실시간 신호 검출, 해석, 노이즈(noise), 오탐처리 등 요소기술**

○ 구조적 감시 통합관리 시스템

- **실시간 구조적 상태감시(H/W)와 예측(S/W) 통합 시스템 구축**하고 **운영과 관리를 위한 기술**

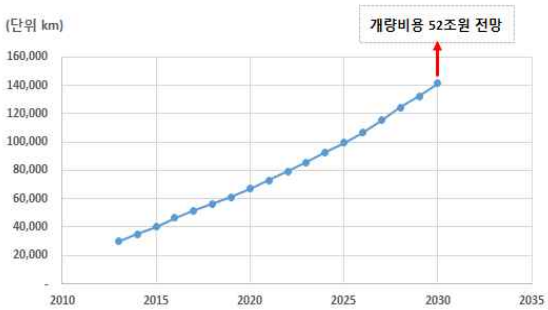
제 2 절 기술개발의 필요성

□ **(노후관의 급격한 증가)** 취·도·송수관로, 공업용수관로 등 **대규모 용수공급관로의 노후화**로 인해 **시설유지관리 비용과 수도사고의 위험성 증가**

- 전체 용수공급관로 중 21년 이상 경과 관로 27.8%, 광역상수도의 경우 2005년 대비 관로 연장은 35.0% 증가하였으며, 이중 20년 이상 경과관의 비율도 8.1% 증가(16.8→24.9%)

- 2030년 노후관로 개량비용으로 52조원이 필요할 전망(한국환경공단, 2015)

관종	전국평균	특·광역시	시·군	광역
도수관	52%	70%	53%	47%
송수관	33%	46%	36%	21%
배수관	26%	42%	19%	-
급수관	36%	40%	35%	-



▌그림 1.2.1 20년 이상 경과관로의 비율 및 증가 추이▐

- 대부분의 대규모 용수공급관로는 **단일 계통으로 사고발생시 용수공급 중단에 따른 피해규모가 막대하므로 체계적인 진단 및 구조적 감시를 통한 예방적 관리가 중요**

- 대규모 용수공급관로의 사고는 재해.재난 수준의 피해를 발생시키기 때문에 미국, 유럽 등 **기술선진국에서는 정확한 진단·감시를 통해 사고를 사전예방**



▌그림 1.2.2 관 파손사고에 의한 피해▐

□ **(기존 진단기술의 한계)** 정량적 관 상태파악 기술 및 이를 통한 **과학적인 노후관로 개·대체 의사결정 체계 미흡**

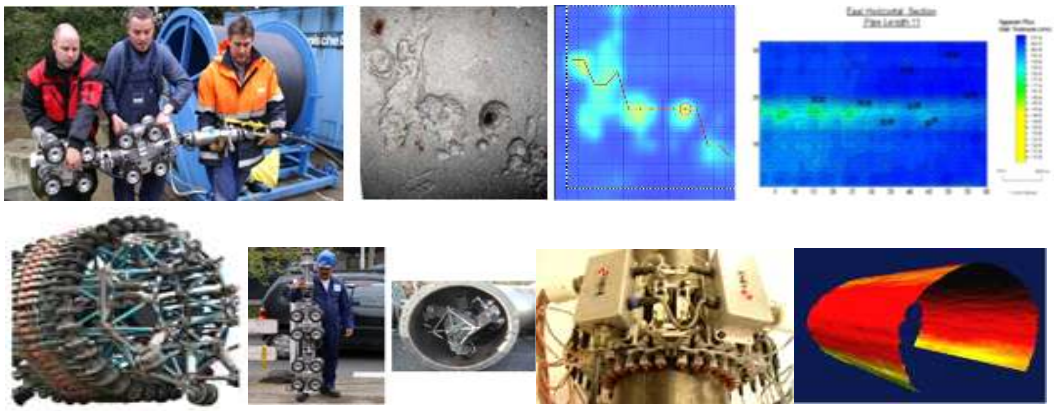
- 현 진단기술은 경과년수, 매설환경 등 관 상태 영향인자 및 수리/수질, 민원 등 운영상태를 고려한 간접상태평가, 또는 굴착.샘플조사에 의한 직접평가로 이루어지고 있으나 **단수수반, 고비용, 시간지체, 샘플조사의 대표성 문제 등 실질적인 관 상태 파악에는 한계**가 있음

- 직접평가 대안으로 활용되는 **비파괴 장비의 경우 해외 의존도가 높아** 유지관리가 어렵고, 또 탐상절차, 자료해석 등에 대한 표준화가 이루어지지 않아 **결과의 신뢰도가 부족**한 실정 임

- 최근 캐나다 Pure사의 SAHARA 장비와 같은 누수탐지, 관로위치 판별, 취약구간 관리

등 관로비파괴 진단기술이 국내에 도입.적용되고 있으나, 부식으로 인한 관 두께손실(금속손실) 등과 같은 관체 진단 기능은 부족한 상태로 개·대체 의사결정을 위한 구조적 상태는 진단이 불가능

- 미국, 유럽 등 관련 **기술 선도국에서는 장거리 비파괴 면적탐상을 통해, 관 상태를 영상화하여 관 상태를 정량적으로 평가하여 평가결과에 따라 개량사업을 추진**하고 있음



▌그림 1.2.3 비파괴 정밀진단 사례▐

□ **(예방적 관리체계 필요)** 시설노후, 싱크홀, 기후변화, 지진 등 **관로사고 위험의 증가로 사전 예방적인 구조적 감시체계 및 개량계획 수립의 중요성 증가**

- Smart City사업 등과 관련하여 **신규/기존 시설물의 구조적 안전성 확보 및 강화를 위한 실시간 SHM(Structural Health Monitoring) 기술의 적용사례가 증가**하는 추세

* 비파괴 기술 중심의 구조적 감시기술 첨단화로 예방적 감시기술 확대적용 중

- 특히 **현재 국내는 최근의 후진국형 대형사고들로 인하여 국민적 합의를 통해 국가안전처를 신설('14.11.19)하였으며, 전국적으로 재난으로부터 안전한 사회에 대한 국민적 요구가 크게 확산**되고 있는 추세



▌그림 1.2.4 관로의 구조적 상태감시 시스템 사례▐

□ **(해외기술 선점을 위한 미래기술 확보) 블루골드**라 불리는 **미래 물 시장 개척을 위한 선제적 기술 개발**로 **해외시장 견인과 활성화 주도 필요**

- 향후의 **물산업은 시설 유지관리 시장의 비중이 확대될 것으로 전망되고 있음**에 따라 확보된 기술을 통해 **국내 기업의 해외 물산업 진출견인 및 활성화 가능**

- 자료(SAM 보고서, 2007)에 따르면, 전 세계적으로 **상수도관로의 유지관리와 신설에 약 65 조원이 사용**되고 있으며, **운영비는 100조원 규모로 추산되고 있으며, 2016년도에는 약 2배에 이들 것으로 추정**

- **세계 NDT 진단장비 시장**은 '10년 미국이 30억달러 규모로 가장 큰 시장이며, **세계시장 규모는 50억달러 이상으로 추정**되며, **연평균 6%의 성장**을 보이고 있음

* 관련 산업의 부가가치생산액(기술용역수요 포함)은 연간 100억 달러를 넘을 것으로 추정되며, 중국, 인도의 산업화와 동남아 국가의 경제개발 계획에 따라 아시아 지역에서의 비파괴 정밀진단 장비 시장이 팽창하고 있음

제 2 장 국내외 동향 및 환경 분석

제 1 절 정책동향

1. 국내 정책동향

가. 정부 정책 기조

(1) 현 정부의 5대 국정목표 "안전과 통합의 사회"

□ **현 정부의 5대 국정목표**는 ① 일자리 중심의 창조경제 ② 맞춤형 고용·복지 ③ 창의 교육과 문화가 있는 삶 ④ 안전과 통합의 사회 ⑤ 행복한 통일시대의 기반구축 등으로 이중 **국민행복을 위해서는 안전을 위한 다양한 정책 추진 피력**

□ IT, NT 등 첨단기술을 활용한 예방 중심의 과학적 재난관리체제 구축 강조

- 천재지변이나 대형인재가 나지 않도록 미리 예방하고, 불가피한 재해나 **사건사고가 발생하더라도 피해를 최소화할 수 있는 시스템 구축 필요**

* 태풍 및 집중호우 등 자연재난으로 인적 피해와 물적 피해가 지속적으로 발생, 화재 및 붕괴, 폭발, 환경오염사고 등으로 인한 피해가 지난 3년 간 발생건수 113만건, 사망자 2만8천여명에 달함

(2) 재난관리시스템 기능 통합을 위한 정부 구조 개편

□ 국내 **후진국형 대형사고 반복 발생에 따른 재난안전 관리 체계 전면 개편**

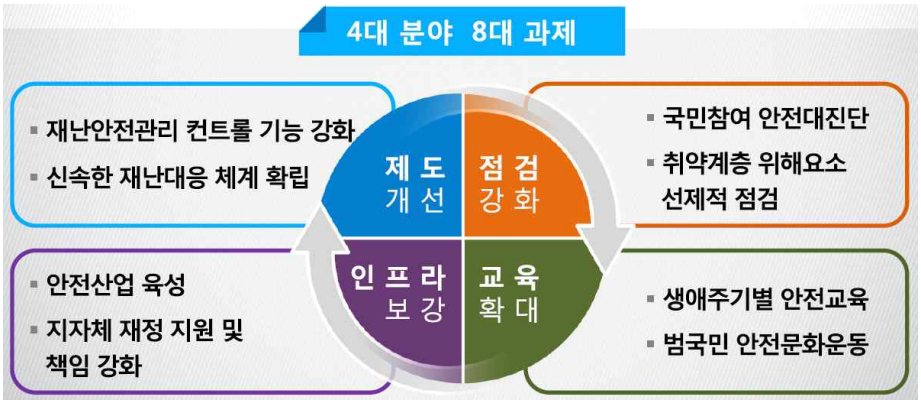
- 대국민 담화('14.5.19), 국민적 합의를 통해 「국민안전처」신설('14.11.19)

□ 안전강화를 위해 4대 분야 8대 과제 추진 수립

- 진단주체별, 3단계 안전점검 실시 강화(연중), 자체점검, 민관합동점검, 정밀안전점검 등

* 14년 점검결과, 총 55,848건 지적, 43,901건 조치(79%)

- 빅데이터분석, 안전재정 전략적 투자 도모



▌그림 2.1.1 국민안전처 안전강화를 위한 4개 분야 8대 과제 추진 전략▐

□ 안전산업 적극 육성 및 강화, 재난용 무인로봇, 고성능 센서 등 **ICT 융·복합 신기술 개발 추진 등으로 재난예방체계 강화**

(3) 범정부적 산업기반 시설의 비파괴 기술 진흥 강화 추진

□ **범정부**(과학기술부, 산업자원부, 노동부, 행정자치부, 건설교통부)**적 비파괴검사기술 진흥계획 수립 추진**(2006.12)

- 국민의 안전욕구가 증대하고 산업경제가 고도화됨에 따라 **공공의 안전성과 신뢰성 향상을 위한 비파괴검사기술의 중요성이 부각**

*** 안전진단 및 사고 예방 등 공공의 안전과 품질향상을 보장하기 위해서는 비파괴검사의 선진기술력 확보와 활용 촉진이 핵심**

□ 선진국에서는 안전진단분야의 시장규모와 산업적 활용이 증대함에 따라 첨단 비파괴검사기술개발에 주력하고 있으나, 우리나라는 기술과 장비의 해외의존도가 높고 관련 산업이 취약한 실정임

- 미국, 일본, 유럽 등에서는 산업계와 학계를 중심으로 **IT, BT 등 융합형 원천/응용기술 및 검사기법개발과 산업적 활용이 매우 활발**함

□ 우리나라는 1980년대에 기술이전이 시작되었으며 아직은 기술수준과 산업적 활용이 낮은 수준으로 비파괴검사기술 진흥을 위한 체계적인 관리 및 육성이 필요한 실정

- 정부는 비파괴검사기술의 진흥을 위해 '05년 3월「비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률」을 제정하여 「비파괴검사기술 진흥계획」을 수립, 추진

□ 특히 **NDT장비는 전자화, 디지털화, 영상화, 지능화되어 가고 있는 추세**이므로 국내의 IT산업과 연계한 융합형 발전이 필요

□ 국내 비파괴검사는 교육과학기술부, 지식경제부, 국토해양부 등 8개 부처의 20여개 관계법령에서 비파괴검사의 적용방법, 범위 및 기준 등에 대해 기술기준을 정하고 있음

- 한국산업규격인 KS code로 구체적인 검사방법과 절차, 세부적인 판정기준 등을 규정하고 있어, 등록 및 신고기준 등을 규정하는 여러 관계법령의 현황을 조사·분석하고 활용적 측면에서 불합리한 사항을 개선해 나가도록 제도개선방안을 도출하여 산업적 활용을 넓히는 방안을 강구할 필요가 있음

(4) 범정부 차원의 각 산업분야의 지능형 로봇 등 기술 발전 시책 수립 · 추진

- 교육과학기술부, 지식경제부, 국토해양부, 소방방재청 등 5개부서 3개청의 지능형 로봇 기본계획(안) 수립(2009.4.17)을 통하여 지능형 로봇의 개발 및 보급을 촉진하고, 그 기반을 조성하여 **지능형 로봇 산업의 지속적 발전을 위한 시책을 수립·추진 중**

- 지능형로봇은 국민소득 4만 달러 시대를 선도할 미래 핵심 성장 동력임

- 산업사회에서 지식기반사회로 발전함에 따라, 로봇은 **단순노동대체 수단에서 인간과 공존하는 서비스 실현 수단으로 진화 중**

나. 시설물 관리제도

□ 수도시설중 **도·송수관로에 대한 진단업무**는 **"정밀안전진단(시특법)"과 "상수도관망 기술진단(수도법)"**으로 **시행**

- 1970년대~1980년대에 건설된 상수도 시설은 경년열화 등으로 재정비시기에 접어듦
- 상수도시설의 관리상태 점검 필요 → **5년마다 운영 및 시설의 관리상태 점검**제도화
- 상하수도시설의 돌발적인 사고, 고장 → 사회생활 및 경제활동의 영향 최소화 필요

□ **1, 2종 시설물에 대한 정밀점검 및 정밀안전진단의 실시**는 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제6조 및 제7조에 의한 것으로 **시설물의 기능과 안전을 유지하고 재해 및 재난의 예방을 목적**으로 수행되고 있음

- **완공 후 10년이 경과된 1종 시설물에 대해서 5년마다 1회 이상 실시**(시특법 시행령

제9조)

- 결함부위 조사를 위한 근접점검(정밀 육안검사 및 검사측정장비)과 **노후화 또는 손상 정도에 따라 구조물의 성능이나 잔존수명을 평가하기 위한 안전성 평가항목 포함**

▌표 2.1.1 정밀안전진단 대상 1,2종 시설물(발췌) ▌

구분	1종 시설물	2종 시설물
상하수도 시설	- 광역상수도(수원지시설을 포함한다) - 공업용수도(수원지시설을 포함한다) - 1일공급능력 3만톤 이상의 지방 상수도(수원지시설을 포함한다)	- 1종시설물에 해당하지 아니하는 지방상수도 - 하수처리장

□ **상수도관망 기술진단**에서는 수도사업자는 수도시설 관리상태 점검을 위해 **5년마다 정수장, 상수도 관망 등 수도시설에 대한 기술진단을 실시하고 종합개선계획을 수립하도록 의무화**(수도법 제74조, 2005년 12월 수도법 개정)하고 있음

- 수도법 제74조『수도시설에 대한 기술진단 등』의 의무화
- 정수장 및 상수도관망 등의 기술진단을 매 5년마다 실시하도록 규정
- 2006년 6월 수도법 시행규칙 개정

<수도법 시행규칙 제29조(상수도관망에 대한 기술진단의 범위 및 내용 등)>

제27조 제2호에 따른 상수도관망의 기술진단은 그 수준에 따라 다음 각 호와 같이 구분한다.

1. 일반기술진단 : 군 단위 이하의 급수구역에 공급되는 상수도관망에 대한 기술진단
2. 전문기술진단 : 시 단위 이상의 급수구역에 공급되는 상수도관망에 대한 기술진단

▌표 2.1.2 정밀안전진단과 상수도관망 기술진단 비교▐

구 분	정밀안전진단(관로부문)	상수도관망 기술진단
시행근거	- 시특법 제7조 및 시행령 제9조 - 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토부) / 세부지침 (국토부, 시안공) - 안전점검 및 정밀안전진단 대가기준(시안공)	- 수도법 제74조 및 시행규칙 제29조 - 상수도관망의 기술진단 범위 및 시행방법 등에 대한 고시(환경부) - 도송수관로 진단가이드북(k-water)
시행목적	- 안전성평가 및 시설물 재해예방	- 상수관망 성능 및 기능개선
대상시설	- 완공 후 10년이 경과한 1종시설물 - 취수시설, 취수장, 정수시설, 도송수관로, 정수시설, 가압장, 배수지・조절지 : 광역상수도 47개 사업	- 광역 및 공업용수도 관로시설 및 부속설비 : 광역 및 지방상수도
진단주기	- 시설완공 후 10년이 경과 된 시설 - A등급(6년), B,C등급(5년), D,E등급(4년)	- 매 5년마다 정기시행 * 군단위이하 : 일반기술진단 * 시단위이상: 전문기술진단
진단기관	- 자체 또는 전문기관 위탁 (17개 사업은 “시안공” 전담 시행)	- 자체 또는 전문기관 위탁
관 진단	상태평가 | 안전성평가	수리적 안정성 | 구조적 안정성 | 수질적 안정성
벌칙조항	- 5년 이하의 징역이나 금고 또는 5천만원 이하의 벌금	- 2년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금 (‘14.7.1부 적용)
관로분야 진단 주요특성	- 1종시설물 (광역상수도) 도송수관로 - 주로 수지상식으로 구성 - 관종 대부분 강관, 주철관등 금속관 - 관로 현장조사, 재료시험을 토대로 관로 상태 및 안정성평가 실시	- 정수장 이후의 송,배수관망 - 주로 격자망으로 구성 - 관종 다양(금속,비금속관)

□ 재난관리

- **재난 및 안전관리 기본법**(약칭: 재난안전법) [시행 2015.6.30.] [법률 제12943호, 2014.12. 30. 일부개정] (국민안전처)

- 재난 및 안전관리 기본법 시행령 [시행 2015.7.29.] [대통령령 제26439호, 2015.7.24., 타법개정] 제30조(국가기반시설의 지정 등)에서 분야별 국가기반시설 지정

- 제31조(특정관리대상시설등의 지정 등) **자연재난으로 인한 피해의 위험이 높거나 피해가 우려되는 시설 및 지역**. 주요 구조부 또는 보조부재의 노후화 또는 결함으로 보수·보강 등의 정비가 필요한 시설 또는 재난예방을 위하여 관리할 필요가 있다고 인정되는 지역 지정

- (재난관리책임기관)사고발생 개연성이 높고 발생 시 인명피해 및 사회적 이슈가 될 수 있어 특별한 관심을 가지고 관리가 필요한 시설물을 취약시설물로 관리

*** 진단·점검결과 안전율 미확보, 육안 확인결과 이상징후가 발생, 사고징후가 농후하여 안전조치 및 보수 필요한 경우 → 시설 개·대체, 안정화사업 등을 통해 보수·보강 추진**

*** 현재 붕괴, 파손 등의 징후가 없고 발생 가능성은 낮으나, 사고시 인명피해 및 2차 사고로 확산될 여지가 큰 시설 → 지속적인 점검과 모니터링을 통해 중점관리**

다. 부처별 정책동향

(1) 국토교통부

□ **'재해와 사고로부터 안전한 생활환경 조성'을 위한 시설물 유지관리 체계 정비 및 생활공간의 안전 강화**(2016년 정부 업무보고)

- **(관리체계 정비)** 현행 안전관리 체계를 재정비하여 급속한 노후화 대처방안 및 안전점검의 실효성 확보를 위한 종합개선대책 수립

* 시설물 관리시스템과 부실진단 모니터링체계 재정비, 진단업체 일제 점검 등

* 안전처로부터 편입되는 3종 시설물의 통합관리를 위해 관리체계 정비, DB 이관(' 16.12), 교육·홍보 등 준비작업 추진

- **(성능중심 유지관리)** 안전확보 중심의 시설물 유지관리에 **안전성·내구성·사용성을 종합적으로 진단하는 성능평가방식 도입**('16.6)

* 성능평가 매뉴얼 시범적용 : 도로·철도·하천·댐('16) → 공항·항만·상수도 등(' 17)

- **(스마트 유지관리)** 센서를 활용한 스마트 모니터링으로 손상취약부를 사전에 안전하게 보수하는 기술을 개발하고 시범적용 추진('16.9)

* 굴착지반, 붕괴위험이 높은 취약시설물 등을 계측관리 대상으로 지정하여 스마트 SOC 유지관리 기반 마련

□ **미래 기술변화에 선제적 대응**(2016년 정부 업무보고)

- 드론과 자율주행차를 미래 전략산업으로 집중 육성

- 미래형 공간정보 기술기반 구축

- 물산업 대외 경쟁력 향상

□ 제2차 기본계획이 종료되면서, 향후 5년('13~'17년) **新정부와 함께 할 시설안전의 제도.정책 로드맵과 기술발전 청사진 제시** 필요

- **시설물의 안전 및 유지관리 기본계획**: 정책.제도 선진화, 연구개발 촉진, 우수인력 양성, 효율적인 정보체계 구축에 관한 5년 단위 국가계획(근거: 시특법 제3조)

□ **(시설안전의 중요성)** 시설안전은 복지.안전사회 구현을 위한 필수적 수단

- 국민 안전을 확보하기 위해 3S(Safe, Sustainable, Smart) 시설물로의 전환을 통한 종합적인 시설안전 확보 구현에 중점

□ **지능형 안전 및 유지관리 기술격차 여전, 기술역량 강화 필요**

- (기술격차) 한국의 지능형 시설물 안전 및 유지관리 기술수준은 최고 기술보유국 대비 76.2%에 불과(기술격차 4.3년)

▌표 2.1.3 시설물 안전 및 유지관리 분야 지능형 기술수준 비교▐

국가	미국	EU	일본	한국	중국	세계 최고국 기술격차
기술수준	100.0%	99.7%	95.9%	76.2%	63.8%	4.3년

※ 국가 R&D 기술산업정보서비스에서 발췌(' 10년)

- **(핵심기술 취약)** 하드웨어적 기술 중심으로 개발되어 잔존수명 예측 등 소프트웨어 기술과 핵심장비 등 기초·원천기술 부족

□ **선진적 안전관리 체계 확립**과 안전진단 분야의 해외시장 진출지원 및 전문기관 육성 전략 수립

- 시설물 점검 및 진단과 ICT* 기술의 접목을 통한 진단장비 개선 및 효율성·정밀도 향상 강조

* 기존 진단장비의 적용성 및 한계를 DB화하고, 진단장비 개발의 마스터플랜을 수립하여 효율성 및 정밀성이 높은 진단장비를 개발

- 안전진단시장은 1,000억 원 규모로 정체되고 있으나 안전진단전문기관은 매년 증가하고 있어 해외시장 진출을 적극 모색할 시기로 판단

* 안전진단전문기관: (' 01년) 167개 → (' 05년) 301개 → (' 09년) 430개 → (' 12년) 564개

□ **2025년 수도정비 기본계획**(광역상수도 및 공업용수도) 수립(2015년 변경)

- 수도법 제4조 「수도정비기본계획의 수립」에 의해 10년마다 시행되는 수도의 정비에 관한 종합적인 기본계획으로 광역상수도 및 공업용수도에 관한 국가 최상위 계획

- **기후변화로 인한 홍수, 가뭄 등 기상이변과 수질 및 수도시설사고 등 비상상황 발생시 대처 능력 강화** 및 피해 저감을 위한 **수도시설 안정화사업 등을 통한 안정적 수도시스템 구축**

* 구미 수도사고(2011년) 계기로 중단 없는 용수공급에 대한 사회적 요구 증대

- 공급 전과정의 수량·수질 관리강화를 위한 스마트 기술기반 관망 운영관리기술 도입

* 주요 실행전략, 무단수 공급 기술개발, 공급과정 수질 최적화, 공급과정 감시제어 강화, 지능형 물관리시스템

□ **국토교통산업 글로벌 경쟁력 강화**

- 경쟁력 있는 기술확보에 R&D 역량을 집중하고, 기술력 중심의 건설공사·엔지니어링 시범사업 추진

* 드론, 자율주행자동차 등 미래 성장동력을 확보할 수 있는 ICT 융·복합 첨단기술 개발과 산업경쟁력 강화를 위한 R&D에 중점 지원, 중소·중견기업 기술 사업화 등 '16년 3,097억원 지원

- 해외진출 지원체계 정비

* 단순 건설뿐 아니라 건설과 운영을 결합하고, 우리기업의 강점 분야를 융·복합한 패키지사업 진출

* (건설+운영) 댐·상하수도+통합수자원관리 (융·복합) 신도시+수자원개발

(2) 환경부

□ **노후 상수도시설 개량 사업 추진 강화**

- **노후 상수도시설 개량투자 미흡으로 단수사고, 누수, 수질악화에 의한 국민안전 위협**

- 상수관로 30.6%(55,312㎞), 정수장 58.8%(286개소)가 20년 이상 경과, 기능유지 한계에 접근

* 단수피해 5.2배 증가(피해주민, '07, 65만명 → ' 12, 401만명)

- 정비투자 지연시 개량사업비 급증 ⇒ **시설개량 적기투자(골든타임)** 절실

* '2013 상수도 통계' 에 따르면 전국적으로 20년 이상 경과된 상수관은 30%로 나타났으며 상수관망에 대한 적기 투자 지연 시 상수관망의 급격한 고령화로 2030년에는 약 52조원의 천문학적인

개량비용이 발생할 것으로 예측

□ 상수도관망 기술진단 **실행력 강화**

- 그동안 기술진단은 이행 강제력이 약한 실정이었으나, 환경부는 기술진단 이행 강화를 위해 벌칙조항*을 신설('13.12)하였고, 노후관 개량 사업 등의 **국고지원 조건에 기술진단을 포함하는 추세, 향후 진단시장 활성화 예상**

- 162개 수도사업자 중 최근 6년간 관망 기술진단을 실시한 수도사업자는 103개에 불과, 실시율 64%로 저조(2014. 5월 기준)

* 제83조(벌칙) 未실시시 2년 이하 징역 또는 2천만원 이하의 벌금

▌표 2.1.4 162개 수도사업자 최근 6년간 관망기술진단 실시율▐

계	실시					미실시
	소계	엔지니어링사	K-water	환경공단	자체	
162	103 (100%)	94 (91%)	4 (4%)	3 (3%)	2 (2%)	59

주) 1. 환경부의 수도 기술진단 실시현황('14. 5월말 기준) 자료 참조

2. K-water실시 4개소 : 예천, 통영, 장성, 서산

□ 장비활용에 의한 **대형관로 내면상태 진단 및 누수 등의 진단 대가 제정**(한국상하수도협회, 2015)

- 상수도관로가 노후화됨에 따라 장비를 활용한 관로진단 필요성이 대두되고 있으나, 장비 실행 대가 기준이 마련되어 있지 않아 장비이용에 어려움을 겪고 있음(특·광역시 상수도사업본부 기술부장회의에서 대가제정 수립 의결 등)

- 내부부식 및 결절형성, 부식 방지 등의 영상검사가 가능한 장비에 대한 대가를 마련하여 관망진단시 근거자료로 사용할 수 있도록 함

□ **환경난제 근본적 해결 착수** 및 환경 한류 조성(2016년 정부 업무보고)

- (물공급) 노후상수관 교체·보수로 누수 저감('12년 24% → '17년 17%)

- (지반침하) **첨단기술을 활용한 하수관로 안전진단을 실시**하고, 단계적 정비사업을 추진하여 **지반침하를 사전에 예방**

* (정밀조사) 20년 이상 노후 하수관로 7,000km를 대상으로 지표투과 레이더(GPR), CCTV 로봇 등 첨단기술 활용・조사

* (3D 통합지도) 유관기관마다 분산 보유하고 있는 지반침하 관련 정보(지하시설물, 노후 상하수도 등)를 GIS 시스템에 통합(국토부 협업)

* (단계적 정비) 정밀조사 결과를 바탕으로 위험이 심각한 노후하수관을 대상으로 중점 정비, '16년 하수관로 연장 846km 정비(총 5,736억원, 국비 2,662억원 지원)

- (물산업) 물산업클러스터를 적기 조성하여 **지능형 상수도시스템 등 핵심기술을 개발하고, 해외 물시장 정보 제공, 현지 실증시설 등으로 수출 지원**

* '20년까지 6,700억원 투자 유도, 일자리 3,500여개 창출 효과 예상

(3) 미래창조과학부(전. 교육과학기술부)

□ **제2차 비파괴검사기술진흥계획 수립을 위한 연구 추진**(2012.12)

- 첨단 NDT기술의 개발과 활용확대를 통해 **고부가가치의 기술집약적 산업으로 육성**함과 동시에 **국민의 안전성 확보** 및 국가경쟁력 강화 비전 제시

- 정부는 "비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률"제3조의 규정에 따라 비파괴검사기술 진흥계획을 수립·시행하도록 하고 있음

□ **신산업 분야로 ICT 융·복합 산업의 경쟁력 확보, R&D 지원확대**

- 미래형 전기차, 산업용 무인기(비지니스 모델 발굴, 테스트베드 구축), 지능형 로봇, 웨어러블 디바이스, 스마트 홈 등 분야

- 비파괴검사 산학연클러스터 사업단(미래창조과학부 산하 한국산업기술진흥협회 후원/부산대학교 주관, 2014)

- 2013년도 원자력 정책연구 "비파괴검사 기술、육성을 위한 연구기반 구축 방안 연구"(2014)

(4) 산업통상자원부

□ 지능형로봇 기본계획 추진 수립(지능형 로봇 개발 및 보급 촉진법 제5조, 동법 시행령 제2~3조)

- (안전로봇) **인간이 접근하기 힘든 극한 재난상황에 활용하기 위한 재난대응로봇 기술**

개발 및 실증기반 조성 추진

□ 메가트렌드 변화에 대응한 선제적 투자로 핵심기술을 확보하고, 경제·사회·문화 全분야에 로봇의 융합·활용 본격화

- 신흥국 제조용 로봇 수요증가, 서비스용 로봇 高성장 추세 등 세계시장 변화에 흐름에 대응한 기술개발 및 상용화 추진

- 향후 高성장이 예상되는 전문서비스용 로봇 시장의 기술선점 등 선제 대응을 통해 글로벌 시장 선도

- 로봇과 타산업의 융합 확산을 통한 신규시장 창출 및 글로벌 시장 진출 본격화를 통해 수요 저변 확대

□ ICT 융·복합 산업의 글로벌 경쟁력 조기 확보(2016년 정부 업무보고)

- 미래형자동차, 산업용 무인기, 지능형로봇, 웨어러블 디바이스 핵심 기술 개발 국산화

(5) 행정자치부 및 지식경제부

□ 2014년 상수도경영평가(2015, 지방공기업평가원)

- **광역 및 기초 단체 모두 상수도관 관리 지표**의 평점 평균(광역 74.21점, 기초 68.49점)이 **68.89점으로 가장 낮음**

- 지방공기업법에 따른 내구연한과 노후수도관의 판단 기준 재검토

- **노후화 수도시설 증가로 먹는물 수질 및 경영 건전성 위협**(노후관, 단수사고, 누수)

□ 엔지니어링 해외진출지원센터 사업 추진

- 국내 업체들의 전략적인 진출이 유망한 28개 국가를 도출하고, 국가별 진출로드맵을 마련하고, 해외시장 정보를 실시간으로 수집·제공하기 위해 코트라와 연계, 현지 거점 운영

라. 국토교통 R&D 중장기 전략

□ 추진 배경

- 국토교통 산업의 성장 패러다임 변화 요구 증가

* 높아지는 세계 경제의 불확실성 및 우리나라 잠재 성장률 급락 우려에 따른 국토교통 산업 성장 한계 극복 및 산업 경쟁력 향상을 위한 국가 차원의 선제적 투자 필요

- 사회적 패러다임 변화에 선제적으로 대응할 수 있는 국토교통 R&D 중장기 전략 필요

* 국민의 생명과 재산을 확실하게 보호하는 안전중심의 사회적 패러다임 변화에 선제적 대응이 가능한 국토교통 과학기술 육성 필요(자연재해 SOC 복구비용은 피해액의 약 2.2배 수준)

- 창조경제 시대를 이끌어갈 국토교통 기술 역할 재정립

- 선진국은 국토교통 기술에 대한 투자확대 및 국가간 동반협력 강화를 통하여 시장지배력을 유지하고 있음

- 정부의 주요 정책방향을 반영한 국토교통 R&D 중장기 전략 수립 필요

□ 중장기 전략 수립 방향

- (글로벌 관점) 글로벌 R&D 정책분석을 통해 주요 선진국과의 거시적 관점에서 동일 한방향성으로 국토교통 R&D 중장기 전략 수립

* 주요 선진국의 R&D 정책이 반영된 국토교통 R&D 중장기 전략의 수립으로 글로벌 동반협력을 강화하고 국토교통 산업의 글로벌 경쟁력을 확보

- (정책 및 R&D 관점) 국토교통 R&D 중장기 전략은 정부 정책방향과 R&D 환경변화에 부합될 수 있는 기본방향으로 구성

- (국내 과학기술정책 관점) 정부의 국정목표와 국토교통 관련 국정과제를 충실히 반영하여 과학기술 혁신정책을 체계적으로 추진하기 위한 국토교통 R&D 중장기 전략 기본방향 정립

□ 미래사회 전망

- 인구구조 변화·도시 집중, 과학기술 발달 및 지식 기반 산업 확대

- 사회의 모든 분야에서 **ICT·BT·NT 등 과학기술과의 융·복합 진행**

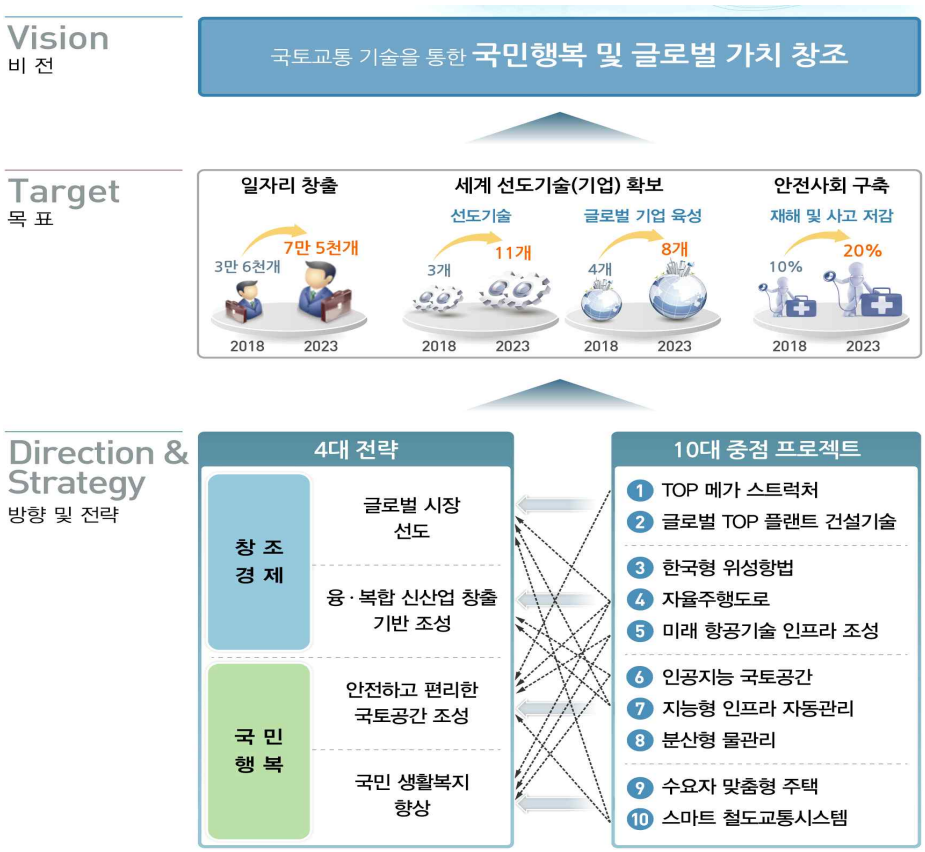
- 글로벌 경쟁 심화, 에너지·기후변화 등으로 환경 이슈가 증가, 에너지·자원 확보 경쟁

- **재난·재해·테러 등으로부터 국민을 보호하는 국가 역할 강화**

□ 비전 및 전략

- PEST 분석을 통하여 정리된 **첨단융합, 글로벌 경쟁력강화, 재해재난 대비기술, 보편적 복**

지형 국토교통 등 4가지 방향성을 통한 국토교통 **R&D 중장기 전략의 4대 핵심전략** 도출



▌그림 2.1.2 국토교통 R&D 중장기 전략의 4대 핵심전략 ▐

- **(방향성 1: 첨단융합)** IT기술의 발전과 확산 등에 따른 기술 융·복합 가속화에 대응

* (융·복합 기반 신산업창출) 도시시스템(주택, 건축물, 교통, 물 등)의 창조적 융·복합을 통해 기존 산업의 고부가가치화, 신산업 및 일자리를 창출하는 국토교통 산업생태계 조성

- **(방향성 2: 글로벌 경쟁력강화)** 기술표준화, 국토교통 통합시스템 구축 등을 통한 국토교통 글로벌 경쟁력의 강화

* (글로벌 시장선도) 다양한 산업과 기술, 인력을 접목하는 개방형 혁신을 통해 창조경제를 뒷받침하고, 빅데이터를 활용하는 공공기반의 새로운 인프라 기술 구현

- **(방향성 3: 재해재난 대비기술)** 재해재난, 사회적 테러 등에 안전한 국토공간 조성

* (편리하고 안전한 국토공간 조성) 재해·재난 등에 선제적 대응 및 국민 안전을 보장할 수 있는 공공기반의 안전한 국토공간 실현

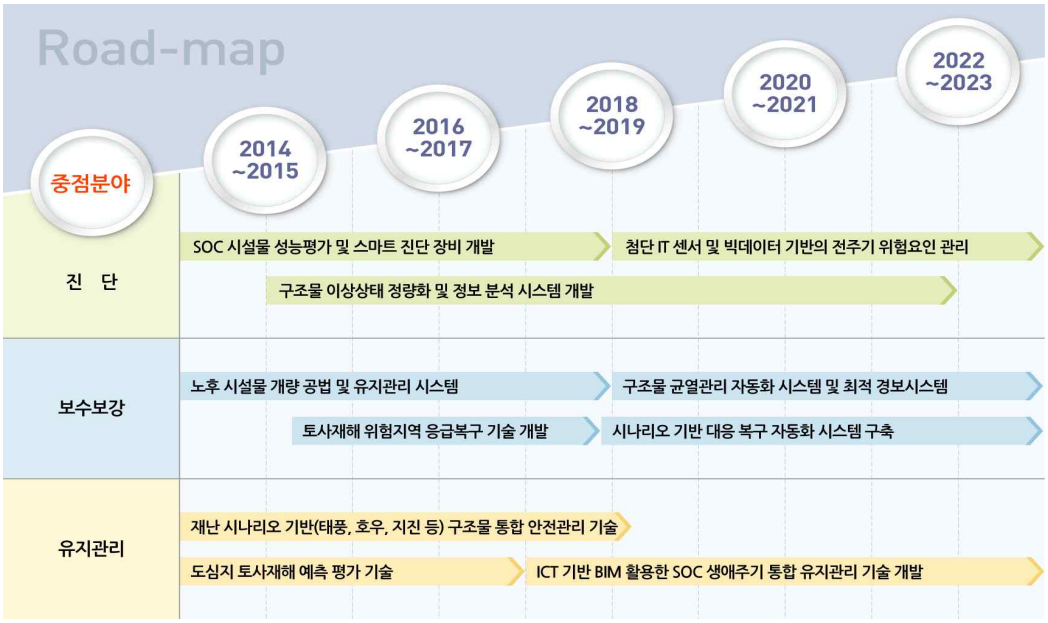
- **(방향성 4: 보편적 복지형 국토교통)** 국민 삶의 질 향상을 도모할 수 있는 친환경·생

활 밀착형 국토교통 기술개발

* (국민 생활복지 향상) 건강, 복지, 생활불편 개선 등 국민의 일상생활 니즈 충족을 위한 국민생활 밀착 및 해법지향의 기술개발 촉진

□ 지능형인프라 자동관리(10대 중점 프로젝트 중 발췌)

- (추진목표) **SOC 시설물의 장수명화 및 관리 효율화**를 위해, **진단/보수·보강 장비를 자동화·무인화**하고, **선제적 사고 예방·관리를 구현**함으로써 SOC 유지관리 비용절감, 재난·재해 대응 능력 향상



▌그림 2.1.3 지능형 인프라 자동관리 로드 맵▐

마. 물관리연구사업

□ 사업 추진 배경 및 방향

- 세계 주력산업이 20세기 Oil에서 21세기 Water로 변화하면서 물산업이 Blue Gold 시장으로 급부상

- 새정부 국정철학에 부응하여 **국민안전·복지를 위한 창조적 물관리 기술개발 필요**

- 국민의 생명과 안전에 직결되는 사회밀착형 R&D로 기술개발 투자의 국민복지 향상 기여로 R&D 선순환 고리 마련

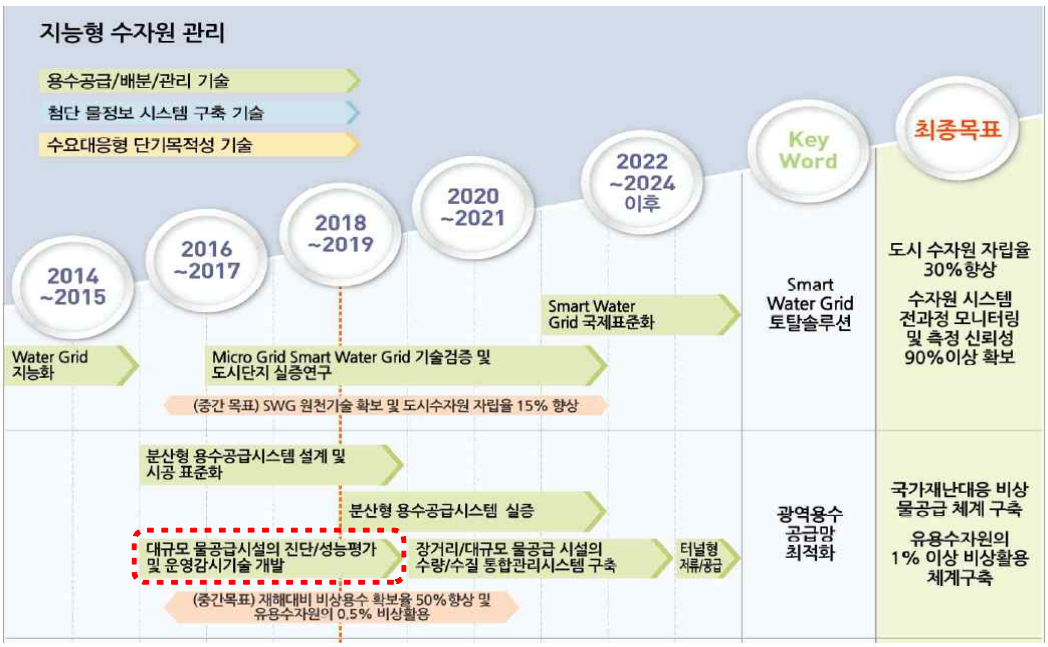
- 기초·원천 기술에서 **운영·유지관리 등 실용화 기술까지 패키지화된 종합기술** (Total Solution)로 해외 경쟁력 확보

□ 지능형 수자원관리

- **(범국가적 물공급망 신뢰도 향상기술)** 안전한 물의 안정적이고 효율적인 공급을 추진 목표로 **대규모(장거리, 광역적) 스마트 물 공급체계 구축**을 통하여 전 국민을 위한 신뢰도 향상을 목적

* 하천이나 댐으로부터 취수된 물이 생활 및 공업용수 등 전 국민에게 안정적인 양질의 물을 공급할 목적으로 수요자에게 전달되는 동안 이용되는 **각종 공급시설물**(댐, 취수시설, 저류시설, 도수 및 송수시설, 가압시설, 배수시설 등)에 대한 **신뢰도를 확보하기 위한 기술 개발로 용수공급시설의 노후화, 미래 기후변화 등으로 우려되는 물공급중단 등의 비상상황에 대처**함으로써 사회, 경제 및 산업적 피해를 최소화하기 위한 사회기반기술을 의미

- 대규모 용수공급네트워크 안전성 확보를 위한 신뢰성 평가 및 향상기술, **대규모 물공급 시설의 진단 및 성능평가 지능화 기술 개발('16년 이후) 추진** 계획

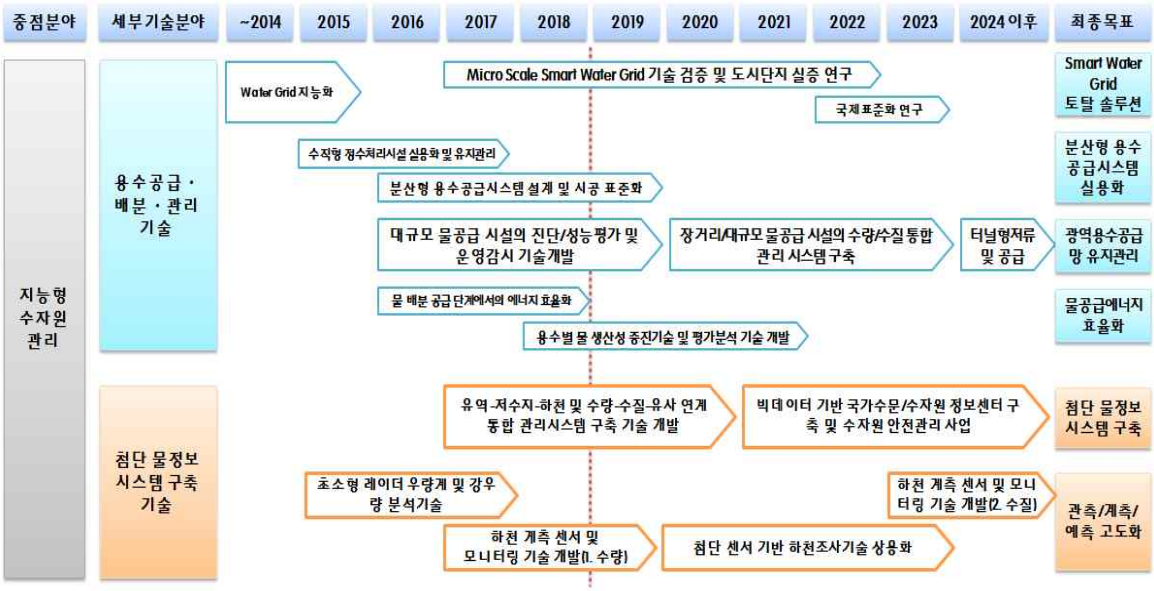


▌그림 2.1.4 국토교통 R&D 중장기 물관리 문야 ▐

- 지능형 스마트 통합 물관리 구현 및 해외 물시장 선점을 목표로 하는 핵심 브랜드화 기술 개발

* 고부가가치 브랜드화 기술의 개발 및 사업화로 해외 물시장을 선점하여 '23년까지 Global Top 10 물기업 육성(물지수(water index)기준)

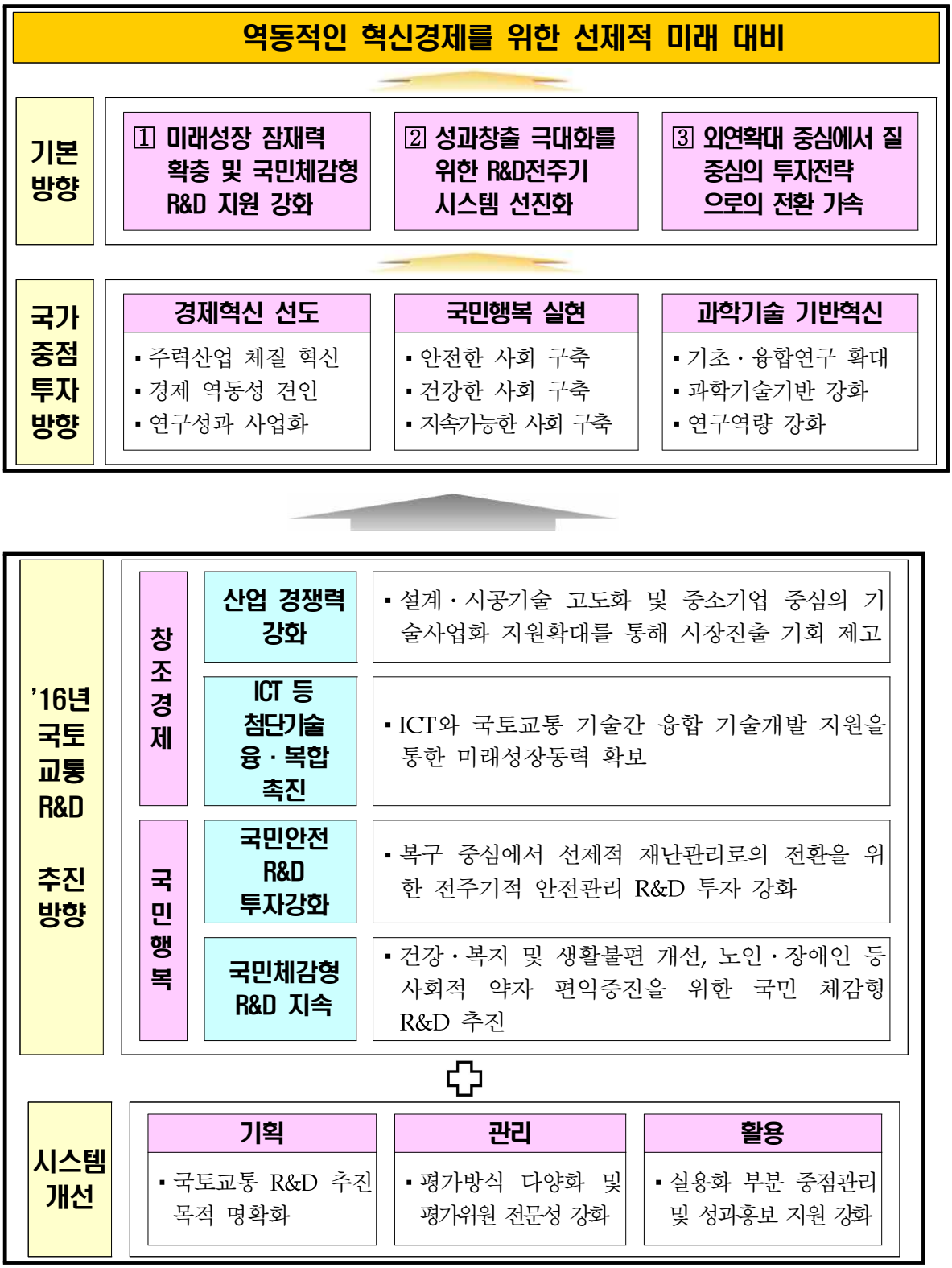
- 기존 물관리에서 탈피, IT/GIS/수문/기상/환경/나노 융·복합 기술을 기반으로 하천·유역 및 수자원 확보·처리·공급·배분·관리 등 물순환 전과정을 통합관리하는 Big data 시스템 구축



▌그림 2.1.5 물관리사업 기술로드맵 ▐

바. 2016년 국토교통 R&D 추진방향

□ 정부연구개발과 국토교통 R&D 추진 방향 연계

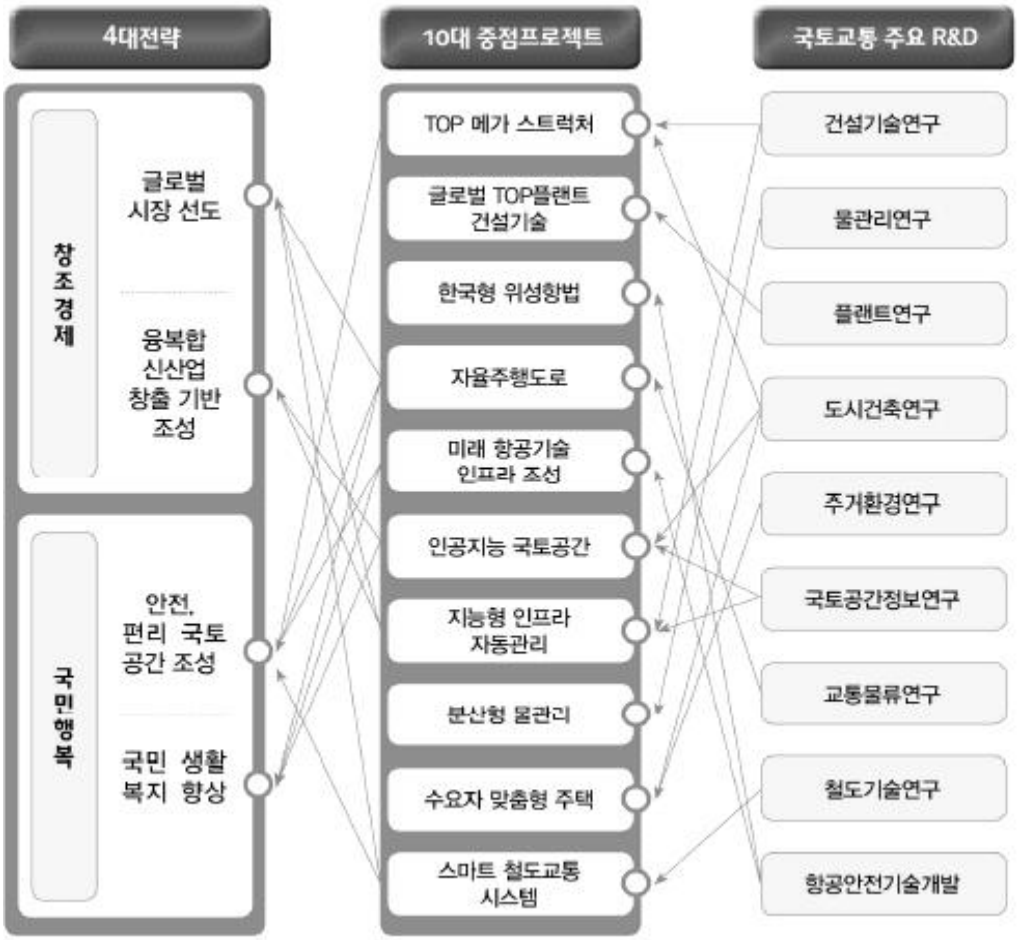


□ 상위계획과 연계성

- 국토교통 연구개발사업의 중장기 투자 및 연구개발 방향 제시를 위한 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기전략과 연계

- 국토교통 R&D 중장기전략('14~'23) 의 10대 중점프로젝트와 국토교통 연구개발사업과 연계하여 비전 및 전략 가치 공유

* 국토교통기술을 통한 국민행복 및 글로벌 가치 창조를 위해 국토교통기술 4대 전략을 실현하기 위한 전략별 10대 중점프로젝트(Value Creator 2.0) 추진



▌그림 2.1.6 국토교통 중장기전략('14~' 23)과 국토교통 주요 R&D 사업과의 연계성 ▌

□ 투자방향

- **(산업 경쟁력 강화)** 제로에너지 주택, 초고층빌딩 등 설계·시공기술 고도화, 중소·중견기업의 기술사업화 지원 등 산업경쟁력 강화를 위한 R&D 지원

- **(첨단기술 융·복합)** 자율주행자동차, 센서기반 수재해 감시·예측 등 미래성장동력 확보를 위한 ICT 융·복합 첨단기술 개발 지원

- **(국민안전 실현)** 재해·재난의 선제적 대응 및 사후복구 등 국민 안전을 제고하는 R&D 지원 확대

- **(사회문제 해결)** 건강·복지 및 생활불편 개선, 노인·장애인 등 사회적 약자의 편익 증진을 위한 국민 체감형 R&D 추진

□ 부문별 투자계획

- **(건설기술부문)** 안전 및 설계 기술 등 1,681억원

* **재난재해 대응 사회기반시설 안전성 확보**(시설물 유지관리, 건설안전) 및 온실가스 저감 등 사회문제 해결을 위한 예산 소요 우선 반영

* 글로벌 기술경쟁력 및 시장 점유율 확대를 위한 핵심 고부가가치 기술개발 지원 강화

- **(교통기술부문)** ICT 융·복합 및 교통서비스 개선 기술 등 1,849억원

- **(기반구축부문)** 중소기업 지원 및 연구인프라 구축 등 928억원

2. 국외 정책동향

가. 미국

□ **SOC시설물의 고령화 비율 증가**로 유지관리(개/보수, 성능개선(대수선), 교체 등)비의 급격한 상승예상, **유지관리 집중**

- '80년대부터 시작된 SOC 고령화에 대응 미흡 → 노후화가 심각(평균등급 D+, ASCE, 13.3) & 눈덩이처럼 불어나는 보수비(US$ 3.6조[3,840조원], ASCE, '13.3)

- 북미에서는 노후화된 관의 부식으로 손상으로 **연간 300,000건 이상의 관로 파괴**(breaks)가 발생, 매일 수백 건씩 사고가 발생함에 따라 **1년에 걸쳐 보수하는데만 약 30억달러 소요**

- 매년 누수되는 **물의 양은 2조6천억 갤런**으로 추정되고 있으며, 이는 **매년 41억달러**

에 해당하는 전기를 낭비하는 것과 같은 수치

- 이러한 관의 노후화로 인해 수질적인 안정성 확보도 어려운 것으로 평가

- 지하 상수도관에 대한 유지와 개량을 위한 특별한 대책 추진 필요

□ **정부에서 물 인프라 재정 문제 대책 추진**

- Federal Water Infrastructure Finance and Innovation Act (WIFIA)

* 전국에서 매일 약 650건 관로 파손 발생으로 연간 26억 달러 물 손실 발생(2013)에 따른 노후 물 인프라 대책 및 물 프로젝트 재정 문제 대책

- Water Innovations Alliance Foundation (WIAF)

* 기술을 통해 세계 물문제 해결 목적으로 발족(2009), 물 관련 새로운 기술 개발을 위한 정보 수집, 개발 보고서. 기준, 경제성 분석, 교육 프로그램 등 업무

□ **EPA에서 물 인프라 연구 프로젝트 및 재정지원 기금 운용**

- **노후 수도시설 현황 및 대책 관련 연구 추진**

- Drinking Water State Revolving Fund (DWSRF)

* EPA의 SDWA(안전음용수법) 준수를 위한 상하수도 시설 재정 지원 기금(1996)

나. EU

□ **회원국간 협업을 바탕으로 로봇 요소기술 개발**에 집중

- '00년부터 EU차원의 프레임워크 프로그램(FP)과 각 국가별연구프로그램을 통해 지원 중(제7차 FP :'07~'09년까지 372M€ 투자)

다. 일본

□ SOC 성능을 중심으로 하는 **예방적 유지관리체계로 전환** → 개/보수 및 성능개선을 통한 장수명화 추진(SOC 고령화 시대 대비)

- 장래에 걸쳐 안정적인 급수를 확보하기 위해 **노후시설에 대한 계획적인 수선(보수)**이

나 **개량 추진**

□ 내각부에서 “전략적 이노베이션창조프로그램”으로 “인프라 유지관리·갱신·매니지먼트기술” 연구개발 계획 추진(2014.11)

- 인프라 노후화로 인한 사고 리스크 및 유지관리 비용 급격 증가 대책
- 세계 최첨단의 ICRT를 활용한 새로운 유지관리 비즈니스 창출

* ICRT : ICT(Information and Communication Technology) + IRT(Information and Robot Technology)

- **점검·모니터링·진단 기술(센서, 비파괴기술), 구조 재료·열화 메커니즘·보수·보강 기술, 정보·통신기술, 로봇기술, 자산관리, 국제 표준화(2014~2018(5년))**

□ 경제산업성에서 로봇 산업정책 전반을 관장하고 있으며 각 부처별로 응용분야 특성에 맞는 사업을 지원

□ 후생노동성(건강국) “신수도(新水道)비전” 발표(2013)

- 노후화된 시설의 **정기적인 진단 평가를 통해 적정한 업데이트로 사고저감 및 시설 건전도 유지, 내진화, 적정 유지관리, 정보 전자화, 네트워크화로 강인한 수도 구축**
- 관·산·학 협력의 기술개발 추진, 민간기업 신기술 개발·검증에 수도사업자 필드 제공 등 협력 필수적
- 지진으로 인한 수도관 파손이 장기화됨에 따라 수도관 내진화 추진

□ 일본 국토 심의 위원회에서 “국토의 장기 전망” 예측(2011)

- 내용연수를 맞이한 구조물을 동일 기능으로 개량을 가정했을 경우 국토인프라의 유지관리, **개량비용이 급증하여 2030년 경 현재의 약 2배**가 될 것으로 예측
- 비용이 17조 엔(약 175조원)을 넘어 현재의 사업비로는 개량할 수 없게 되는 상황이 되므로, 이러한 사태를 방지하기 위해 **예방적 유지관리를 포함한 계획적인 유지관리 추진**
- 구조물의 상태 및 성능을 **정기적으로 파악하여 적절한 시기에 보수를 실시**하려면 **건전성 진단 기술 및 필요한 정보를 얻는 검사 기술의 고도화**가 불가피
- 인간의 평균수명 연장에 영양, 위생 개선과 최첨단 검사 기술 등 의료 기술 진보 영

향이 크다는 점을 시설물 관리에도 적용

3. 이슈 및 시사점

□ 현 정부의 5대 국정목표 중 "**안전과 통합의 사회**"구축 추진

- **ICT 등 첨단 융·복합기술을 활용**하여 **예방 중심의 과학적 재난관리체제 구축 강조, 불가피한 재해나 사고 발생시 피해 최소화 시스템 구축 필요**

- (국토교통부) '재해와 사고로부터 안전한 생활환경 조성'을 위한 **시설물 유지관리 체계 정비 및 생활공간의 안전 강화**(2016년 정부 업무보고)

- **안전중심의 사회적 패러다임 변화에 선제적으로 대응할 수 있는 국토교통 R&D 중장기 전략에 따른 기술 개발 필요**

□ 국토교통 R&D 글로벌 경쟁력 강화 및 조기 확보 정책 추진

- **(핵심전략)** 물 인프라 등 도시시스템 기반시설물의 창조적 융·복합기술을 통한 산업 고부가가치화, 새로운 인프라 기술 구현을 통한 글로벌 경쟁력강화, **안전한 국토공간 조성을 위한 재해재난 대비기술**, 국민 삶의 질 향상을 도모하는 생활밀착형 기술 개발 필요

- **(예방적 유지관리) SOC 시설물의 장수명화** 및 관리 효율화를 위해, 진단/보수·보강 장비를 **자동화·무인화하고, 선제적 사고 예방·관리를 구현**함으로써 SOC 유지관리 비용절감, **재난·재해 대응 능력 향상**

- **(물관리사업)** 범국가적 대규모 용수공급망 안전성 확보를 위한 신뢰성 평가 및 향상 기술, **대규모 물 공급 시설의 진단 및 성능평가 지능화 기술 개발 등 지능형 물관리 기술의 패키지화된 종합기술(Total Solution)로 해외 경쟁력 확보** 필요

□ 전 세계적으로 **SOC시설물의 고령화로 유지관리비 급격한 상승 예상, 예방적 유지관리 체계로 전환, 연구개발 지원 및 새로운 비즈니스 창출 강화**에 따른 **대책 시급**

- 미국 수도협회(AWWA)의 수도 기반시설 교체 시대 도래 발표, 막대한 예산이 소요되는 개량 프로젝트 수행에 따라 과학적인 진단을 통한 관로 수명연장, 능동적 유지관리로 패러다임 전환 및 국가 예산의 효율적 집행을 위한 전략적 재정계획 추진

- 각국 정부의 **노후 물 인프라로 인한 사고 피해 증가**, 사고 리스크 및 유지관리 비용 증가에 따른 재정 대책 추진, 물 인프라 연구 프로젝트 및 재정지원 강화

- **성능 중심의 예방적 유지관리체계 전환**으로 개량 및 성능개선 통한 인프라 장수명화 추진

- 점검·모니터링·진단 기술(센서, 비파괴기술), 구조 재료·열화 메커니즘·보수·보강 기술, 정보·통신기술, 로봇기술, 자산관리, 국제 표준화 기술 개발 정책 추진

- **안정적인 용수공급을 위해 시특법(국토부 소관)에 의한 노후 시설물 상태의 정밀진단 정량화 기술 및 첨단 유지관리 기술 개발 필요**

- 범정부적 시설 안전 및 유지관리 고도화를 통한 **재해와 사고로부터 안전한 생활환경 조성 추진**, 노후 관로 급증에 따른 **사고 예방 및 안전성 확보** 대책 필요, 경제적 개량 전략을 통한 국가 예산 효율적 활용, **중단 없는 물 공급을 통한 국민 물복지** 대책, 해외 물시장 진출을 위해 국내 기업 기술경쟁력 확보토록 정부 지원 강화 필요

제 2 절 시장 현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

가. 시장 환경

□ 미래사회 전망에 따른 시설안전 관련 이슈(건정硏 설문조사, ‘11)

- **향후 10년 시설안전 분야에 영향을 미칠 주요 메가트렌드로는 안전 위험성 증대**(35%), 국민의 삶을 중시하는 복지사회(19%), 기후변화(18%), 기술의 융.복합화(15%), 양극화(12%) 등

- 시설안전 메가 트렌트에 **적극 대응하기 위해서는 안전한 시설물(Safety)**, **자연과 함께 하는 시설물(Sustainable), 스마트 시설물(Smart)의 구현** 필요

- 2015년도 안전예산 14조원으로 대폭 확대(‘14.8.29)

□ 첨단기술을 활용한 **사고예방 중심의 과학적 첨단진단·감시 기술 중요성 부각**

- 국민의 안전욕구가 증대하고 산업경제가 고도화됨에 따라 **공공의 안전성과 신뢰성 향상을 위한 비파괴(NDT) 등 정밀진단기술의 중요성이 부각**

- NDT기술은 산업분야의 주류를 이루는 기술은 아니나 산업발전이 진전될수록 수요가 증가되는 산업안전에 필수적인 요소기술

- 특히 구조물 **파손의 발생을 사전에 감지하여 예방**하기 위한 OLHM (On-line Health Monitoring), SHM (Structural Health Monitoring) 등 **상시감시 기술의 연구개발 강화**

□ 범정부차원에서 **융·복합을 통한 신기술 창출로 신시장 진출 유도**

- **물관리 기술이 IT, BT, NT, GT 등과 융·복합되어 물관리 기술 첨단화** 및 수자원확보 다원화, 기후변화 대응 수재해 관리, 이치수 안전도 제고 등에 활발히 적용될 것으로 전망

- **재난의 복합화.대형화에 대응하여 로봇기술을 활용한 재난대응 역량을 강화**하고, 선제적 안전산업 신시장 창출 추진

- 선진국에서는 NDT 기술과 관련하여 IT기술과의 융합 및 복합기술 등 신기술 개발이 활발하게 진행 중에 있으며, 미국, 유럽 등 선진국들은 NDT 개념에 입각한 R&D 계획.투자 및 전문 연구소를 설립하는 등 국가적 차원의 지원을 확대하고 있음

* 최근 NDT장비는 전자화, 디지털화, 영상화, 지능화되어 가고 있는 추세이므로 국내의 IT산업과 연계하여 발전시킬 필요가 있음

- 기존 진단장비의 적용성 및 한계 정보를 DB화하고, **진단장비 개발의 마스터플랜을 수립하여 효율성 및 정밀성이 높은 진단장비 개발**

□ 정부주도의 **안전진단전문기관의 해외시장 진출 활성화 추진(국토교통부)**

- 안전관리체계의 우월성 홍보, 시장개척비용 지원 등 **정부 차원의 안전진단전문기관 해외시장 진출지원 방안을 마련**하여 활성화

* 시장개척비용 지원: 해외건설시장 개척지원 사업, 해외건설공사 특별자금지원, 개도국 대상 대외경제협력기금, 개도국 무상협력사업의 적극 활용 지원

□ 기술서비스시장 개방 추세에 따라 **국내 기술보호**와 **국가 주요 인프라 시설에 대한 정보유출방지**를 위한 체계적인 대비가 필요

- 세계시장 개방으로 **국내 용수공급관로의 정밀진단·성능평가 기술 산업이 외국 업체에 잠식당할 우려**가 있기 때문에, 오히려 이를 **해외시장 진흥의 계기**로 전환할 필요성 대두

* 해외 선진 진단업체인 Pure사(캐나다) 등 국내 시장진출, 첨단기술로 시장 확장 중

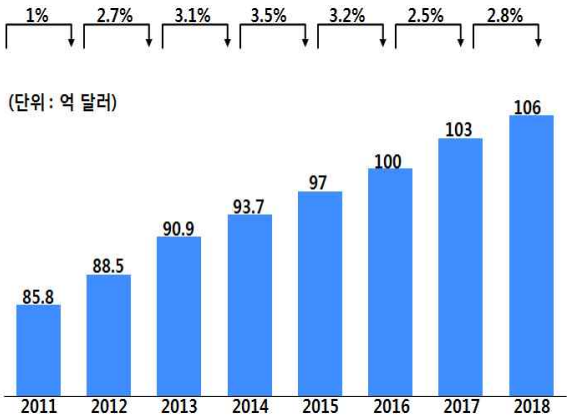
나. 시장전망

(1) 국내 물 시장

□ 우리나라 상수보급률은 98%이며, 하수 처리율도 91%로 아시아 국가들 중 최고 수준

- 면 단위 지역 비중이 높은 전남, 강원 등을 제외하면 상수도 보급률은 97~100% 수준으로 프랑스, 영국 등 선진국과 유사
- 정부는 그동안 161개 지차체들이 개별 운영해왔던 상수도 시설을 29개 광역권으로 통합하는 정책을 추진 중

□ **2013년 기준 국내 물시장 규모는 91억 달러**이며, **2018년 106억 달러 시장**을 형성하여 연 **3% 성장**할 전망



▌그림 2.2.1 국내 물시장 현황 및 전망▐

(2) 노후관 개량시장 현황

□ "정비투자 지연시 개량사업비 급증 ⇒ **시설개량 적기투자(골든타임) 절실**", **경제적이고 적시개량을 위해서는 명확한 진단 필요**

□ **국토교통부 2025년 수도정비기본계획** 장기적인 용수공급시설 안정화 사업계획 변경, **'25년까지 30년 이상 용수공급관련 노후시설에 3조 2천억원 투입**하여 개선

- 2014년 기준, 전체 광역상수도 및 공업용수도 관로 중 매설연도가 10~14년 경과된 관로가 33.2%(1,691km)로 가장 많았으며, 전체의 절반에 해당하는 49.9%의 관로가 매설연도 10~19년 미만
- 2014년 기준, 매설연도가 30년 이상된 노후관은 7.5%(379㎞)이나, 2020년에는 17.1%, 2025년 27.1%, 2030년에는 50.9%까지 증가할 전망(138km/년)

▌표 2.2.1 장래 노후관 비율 전망▐

구 분	2014년		2020년		2025년		2030년		비 고
	연장(㎞)	비율(%)	연장(㎞)	비율(%)	연장(㎞)	비율(%)	연장(㎞)	비율(%)	
계	5,090	100	5,090	100	5,090	100	5,090	100	
20년 미만	3,822	75.1	2,497	49.1	1,037	20.4	267	5.2	
20년~29년	889	17.4	1,722	33.8	2,672	52.5	2,230	43.9	
30년 이상	379	7.5	871	17.1	1,381	27.1	2,593	50.9	138㎞/년

▌표 2.2.2 관로 안정화계획 연차별 투자계획▐

구 분		기집행제외	기집행포함	기집행 2014년까지	1 단계 2015~2020	2 단계 2021~2025
계		29,985	31,625	1,640	12,799	17,186
노후관개량		14,749	15,221	472	8,357	6,392
관로북선화등	소계	15,087	16,231	1,144	4,361	10,726
	관로북선화	11,768	11,838	70	3,285	8,483
	수도시설 비상연계	2,224	2,224	-	-	2,224
	기타시설 안정화	1,095	2,169	1,074	1,076	19
	가압시설 및 하천횡단 보강 등 취약시설	260	1,334	1,074	241	19
	터널북선화	374	374	-	374	-
	전기방식 및 유량계 개량	461	461	-	461	-
관망기술진단		149	173	24	81	68

□ 최근 가뭄의 반복 등 기상변화에 따라 **상수도시설 노후화로 용수공급에 차질이 발생, 국민생활과 경제활동 전반에 큰 파급효과 예상**(환경부)

- '15년 8월까지 가뭄으로 인한 비상급수 인구는 12만명 이상(전년 대비 5.5배), 충남 서북부 8개 시·군에서 제한급수가 실시되면 피해인구는 급증

- 가뭄 대응 수자원 개발·확보도 중요하지만 **노후 상수도시설에서 낭비되는 물 손실량을 줄이기 위한 관망정비사업 선행 필요**

- 필요한 예산은 중앙정부(환경부, 기재부)는 국고지원 대상 및 규모를 확정하고, 지자체는 자구노력(수도요금 현실화 등) 대책을 마련하여 '16년부터 사업시행 예정



▌그림 2.2.2 상수관로 경과년 현황▐



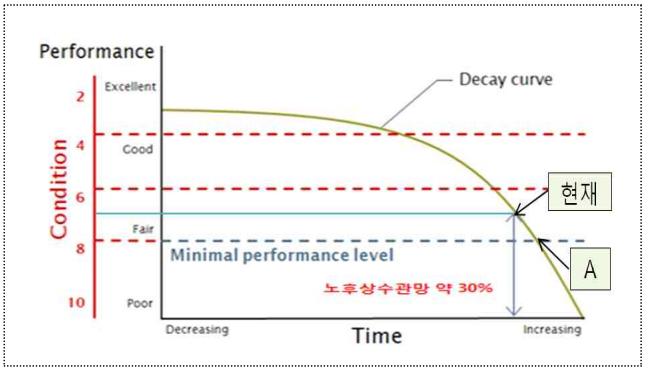
▌그림 2.2.3 관로 정비시기에 따른 비용 증가▐

□ 내용연수에 도달한 시설로 사고 개연성(파손, 단수, 지반침하 등) 증가

■ 현 지방상수도 시설은 3~5년 내 기능상 한계점(A점, 최소개량점)에 도달

- 지금 개량사업 투자 없을 시, 파손 등 사고위험 급격한 증가 우려

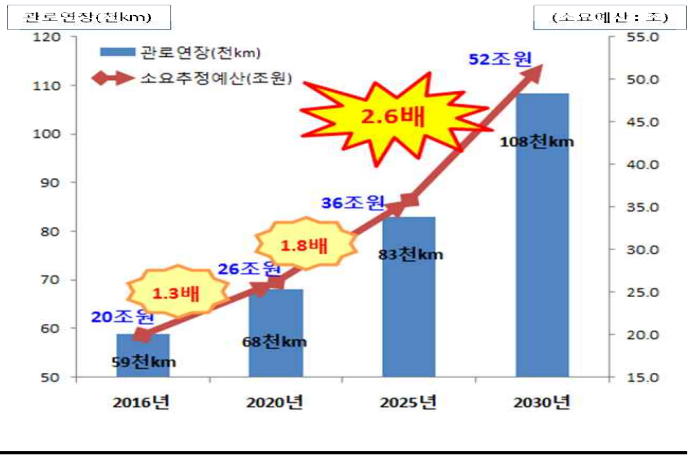
* 동시다발적 사고 시 대응 곤란



▌그림 2.2.4 내용연수에 도달한 지방상수도 시설에 의한 사고 개연성▐

□ **사업추진 시기가 늦어질수록 노후도 증가로 사업비는 증가**

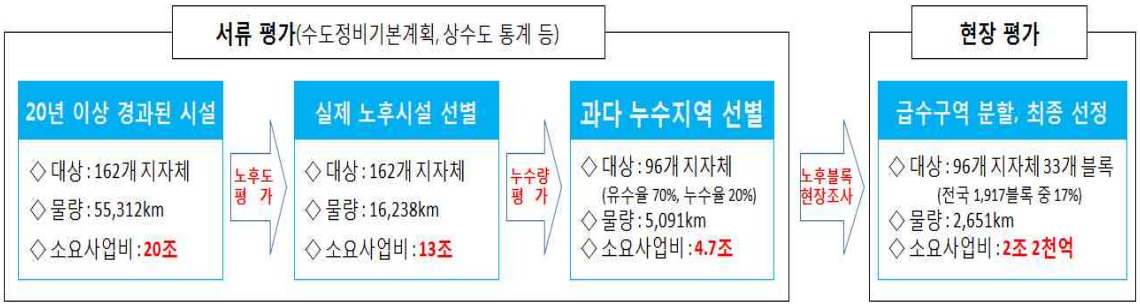
구분	노후관로	소요예산
'16년	59천㎞	20.0조
'20년	68천㎞	26.2조
'25년	83천㎞	35.8조
'30년	108천㎞ (1.8배↑)	51.8조 (2.6배↑)



▌그림 2.2.5 노후상수관 개량시기지연에 따른 사업비 증가▐

□ 노후 상수도시설 실태조사 추진(환경부)

- 노후 상수도시설 정비 사업대상 선정 및 투자소요 분석('15.1~6월)



- 노후 상수도시설 개량사업'대상 지자체 선정 및 사업규모, 예산내역, 연도별 투자계획 등 세부 사업추진 계획은 이미 마련

[사업대상 및 소요사업비 현황]

- (사업기간) 2016년 ~ 2027년(12년간)
- (총사업비) 36,695억원(국고 21,455억원, 지방 12,557억원, 민자 2,683억원)
  · (상수관망) 96개 지자체 338개 급수구역 2,664km, 22,246억원
  · (정 수 장) 40개 지자체 68개 정수장 1,082천㎥/일, 14,449억원

구 분		사업대상	총사업비	국고	지방비	민자
계(억원)		-	36,695	21,455	12,557	2,683
상수관망		96개 지자체 338개 급수구역	22,246	15,572 (70%)	6,674 (30%)	-
정수장	통합	12개	6,709	2,013 (30%)	2,013 (30%)	2,683 (40%)
	일반	56개	7,740	3,870 (50%)	3,870 (50%)	-

- 노후 상수도시설 개량사업은 시설의 신설 및 확충이 아니므로 대상 사업규모 및 예산은 한정된 범위에서 추진됨

* 노후도가 심하고 누수율이 많은 시설(상수관망, 정수장)을 선정하여 우선순위에 따라 단계적('16~'27, 12년)으로 개량사업 시행

☞ (상수관망) 96개 지자체 338개 급수구역 2,664km, 22,246억원

▌표 2.2.3 사업대상 및 소요사업비 현황▐

연 도			'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27
상수관망	소계 (개소)	22,246 (338)	143 (20)	646 (21)	1,514 (67)	2,643 (60)	3,386 (52)	3,506 (45)	3,196 (38)	2,676 (35)	2,191 (-)	1,403 (-)	691 (-)	249 (-)
	국고	15,572	100	453	1,060	1,850	2,370	2,454	2,237	1,873	1,534	982	484	174
	지방	6,674	43	194	454	793	1,016	1,052	959	803	657	421	207	75

* 상수관망 1개소당 5년 단위로 추진, 단위 : 억원

(3) 진단 및 엔지니어링 관련 시장

□ 정밀안전진단(시특법)

- **1, 2종 시설물에 대한 정밀점검 및 정밀안전진단**의 **실시**는 시설물의 안전관리에 관한 특별법 제6조 및 제7조에 의한 것으로 **시설물의 기능과 안전을 유지하고 재해 및 재난의 예방을 목적**
- 시설물 안전진단 전문기관 등록업체 총 763개(2015년 기준), 토목 및 건축분야 204개, 토목분야 296개, 건축 분야263개
- (K-water) 수도시설중 도·송수관로에 대한 정밀안전진단 시행

▌표 2.2.4 기시행 정밀안전진단 관로분야 진단비 현황 (예시)▐

(단위 : 백만원, %)

구 분	충주광역	보령(광)	남강1	여천(공)	대청1	수도권1,2
진 단 비 (a)	1,749	1,195	635	1,141	1,034	1,826
관로분야 (b)	1,334	896	449	881	610	990
비 율 (b/a)	76	75	71	77	59	52

- 시설물 안전진단 및 유지관리 시장은 **최근 10년간 1,000억원대**이나, **안전진단 전문기관은 매년 증가**하고 있음

* 시장규모 : (2008년) 1,200억원, (2009년) 1,600억원, (2010년) 1,160억원

* 안전전문기관중 상위 20~30개 업체가 40~50% 시장 점유, 20% 업체는 수주실적 없음

□ 시설물 유지관리업

- 시설물에 대한 안전점검은 건설업종중 시설물유지관리업자만이 할 수 있으며, 시설물의 보수·보강기술은 시설물의 신설 위주로 되어 있는 타 업종에 비해 고도의 경험과 전문성이 요하는 분야
- 시설물의 유지관리를 위한 비용이 증대됨에 따라 **시설물의 유지관리가 제2의 건설**이라는 인식이 확산되면서 이에 대한 **중요성이 점차 증대**되고 있음
- 시설물 성능 저하, 노후화, 안정성 저하로 사고, 재난 위험성 증대, 내구연수 도달 전 교체로 막대한 비용 소요 등 국민 안전, 경제 문제 발생 예방을 위한 유지관리

* 전국 시설물 유지관리업 등록 업체는 4,688개(2013년말 기준)로 2004년(1,885개) 대비 최근 10년간 약 2.5배 증가

* 시설물 유지·보수공사 연간 시장 규모(계약금액) 2조 8370억원(2010)

- 시설물 유지관리 시장 규모 확대, 업체수 동반 증가로 양적 성장 추세

* 국내 시설물 유지관리 시장 2060년까지 매년 10% 이상 증가 예측

* 시장규모 1조원(2001) → 2.8조원(2010), 업체수 1,982개(2001) → 4,056개(2010)

□ 상수도관망 기술진단

- (정수장) 약 60억원/년 규모의 진단시장 형성이 예상되나, 지자체 수도정비기본계획에 포함하지 않고 기술진단용역 단독으로 발주하는 경우는 50%내외인 30억원 규모 예상

* 지방정수장의 평균 진단용역비는 개소당 약 6천만원 소요

- (관망) 약 230억원/년 규모의 진단시장 형성이 예상되나, 기술진단용역 단독으로 발주하는 경우는 40%내외(약 100억원 규모 추정)

* 기술진단 용역비 평균규모는 지자체당 약 7억원 소요

- 광역상수도 총 48개 시설 중 24개소 기술진단을 실시하여 실시율 50%

- (진단비용) 용량보정계수 및 기술진단 개략산출비용은 수도정비기본계획표준 품셈(2006.11)에 실용역비를 감안하여 산출 (광역상수도 제외)

* 송수관로 6,872km, 배수관로 80,034km, 1회 총 진단비용 약 400억 소요

* 진단주기 5년을 고려할 때 상수관망 기술진단비용 추정 80억/년 정도 예상

- 상수관망 기술진단 규모 검토

▌표 2.2.5 상수관망 기술진단 규모▐

	송수관(Km)	배수관(Km)	산출액(천원)
서울특별시	535	9,818	1,086,064
부산광역시	467	3,232	701,939
대구광역시	289	5,070	808,706
인천광역시	333	3,248	686,015
광주광역시	41	2,147	523,605
대전광역시	-	2,219	490,079
울산광역시	145	1,374	466,635
경기도	1,270	13,338	7,973,169
강원도	394	3,470	3,300,728
충청북도	347	3,644	2,639,176
충청남도	496	4,676	3,457,654
전라북도	290	6,858	3,718,389
전라남도	501	6,092	4,615,905
경상북도	755	7,265	5,094,135
경상남도	604	5,793	4,239,562
제주도	404	1,789	558,593
계	6,872	80,034	40,360,353

□ 국내 엔지니어링산업 현황

- 국내 건설엔지니어링산업은 미국, 유럽 등 선진국(세계시장의 약 75% 점유, 2011)의 기술경쟁력, 중국 등 저임금 진출 전략에 막혀 해외시장 진출에 많은 어려움을 겪고 있어, 플랜트 및 시공분야에 비해 수주실적이 상대적으로 미흡한 실정임

* 세계 건설엔지니어링 점유율: 미국 34.9%, EU 40%, 중국 3.5%, 일본 1.9%('11)

* 국내 건설기업 설계경쟁력: ('11)19위 → ('16)10위 목표

* 국내 건설엔지니어링 해외프로젝트 수주 비율: ('11)1.9% → ('16)5%

- 전체 건설엔지니어링사의 90%이상이 기술인력 50인 이하로 영세하며 자본, 정보, 기술력 문제로 해외진출에 대한 시도가 매우 어려운 실정임

▌표 2.2.6 2012년 인력규모별 신고업체 현황(한국엔지니어링협회 2013)▐

인력규모	대기업	중소기업	기타	합계	구성비(%)
10명 이하	48	2,344	6	2,398	65.97
11명~20명	28	576	2	604	16.62
21명~50명	34	513	1	548	15.08
51명~100명	30	44	0	74	2.04
101명~200명	7	2	0	9	0.25
201명~300명	2	0	0	2	0.06
301명~400명	0	0	0	1	0.00
401명~500명	0	0	0	0	0.00
500명 초과	0	0	0	0	0.00
합계	147	3,479	9	3,635	100

- 국내 엔지니어링 신고업체 수는 꾸준히 증가하고 있으나, **국내 건설엔지니어링 시장은 2009년을 제외하고 평균 6~7조원의 시장으로 정체**되어 있으며, 향후 상승 동인도 미미하여 국내 시장에 대한 내부 경쟁은 과열되고 있으며, **해외시장 진출이 불가피**함

* 감소하는 국내 건설시장과 영세한 중소기업 위주의 건설엔지니어링 업계의 생존을 위해 해외 시장진출을 위한 정책적 지원이 절실함

- 품셈 및 대가 개정 현실화 필요

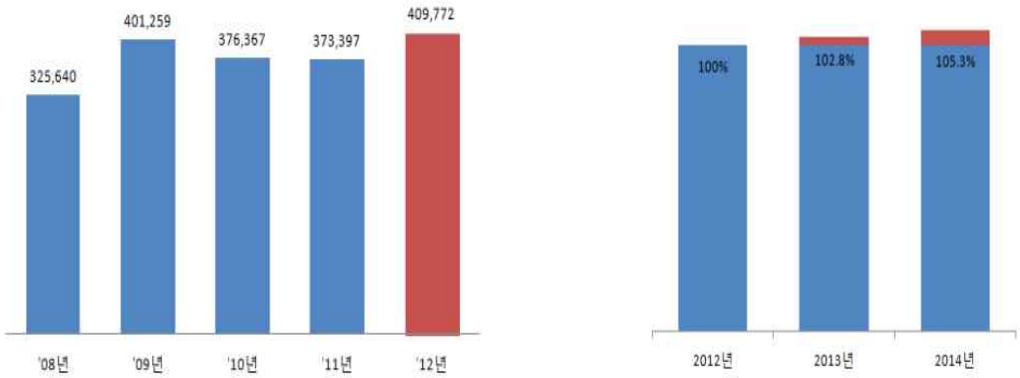
* 건설분야 1인 수주현황은 2011년 1억4200만원/1인, 상하수도분야 1억8720만원/1인, 상위 5위 업체의 경우 2억5100만원/1인 수주, 건설부분 평균 수주금액은 1~2억/ 1인/ 1건 수행 액임

- R&D 투자기회 제공 핵심기술 발굴 및 해외시장 진출 기반 조성 필요

(4) 기술융합에 따른 연관사업 시장

□ 2013년도 말 기준 현재 국내에서 **비파괴검사 수행 업체는 총 125개사**, 그중 방사선비파괴검사를 수행하고 있는 전문 검사업체는 57개사, RT를 수행하지 않는 전문검사업체는 58개사, 다른 법령(위험물안전관리법, 토양환경보전법, 건설기술관리법)에 의한 등록업체는 10개사

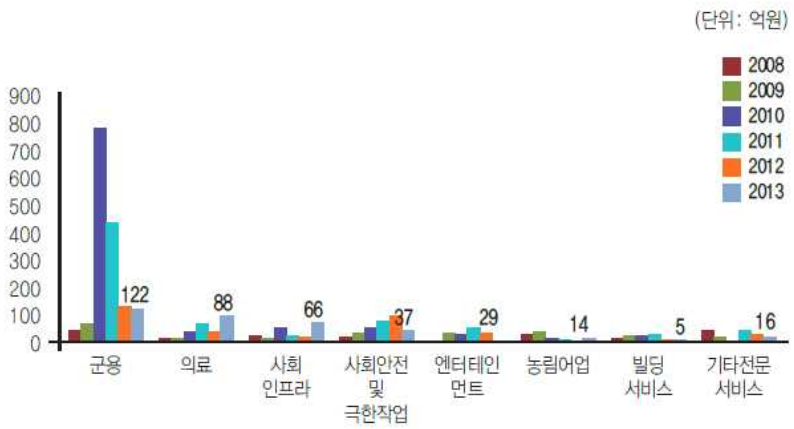
- **2012년도에 비파괴검사업계의 관련 총매출액은 약 4,097억 원**, 2013년도의 국내 비파괴검사업체의 전체 매출액 규모는 약 4천 5백억원 정도로 추산됨



▌그림 2.2.6 연도별 매출액 추이('12년) 및 기대성장율▐

□ 2013년도 **국내 로봇시장 규모는 2조 2,221억원**이며, 2007년 이후 연평균 19.7 %로 지속적인 성장 추세

- 제조용 로봇이 1조 6,958억원으로 전체 생산의 76.4%을 차지하고 있으며, 전문서비스용 로봇은 378억원(1.7%) 수준이나 전년대비 6.5%로 꾸준히 증가하는 추세



▌그림 2.2.7 국내 전문서비스용 로봇 생산액 추이 ▐

□ **센싱, 모니터링 분야의 직접적인 산업규모**는 추정하기가 어려우며, 특히 타 산업분야와의 연계성이 매우 높은 분야(2014.)

- 지능형센서 산업의 경우 **미래성장산업으로서 사용분야가 광범위한 고부가가치 복합지식산업**임

- 국내 센서 수출입 현황을 보면, 2006년 센서 수입액의 경우 전년 대비 9.2% 증가한 6억 8천만 달러로 당해 수출액의 3배가 넘는 규모이며, 이중 이미지센서가 3억 9천만 달러로 가장 많은 비중 차지

- 약 150개 센서 관련 기업(통계청, 2008)이 있으나 자체 생산보다는 수입제품의 가공/조립/패키징 생산 위주로 활동

- 2009년 센서수출의 경우 디텍터, 이미지센서 수출 호조로 32%의 성장을 하였으나 수입액의 절반 이하로 5.4억 달러 적자

2. 국외 시장현황 및 전망

가. 세계 물시장 전망

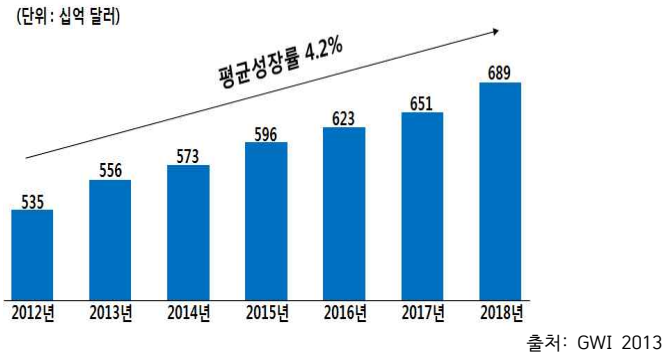
□ 세계 물시장은 **'13년 기준 5,568억 달러**(약 578조원)로 20세기 대표산업인 석유시장(13,580억 달러) 대비 약 41% 수준

□ 2015년 이후 세계 경제안정과 개도국의 성장세 회복과 맞물리면서 **연 평균 5%대의 빠른 성장세** 전망

- 2018년 6,890억 달러 시장으로 연 평균 4.2% 성장 전망
- 개도국의 경제성장 및 소득수준 향상에 따른 물수요 증가 세계 물시장 성장의 가장 큰 원동력

□ '25년에는 8,650억 달러(약 1,000조원)로 급성장 전망

- **세계 물소비가 인구증가와 도시화 가속, 신흥국의 경제성장 등**으로 급성장 하면서 **물시장 성장 견인**



출처: GWI 2013

▌그림 2.2.8 세계 물시장 규모 및 전망▐

□ 업종별로 물산업의 가치사슬에 기초하여 제조, 건설, 서비스로 구분해 보면, 서비스 부문이 3,334억달러(61.9%)로 가장 큰 시장임

▌표 2.2.7 업종별 세계 물시장 규모(2013)▐

단위: 억 달러, %

업종구분(비중)		금액	비중	가치사슬	공급	재생
제조 (19.7)	설비	377	6.8	- 댐 등 수자원 취수시스템 관련 부품 - 송·배관 - 담수	- 정수처리부품 및 시스템 - 배관파이프	- 하수처리부품 및 시스템 - 배관파이프 - 고도수처리 약품
	관망	190	3.4			
	펌프, 밸브	184	3.3			
	화학약품	196	3.5			
	기타	151	2.7			
건설 (18.4)	토목/플랜트	1,023	18.4	- 댐 건설 - 송·배관건설	- 정수처리시설 - 담수처리시설	- 하수처리시설
서비스 (61.9)	설계/운영/관리	3,334	61.9	- 수자원 관리	- 정수처리장 운영 및 관리	- 하폐수처리장 운영 및 관리
합계		5,568	100.0			

출처: GWI(2013) 참조

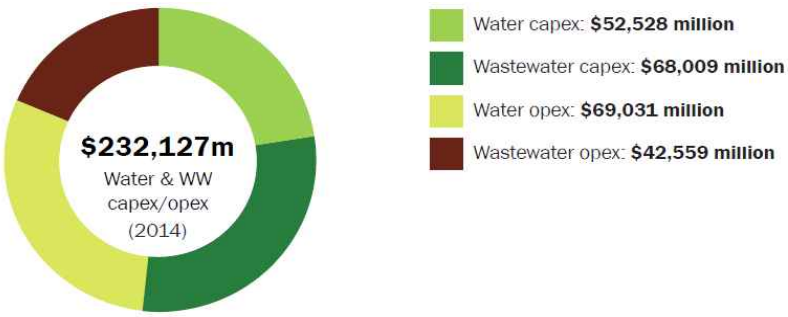
□ 분야별로는 상수시장이 2,772억 달러(전체 시장의 50.9%)로 가장 큰 비중을 차지하며, 하수(39.6%), 산업용 · 폐수(9.5%) 순

▌표 2.2.8 분야별 세계 물시장 규모(2013)▐

단위: 억 달러

사업분야	전체	상수	하수	산업용수· 폐수	해수담수화
시장규모	5,568	2,772	2,208	589	62
(%)	(100)	(50.9)	(39.6)	(9.5)	(5.8)

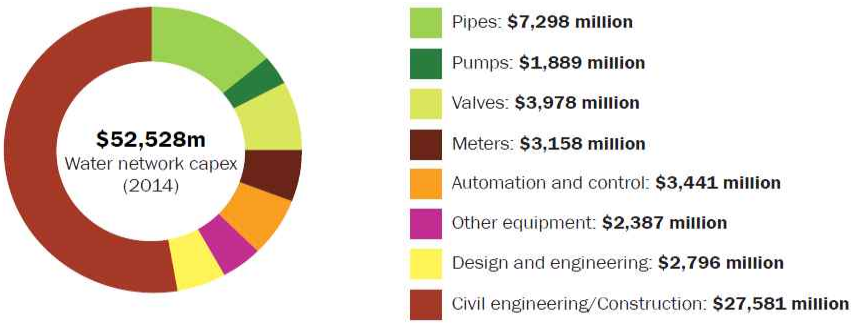
* 상수 시장은 정수시설 건설, 운영, 관리 등 상수도사업 외에 댐 건설, 수자원관리 등을 포함



▌그림 2.2.9 상하수도 관망 비용 규모(2014)▐

□ **2014년 상하수도 관망 시장규모는 2,321억 달러**이며, 상수도 관망시장이 CAPEX(Capital expenditures; 자본적 지출) 525억 달러, OPEX(Operating Expenditure; 운영비용) 690억 달러로 구성

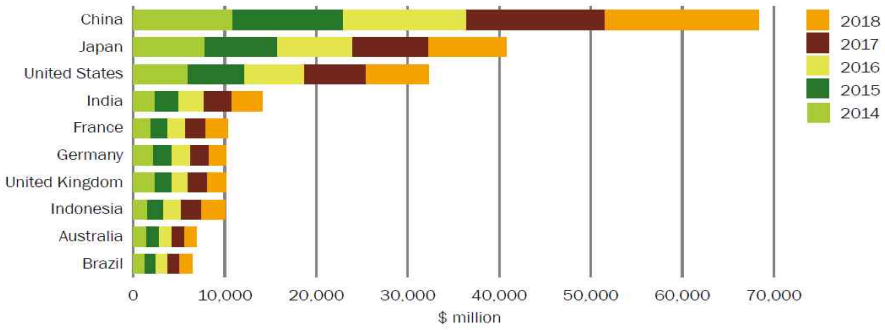
- 상수도관망 관련 비용의 52.5%인 275.8억 달러가 토목엔지니어링 및 건설 분야



▌그림 2.2.10 상수도관망 분야별 비용 규모(2014)▐

□ 지역별 상수도관망 시장은 **아시아 지역이 257억 달러**로 가장 큰 비중을 차지하며, 국가별로는 **중국 107억 달러, 일본 77억 달러, 미국 59억 달러 순**

- 중국은 경제성장에 따른 상수도관망 건설에 많은 투자를 할 예정이며, 2018년 상수도망 시장규모는 169억 달러 규모로 확대될 전망



▌그림 2.2.11 국가별 세계 상수도관망 시장 현황 및 전망▐

□ 2014년 **상수도 관망 유지관리 시장규모는 1,004억 달러**이며, Capital cost 408억 달러, 운영비 362억 달러로 구성

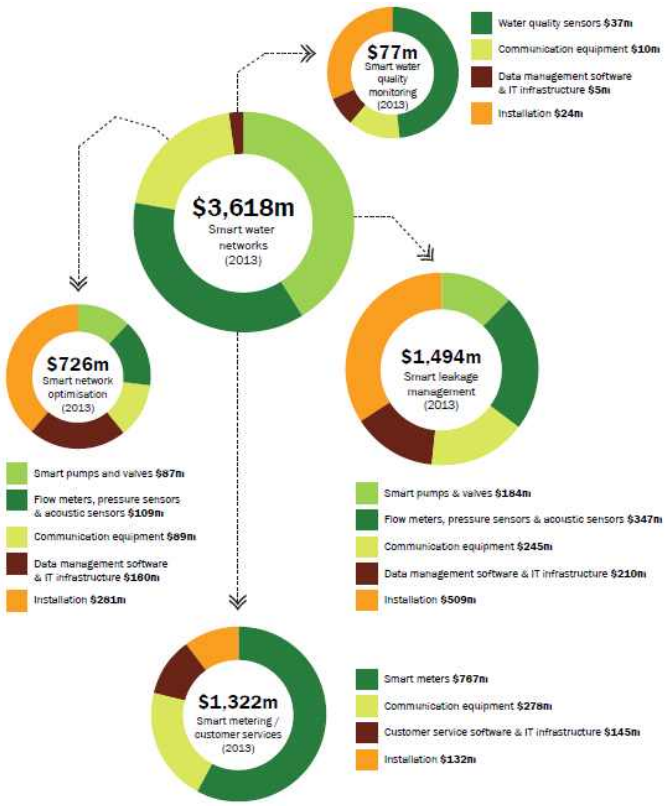
- 향후 20년 이상 지속적 보수비용 발생
- 대부분의 유지관리비인 약 60%가 굴착 및 교체 비용이며, 갱생 등 비굴착공법이 20%, 부분 보수 등이 20%를 차지



▌그림 2.2.12 세계 상수도관망 유지관리 시장 현황▐

□ **스마트 용수공급관망(SMART WATER NETWORK) 관련 시장은 2013년 36.2억 달러**이며, 수질 모니터링 분야 77백만 달러, 관망 최적화 분야 7.26억 달러, 누수관리 분야 15억 달러, 스마트미터 등 서비스 분야 13.2억 달러로 구성

- 스마트 누수관리 분야 중 센서(압력, 음향 등) 분야 3.47억 달러, 정보통신 분야 2.45억 달러, 데이터관리 및 IT 분야 2.1억 달러, 설비 및 장치 분야 5.1억 달러
- 스마트 용수공급관망(SWN) 분야는 2013년 36.2억 달러에서 2018년 69.5억 달러로 연평균성장율(CAGR) 13.9% 성장 예상



▌그림 2.2.13 스마트 용수공급 관망시장 현황▐

- 가장 큰 시장은 동아시아 및 태평양 지역이며, 중국, 일본, 한국, 말레이시아, 필리핀 등에서 연 평균 성장률 17.7%를 나타냄

□ 관망시장은 관망설계 및 시공, 토목, 파이프, 밸브, 펌프, 복구자재 및 서비스, 계측, 자동제어, 관망운영 및 고객 서비스 등 을 포함하는 개념

- 관망시장은 신규 시설뿐만 아니라 기존 시설에 대한 운영관리를 모두 포함하고 있으므로 자본투자와 운영비용의 개념을 모두 포함

▌표 2.2.9 상수도관망 자본투자비(2011~2018) ▐

(단위:백만달러)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
파이프	6,470.1	6,995.1	7,156.8	7,297.7	7,585.7	8,088.4	8,640.1	9,215.0
펌프	1,669.1	1,806.8	1,852.6	1,889.2	1,971.7	2,107.1	2,254.3	2,408.8
밸브	3,515.6	3805.5	3,900.5	3,977.6	4,150.3	4,434.2	4,743.1	5,067.1
계량기	2,586.2	2,819.1	2,963.2	3,157.8	3,453.3	3,732.0	3,964.6	4,176.7
자동제어	2,529.4	2,910.1	3,173.0	3,441.4	3,821.4	4,345.1	4,948.2	5,628.2
기타설비	2,340.7	2,444.5	2,420.0	2,387.4	2,429.8	2,519.5	2,646.0	2,803.4
설계 및 엔지니어링	2,466.9	2,671.7	27,471.8	2,796.1	2,920.3	3,123.6	3,343.8	3,575.6
토목 및 건설	24,918.6	10,951.9	11,115.0	11,176.8	11,513.6	12,202.1	12,967.4	13,763.3
합계	46,496.6	34,404.1	35,322.8	36,124.0	37,846.1	40,552.1	43,507.6	46,638.1

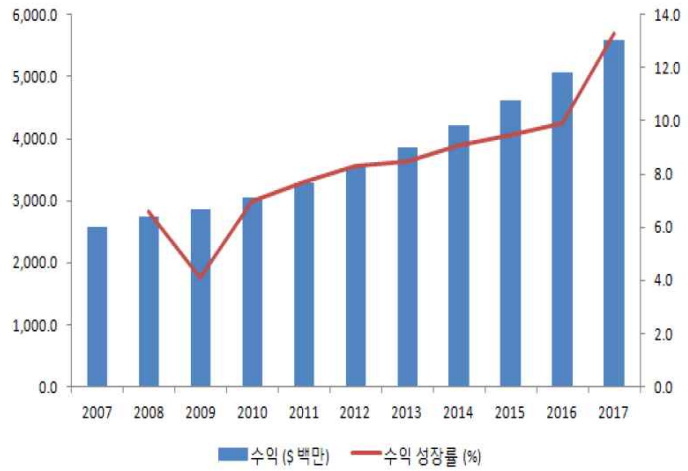
▌표 2.2.10 세계 10대 도시 상수도관망 시장(2011~2018) ▐

(단위:백만달러)

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2014-18
중국	10,782.4	12,083.7	13,154.6	15,109.0	16,891.6	68,381.2
일본	7,737.4	7,969.5	8,208.6	8,285.8	8,534.3	40,735.6
미국	5,899.5	6,215.3	6,521.5	6,760.3	6,900.7	32,297.4
인도	2,332.9	2,537.1	2,778.0	3,062.3	3,397.8	14,108.2
프랑스	1,810.5	1,828.1	2,011.7	2,213.8	2,436.1	10,300.2
독일	2,112.2	2,069.7	2,034.9	2,000.8	1,967.6	10,185.2
영국	2,292.9	1,895.1	1,698.7	2,107.8	2,150.2	10,144.7
인도네시아	1,499.5	1,695.9	1,918.1	2,263.3	2,670.7	10,047.5
호주	1,389.7	1,384.0	1,378.2	1,385.1	1,399.0	6,936.0
브라질	1,176.7	1,252.1	1,248.7	1,329.9	1,421.0	6,428.4
합계	37,033.7	38,930.6	41,313.0	44,518.2	47,768.9	209,564.4

나. 세계 비파괴 검사 시장(Frost & Sullivan, 2010)

□ Frost & Sullivan의 연구에 의하면, **세계 비파괴검사 시장의 규모는 30.5억 달러**로 약 7.0%의 성장 속도를 보였으며, **2017년에는 전 세계 비파괴검사 서비스 시장이 55.9억 달러로 성장**할 것으로 기대



▌그림 2.2.14 비파괴검사 서비스 시장 수익 전망▐

□ 북미 시장은 전 세계 시장에서 가장 중요하고 가장 큰 시장으로 2010년 수익은 40.8%를 점유, 주된 이유는 이 지역에선 비파괴검사 중요성이 잘 인식되고 있기 때문

- 대부분의 비파괴 검사 서비스 최종사용자는 주로 오일, 가스, 발전 에 집중되었는데, 이는 정부 안전 규제로 정기적으로 설비검사를 받아야 하는 규정 강화가 원인

□ 유럽 시장은 전 세계에서 2번째로 큰 시장으로 2010년 수익은 31.3%를 점유, 2017년까지 전망은 전반적으로 29.3%로 기대

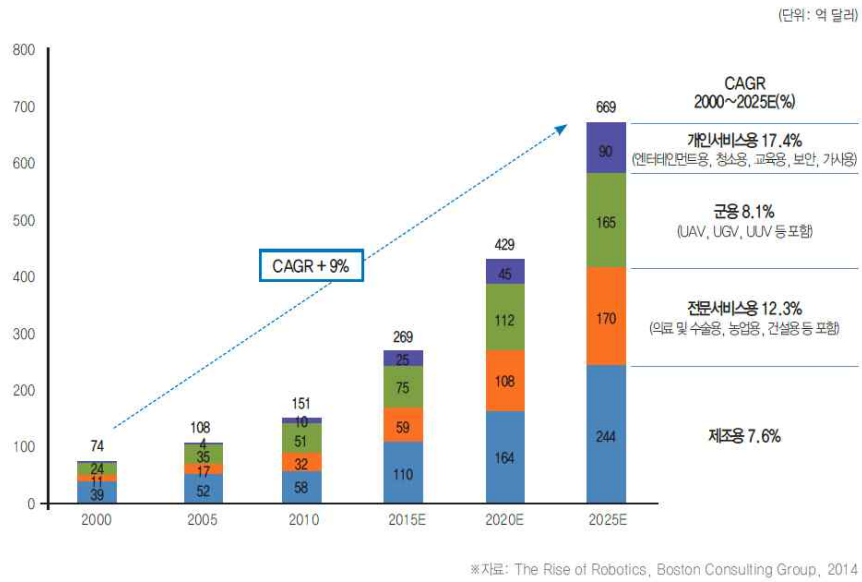
□ 아시아 태평양 시장은 전 세계 비파괴검사 서비스 시장에서 16.5%를 점유하였고, 2017년 까지 전망은 전반적으로 1.9% 정도 증가할 것으로 기대

□ 세계 NDT 장비 시장은 '10년 미국이 30억달러 정도로 세계시장 규모는 50억달러 이상의 규모로 추정되며, 연평균 6% 성장을 보이고 있고, 관련 산업의 부가가치생산액(기술용역수요 포함)은 연간 100억 달러를 넘을 것으로 추산됨

다. 세계 로봇 시장

□ **2013년 세계 로봇시장 규모는 총 147.9억 달러로 전년대비 10.7% 증가**하였고, 2007년 이후 연평균 10% 이상 지속적으로 성장하는 추세(World Robotics, IFR, 2008~2014)

- 분야별로 보면 제조용 로봇(95.1억 달러, 64.3%)이 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 그 다음으로는 전문서비스용 분야가 35.74억 달러 수준(24.1%)
- 보스턴컨설팅 그룹은 로봇 판매시장이 2020년 429억 달러, 2025년에는 669억 달러 규모로 성장할 것으로 전망



▌그림 2.2.15 세계 로봇시장 전망 ▐

나. 주요 국가별 시장현황

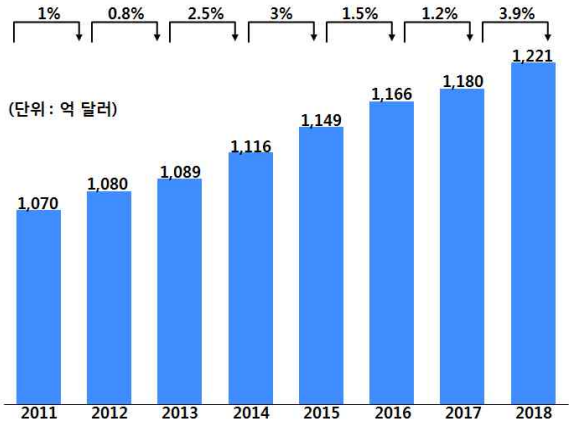
(1) 미국

□ 2010년 기준 미국 인구는 3.2억만 명이며, 2012년 국내총생산은 156,534억 달러

- **미국 물산업**이 직면하고 있는 가장 큰 문제점은 **물 인프라의 심각한 노후화**임
- 하지만 업그레이드를 위한 비용이 천문학적이며, 많은 시간이 소요되는 의사결정 시스템도 걸림돌로 작용

□ 2013년 기준 **미국의 물시장은 1,089억 달러**이며, 2018년 1,221억 달러 규모로 성장할 전망 (상수보급률 95%)

- 2018년까지 연 2% 이상의 성장세를 기록할 것으로 예상되며, 특히 노후화된 물 시스템을 향상시키는데 많은 투자가 이루어 질 전망



▌그림 2.2.16 미국 물시장 현황 및 전망▐

□ 특히 수도 기반시설 교체 시대 도래하여 노후관 개량시장 확대로 진단시장도 활성화 예상

- 미국 수도협회(AWWA)에서 **수도시스템의 재구축 시대** 도래 발표
- 더 이상 묻어 둘 수 만은 없다(Buried No Longer: Confronting America's Water Infrastructure Challenge, AWWA, 2012)
- 지하에 매설되어 있는 백만 마일 이상의 관로와 같이 용수공급 기반시설 대부분이 내구연한의 끝에 다다르고 있으며, 교체가 필요한 한계수명에 다다르고 있음
- 지역별 인구증가로 용수공급을 위한 더 많은 관망을 필요로 하게 함
- 내구연한에 다다르고 있는 용수공급 시스템 회복과 증가하는 인구를 위한 수도 서비스 확대에 향후 25년 동안 적어도 1조 달러 이상의 비용이 투입될 것
- 과거 지연된 투자에 대한 따라잡기가 필요하며, 이를 연기하면 할수록 만회하기 더 어려워질 것임

□ 막대한 비용이 소요되는 개량 프로젝트(교체 등) 수행 → 과학적인 진단을 통한 능동적 관리를 통한 관로 수명연장으로 패러다임 전환(ASCE, AWWA, 2013)

- 노후관 개량비용 2035년까지 1,200조원(48조원/년) 소요 (AWWA, 2014)
- 제한된 제정자원으로 전체 교체 보다는 구간별 상태에 따른 선택적 보수 시행
- 1 km 교체에 따른 평균 금융비용 약 18억원 규모이나, 1 km 진단 후 선택적 보수 또는 개량시 약 1억원 소요로 개량사업비 약 95%을 절감 가능(사례)
- 따라서 **가장 중요한 것은 관로의 취약구간(Weak line)을 찾고, 상태에 맞는 적절한 개량계획 수립을 지원하기 위한 "비파괴 정밀진단·성능평가" 체계 구축을 강화**

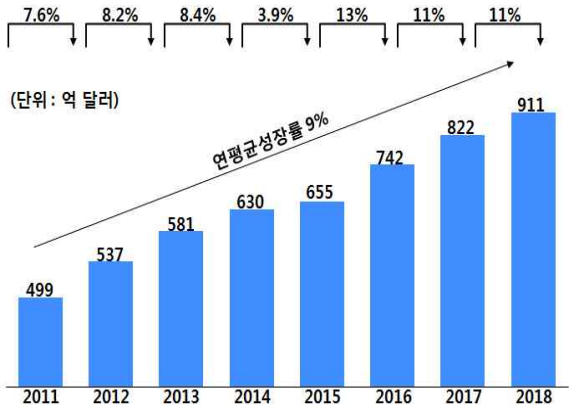


▌그림 2.2.17 미국의 관로관리에 대한 패러다임 변화▐

(2) 중국

□ **중국 물시장 규모는 2013년 기준 580억 달러**로 전년대비 8.2% 성장

- 2014년은 전년대비 8.4% 증가한 630억 달러를 형성할 것으로 예상되며, 2018년 911억 달러 시장으로 확대되어 연평균 9% 성장 전망



▌그림 2.2.18 중국 물시장 현황 및 전망▐

- 상수시장은 2014년 198억 달러, 2018년 272억 달러로 2013년 대비 45% 증가할 전망

* 2013년 상수도망 설치에 94억 달러 투자 예상, 2018년 164억 달러로 2013년 대비 74% 증가

- 중국의 수도사업은 설계, 건설, 장비 등을 포함하여 2013년 352억 달러(40조3979억원)에서 2018년 545억 달러로 성장 예상

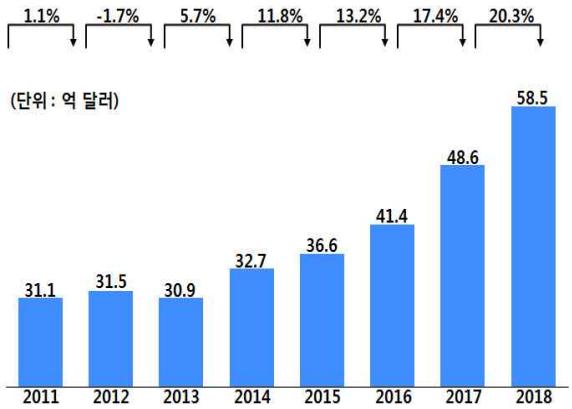
* 수도사업체 자본 예산 규모 2013년 192억 달러에서 2018년 276억 달러로 증가 예상

* 상수관망 시장 2013년 96.2억 달러(11조433억원)에서 2018년 169억 달러(19조3797억원) 규모로 증가 예상

(3) 인도네시아

□ 2013년 인도네시아 인구는 1.4억 명이며, 물 공급 및 처리는 극히 취약한 상황

- 많은 인구와 경제성장 속도를 고려하면, 물산업의 성장요인 매우 높은 국가



▌그림 2.2.19 인도네시아 물시장 현황 및 전망▐

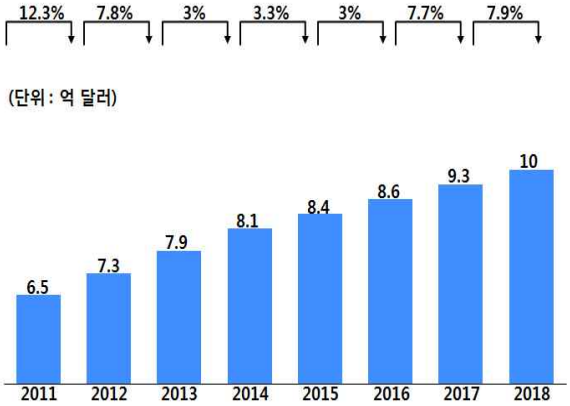
- 상수관망 시장 2013년 15.78억 달러(1조8112억원)에서 2018년 26.7억 달러(3조646억원) 규모로 증가 예상

(4) 필리핀

□ 2009년 기준 상수망에 접근 가능한 인구 67백만 명으로 전체 인구의 74%

- 필리핀 정부의 최우선 정책 목표는 국민들에게 깨끗한 물 공급을 하는데 있음
- 2013년 기준 필리핀 물시장 규모는 7.9억 달러이며, 상수시장 2.3억 달러, 운영부분 2.6억 달러로 구성

* 꾸준한 성장세를 지속할 것으로 예상되며, 2018년 10억 달러 시장을 형성할 전망

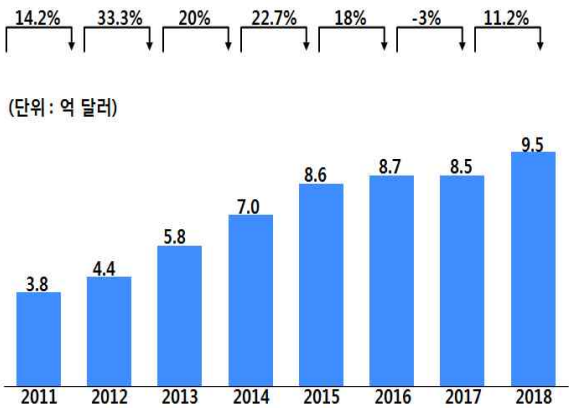


▌그림 2.2.20 필리핀 물시장 현황 및 전망▐

(5) 베트남

□ 2010년 기준 인구는 92백만 명이며, 일인당 국민소득은 1,523달러

- 상수와 하수에 관련된 투자 금액의 상당 부분을 아시아개발은행, World Bank 등 국제기구의 도움 통해 건설되고 있음
- 인구의 20% 가량이 상수도망을 통해 물 공급, 대부분 도시지역에 국한 상황
- 생산기지로써 베트남의 중요성과 경제성장에 따른 도시화로 베트남 물수요는 급증할 전망
- 2013년 기준 베트남 총 물시장 규모는 5.8억 달러이며, 2018년 9.5억 달러로 연 10% 이상 성장할 전망



▌그림 2.2.21 베트남 물시장 현황 및 전망▐

- 상수시장의 신규투자가 활발하게 진행되고 있으며, 2013년 상수분야 시장규모는 3.19

억 달러로 전체 시장의 52%를 차지

- 2018년까지 베트남 상수시장은 연 8%씩 성장하여 4.5억 달러 시장을 형성할 전망

* 상수관망 시장 2013년 1.49억 달러(1713억원)에서 2018년 2.66억 달러(3052억원) 규모로 증가 예상

3. 이슈 및 시사점

□ 노후 용수공급관로 개량 수요 급증에 따른 정밀진단을 통한 개량 대책 필요

- 미국의 경우 노후관 개량시장 확대로 진단시장도 활성화 예상, 향후 25년 동안 1조 달러 이상 비용 투입 예상, 노후관로 전체 교체 보다는 정밀진단을 통한 구간별 상태 평가에 따른 선택적 보수 시행으로 소요사업비 절감으로 한정된 국가 재정 효율화

- 국토교통부 2025년 수도정비기본계획 장기 용수공급시설 안정화 사업계획에 '25년까지 30년 이상 용수공급 관련 노후시설에 3조 2천억원 투입 개선

- 2014년 기준, 광역상수도 및 공업용수도 관로 중 매설연도 30년 이상된 노후관은 7.5%(379㎞)이나, 2020년에는 17.1%, 2025년 27.1%, 2030년에는 50.9%까지 증가할 전망(138km/년)

- 지방상수도 시설은 3~5년 내 기능상 한계점에 도달, 개량사업 투자 없을 시 사고 위험(파손, 단수, 지반침하 등) 급격한 증가 우려, 동시다발적 사고시 대응 곤란 및 막대한 피해 예상

- 노후 지방상수도시설 개량사업('16년~'27년, 12년간) 총사업비 3조6695억원, 상수관망 개량(2,664km)에 2조2246억원 소요

- 시설물 보수·보강 등 유지관리업 시장 규모 확대(2.8조원), 업체수 동반 증가(4,056개)로 양적 성장 추세(2010년 기준)

- 시설물 안전진단·유지관리 시장은 최근 10년간 1,000억원대이나, 안전진단 전문기관은 매년 증가 추세, 관망진단 시장은 200억원대/년

- 노후 용수공급관로 상태의 과학적 정밀진단을 통한 시설물 수명연장, 합리적인 개량사업 계획, 유지관리 방안 및 경제적 예산 투자 등 전략적.경제적인 대처 방안 필요

- 대규모 관로 사고로 인한 막대한 피해, 복구 비용 발생 및 생활 불편 해소, 산업.경제 손실, 국가 경제 장애를 최소화 및 방지하기 위하여 상시적 모니터링을 통한 선

제적, 예방적 유지관리 필요

□ **블루골드인 미래 물시장의 선제적 기술 개발로 해외시장 진출 및 활성화 필요**

- 세계 물시장은'13년 기준 5,568억 달러(약 578조원)로 20세기 대표산업인 석유시장(13,580억 달러) 대비 약 41% 수준,'25년에는 8,650억 달러(약 1,000조원)로 급성장 전망
- 상수시장이 2,772억 달러(전체 시장의 50.9%)로 가장 큰 비중을 차지
- 2014년 상수도 관망 유지관리 시장규모는 1,004억 달러 달러(약 60% 굴착 및 교체 비용, 갱생 등 비굴착공법 20%, 부분 보수 등 20%)
- 모니터링, 누수관리, 최적화 등 스마트 용수공급관망(SMART WATER NETWORK) 관련 시장 2013년 36.2억 달러
- 기술서비스시장 개방 추세에 따라 국내 기술보호와 국가 주요 인프라 시설에 대한 정보유출방지를 위한 체계적인 대비 필요
- 해외기술도입에 따른 수입대체효과 및 원천기술 확보를 통한 해외수출 라이센스 확보
- 용수공급관로의 정밀진단 기술력 확보를 통한 시장 활성화 및 해외시장 진출 지원 필요
- 범정부차원에서 융·복합을 통한 신기술 창출로 신시장 진출 유도 및 정부주도의 정밀안전진단전문기관의 해외시장 진출 활성화 추진
- 글로벌 물시장 확대 중이며 선진국·선진기업은 시장 지배 확대 추진 중이나 국내기업은 기술력 한계로 진출 미흡에 따른 대처 전략 필요

□ **기술 융·복합에 따른 연관사업 시장 활성화**

- 세계 비파괴검사 시장 규모는 30.5억 달러(2010년),'17년 56억 달러로 성장 기대, 2013년도의 국내 비파괴검사업체의 전체 매출액 규모는 약 4천 5백억원 정도로 추산됨
- 2013년도 국내 로봇시장 규모는 2조 2,221억원이며, 2007년 이후 연평균 19.7%로 지속적인 성장 추세
- 센싱, 모니터링 분야의 직접적인 산업규모 추정 어려우나, 타 산업분야와의 연계성이 매우 높은 분야임, 센서 수입액 6억8천만달러(2006년 기준), 센서시장 2014년 795억

달러에서 연평균 7.9%의 성장률 2019년 1,161억 달러로 성장 전망

- 정부는‘첨단 스마트 센서 육성사업'에 따라 2015년부터 6년간 1,508억 원을 투자할 계획, 2020년 기준 42억 달러 생산과 21억 달러 수출을 목표로 설정

- 카메라(모듈) 2017년 약 300억 달러 시장 규모, 영상보안(CCTV) 분야 2017년에 232억 달러(약 25.2조원) 규모까지 성장 전망

- 융·복합 신기술 개발 정부지원 강화를 통한 연관산업 활성화, 신규수요 창출 시장 확대, 일자리 창출 등 창조경제 기여 필요

제 3 절 기술동향 분석

1. 국내·외 기술개발 동향

가. 국내 기술동향

(1) 정밀진단·성능평가 기술

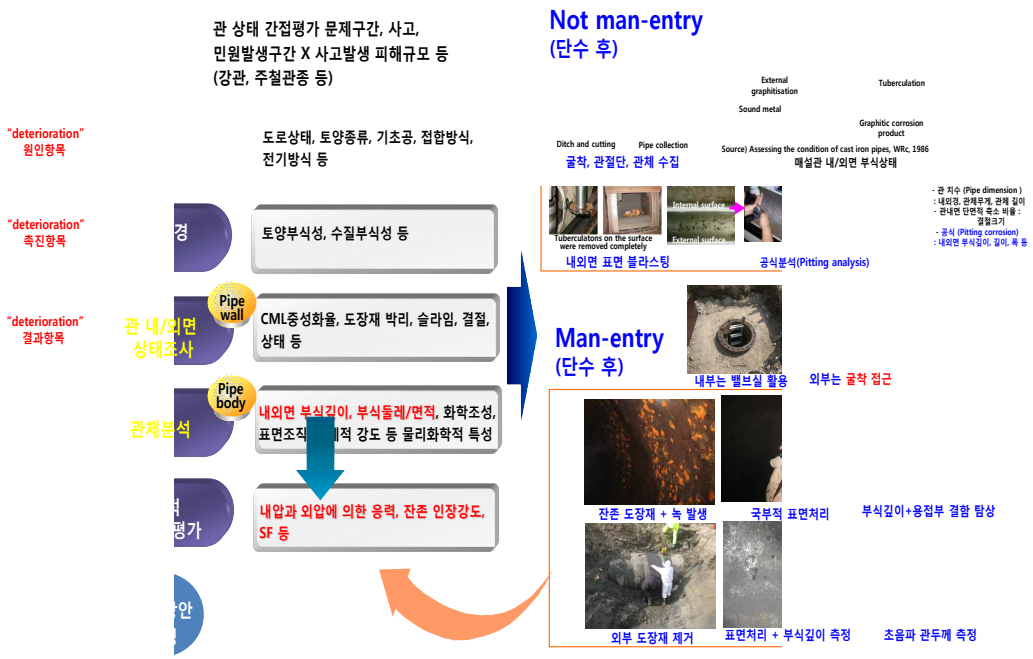
□ **국내**에서 상수관로에 대한 보편적인 진단방식은 **점수평가방법과 같은 모델**을 사용하여 취약구간을 선정하고, **굴착을 통한 관 절단 후 직접조사** 또는 대구경인 경우에는 **밸브실 등 공기밸브 또는 점검구를 통하여 관 내부로 진입하여 인력에 의한 조사** 수행

- 점수평가방법은 기존의 관 제원, 운영매설환경, 사고이력 등 유지관리 자료에 관 파손 영향도에 따라 항목별 가중치를 적용, 각 항목의 점수를 산출 합산하여 노후상태를 추정하는 방법으로 신뢰성이 높지 않은 것으로 평가되고 있으며,

- 특히 **이러한 예측모델로는 관을 어떤 방향으로 개량(계속사용, 보수, 보강, 교체 등) 해야 하는지에 대한 명확한 대안 제시가 거의 어려움**

* 주로 예측모델 등은 연차별 투자계획을 수립하거나 문제구간을 screening 하여 구별해 내고, 직접조사를 위한 선정조건으로 활용

- 또한 굴착 후 관체절단이나 관 내부로 인력이 들어가 조사하는 **직접조사는 점(Point)적이고 조사시 단수가 수반되어 장기적인 조사가 어려워 정밀조사 보다는 육안조사로 대부분 수행, 관의 구조적인 상태에 따른 적정 개량방안 수립이 곤란**



▌그림 2.3.1 기존의 관 상태 직접평가 방식▐

□ 현재 광역 등 대구경에 대한 **정밀안전진단시에도 인력에 의해서 관 외면에서 일부구간에 대해서 초음파두께 측정과 용접부 결함 탐상만 하는 수준**

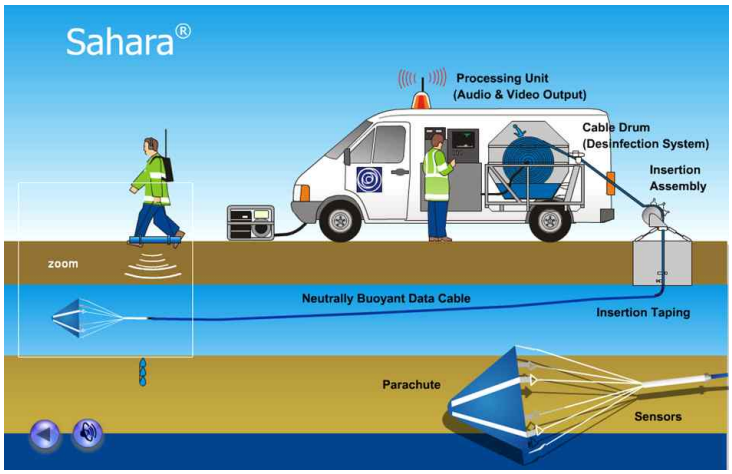
- 조사결과에 대한 정보 신뢰도 부족으로 관의 안전도 평가가 어려워, 정확한 개량방안 수립 곤란



▌그림 2.3.2 대규모 용수공급관로의 인력에 의한 관 외면과 내면상태 조사 전경▐

□ 최근에는 **K-water**에서는 장거리 구간(2 km)에 대하여 관 내부 CCTV를 통한 상태와 누수탐사가 가능한 **사하라 등을 국내에 처음 도입**하여 광역상수관로를 대상으로 활용 중

- 다만 고가의 해외장비 도입으로 지속적인 전문업체의 유지관리(주요 부품 등)가 필요하며, **CCTV를 통하여 관 내부상태 확인과 Hole 또는 균열부를 통한 누수발생 신호를 확인할 수 있으나, 부식에 의한 구조적인 손상이나 결함, 누수 이전의 균열 등은 탐색 불가능**



▌그림 2.3.3 기존 국내에 도입된 사하라 시스템 ▐

□ 다만 국내의 기술적 한계를 파악한 해외업체들이 국내업체와의 MOU체결 등을 통하여 기술을 도입함에 따라 **대규모 용수공급관로에 대한 주요 정보와 검사결과가 해외로 유출**될 가능성이 매우 높은 상황

- 대부분 탐상에 대한 해석과 평가 또한 해외 장비 개발업체들이 해당 노하우를 가지고 있어, 국내에서 이를 분석하고 평가하지 않고 해외로 탐상데이터를 보내고 해석결과만 전달받는 형태이며, **결과를 받는데도 상당한 시간이 소요**되는 것으로 알려져 있음

□ 또한 최근 국가과제를 통하여, 관로내에 장비를 투입하여 **관로의 위치를 파악하고 mapping이 가능한 기술과 관 내부 상태를 2차원 화상으로 표출할 수 있는 시스템을 소형관을 대상으로 개발**하고 있으나, 대규모 용수공급관로에 대한 비파괴 정밀진단.성능평가 기술에 대한 기술개발은 부재한 실정

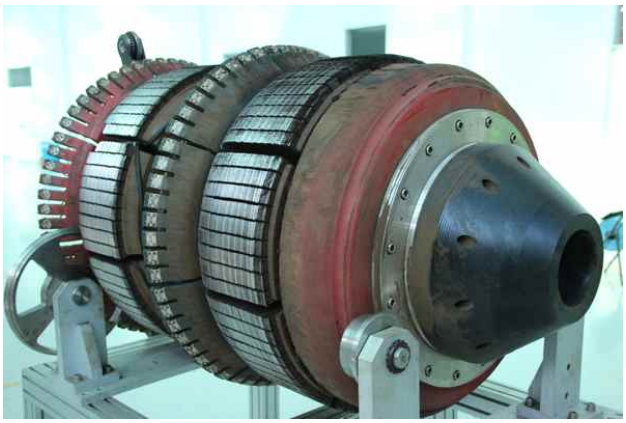
□ 특히 **비파괴를 이용한 면적 scanning 기술의 경우 대부분 원자력, 가스관, 송유관 등 타 배관에 대하여 추진**되고 있으며, 타분야의 관로는 주로 소형관이므로 개발 기술도 대부분 **대규모 용수공급관로에 비하여 상대적으로 관경이 작은 소형관 위주로 개발**되고 있음

- 현재 비파괴 탐상기술은 초음파와 방사선에 집중되어 개발되어 왔으며, 최근 위상배열초음파, 자기 또는 전자기장을 이용한 기술로 확대 개발 중

- 최근 한국가스공사 연구개발원에서는 관경 200 mm, 400 mm에 대한 언피거블 배관에 적용할 수 있는 자가추진형 비파괴 탐상장비 개발에 성공하였고, 성균관대, 부산대 등 학계에서도 주로 가스 또는 원자력 배관 위주로 탐상장비 개발 연구를 수행하고 있음

* 언피거블 배관은 민간도시가스 배관처럼 운영압력이 낮아 인텔리전트 피그를 이용한 부식검사가 불가능한 배관을 의미

- 한국가스공사에서는 이전 연구에서 피거블 배관에 대한 비파괴 탐상장비 개발의 국산화에 성공하여 500백만원/km의 해외 기술사용비를 절감하였음



▌그림 2.3.4 한국가스공사 연구개발원의 30 in 자기누설방식 피그▐

□ 따라서 대규모 용수공급관로에 대한 비파괴 정밀진단·성능평가 기술의 조기 개발을 통한 자체 기술력 확보가 무엇보다 시급한 상황

(2) 구조적 상태감시 예측 기술

□ 상수관로 운영감시분야 기술의 경우 **그동안 유량, 수압, 수질 등 공급용수의 양적, 질적 관리를 위한 모니터링 장치와 해석기술**을 중심으로 연구개발이 진행되어 왔기에, 상대적으로 **관로 자체의 열화, 변화, 결함 등을 실시간으로 감지하고 사고를 예방할 수 있는 Pipeline Structural Monitoring 기술에 대한 개발은 미흡한 실정**

- 구조적 상태감시와 관련된 기존 연구사례를 살펴보면, **주로 노후관로 보다는 신관 매설시 광섬유 등을 관 주변에 설치하거나 센서와 관로가 일체화된 누수감지관 등을 사용하여 관 파손을 감시하는 형태의 기술들이 개발되어 왔으나,** 대부분 **사고발생 후 나타나는 징후를 통해 이상여부를 판단하므로, 사고의 예방적 차원보다는 사고**

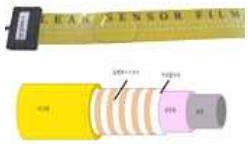
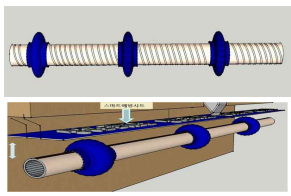
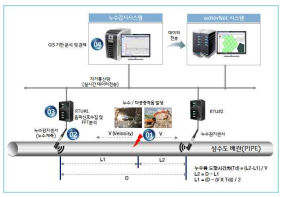
후 긴급대응을 통한 신속한 복구를 목표로 하는 기술들임

□ 구조적 상태감시와 관련된 기존 연구개발 사례는 다음과 같음

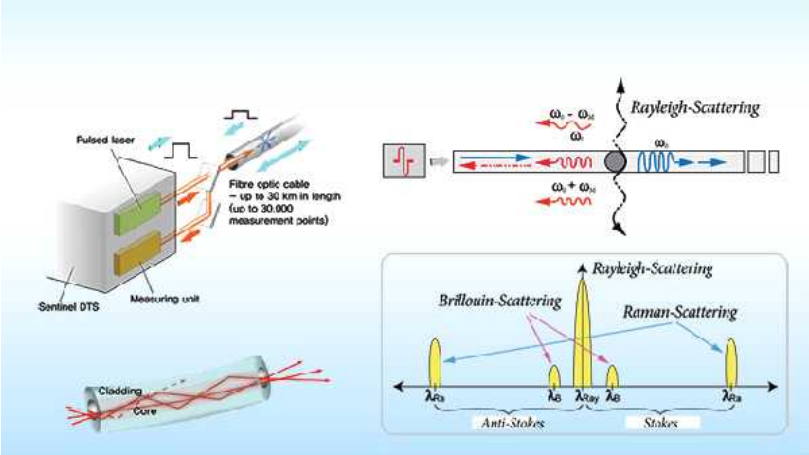


▌그림 2.3.5 신규 매설관에 적용된 누수감지 기술▐

▌표 2.3.1 국내에 도입 또는 개발 중인 관로 감시기술 현황 ▐

구분	A 사	B 사	C 사	D 사
제품 사진				
감지 원리	- 액체감지 센서를 Film 형태로 관외면에 부착하여 누수를 감지하는 기술 - 매 2Km마다 신호수신 외함설치	- 수도미터 일체형 음파센서 수신 및 신호분석을 통한 근거리 누수 감지 기술	- 관외부면에 전파전달 케이블을 일정간격으로 감아 케이블 손상시 관파손을 감지하는 기술 - 관상부에 시트형 감지테이프를 설치하여 타공사 굴착 등의 외부충격을 감지하는 기술 - 관접합부 압력센서를 통하여 누수발생시 압력변화를 감지하는 기술	- 관로 주요지점의 내,외부에 설치된 고성능 하이드로폰 센서를 이용하여 외부공사 및 실시간 누수 감지
센서 종류	- 액체감지형 Film	- 수도미터 일체형 음파수신센서	- 관본체파손: 도선방식 - 접합부누수: 압력식센서	- 음파수신센서

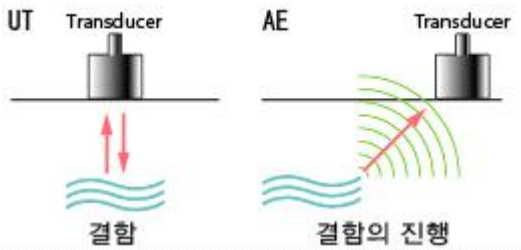
□ 최근, 누수를 광역적으로 감시하기 위해 광섬유를 활용한 기술들이 다양하게 개발되고 있으며, 구조물이나 제방 모니터링 등에도 폭 넓게 활용되고 있음



▌그림 2.3.6 광섬유 케이블을 이용한 온도 & 변형률 측정 ▐

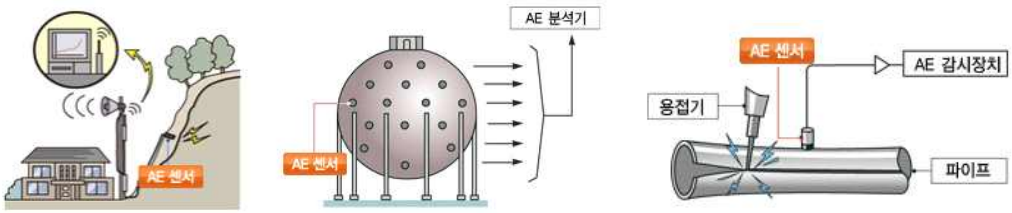
□ **비파괴 기술로서 음향방출**(Acoustic Emission, AE) 기술을 활용하여 결함의 위치를 추정하고, 결함의 상태를 평가할 수 있는 진단기술이 부각되고 있음

- **결함의 진전**이나 **누출** 등으로 인해 에너지의 순간적 방출이 발생하면 그 중 일부가 탄성파로 변환되어 **부재를 타고 전파**하는데 바로 이러한 탄성파를 AE이라고 함



▌그림 2.3.7 기존 초음파와 AE를 이용한 결함 진단 비교▐

- 국외에서는 AE 기술을 주로 **정유·석유화학 기업들 뿐 만 아니라 원자력 및 화력 등과 같은 발전회사, 항공우주 분야**에서도 도입하여 플랜트 및 설비의 건전성을 평가하는데 사용하고 있으며, 국내에서는 유류 등의 저장탱크 **건전성 평가에 많이 활용하고 있음**
- 한국가스안전공사에서는 1998년에 AE 기술을 도입, 현재까지 구형저장탱크, LNG저장탱크, 튜브트레일러 등을 진단을 수행하는데 활용 중



▌그림 2.3.8 AE를 다양한 진단적용 분야 ▐

□ 최근 AE를 이용함 감시기술은 산업체 **구조물 등에 삽입하여 내장형으로 된 스마트 센서를 개발**하였으나, 풍력 블레이드 손상감지를 위한 목적으로 개발, **현재의 지하매설관로에 대한 구조적인 상태감시를 위한 스마트 센싱 기술은 향후에도 지속적인 개발 필요**

□ 그 외 최근 개발되고 있는 기술들은 **관의 구조적인 상태변화 보다는 2014년부터 이슈화되고 있는 싱크홀 등 지하공간의 불안전성(지진, 지반재해 등) 등이 지하매설물에 미치는 영향을 실시간으로 감시하거나 또는 예측하는 기술에 집중** (GPR 등)



▌그림 2.3.9 국내 싱크홀 발생 전경 ▐

나. 국외 기술동향

(1) 정밀진단·성능평가 기술

□ 과거에는 **다양한 상태를 예측하고 개량을 판단할 수 있는 노후도 평가모델과** 이를 기반으로 한 S/W도 상당수 개발하였으나, 이러한 방법에는 **한계가 존재**함을 인식

□ 노후도 평가모델은 데이터가 부족하거나 있더라도 신뢰성이 부족한 한계가 있으며, 일부 샘플에 대하여 **직접조사를 하더라도 동일계통의 인접한 관 조차도 상태가 상이하여** 정확한 처방이 어렵다는 사실을 인지하고 **관로 진단평가에 대한 새로운 돌파구 모색**

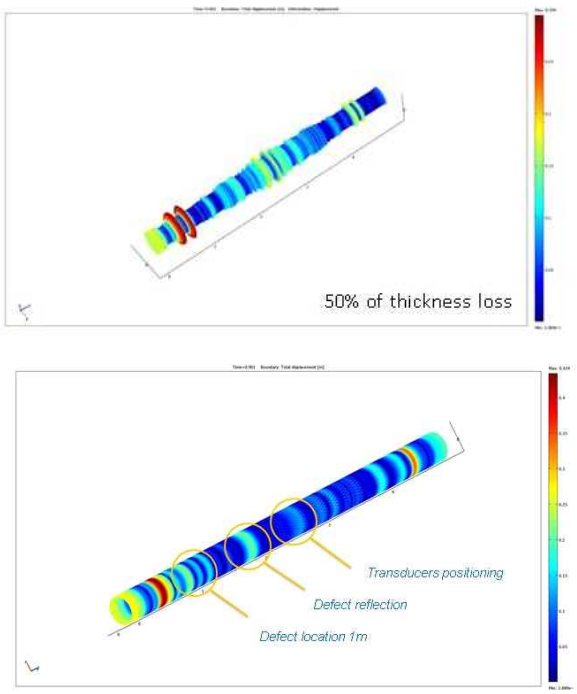


▌그림 2.3.10 캐나다 Toronto시 관로 직접평가 전경▐

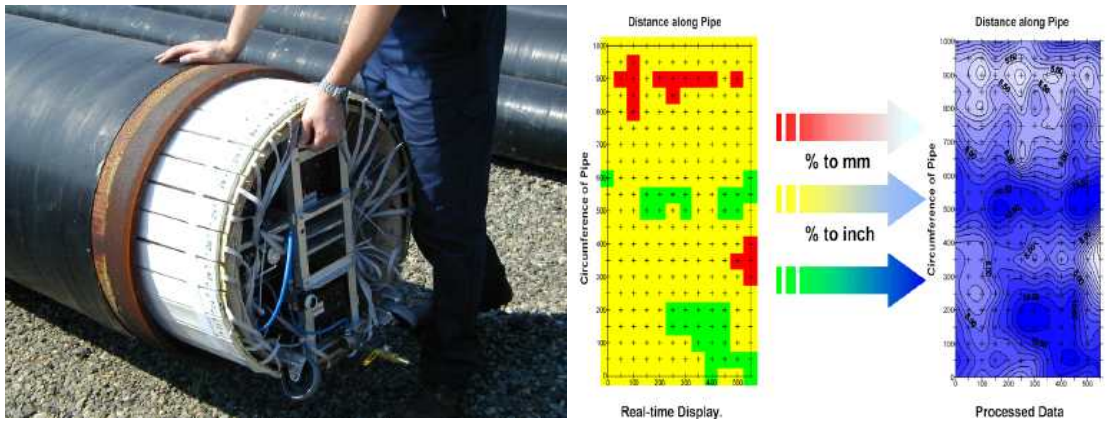


▌그림 2.3.11 동일구간의 서로 다른 관 상태 전경▐

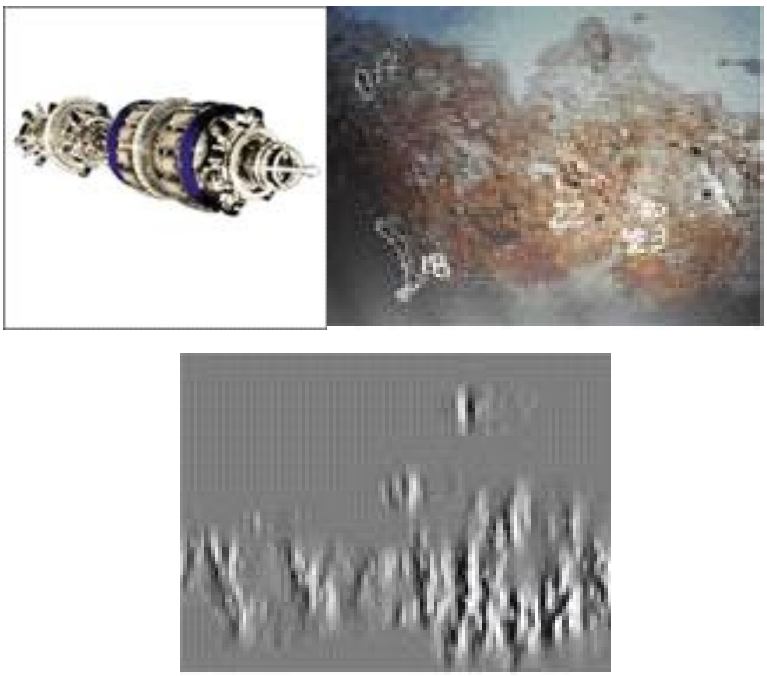
□ 기존 **IT, 비파괴, 로봇기술(Robotics), S/W를 융합,** 전체구간에 대한 장거리 면적 스캐닝을 통해 **관의 상태를 한눈에 파악하고, 처방할 수 있는 기술의 연구개발에 집중**



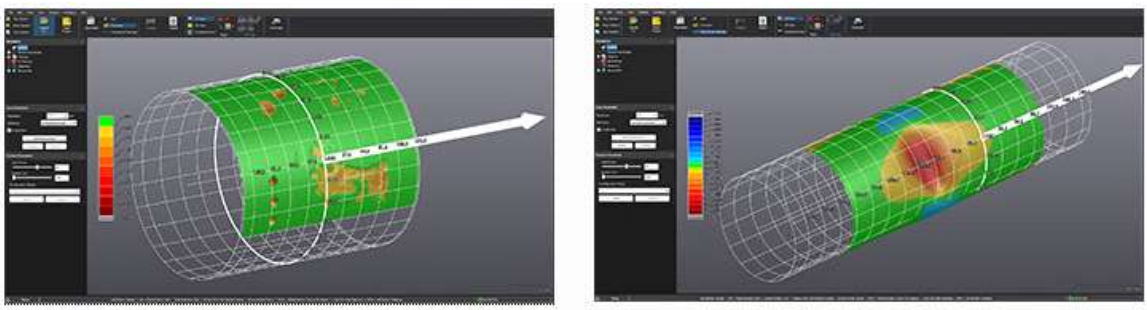
▌그림 2.3.12 유도초음파에 의한 배관 두께손실, 결함위치 등 탐상 예 (TWI Ltd)▐



▌그림 2.3.13 BEM과 MetConTM software에 의한 실시간 두께변화 탐상 예 (Rock solid group)▐



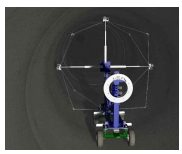
▌그림 2.3.14 MFL MagneScan에 의한 배관 부식탐상 예 (GE Energy)▐

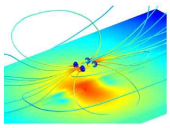


▌그림 2.3.15 Pipecheck에 의한 부식과 기계적 손상을 보여주는 디스플레이 소프트웨어(Creaform)▐

□ 이들 배관에 적용되는 비파괴 기술로서는 개발 초기단계에서 주로 초음파, 방사선 등이 중심이 되었으나, 다양한 배관 운영과 환경에 적용이 가능하도록 배관 재질특성에 적합한 센서의 개발, 신뢰도 향상을 위한 감도 개선, 1회 측정을 통해 내외면 상태 등에 대한 다양한 정보의 취득, 측정한 정보의 3차원 이미지화 및 결함의 정량화를 통해 누구나 쉽게 손상을 정확히 확인할 수 있는 첨단기술로 발전되고 있음

▌표 2.3.2 해외 최신 주요 배관 적용 비파괴 탐상기술 ▐

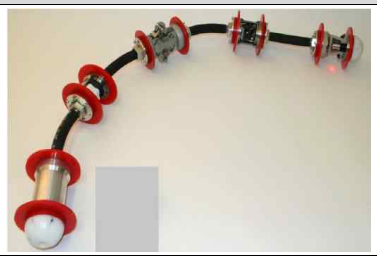
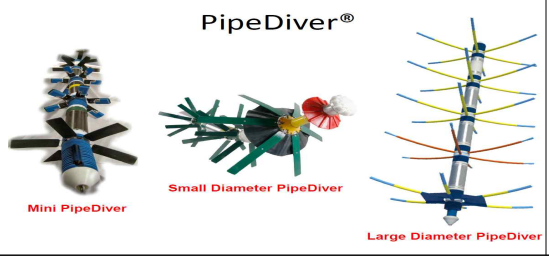
종류		주요원리	탐상 위치	비고
초음파 (Ultrasonic testing)	일반 초음파 기술	초음파를 직선으로 전파하여, 되돌아 오는 신호로 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	
	위상배열초음파 (Phase ultrasonic array testing, PAUT)	초음파 센서 여러 개를 배열하여 관 표면을 스캐닝하여 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	
유도초음파 (Guidedwave ultrasonic testing)		관의 두께 방향이 아닌 종 방향으로 전파하여 되돌아오는 신호의 변화로 부식손상을 탐지하는 기술	관 외면	
원거리 장 탐상 (Remote field testing)		송신 코일을 통해 완전류 자기장을 전송하여 되돌아오는 신호를 수신하여 그 변화로 부식손상을 탐지하는 기술	관 내면	
자기누설 탐상 (Magentic Flux leakage)		전기자석 또는 영구자석 등을 이용하여 대상을 자화시켜, 대상물체 내 자기장 흐름의 누설을 탐지하여 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	
전자기장 탐상 (Electromagnetic tech)	펄스완전류 (Pulsed eddy current)	펄스전류를 코일에 주어 펄스에 포함된 광범위한 주파수 성분을 이용하여 대상 물체에서 변화하는 와전류의 신호변화를 통해 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	
	포화저주파 완전류 기술 (Saturated electromagnetic tech, SLOFEC)	와전류와 자기장을 결합하여 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	

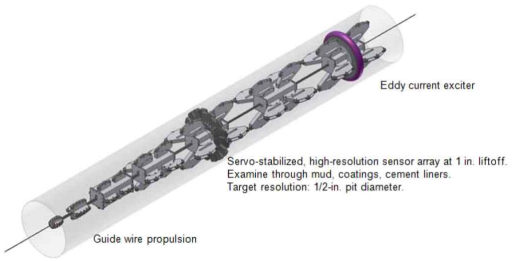
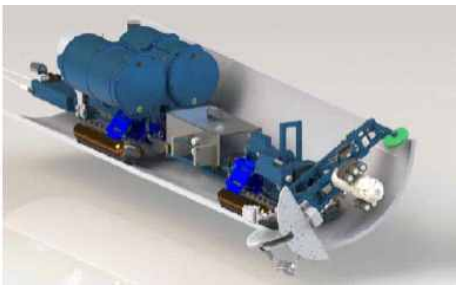
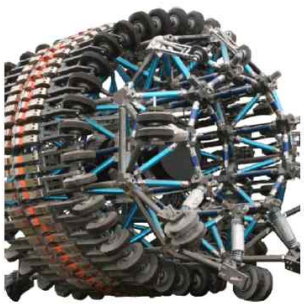
	저주파 전자기 기술 (Low-frequencey electromagnetic tech., LFET)	전자기 드라이버와 코일을 배열하여 관에 자속라인을 형성, 자속라인의 변화를 통해 부식손상을 탐지하는 기술	관 내외면	
	BEM (Broadband electromagnetic method)	와전류 센서를 다중으로 결합하여 부식손상을 탐지하는 기술	관내외면	
	ACFM (Alternating current field measurement)	도체 표면에 얇은 균일 전류 흐름을 유도하여, 그 변화를 통해 부식손상을 탐지하는 기술	관 외면	

□ 특히, **관 내부를 이동하면서 적용되는 탐상장비(ILI, In-line inspection tool)**는, 가스, 송유, 수도 각각의 **배관 환경에 적용 가능하도록 단수, 무단수, 그리고 유인 또는 무인형태의 다양한 방식으로 발전 진화**하고 있으며,

□ 이들 대부분 장비 하나가 고가이므로 **하나의 이동장비로도 다양한 관경에 적용**할 수 있는 형태, 그리고 장거리를 탐상하므로, **에너지 소모량은 작은 첨단장비로 발전**되고 있음

▌표 2.3.3 관내면 비파괴 In-line 탐상장치 유형 ▐

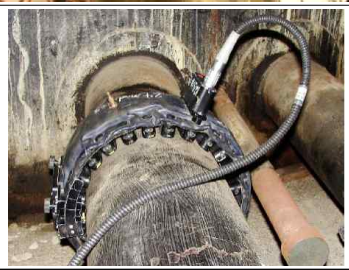
유형	주요특징	사진	비고
유체 흐름에 의해서 이동하는 장비 (Free swimming tools)	- 관 내부의 유체(가스 또는 액체)흐름에 순응하여 이동이 가능하면서 탐상(주로 컵 배열형태)하는 방식 - 관경별 장비 필요 - 주로 소구경에 적합 - 부단수 탐상 방식(주로 가스)		A.Hak Industrial Service
			Pure tech. (PipeDiver)

캐이블 견인 차량 장비 (Cable-pulled vehicles)	- 견인줄이 달린 장비를 관내에 넣고, 타겟 위치까지 펌프로 물을 이용하여 보낸 후 다시 견인되어 돌아오면서 탐상하는 방식 - 관경별 장비 필요 - 주로 소구경에 적합 - 단수 후 탐상방식		General Electric
와이어 유도 추진 장비 (Guided-wire -propelled tools)	- 얇은 와이어를 경로를 따라 설치한 후, 장비를 와이어에 연결하여 와이어 경로를 따라 추진하면서 탐상하는 방식 - 관경별 장비 필요 - 주로 소구경에 적합 - 단수 후 탐상방식		EPRI
로봇 구동방식 장비 (Robotically driven tools)	- 관 내부에서 차량 바퀴 또는 트랙에 의해서 스스로 이동하는 장비에 NDE 센서 장착하여 탐상하는 방식 - 관경별 장비 필요 - 주로 대구경에 적합 - 단수 후 탐상방식		WesDyne
	- 관 내부 관경에 따라 센서, 데이터 취득과 저장 장치를 조립한 장비에 바퀴를 장착하여 탐상하는 방식 - 조립식으로 관경별 대응력이 높음 - 주로 대구경에 적합 - 단수 후 탐상방식		Pure tech.

□ 수도에는 **취수장, 정수장, 가압장, 밸브실 등 관로상 노출배관**이 존재하며, 이들 구간에서는 **내부탐상이 어려운 특징**이 있으므로 이러한 특정구간에 적용할 수 있는 관 외면 탐상 장비도 **설치 환경 특성에 따라 적용 가능하도록 다양한 형태로 개발**

- 관 외면에 적용되는 장비들은 장거리 관 내부탐상 후, 일부 구간을 굴착해서 측정결과를 검증하거나 또는 관 내부탐상의 기준점을 확인하는 용도로도 사용

▌표 2.3.4 비파괴 외면 탐상장치 유형▐

유형	주요특징	사진	비고
수동 탐상 장치	- 장비를 인력에 의해서 이동시켜 관 외부에서 탐상방식 - 관경 제약이 없음		Sonatest WheelProbe
자동화 탐상 장치	- 장비를 외부에 고정하여 자동으로 원주방향으로 회전시켜 탐상하는 방식 - 관경 제약이 없음		Olympus HydroForm
로봇에 의한 탐상 장치	- 로봇에 스캐닝 장비를 장착하여 축방향으로 이동하며 탐상하는 방식 - 주로 중소구경에 활용		Guided Ultrasonic Ltd.
고정 설치 장치	- 센서를 관 외부에 장착하여 원주, 축방향에 대해 파를 전파 하여 탐상하는 방식 - 주로 중소구경에 활용		

□ 관 외면에서의 비파괴 탐상기술들은 **관 상태에 따른 개량방안, 잔존수명, 우선순위 결정 등 수도사업자들이 현장에서 폭 넓게 활용하고 있으며 점차 적용이 확대되는 추세**

▌표 2.3.5 해외 수도시설 비파괴 적용과 활용영역▐

수도 시설	관종	NDT기술 적용여부	사용된 기술	검사가능 거리	활용영역
A	콘크리트관 (PCCP)	Yes	RFEC, 누수탐사, 충격에코 음향 등	- 위험구간에 재탐사 (8~12km)	모델로 잔존강도, 손상 속도 산정
B	회주철관(CI)	Yes	하이드로폰	- 약 80Km	관 교체를 위한 우선순위 선정
C	콘크리트관(PCCP), 강관(Steel)	Yes	스마트볼 , RFEC	- 수 Km	의사결정에 사용 (교체, 보수)
D	콘크리트관(PCCP), 닥타일주철관(DI)	Yes	RFEC, 음향모니터링, 상관식 누수탐사	- PCCP: 10Km - DI관: 수백 km	위험성 평가 및 개량결정
E	콘크리트관(PCCP), 닥타일주철관(DI), 회주철관(CI)	Yes	하이드로폰, RFEC, 광섬유 등	- PCCP: 5Km - DI,CI: 112km	개량의사결정을 위해 CAD/GIS에 데이터(통합)

□ 국가차원에서도 **다양한 현장 시범사업을 적극 지원**하고 있으며, 현장 적용에서 파악된 **제한사항과 그 한계를 극복하기 위한 기술개발을 지속적으로 추진**하고 있음



▌그림 2.3.16 USEPA의 주요 비파괴 탐상기술 성능평가 전경(EPA, 2012)▐

□ 하지만, 선진국에서도 수도시설을 위한 비파괴 탐상기술의 개발이 본격적으로 시작된 것은 약 10년 전에 불과하므로, 더 이상 **국외 주요 선진국과의 기술격차가 벌어지기 전에 국내 기술의 개발 및 확보**가 **시급함**

▌표 2.3.6 주요 비파괴 탐상기술 성능비교(EPA, 2012)▐

구분	관 외면 탐상기술					관 내면 인라인 탐상기술			
	직접 조사	초음파	유도 초음파	자기 누설	전자 기장	초음파	원거리 장	자기 누설	전자 기장
회주철관	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes
닥타일주철관	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes
강관	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
관경, mm	Any	Any	50~1,200	150 이상	50 이상	대부분	350 이하	대부분	150 이하
전형적인 탐상거리, m	1~2	1~2	90	1~4	1~4	수 km	3,000	수 km	900
운영중 가능성	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	가능	Yes	No
도장재 영향 여부	No	No	Yes	Yes	Yes	No	가능	No	Yes
금속손실	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
공식깊이*	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No
흑연	No	No	-	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
균열	No	No	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes
수도관 탐상 적합성	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes

□ 특히 각 비파괴 탐상기술에 대한 배관내부 환경(배관표면 상태와 도장재 영향, 재질, 운영상(비접촉))에 따른 적용 가능성 분석을 통해 배관환경에 맞도록 비파괴 기술을 선택하여 활용할 수 있도록 가이드라인 제공

- 특히 대부분의 비파괴 기술이 비접촉식으로 배관의 두께, 금속손실, 균열탐상이 가능한 것으로 보고되었음

▌표 2.3.7 주요 비파괴 탐상기술의 배관내부 환경에 대한 성능 검토(EPRI) ▐

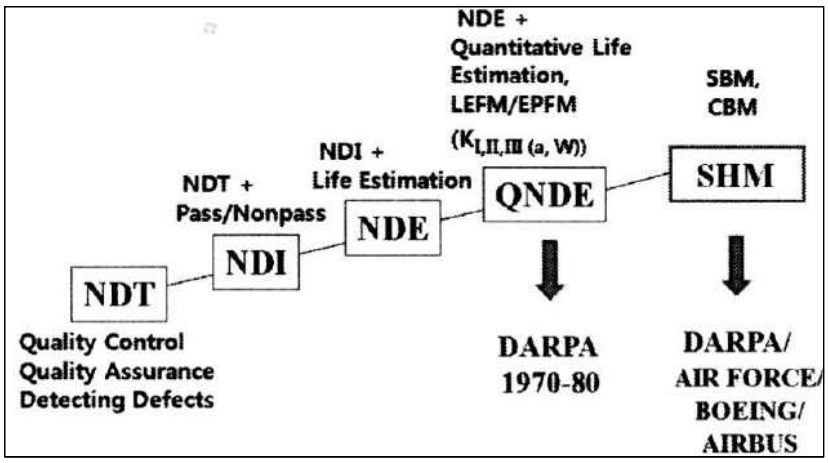
평가요소		초음파	유도초음파	자기누설	전자기장	원거리 장	펄스와전류	방사선
기능	두께측정 가능 ?							
	내외면 동시 금속손실 탐상 가능 ?							
	균열 탐상(불연속면) 가능 ?							
(측정)	인라인 배치 가능?				SLOFEC			
	외부에 자동화 가능?	(EMAT)			LFET, SLOFEC			
	감사용 가능 ?							
표면, 도장재 영향	표면이 거친 경우 측정 가능?							
	내부 도장된 경우 가능?							
	실트, 결절 등 침전물이 있는 경우 ?	(EMAT)						
	외부 도장된 경우 가능 ?							
재질	탄소강에 적용 가능?							
	주철에 적용 가능?							
운영	운영중 검사 가능 ?							
	비접촉 검사 가능 ?	(EMAT)						

* 상기 표에서 적용이 가능, 조건부 가능 , 어려움

(2) 구조적 상태감시 예측 기술

□ 일반적으로 지하에 매설된 관로의 비파괴 정밀 검사/예측/진단/평가에는 센서로 점적(샘플)으로 접촉하여 측정하거나 또는 면적 Scanning 방식, 더 나아가서는 인라인 탐상을 통하여 전체구간에 대한 정보를 취득하고 있으나, 조사기간 외 **운영 중 즉 상시적으로는 다양한 환경 요인이나 손상에 의해 발생하는 파괴에 대해서는 파악하기 어려움**

□ 최근에는 이러한 전통적인 비파괴 정밀 검사/예측/진단/평가 방법을 벗어나 **운영 중인 관로에 대하여 실시간으로 그 변위의 변화를 관측하여 파괴를 예측함으로서 선제 대응하는 구조적인 상태 감시(SHM, Structural Health Monitoring)가 시설물 관리의 신개념으로 그 패러다임을 변화시키고 있음**



▌그림 2.3.17 구조물에 대한 진단과 감시 기술 변화 과정▐

□ 이러한 **구조적인 상태감시 기술의 발전 단계는 크게 5단계로 분류**되고 있으며, 현재의 기술적 수준은 3단계 수준으로 평가

- 1단계는 **손상의 발생을 감지**하는 단계, 2단계는 **손상의 위치를 알아내는 단계**, 3단계는 **손상 상태의 심각성을 진단**하는 단계, 4단계는 **구조물의 수명을 예측**하는 단계, 그리고 5단계는 **구조물 스스로 진단, 예측, 치료할 수 있는 단계**이며, 단계가 낮을수록 비교적 간단하고 신속하게 손상을 감지할 수 있으나 감시 정확도는 상대적으로 낮으며, 단계가 높을수록 감시 정확도가 높은 반면, 신호 취득, 특징 추출, 정보 분석 과정이 복잡하고 많은 시간이 소요



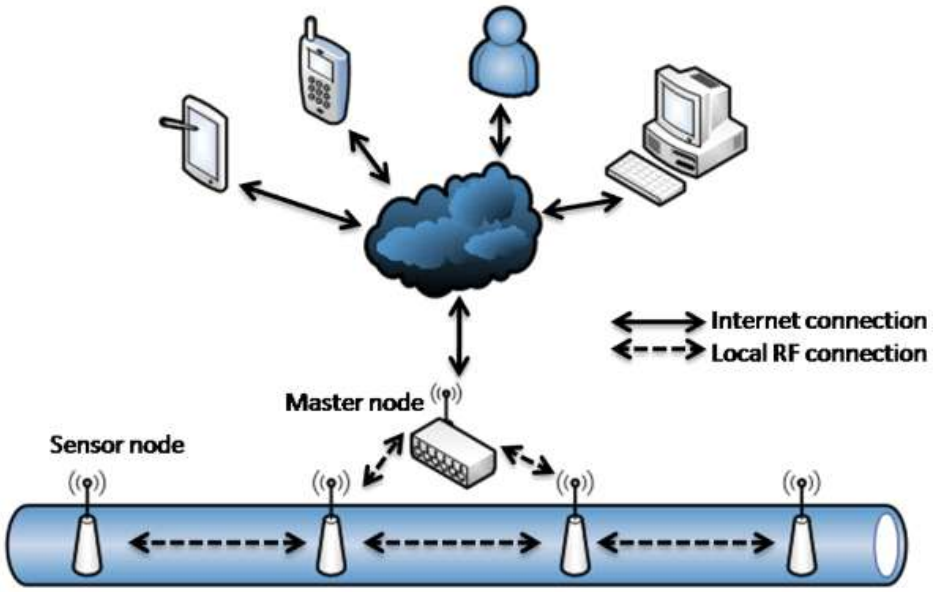
▌그림 2.3.18 구조물에 대한 상태감시 기술 발전 단계▐

□ **구조적인 상태를 감시하는 기술**은 크게 **Global과 Local 감시방법**으로 구분될 수 있으며, Global 감시기술은 구조물 전체를 대상으로 상태를 감시하는 방법이며, Local 감시기술은 일부 영역에서 발생하는 상태변화를 감시하는 기술

- **Global 감시 기술로는 하중조건 기반 손상 감지기술과 진동기반 손상감지기술**이 사용되고 있으며, **Local 감시기술로는 파동전파 기반 손상 감지기술** 등이 적용되고 있고 대표적인 방법으로는 광섬유센서 또는 압전센서 등이 있음

□ 센서네트워크 기술의 범주는 고신뢰의 구조적 상태감시를 위한 실시간 고속 데이터 취득 하드웨어와 소프트웨어, 센서에서 취득된 데이터의 정확한 전송, 전달된 데이터의 신호처리 알고리즘에 의한 지능형 손상 계측 신호처리, 또 매우 많은 센서로 부터 얻어지는 빅데이터의 관리 및 분석 기술 등이 있음

- 센서네트워크 기술은 다양한 형태로 개발되고 있는데, 대표적으로 각종 센서에서 감지한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성한 네트워크인 USN(Ubiquitous sensor network), 계측이력관리 등의 기능을 제공하는 SOA(Service oriented architecture)기반의 온라인 안전감시 및 실시간 경보시스템, 효율적으로 원격 감시 및 데이터 수집 기능을 수행할 수 있는 예약기반 MAC(Medium access control) 프로토콜, 네트워크 관리 프로토콜인 SNMP(Simple network management protocol)의 정보 전달 기법, ANN(Artificial neural network)의 손상 평가법, BEP(Back error propagation) 기반의 신경회로망 알고리즘, 저비용 고효율 측정 및 저장을 위한 지그비(Zigbee) 기술 등



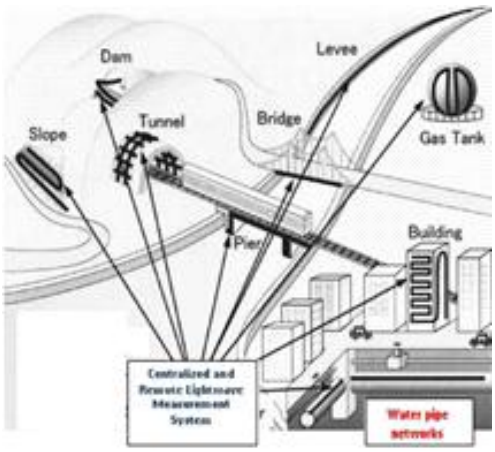
▌그림 2.3.19 일반적인 센서네트워크 기술을 이용한 온라인 감시 시스템▐

□ **선진국에서는** 이러한 주요 인프라 시설에 대해 그간 많은 **상태감시 기술과 센서네트워크 기술들을 개발 추진 중**이며, 최근에는 **구조물 내에서 구조물의 상태를 연속적으로 감시하여 손상을 감지, 예측하는 기술에 주력**

- 가스, 송유, 상하수도 관로, 터널, 교량, 철도, 항공, 사면, 건축 구조물 등 다양한 분야에 SHM 기술이 적용되고 있으며, 주요 관심사는 임베디드 센서, IoT기반 센서네트

워크, Energy Harvesting, 비파괴 기술 융합(상태감시) 등

- 특히, 수도분야도 그 간 수압, 유량 감시를 벗어나 구조물 및 설비에 대해 IT 기반의 NDT의 전주기적 감시와 ST를 결합한 원거리 모니터링을 통한 SHM(Structural Health Monitoring) 등의 체계 구축



▌그림 2.3.20 외국의 SHM 적용분야▐

□ 현재까지 구조물의 상태를 연속적으로 감시하여 손상을 감지, 예측하는 기술이 사고를 빨리 인지하고 피해를 최소화하기 위한 감시기술 중심으로 기술이 개발되어 왔다면, 향후에는 **사고를 사전에 미리 예측 가능하도록 부식손상, 응력, 변위 등 다양한 구조적 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 다양한 센서, 센서네트워크, 소프트웨어, 운영관리 시스템 개발 등에 집중**하고 있으며, 특히 구조적 상태 감시에서는 그러한 부분이 가능하도록 비파괴기술을 활용 중

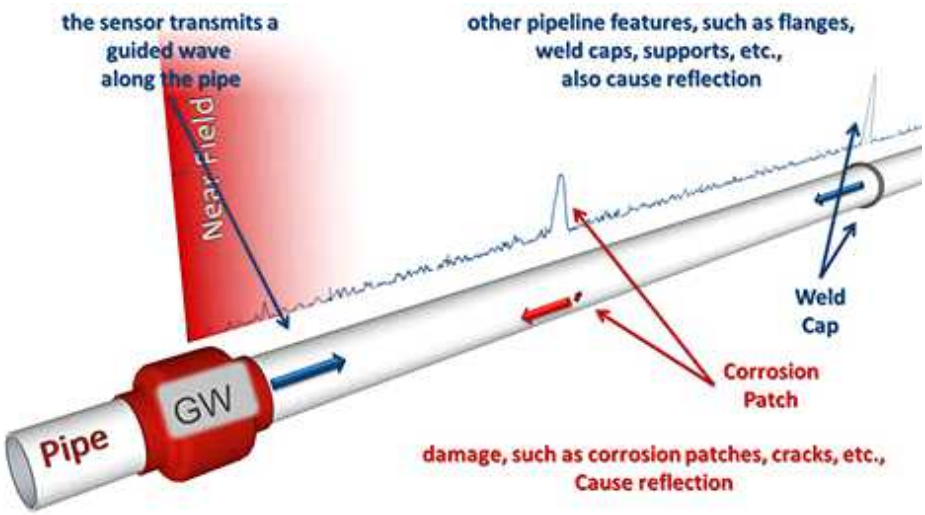
- 사고를 사전에 인지하고 대응하기 위한 IT 기반의 실시간 측정이 가능한 변위(Strain)측정 모니터링, 초음파부식감시 모니터링(Ultrasonic corrosion monitoring), 유도초음파 시스템(Guided wave system), 음향방출(acoustic emission), 다양한 광섬유 모니터링 등을 포함하여 인공위성, 항공기 기반의 원격감지 기술(Remote sensing)을 접목해 나가는 추세

□ 비파괴 기술을 활용한 대표적인 기술로는 초음파(Pulse-echo 기술)을 통하여 관의 두께 변화를 모니터링 할 수 있는 부식 모니터링(corrosion monitoring) 기술 개발, 배관이나 압력탱크에 적용(주로 spot 감시용)



▌그림 2.3.21 초음파를 이용한 모니터링 시스템 (Rightrax 사의 M2 초음파센서)▐

□ **유도초음파 기술**은 관 상태를 진단하는 기술뿐만 아니라, **장구간에 걸쳐 구조적인 상태를 감시하는 대표적인 기술**로도 활용, 국내에서는 주로 인력접근이 어려운 원자력 배관 위주로 적용



▌그림 2.3.22 유도초음파를 이용한 구조적 상태감시 예(A3 Monitoring)▐

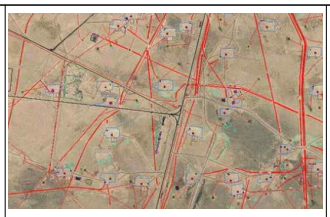
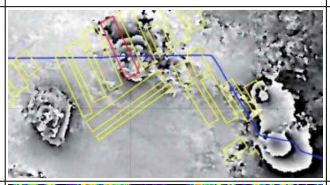
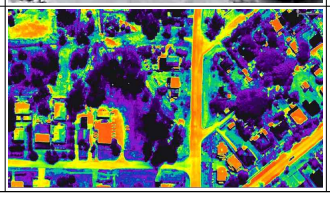
□ AE 모니터링 기술은 국내에서는 주로 진단기술로 활용중이나 **해외에서는 기존 관의 외부에 설치하거나 또는 관 주변에 센서를 매설하여 구조적인 상태를 모니터링에 활용**하는 등 폭 넓게 적용 중




▌그림 2.3.23 AE 기술을 이용한 관로 구조적 상태감시기술 예(A^3 Monitoring)▐

▌표 2.3.8 대표적인 관로 구조적 모니터링 기술 현황 ▐

구분		기술 개요	사진	비고
구조적 모니터링 기술	초음파 (유도초음파)	초음파 센서 링을 영구적으로 관로에 탑재, 정기적으로 정보를 취득하여 과로 위험성을 모니터링	 (태양열 자체 전원 활용)	- AEA technology - Rigtrax - TW I
	음향방출	프리스트레스트콘크리트관 내 또는 관의 균열 발생시 발생되는 소리를 감지하여, 사고발생과 위치 정보를 알려줌		- SoundPrint (Pure tech.) - AET system
	광섬유	관로 자체 또는 내외부 등에 광섬유를 설치하여 휨, 온도 등을 측정하여 누수 또는 사고위험성 감시		- Foxtex - Smartec
	변위측정	진동와이어 또는 Foil 변위 측정기 관 표면에 부착하여 변위를 감시하여 사고위험성 감시		- Strainsense - Scanimetrics - Weir Jones Group
	가속도계	가속도계 또는 지오폰 등으로 타공사로 인한 충격에 의한 사고위험성 감시하거나 또는 배관계통의 안전성을 감시		- SINTEF

원거리 감시기술	VHROSI	인공위성의 고해상도 이미지를 활용하여 쉽게 관로가 설치된 구간들에 대한 지역 확인, 신설계획수립이 용이하고 관로 침수 등 감시에 활용		- AirBus Defence & Space
	인공위성 또는 항공기 기반의 SAR	관로 설치구간의 광산 함몰, 지진, 산사태 등에 따른 관로피해 등을 감시		- innoter
	열 적외선	항공기 기반의 고해상도 지상 방열을 탐지하여 관로누수, 지상의 상태 평가, 관로노선 확인 등을 감시		- Outline global

▌표 2.3.9 관로 구조적 감시와 모니터링 기술 적합성 분석결과 (Reed 등, 2004)▐

기술명		구조적 운영감시기술							원거리 모니터링 기술			
		GPS	초음파	음향 방출	광섬유	변위 측정	가속도계	직접 측정	VHROSI	인공위성 SAR	열 적외선	3-D RS 데이터
환경적 변수	홍수 위험	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2
	산사태 가능성	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2
	수온	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
	토양비저항 & pH	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
전체적인 변수	제3의 간섭	1	0	2	1	1	2	0	2	1	2	0
	관두께 측정	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	관외부 하중	2	0	1	2	2	2	0	0	0	0	1
국부적인 변수	수압	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	관유동	2	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0
	연결부완결성	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0
	균열성장	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	관로누수	0	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0
총점수		6	5	6	7	5	4	7	6	5	8	5

※ 점수는 전문가 설문조사에 의한 적합도 평가 결과의 합을 나타냄

다. 국내·외 기술동향 비교분석 (1차 타당성평가 반영'15.11.03)

□ 본 기획에서는 국내·외 기술동향 분석에 따라 현재 비파괴 정밀진단·성능평가·상태감시 기술 등이 대부분 **가스·송유·원자력 배관중심으로 개발이 추진됨에 따라 1차 타당성 평가 의견('15.11.03)을 반영**하여,

□ 기존 가스·송유관 등 타 배관과 대규모용수공급관로의 **비파괴 정밀진단·성능평가·감시 기술 간 유사점과 차이점**에 대한 **구체적인 비교 분석**을 통하여, **대규모 용수공급관로 특성과 기존 기술의 활용가능성을 종합적으로 고려하여 개발이 필요한 기술을 도출**하고, 연구개발과제 구성과 추진전략 수립에 활용하였음

□ 주요 분석내용

- 주요 적용 관종 (Pipe Material)
- 공급시스템
- 관 내부 상태
- 사전탐상
- 비파괴 이동탐상 장비 전처리 공정 (세척공정)
- 비파괴 주요 측정항목
- 관 내면 정밀탐상 장비 유형과 운영방식
- 탐상장비 거리 등
- 비파괴 성능평가
- 안전성 평가
- 구조적 운영감시 등

□ 주요 적용 관종

- 주요 관재질로 강관을 사용하고 있는 것은 가스·송유 관로 등과 유사하나, **용수공급관로로 사용 중인 강관은 내부부식 방지를 위해 내부가 도장된 강관을 사용하**고 있으며 또한 **타 배관에서 사용되지 않는 주철관종을 다량으로 사용**하고 있으므로 재질 측면에서는 일부 유사하다고 할 수 있으나 **용수공급관로 특성에 적합한 별도의 비파괴 기술의 개발이 필요**
- 대규모 용수공급관로로 사용되는 강관은 내부 도장재에 따라 기존 비파괴 기술의 적용이 제약 될 수 있을 뿐만 아니라 **녹, 잔존 도장재, 이토퇴적물 등 가스/송유관과 상이한 내부 상태 요인이 있어 이러한 상이함을 극복할 수 있는 새로운 비파괴탐상 기술 필요**

□ 주요 적용 관경

- 가스·송유관은 현재 피거블 이동탐상 장치로 대개 400 mm 이하에 적용하고 있는 반면, **대규모 용수공급관로는 최대 2,800 mm 까지 사용 중**
- 관경 상 차이가 크기 때문에 **장비인입, 인출, 장비유형(기존 가스/송유관에 사용되는 피거블 탐상 장비로는 활용 불가능) 등이 달라, 용수공급관로에 적합한 기술개발 필요**

□ 관 이송 유체

- 가스/송유관 등은 유체라는 측면에서는 유사하나, **가스/송유 등은 비 부식성 유체**인 반면, **용수공급관로는 내부부식을 유발하는 물이라는 유체를 공급**하고 있음
- 또한 상이한 전송 매체로 인하여 무단수시에는 유체 종류에 따라 **파의 전달 또는 전파 방식이 상이**할 수 있으므로 용수공급관로 내 **유체인 물의 특성에 적합한 비파괴 기술과 활용기술에 대한 기술개발이 필요**
- 단수시 환경은 가스 또는 송유관 등과 동등한 수준이므로, 기존 기술 활용 가능성이 높다고 할 수 있음

□ 공급시스템

- 원료 또는 원수를 처리한 후, **수요자에게 공급하는 과정은 유사**하나, 대규모 용수공급관로는 주로 원수, 정수, 공업용수(침전수 등 포함) 등을 전량 관로를 통해서 각 지역 내 분산 설치된 배수지 또는 대형수용가로 공급하는 형태
- 가스/송유관 등은 유사한 공급시스템을 가지고 있지만 공급 과정별 감시, 운영관리 시스템은 과거부터 각 가스, 송유, 용수공급관로 공급과 운영환경에 맞춰 각 운영관리 주체에 의해 진보·발전되어온 측면이 있으며,
- 특히 **용수공급관로에 대해서도 최근 IT를 기반으로 한 수량, 수질 관리기술, SWG (Smart Water Grid) 또는 SWM (Smart Water Management)등 다양한 기술개발이 추진** 중이므로, 타 배관분야보다는 이와 같은 용수공급관로 분야에 타 분야의 시스템적 환경과 구조적인 상태의 관리·운영·감시 기술의 융합이 더 용이할 것으로 생각됨

□ 관 내부 상태

- 가스·송유관 등은 관 내부가 건전하거나 또는 유류슬러지가 존재하나, **용수공급관로는 관 내부상태가 완전히 다르므로, 관로 내부상태 여건에 맞는 비파괴 정밀탐상 장비와 비파괴 기술 개발 필요**

- 가스배관은 내부 도장재가 없어, 관 표면 내부는 대부분 건전하고, 송유관은 내부 도장재가 없으나, 단순히 유류 공급과정상 유류 슬러지 침적된 상태로 피거블 탐상 이동장비시 유류 오염가능성이 높아 운영중단 후 탐상이 필요(원유도 유류슬러지가 함께 배출될 경우, 처리 등 곤란 예상)
- 용수공급관로는 관 표면에는 내부부식으로 결절(녹) 등이 면적으로 존재하고, 일부 관 표면에는 내부 도장재가 잔존하고 있으며, 그 상부에는 내부 도장재 조각, 슬라임, 이토퇴적/민물담치(도수관로) 등 축적되어 있음

* 관 내부 환경을 극복할 수 있는 새로운 방식의 비파괴와 이동탐상 기술 개발 필요

□ 사전탐상

- 가스/송유/용수공급관로 모두 비파괴 이동탐상 전, 동일하게 사전조사는 필요하나, 용수공급관로는 조사내용과 조사장비는 상이, 필요에 따라 기존 기술활용이 어려운 경우, 사전탐상 장비 개발도 필요
- 국내에서는 운영중 단거리 내시경(30 m) 또는 단수후 관경에 따라 인력 또는 CCTV 로봇 활용

* 사하라(Sahara, Puretech)와 유사한 장비 개발중

□ 비파괴 이동탐상 장비 전처리 공정(세척공정)

- 가스관과 내부상태가 달라 송유/용수공급관로는 운영중 세척이 불가, 세척공정 없이 탐상이 가능한 장비 개발을 하거나 또는 단수 후에 관 내부 정밀탐상에 제약이 되는 경우 세척 등 전처리 수행(측정신뢰도 향상 위해) 필요
- 다만 대규모 용수공급관로는 단수 후에 적용할 수 있는 전처리 장비 등은 대구경 갱생기술 진보로 활용 가능하므로 추가 개발 필요 없음

□ 비파괴 주요 측정항목

- **가스·송유관 등은 외부부식으로 인한 두께 손실 측정이 중요**하나, **용수공급관로는 외면과 내면부식(물에 의한 부식)에 의한 두께손실 모두 측정이 필요**하므로, 내외면 동시에 부식으로 인한 두께 손실을 측정할 수 있는 비파괴 기술 개발 필요
- 특히, 외부부식은 주로 점적인 형태로 부식이 발생하나, 내면부식은 면적인 부식으로 진행되어 내외면 부식의 양상이 다르므로 이를 구별해 낼 수 있는 비파괴 기술 개발 필요

□ 관내면 정밀탐상 장비 유형과 운영방식

- 용수공급관로는 물 공급을 하면서 무단수 상태에서 **관 내부 이동탐상시 장애요건(수질영향)으로 인하여 관 표면과 이격된 상태에서 부유하면서 탐상이 가능한 이동장비와 비파괴 기술 개발 필요**

* 단수시 보다 신뢰 측정도는 감소

- 단수시에는 관 내부 이동탐상 장애요건(수질영향)이 약화되므로, 최소한의 수준으로 전처리 후 또는 전처리 없이 탐상이 가능한 이동장비와 비파괴 기술 개발 필요

□ 탐상장비 거리

- 현재 가스관 등과 사용되는 밸브가 상이하여, **무단수시에는 버터플라이 밸브를 쉽게 통과할 수 있는 이동장비와 비파괴 기술 개발**이 필요할 수 있으며,

* 가스/송유배관 등은 피거블 유형을 사용, 장비 유형이 완전히 다름

- 단수시에는 밸브와 밸브간 측정이 가능한 수준의 이동장비와 비파괴 기술 개발

□ 성능평가

- 용수공급관로는 가스·송유관 등과 부식에 의한 손상위치(내외면 모두 고려) 유형(면적인 부식) 등이 다름. 따라서 **가스·송유관과 달리, 비파괴 면적탐상을 통해서 수집한 내외부 부식손상을 고려한 성능평가 체계 구축 필요**

□ 안전성 평가

- 면적탐상을 통한 **내외면 부식으로 인한 두께손실에 대한 Big 데이터가 수집**되므로, 이를 토대로 **구조해석을 하고, 안전성을 평가하기 위한 새로운 절차, 기준, 방법, 알고리즘, 모델, S/W 등이 필요**

- 가스배관은 주로 관 외면부식에 의한 두께 손실 등으로 인한 안전성 평가 위주로서, 현재 용수공급관로의 안전성을 평가하는 수식(하중, 응력(관종마다 다름), 안전성 등) 자체가 상이

□ 구조적 운영감시

- 관로의 **누설/누유/누수 탐지기술**은 가스, 유류, 물 등 유체의 속성이 달라 누설, 누유, 누수에 대한 감지에 대한 센서 종류와 감도 등도 차이가 있으므로 **용수공급관로에 적합한 센서 개발 필요**

- **유체에 따른 특성이 다르므로 관련 해석 프로그램의 알고리즘, 모델 등이 상이**하며, 용수공급관로는 누수감지 분야에 대한 기존 연구가 이미 다수 진행(개발 제외)

- 구조적 상태감시 모니터링은 가스·송유관 등에 도입된 기술(감지선 등)과 관련된 시스템 운영 부분은 적극 활용 필요, 다만 가스·송유관·대규모 용수공급관로 모두 재해를 유발할 수 있는 관로이나, 대부분 사고 후 위치 파악에 중점을 두고 있어, **사고 전 위험도를 인지, 선제적으로 대응할 수 있는 감시기술 도입 필요**

- 국내에서 응력, 변위 등 관의 **구조적 상태변화를 감시하는 기술은 가스·송유·용수공급관로 모두 개발이 필요한 영역**

- 가스의 부식센서, 송유관의 감지선 등은 제한적으로 현재 수도관에도 적용되고 있는 상황이므로, 해당기술이 필요한 경우 기존 기술 활용 가능(본 기획과제의 기술개발 미 추진)

□ 분석에 따른 시사점

- 현재 **가스·송유관 등에서 비파괴 기술**을 접목하여 장거리 면적 탐상을 통한 매설배관에 대한 진단·성능·감시 기술은 타 배관에 비해 **선도적**이나,

- **용수공급관로**의 **관종, 관경, 관 내부상태, 공급시스템**(각 유체와 공급환경에 맞도록 진보하고 최적화됨), **기존 배관망 구조**(피거블한 이동탐상 장비 적용이 가능하도록 배관망이 구성, 장비 인입/인출 등 포함) **등이 상이**하며, 특히 **상기 여건에 따라 적용될 수 있는 비파괴 기술과 이동탐상 구동방식이 달라 용수공급관로 특성에 맞는 새로운 형태 및 유형의 관 내부 이동장비 개발 필요**

- 다만 **비파괴 탐상으로 획득되는 데이터에 대한 수집·신호해석·통신 등도 기존 기술의 활용이 필요**할 수도 있으나, 비파괴 또는 이동탐상 방식이 달라질 경우, 개발 기술에 적합한 형태로 개발 추진 필요

- 운영감시 기술도, 수압 또는 유량변화를 통해서 누수, 누설, 누수 등을 감지하는 기술 또는 센서 등은 각 유체에 맞춰 센서, 모델, 시스템 등이 독자적으로 개발되어 현

재 대부분 최적화된 상태에 도달.

- 다만 **구조적인 상태감시·예측 부분**은 **가스·송유·용수공급관로 모두 사고발생 전 선제적으로 이를 예측하고 대응할 수 있는 기술 개발이 모두 필요**

▌표 2.3.10 가스, 송유, 용수공급관로의 비교를 통한 기술개발 방향 설정▐

구분	가스	송유	용수공급관로 (도·송수·공업용수)	기술개발 방향
주요 관종	○폴리에틸렌 피복강관(외면도장강관), 폴리에틸렌(PE)관	○고장력 탄소강관(외면도장강관), 스테인리스강관(STS)	○강관(내외면도장강관), 주철관종 등	○가스·송유관·용수공급관로 등 모두 주요 관종으로 강관 사용하고 있는 측면은 유사 ○다만 용수공급관로는 강관 내부부식 방지를 위해 내부에 도장된 강관을 사용
주요 관경 범위	○100 ~ 500 mm	○100 ~ 500 mm	○수도사업자의 용수공급시설 규모에 따라 다르나, 도·송수·공업용수관로는 최대 2,800 mm까지 활용 중	○가스·송유관은 현재 피거블 이동탐상 장치로 통상 400 mm 이하에 적용 ○용수공급관로는 대규모인 경우, 최대 2800 mm까지 사용 중 ► 관경 상 차이가 크므로, 장비인입, 인출, 이동방식 등이 달라, 용수공급관로에 적합한 기술 개발 필요
관 이송 유체	○가스(LNG, LPG)	○송유(원유, 휘발유, 등유, 항공류, 난방류 등)	○물(원수, 정수, 침전수 등)	○가스·송유관 등은 유체라는 측면에서는 유사하나, 가스·송유 등은 비부식성 유체로써 ○용수공급관로는 내부부식을 유발하는 물이라는 유체를 공급
공급 시스템	○가스유정 ► (유조선) ► LNG 생산기지 ► (배관) ► 수요자(배관) ○매설 또는 노출배관	○유정 ► (유조선) ► 중앙집적기지 ► (배관) ► 정유공장 ► 수요자(배관, 차량 등) ○매설 또는 노출배관	○원수 ► 도수·공업용수관로 ► 정수장 ► 송수·공업용수관로 ► 배수지 (► 배수관로 ► 수요자) ○매설배관	○원료 또는 원수를 처리한 후, 수요자에게 공급하는 과정은 유사하나, ○대규모 용수공급관로는 주로 원수, 정수, 공업용수(침전수 등 포함) 등을 전량 관로를 통해서 각 지역 내 분산 설치된 배수지 또는 대형수용가로 공급하는 형태

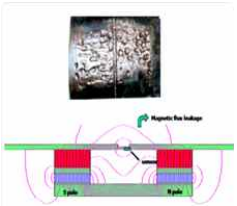
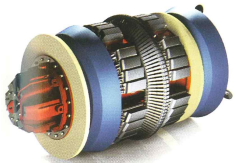
<table>
<tr><td>관 내부 상태</td><td>○내부 도장재가 없어, 관 표면 내부는 대부분 건전</td><td>○내부 도장재가 없어, 단순히 유류 공급과정상 유류 슬러지 침적된 상태</td><td>○관 표면에는 내부부식으로 결절(녹) 등이 면적으로 존재하고, 일부 관 표면에는 내부 도장재가 잔존하고 있으며, 그 상부에는 내부 도장재 조각, 슬라임, 이토퇴적/민물담치(도수관로) 등 축적되어 있음</td><td>○가스·송유관 등은 관 내부가 건전하거나 또는 유류슬러지가 존재하나,
○용수공급관로는 관 내부 상태가 완전히 다르므로, 관로 내부상태 여건에 맞는 비파괴 정밀탐상 장비와 비파괴 기술 개발 필요</td></tr>
<tr><td>사전 탐상</td><td>○관 변형 또는 탐상장치 장애요소(사전 세척 필요성) 등 조사
(주로 피거블 장비 사용)

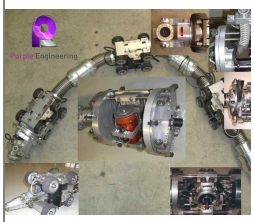
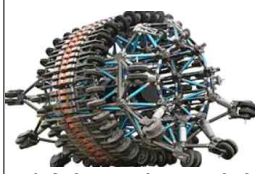
<geometry pig></td><td>○관 변형 또는 탐상장치 장애요소(사전 세척 필요성) 등 조사
(주로 피거블 장비 사용, 다만 유류내 슬러지 축적 또는 정유된 유류 오염가능성으로 운영중 조사 불가)</td><td>○장거리 부단수 CCTV 통한 관 내부상태, 누수여부, 변형율, 탐상장애요소 등 조사 수행 필요
(캐나다 Pure 사 사하라 장비 활용, 최대 2 km 탐상 가능)
</td><td>○가스·송유·용수공급관로 모두 비파괴 이동탐상전, 동일하게 사전조사는 필요하나
○용수공급관로는 조사내용과 조사장비는 상이, 필요에 따라 기존 기술 활용이 어려운 경우, 사전탐상 장비 개발도 필요
► 국내에서는 운영중인 경우 단거리 내시경(30 m) 또는 단수후 관경에 따라 인력 또는 CCTV 로봇 활용
► 사하라와 유사한 장비 개발중</td></tr>
<tr><td>비파괴 이동 탐상 전처리 공정 (세척 공정)</td><td>○사전조사를 통해, 관 표면에 이물질 등이 존재하는 경우, 피거블 세척 장비를 주행시켜 제거한 후, 비파괴 정밀이동 탐상 수행(대부분 운영중 세척)

< cleaning pig ></td><td>○사전조사를 통해, 관 표면에 이물질 또는 유류슬러지를 피거블 세척 장비를 주행시켜 제거한 후, 비파괴 정밀이동 탐상 수행(대부분 운영중단 후 피그 세척)

< cleaning pig ></td><td>○단수여부에 따라 비파괴 정밀탐상 장비가 달라, 장비 유형에 따라 전처리 등 수행 필요

<관 내면 잔존도장재 등 세관장비 ></td><td>○가스관과 내부상태가 달라 송유·용수공급관로는 운영중 세척이 불가, 세척공정 없이 탐상이 가능한 장비 개발을 하거나 또는 단수 후에 관 내부 정밀탐상에 제약이 되는 경우 세척 등 전처리 수행(측정신뢰도 향상 위해)
○다만 대규모 용수공급관로는 단수 후에 적용할 수 있는 전처리 장비 등은 대구경 갱생기술 진보로 활용 가능, 개발 미필요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>비파괴 주요 조사 항목</td><td>○외면 부식에 의한 두께 손실(탐상위치 등 기능 포함)
</td><td>○외면 부식에 의한 두께 손실(탐상위치 등 기능 포함)
</td><td>○내외부 부식에 의한 두께 손실조사 필요(탐상위치 등 기능 포함)</td><td>○가스·송유관 등은 외부부식으로 인한 두께 손실측정이 중요하나, 용수공급관로는 외면과 내면부식(물에 의한 부식)에 의한 두께손실 모두 측정 필요하므로, 내외면 동시에 부식으로 인한 두께 손실을 측정할 수 있는 비파괴 기술 개발 필요
► 특히, 외부부식은 주로 점적인 부식이 발생하나, 내면부식은 면적인 부식으로 진행, 내외면 부식의 양상이 달라, 이를 구별해 낼 수 있는 비파괴 기술 개발 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주요 장비 유형과 운영 방식</td><td>○고압구간 유체(가스)압력으로 이동하는 피그형(국내 개발완료)
</td><td>○피거블 유형(유체(공기)압력으로 이동), 운영중단 후 장비 활용
</td><td>(무단수시)
○유체에 의해서 이동하되, 표면 비접촉시 유형 필요(예, 캐나다 Pure 사 Pipediver)
</td><td>○용수공급관로는 관 내부 이동탐상 장애요건(수질영향)으로, 관 표면과 이격된 상태에서 부유하면서 탐상이 가능한 이동장비와 비파괴 기술 개발 필요
► 단수시 보다 측정 신뢰도는 감소</td></tr>
<tr><td>○저압구간은 자가추진형 피거블 형태(국내 개발중, 무단수로 운영)

< Kogas ></td><td>
< Purple engineering></td><td>(단수시)
○관경 대응력을 높이기 위한 조립식 유형 필요

<캐나다 Pure사 MFL장비></td><td>○단수시에는 관 내부 이동탐상 장애요건(수질영향)이 약화되므로, 최소한의 수준으로 전처리 후 또는 전처리 없이 탐상이 가능한 이동장비와 비파괴 기술 개발 필요</td></tr>
<tr><td>탐상 거리</td><td>○수십 km(버터플라이 밸브 미사용, 피그 주행이 용이한 밸브 사용)</td><td>○수십 km(버터플라이 밸브 미사용, 피그 주행이 용이한 밸브 사용)</td><td>○도·송수·공업용수관로 등 대부분 버터플라이 밸브 사용으로 장비 이동 제약, 현재 밸브간 거리는 평균적으로 1.5 km 이므로, 최소 1km 이상 탐상
(광역상수도 기준)</td><td>○현재 사용되는 밸브가 상이하여, 무단수시에는 버터플라이 밸브를 쉽게 통과할 수 있는 이동장비와 비파괴 기술 개발이 필요하고,
○단수시에는, 밸브와 밸브간 측정이 가능한 수준의 이동장비와 비파괴 기술 개발</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">성능 평가</td><td>○주로 관 외부부식에 의한 두께손실을 토대로, 안전성을 평가하여 개량방안 수립
▶ 전 세계적으로 ECDA (External Corrosion Direct Assessment)를 통한 진단·평가 수행</td><td>○주로 관 외부부식에 의한 두께손실을 토대로, 안전성을 평가하여 개량방안 수립</td><td>○관 외부와 내부의 부식 깊이로 인한 두께 손실을 토대로, 구조적인 안전성을 평가하여 개량방안 수립 필요</td><td>○용수공급관로는 가스/송유관 등과 부식에 의한 손상위치(내외면 모두 고려) 유형(면적인 부식) 등이 다름. 따라서 가스/송유관과 달리, 비파괴 면적탐상을 통해서 수집한 내외부 부식손상을 고려한 성능평가 체계 구축 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">안전성 평가</td><td>○두께 손실을 기본으로 하여 안전성을 평가하나, 다만 외면부식으로 인한 두께 손실에 따른 해석 위주</td><td>○두께 손실을 기본으로 하여 안전성을 평가하나, 다만 외면부식으로 인한 두께 손실에 따른 해석 위주</td><td>○면적 스캐닝을 통한 확보된 데이터를 통해 관 내면과 외면 부식에 의한 두께손실 위치, 면적, 분포에 대한 영향을 고려한 새로운 구조적인 해석을 통한 안정성 평가 수립 체계 필요
(현재는 점적조사 기반)</td><td>○면적탐상을 통한 내외면 부식으로 인한 두께손실에 대한 Big 데이터가 수집되므로, 이를 토대로 구조해석을 하고, 안전성을 평가하기 위한 새로운 절차, 기준, 방법, 알고리즘, 모델, S/W 등이 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조적 운영감시</td><td>누설 누유 누설 등</td><td></td><td>○주로 유류의 압력이나 유량변화로 누유를 감시하며, 최근 감지선 등을 적용 중</td><td>○최근 부식 또는 타공사 등으로 인한 누수 또는 사고에 대해 조기 인지하여 긴급복구 대응하는 차원의 감시기술(감지선 등)이 도입되고 있는 추세, 수압이나 유량변화 등을 통한 누수감시 분야는 물이라는 유체 특성에 맞는 형태의 모델로 개발</td><td>○가스, 유류, 물 등이 속성이 달라 이러한 누설, 누유, 누수에 대한 감지에 대한 센서 종류와 감도 등도 차이가 있으므로 용수공급관로에 적합한 센서 등 개발 필요
○유체에 따른 특성이 달라, 관련 해석 프로그램의 알고리즘, 모델 등이 상이하며, 용수공급관로는 이러한 부분에 대한 기존 연구가 이미 다수 진행(개발 제외)</td></tr>
<tr><td>구조적 모니터링</td><td colspan="2">○선진국은 부식, 응력, 변위 등 구조적인 상태변화를 모니터링하는 감시기술 활용 중, 국내에서는 시작 단계
(가스배관은 외부부식 감시를 위한 센서 등 개발)
 <초음파를 이용한 실시간 부식 감시>
 <유도초음파를 이용한 구조 감시>
 <FBG 활용한 변위, 휨 등 감시>
(Fiber Bragg Grating)</td><td>○가스·송유관 등 도입된 기술(감지선 등)관 관련된 시스템 운영 부분은 적극 활용 필요
○다만 가스·송유관·대규모 용수공급관로 모두 재해를 유발할 수 있는 관로이나, 대부분 사고 후 위치 파악에 중점을 두고 있어, 사고 전 위험도를 인지, 선제적으로 대응할 수 있는 감시기술 도입 필요
○또한 국내에서 응력, 변위 등 관의 구조적 상태변화를 감시하는 기술은 가스/송유/용수공급관로 모두 개발이 필요한 영역</td></tr>
</table>

2. 특허동향 분석

가. 분석목적과 범위

□ **(분석목적)** 대규모 용수공급관로 비파괴 진단.구조적 상태감시에 대한 특허동향을 분석하여, 대상기술에 대한 **최근 기술 트랜드 파악, 공백기술 도출 등 정량적, 정성적 분석을 통해 연구개발 방향과 목표를 설정**하고, **추진전략 수립에 활용**

□ **(분석범위)** 대규모 용수공급관로의 기술분석 대상인 비파괴 정밀진단, 성능평가, 그리고 구조적 상태 감시·예측기술을 대상으로 특허동향을 분석

- 특허동향조사는 한국, 미국, 유럽, 일본 등 중심으로 하되, 주요 출원인을 대상으로도 분석

- 검색수식은 용수공급관로를 포함하여 모든 배관(가스, 송유, 원자력, 플랜트, 상하수도 등)에 대해 수행하고, 기술수준에 따라 등급을 분류하고, 기술수명, 데이터마이닝과 매트릭스 분석을 통해 공백영역을 도출

▌표 2.3.11 검색수식 vs 국가별 특허출원 건수▐

구분	검색식	검색건수					총계
		한국	미국	유럽	일본	합계	
용수공급 관로의 비파괴 진단·성능평가 기술(AA)	TAC=((배관 or 관로 or 파이프* or pip* or plumbing or pipeline or pipe-line or “pipe line”) and (비파괴 or NDT or nondestructive or “non-destructive” or “non destructive” or ultrasonic or 초음파 or 자분 or 자기분말 or “자기 분말” or 자기 or 자속 or 플럭스 or magnetic or 와전류 or 에디전류 or Eddy or 방사선 or radiographic or CCD or전자기 or electromagnetic) and (test* or 검사 or 시험 or 테스트 or 탐상)) AND AD=(19950101:20150925)	471 (121)	570 (107)	213 (56)	1124 (246)	2378 (530)	747
	TAC=((배관 or 관로 or 파이프 or pip* or tubular) and (로봇 or 로보트 or robot or “inspection vehicle”)) AND AD=(19950101:20150930) AND IC=(G01M* or G01N* or G01B* or F16L*)	132 (93)	282 (21)	142 (16)	70 (15)	626 (145)	
	PA=((PIPETRONIX or WILLIAMSON or “VETCO PIPELINE” or “CARNEGIE MELLON UNIVERSITY” or PipeTel or “Southwest	2 (0)	227 (40)	74 (29)	4 (3)	390 (72)	

	Research" or Pii or "티디 윌리암손 인코오퍼레이티드" or "카네기 멜론 유니버시티" or "사우스웨스트 리서치 인스티튜트" or "사우쓰웨스트 리서치 인스티튜트")) AND IC=(G01M* or G01N* or G01B* or F16L* or B08B* or B25J*)						
용수공급 관로의 구조적상태 감시·예측 기술(AB)	TAC=((배관 or 관로 or 파이프* or pip* or piping or plumbing or pipeline or pipe-line or "pipe line") and (구조 or structur* or 변위 or displacement or 응력 or stress or 부식 or corro* or 균열 or fracture or crack) and (센서 or 감지 or 센싱 or sensor) and (조사* or 검사* or 시험* or 측정* or 탐상* or 계측* or 진단* or 예측 or measur* or analys* or Diagnosis or survey or inspect* or test* or evaluat* or monitor* or prediction)) AND AD=(19950101:20150925) AND IC=(G01*)	339 (174)	780 (422)	254 (133)	518 (165)	1891 (894)	894

□ 총 5,285건의 특허중 3차에 걸친 filtering을 통해 1,174건의 유효특허로 압축분석하여 기술등급에 따라 A, B, C 등급으로 분류

- A 등급이 235건(20.0%), B등급 425건(36.2%), C등급 514건(43.8%)

▌표 2.3.12 분석대상 기술의 기술 등급별 출원 건수▐

중분류	분석대상 기술	A급	B급	C급	**소계**
용수공급관로의 비파괴 진단·성능평가 기술(AA)	→ 관 내외면 고감도 Hybrid 비파괴 기술 → 관 내외면 이동탐상 장비 기술 → 비파괴 종합 성능 진단 기술	177	288	274	**739**
용수공급관로의 구조적 상태 감시·예측 기술(AB)	→ 실시간 구조적 상태 감시 기술 → 실시간 구조적 파손 예측 기술 → 상태 감시·예측 통합 기술	58	137	240	**435**
		235	425	514	**1174**

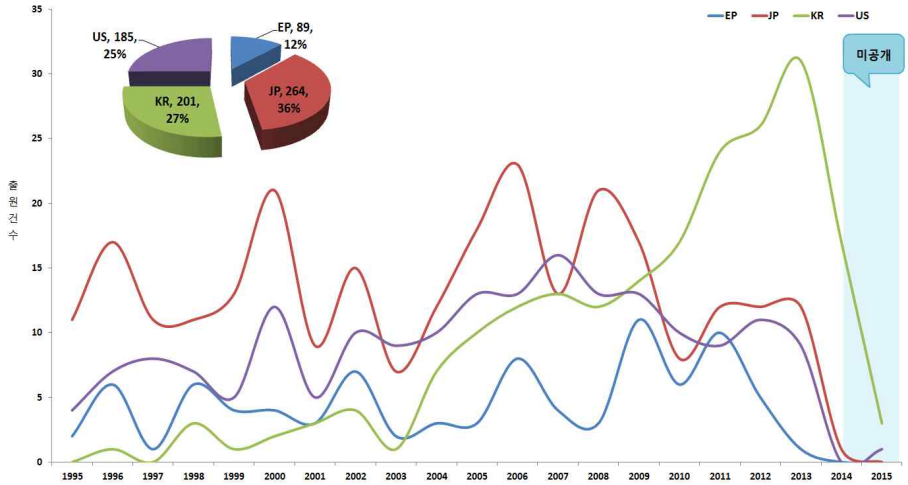
나. 특허동향 정량분석 결과

(1) 국가별 출원동향

□ (비파괴 정밀진단.성능평가) 최근 **20년간 일본>한국>미국>유럽 순으로 출원**되었으며,

한**국은 2013년 이후** 꾸준히 **증가**하고 있는 **추세**

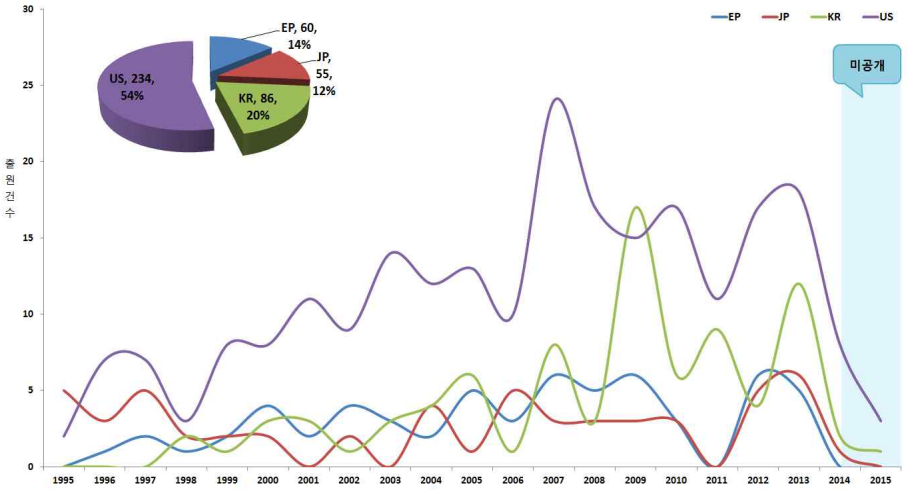
- 95년 이후 한국이 전체 739건 중 201건(27%) 수준으로, 최근 국가 주요 인프라에 대한 시설물의 “안전” 관리 인식강화로 관련 특허는 더욱 증가할 것으로 전망



▌그림 2.3.24 비파괴 정밀진단·성능평가 분야 국가별 출원동향▐

□ (구조적 상태감시.예측) 최근 20년간 **미국>한국>일본>유럽 순으로 출원**되었으며, 모든 국가에서 지속적으로 증가하고 있는 추세

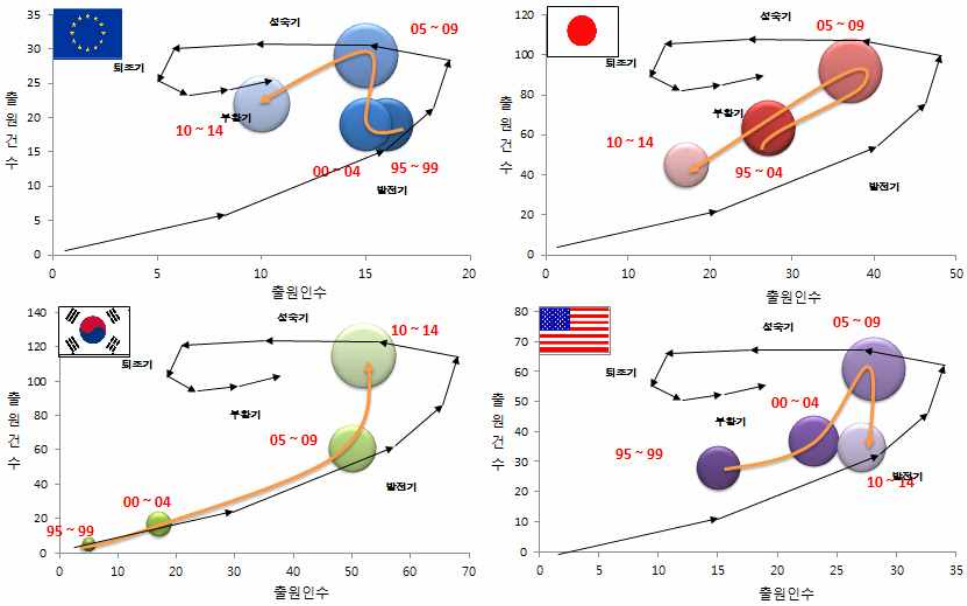
- 95년 이후 **한국이 전체 435건 중 86건(20%) 수준**이며, 최근 전 세계적으로 기후변화 등 **재해재난 증가로 인한 시설물 감시에 대한 특허는 계속 증가할 것으로 전망**



▌그림 2.3.25 구조적 상태감시·예측 분야 국가별 출원동향▐

(2) 국가별 기술수명 주기

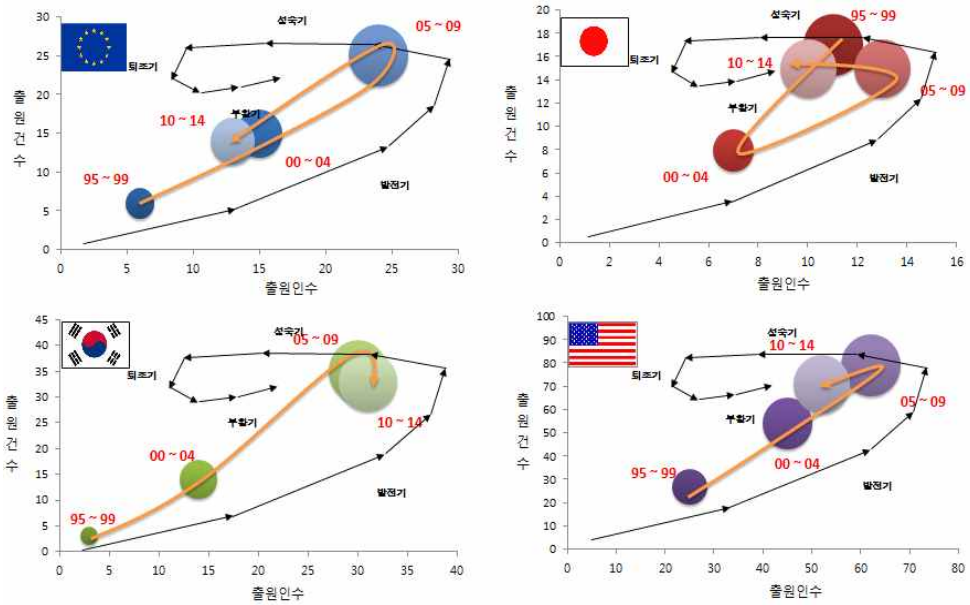
□ (비파괴 정밀진단.성능평가) 현재 유럽, 일본, 미국 등은 1 세대 기술개발 완료 후(기술 퇴조기) 2세대의 기술 개발이 진행, **한국은 발전기 단계에 위치**



▌그림 2.3.26 비파괴 정밀진단·성능평가 분야 국가별 기술수명 주기▐

□ (구조적 상태감시.예측) 일본은 퇴조기, 부활기를 거쳐 다시 새로운 발전기를 향하고 있으며, 미국, 유럽, **한국은 퇴조기를 거쳐 2 세대 기술 개발 진행**

- 일본은 지진 등 재해 발생 위험요소가 많아, 각 환경에 대응하기 위해 지속적인 기술개발을 추진 중인 것으로 판단



▌그림 2.3.27 구조적 상태감시·예측분야 국가별 기술수명 주기▐

(3) 주요 출원인 동향

□ (국가별/기술별) **비파괴 정밀진단·성능평가 부분**에서는 **미국 Southwest Research Institute (SwRI), 유럽 PII, 일본 HITACHI, 한국은 삼성, 원자력연구원, 가스공사 등**이며, **구조적 상태감시·예측**은 **미국 Schlumberger Technology, 유럽 CiDRA, 일본 HITACHI, 한국은 ㈜지엠지, 부영산전, 성균관대 등이 특허 출원을 주도**

▌표 2.3.13 국가별/기술별 주요 출원인 현황▐

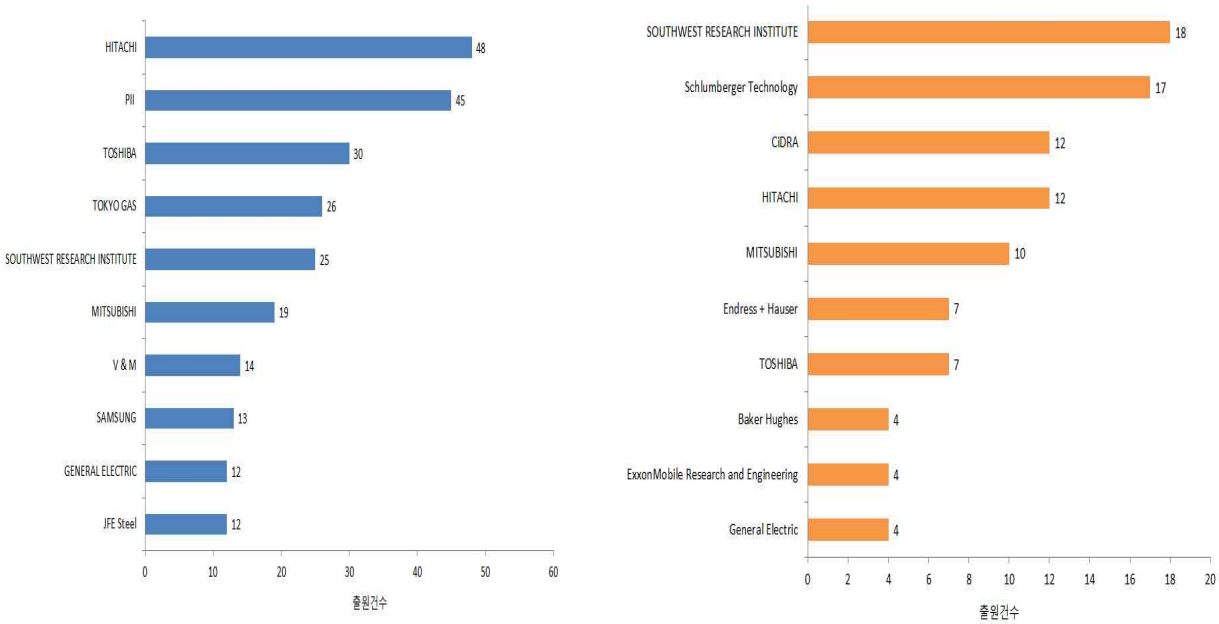
구분		용수공급관로의 비파괴 진단・성능평가 기술(AA)	용수공급관로의 구조적 상태 감시・예측 기술(AB)
미국	1	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE(SwRI)	Schlumberger Technology
	2	PII	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE
	3	V & M	CiDRA
	4	GENERAL ELECTRIC	Endress + Hauser
	5	Nippon Steel & Sumitomo Metal	Baker Hughes
유럽	1	PII	CiDRA
	2	Sumitomo	Nederlandse Organisatie voor Toegepast
	3	JFE Steel	Schlumberger Technology
	4	SALZGITTER MANNESMANN	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE
	5	V & M	Speir Hunter
일본	1	HITACHI	HITACHI
	2	TOSHIBA	MITSUBISHI
	3	TOKYO GAS	TOSHIBA
	4	MITSUBISHI	NATIONAL RESEARCH COUNCIL
	5	ISHIKAWAJIMA INSPECTION & INSTRUMENTATION	Sumitomo
한국	1	SAMSUNG	(주)지엠지
	2	한국원자력연구원	부영산전주식회사
	3	한국가스공사	성균관대학교산학협력단
	4	성균관대학교산학협력단	한국전력공사
	5	한국수력원자력	(주) 이우티이씨

□ (다출원인) 출원인 중심으로 보면, **비파괴 정밀진단·성능평가에서는 일본 HITACHI, 구조적 상태감시·예측 분야에서는 SwRI가 특허출원 주도**

- HITACHI(1920년 설립)는 전력, 철도, 인프라, 방위, 에너지, 정보통신 등에 주력하고 있는 글로벌 일본업체, IT, 건설장비, 고기능 재료, 전자제품, 산업설비시스템, 스마트 시티사업, 1455개 특허(2011년), Hitachi Metals 600여개 특허(2015년 기준) 보유

- SwRI(1947년 설립)는 택사스주 샌안토니오의 비영리 독립연구개발기관으로 공학, 물리과학, 우주과학, 화학, 기계, 자동화, 전력, 비파괴 등 10개 분야 4000 개 이상의 Project를 수행, 혁신적인 과학 기술로 정부, 산업 및 사회에 공헌, 직원 2,845명(2013년 기준), 박사 280명, 석사 507명, 555편 논문, 489편 발표, 총 1,100개 특허 보유

- 미국에너지 전문업체인 슐룸베르거(Schlumberger Technology)는 전 세계 85개국, 140개 국적의 95,000명 직원, 125개 연구(1948년) 및 엔지니어링 시설, 오일 및 가스 분야, 지진 및 지구물리, 시추, 굴착, 셰일가스, 수리 파쇄 등 전문



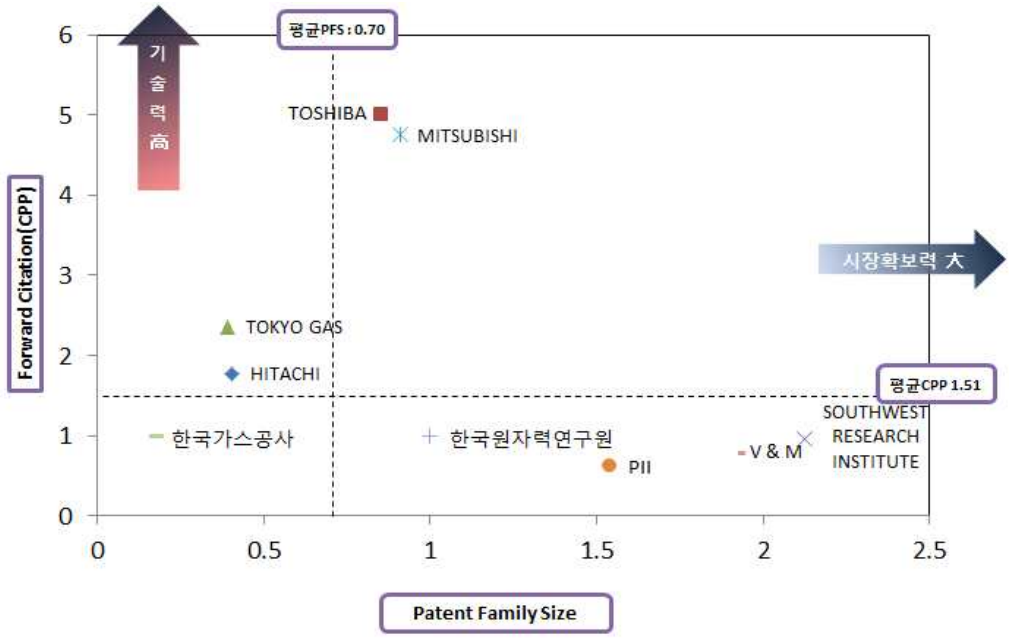
[비파괴 정밀진단·성능평가 분야] [구조적 상태감시·예측분야]

▌그림 2.3.28 주요 출원인 특허출원 건수 동향▐

(4) 기업별 기술력 분석

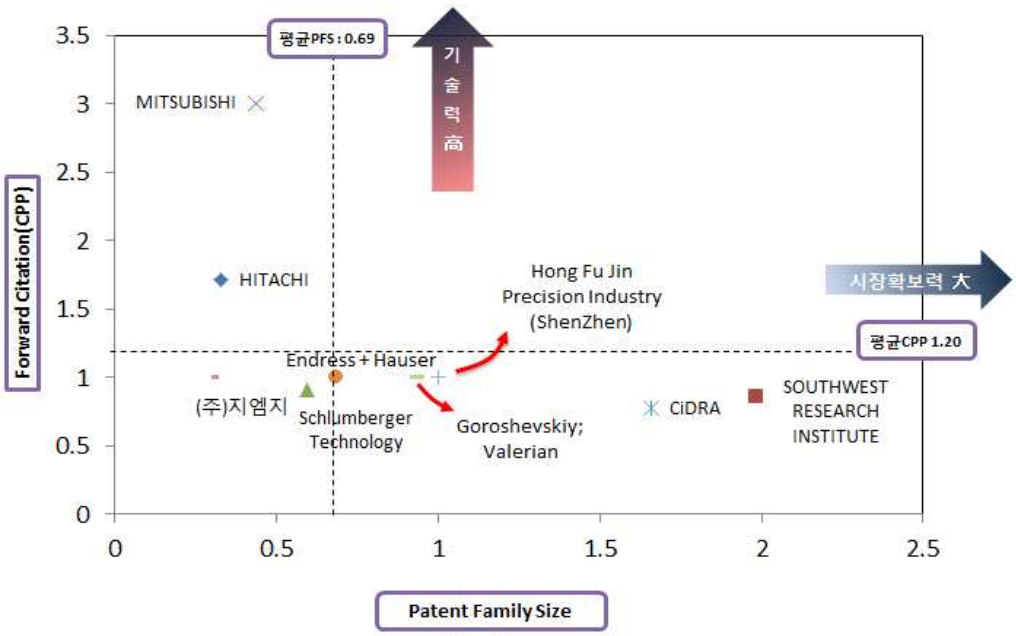
□ (비파괴 정밀진단.성능평가) **TOSHIBA, MITSUBISHI가 기술력이 가장 높고, SwRI, V&M 등은 시장 확보력이 가장 높음**

- 한국의 **한국가스공사, 한국원자력**은 **피인용지수 값이 모두 평균 미만으로 한국은 이 분야에 대한 기술 개발이 필요**



▌그림 2.3.29 비파괴 정밀진단·성능평가 분야 기업별 기술력 분석 결과▐

□ (구조적 상태감시.예측) MITSUBISHI가 기술력이 가장 높고, SwRI가 시장 확보력이 가장 높았으나, **한국은 (주)지엠지 1개 기업으로, 선진기업과의 기술의 격차 극복을 위한 기술 개발 필요**



▌그림 2.3.30 구조적 상태감시·예측분야 기업별 기술력 분석 결과▐

다. 특허동형 심층분석 결과

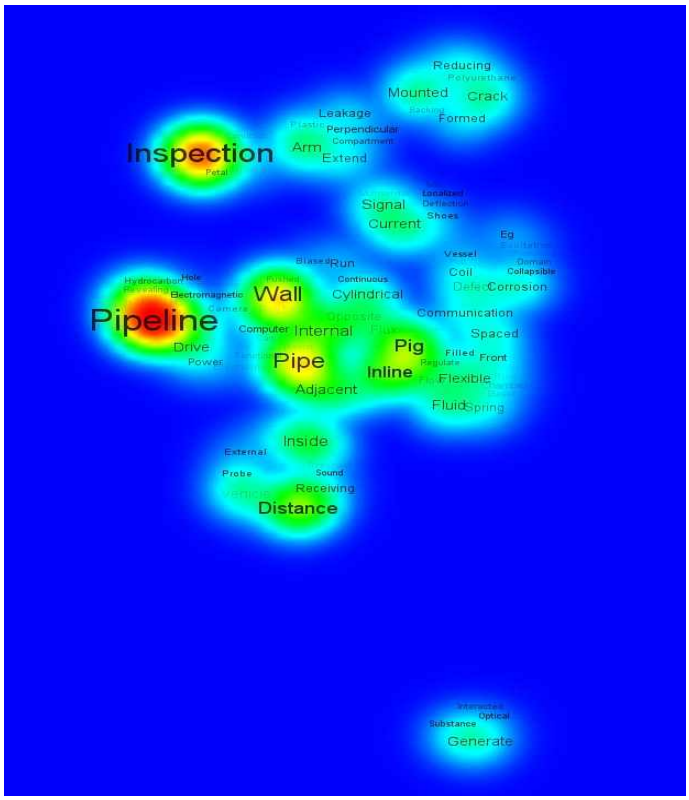
□ (심층분석) 유효특허(1,174건) 중 기술등급 상 A급에 해당하고 관내부에서 비파괴로 면적 스캐닝을 통해 진단과 성능을 평가하는 **기술중심의 특허 92건 중 핵심특허 51건을 대상으로, R&D방향 설정과 공백영역 발굴**

- 심층분석은 데이터 마이닝과 매트릭스 분석 기법 적용
- 데이터 마이닝은 그 결과를 다양한 방법으로 시각화(visualization) 함으로써, 특허문헌에 특정 텍스트의 출현 빈도를 직관적으로 확인할 수 있는 기법

▌표 2.3.14 비파괴 면적 스캐닝을 통한 관로 진단 · 평가 중심의 기술분석 결과▐

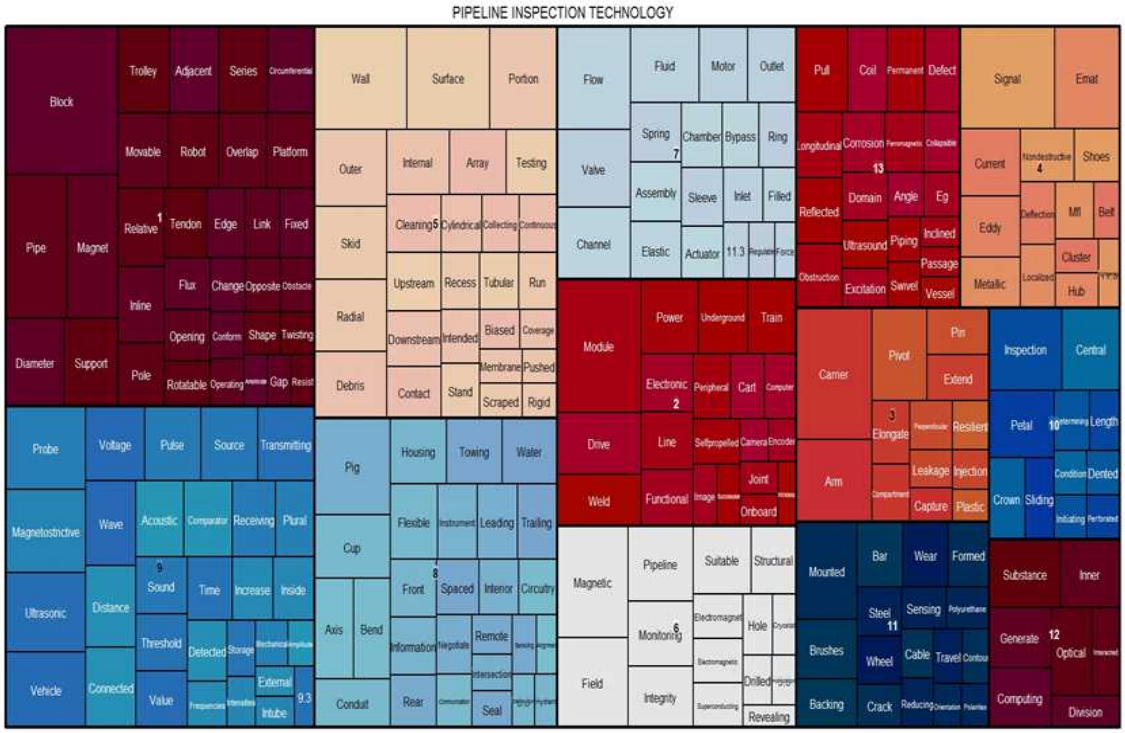
대분류	중분류	소분류	KR	US	EP	JP
대규모 용수공급 관로의 비파괴 진단·성능평가와 운영감시 시스템	용수공급관로의 비파괴 진단·성능평가 기술(AA)	관내면 비파괴 이동탐상 진단·성능평가 기술(AA-A)	18	34	17	23
			92			

□ (데이터 마이닝 적용결과) 관내면 비파괴 이동탐상 진단·성능평가 기술에 대한 데이터 마이닝 결과를 Thermal 그래프화한 결과 **Pipeline, Inspection, Wall, Pipe, Pig, Inline, Distance, Inside 등 키워드의 출현빈도가 높게 나타남**



▌그림 2.3.31 관내면 비파괴 이동탐상 진단 · 성능평가 기술 텍스트마이닝 결과 thermo 그래프▐

- (도출된 공백영역) 상기 각 **그룹별 키워드들의 출현빈**도를 **면적으로 표시**하는 **트리맵(Tree Map)을 이용하여 공백영역을 도출**
- 그룹 3, 4, 10, 11, 12 등이 상대적으로 적은 면적을 점유, 공백영역으로 분류되었고, 이들 각 그룹 내에서 영향력이 있고, 기술적 의미가 있는 키워드를 정리
- 주요 키워드별, 검색을 통해 본 과제와 관련성이 높은 특허도출



▌그림 2.3.32 트리맵(Tree Map) 이용한 공백영역▐

▌표 2.3.15 공백영역 내 주요 키워드를 이용한 선행특허 검색결과 목록▐

그룹	주요 키워드	검색결과
3	Arm	① US7683611(B): Pipeline inspection using variable-diameter remote-field eddy current technology
	Pivot	② EP02474821(A): Apparatus For Pipeline Inspection
	Pin	
	Compartment	
4	EMAT	③ US8479577(B): In-line inspection tool for pipeline integrity testing
	Eddy	① US7683611(B): Pipeline inspection using variable-diameter remote-field eddy current technology
	Nondestructive	④ US20110167914(A): Integrated multi-sensor non-destructive testing
	MFL	
10	Petal	⑤ US20150059498(A): Pipeline inspection apparatus for the internal inspection of pipelines
	Crown	
11	Brushes	⑥ US5864232(B): Magnetic flux pipe inspection apparatus for analyzing anomalies in a pipeline wall
	Backing	
	Bar	
	Wear	
12	Substance	⑦ US20140081594(A): Systems and methods for inspecting and monitoring a pipeline
	Optical	
	Interacted	
	Division	

□ (매트릭스 기법 적용결과) 매트릭스 분석은 가로축을 목적(Object), 세로축을 그러한 목적을 달성하기 위한 해결수단(Solution)으로 설정하여 매트릭스를 구성하고, 구성된 매트릭스의 각 영역 안에 해당되는 특허를 위치시킨 후, 그 분포형태 및 내용 등을 분석하는 R&D 과제 도출하는 방법

- (도출된 공백영역) **51건의 분석대상 특허에 있어서 이론적으로 7개의 공백영역 도출**되었으나, 선행특허 검색결과 참고특허가 존재하는 영역은 1번 영역으로 분석
- 이는 Pig가 **배관을 이동하면서, 배관의 물리적 and/or 화학적 특성을 검출**함으로써, 배관을 검사하는 기술에 해당, 따라서 **유체압력이 아닌 타 방법을 통해 관 내부를 이동할 수 있는 이동탐상 장치에 대한 개발이 필요**함을 의미하며,
- 또한 초음파 중심으로 검사.분석할 경우에는, **EMAT**(Electromagnetic Acoustic Transducer; 전자기초음파탐촉자)**를 이용한 배관검사 수단이 연구개발에 활용 가능**함을 의미

▌표 2.3.16 자율주행 진단·성능평가 기술의 매트릭스 분석 결과▐

목적(OBJECT) / 해결수단(SOLUTION)	물리화학적 성질 검출에 의한 배관 검사	배관용 부품, 지지수단, 단열수단 일반	배관의 정적/동적 평형 시험, 기타 시험	전자기적 변화량 측정	배관 청소 일반
탐상 객체(***)			②		
자기적 수단에 의한 배관의 검사, 분석1(***)					
자기적 수단에 의한 배관의 검사, 분석2(******)					
(초)음파에 의한 배관의 검사, 분석1(***)			③		
피그(*)					
피그를 이용한 조사, 측정 또는 검사(*)					
(초)음파에 의한 배관의 검사, 분석2(*)			④		
자체 추진 장치를 구비하였거나 또는 구비하지 않은 상태에서 배관 속을 이동할 수 있는 피그	①				
피그를 이용한 구조물(배관) 기밀성 조사(*)				⑥	
(초)음파 배관 검사의 변환기(tranducer) 개수(**)				⑦	
(초)음파에 의한 배관의 검사, 분석3(**)			⑤		
자기적 수단에 의한 배관의 검사, 분석3(**)					
(초)음파에 의한 배관의 검사, 분석4(***)					
자기적 수단에 의한 배관의 검사, 분석4(*****)					
(초)음파 배관 검사의 분석 재료와 연관된 인덱싱 코드(***)					
(초)음파 분석을 통한 고체의 분석(*)					

범례		
	셀 정규화값	
1	0.10~0.19	
2	0.20~0.28	
3	0.29~0.94	
4	0.95~1.60	
5	1.61~2.36	
6	2.37~3.12	
7	3.13~6.36	
8	6.37~9.60	
9	0	

3. 논문동향 분석

가. 분석목적과 범위

□ (분석목적) 대규모 용수공급관로 비파괴 진단.구조적 상태감시에 대한 **국내외 논문동향을 분석**하여, 대상기술에 대한 **최근 기술 트랜드 분석을 통해 연구개발 방향과 목표를 설정**하고, 추진전략 수립에 활용

- 주요 기술선 조사와 본 연구 기획의 중점추진분야 설정을 위한 객관적인 근거 제시

□ (분석범위) 대규모 용수공급관로의 기술분석 대상인 관로(Pipe) 비파괴 정밀진단, 성능평가, 그리고 구조적 상태 감시·예측기술을 대상으로 논문동향을 분석

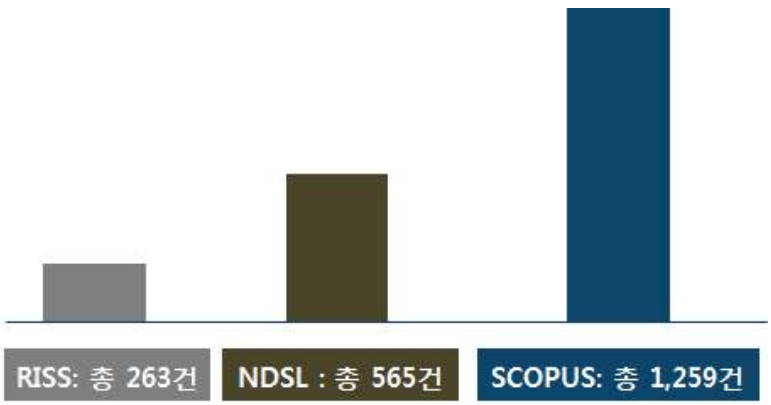
- 검색수식은 특허동향 분석과 유사하게 가스, 송유, 원자력, 플랜트, 상하수도 등을 모두 포함하는 배관(pipe)에 비파괴(nondestructive), 진단(assessment), 평가(evaluation), 검사(inspection), 구조적 모니터링(structural monitoring) 등의 키워드를 결합하여 수행

▌표 2.3.17 논문검색 수식▐

구분	검색수식
용수공급관로의 비파괴 진단·성능평가 기술	Pipe(배관) & Nondestructive(비파괴)
	Pipe & Nondestructive & Assessment(평가)
	Pipe & Nondestructive & Evaluation(평가)
	Pipe & Nondestructive & Inspection(검사)
용수공급관로의 구조적상태 감시·예측 기술	Pipe & Monitoring(감시)
	Pipe & Monitoring & Structural(구조적)

□ (분석방법) 논문검색 전문사이트인 **NDSL**(National Digital Science Library, 국가과학기술정보센터), **RISS**(Research Information Sharing Service, 학술연구정보서비스), **Scopus**(Elsevier)에서 키워드 검색으로 **최근 15년(2000~2015) 간의 관련 논문 게제 현황 분석**

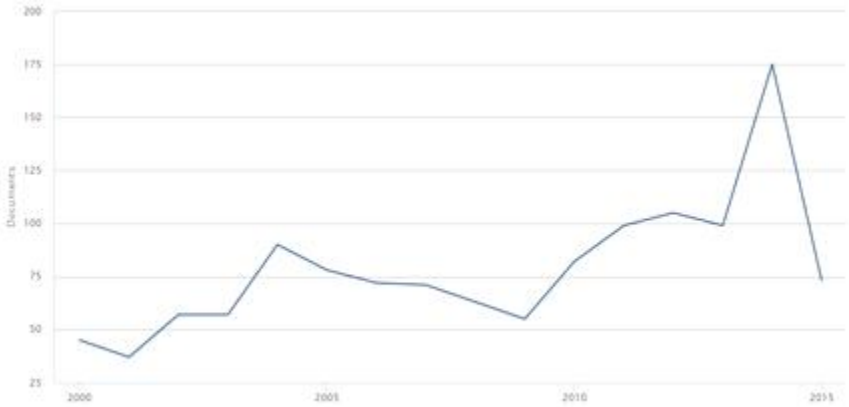
- 가장 포괄적인 키워드 검색인 “Nondestructive” & “Pipe”검색을 수행한 경우 **Scopus에서 1,259건의 가장 많은 논문이 검색** 되었으며, Scopus의 분석결과를 이용하여 논문 동향을 상세 분석하였음



▌그림 2.3.33 논문검색 사이트별 검색 건수 예 (nondestructive & pipe)▐

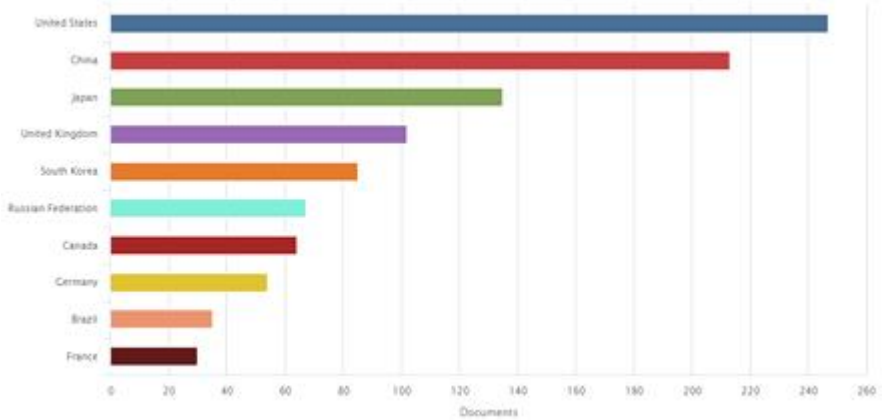
* RISS의 논문검색 건수 263건은 미국 PVP(Pressure Vessle & Piping Conference)의 프로시딩을 제외한 결과임

□ (연도별 현황) 석**유화학 플랜트, 발전소의 배관**을 중심으로 본 기획과제 **관련 논문들의 빈도가 꾸준히 증가하고 있는 추세**임. 이는 EPC중심의 기술개발에서 O&M을 포함한 기술개발로 확장되고 있음을 알 수 있음



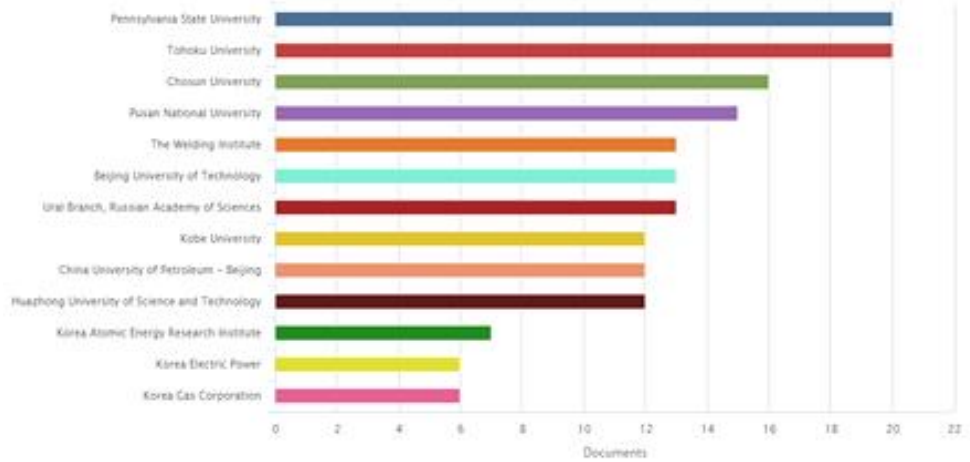
▌그림 2.3.34 연도별 논문게재 동향▐

□ (국가별 현황) 최근 15년간의 국가별 논문 발표현황을 살펴보면 **미국이 250편으로 가장 많은 편수를 기록**하고 있고 중국, 일본, 영국, 한국의 순서로 나타나고 있음



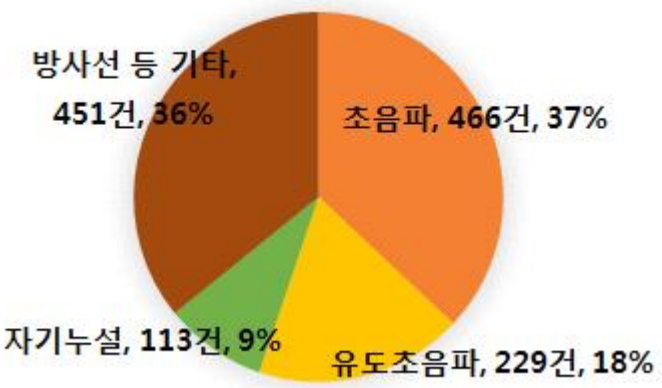
▌그림 2.3.35 국가별 논문게재 동향▐

□ (기관별 현황) **펜실베니아 주립대학(미), 동경대학(일)이 가장 많은 논문들을 게제**하고 있으며, 국내도 관, 학을 중심으로 논문편수가 지속적으로 증가하고 있는 추세로 국내 건설사들의 해외 석유화학 플랜트 사업 호황에 따라 기술개발도 활발히 이루어지고 있음



▌그림 2.3.36 기관별 논문게재 동향▐

□ (비파괴 기술별) **비파괴 센서의 유형별**로 보면 **초음파 466건, 유도초음파 229건, 자기누설 113건, 기타 451건**으로 분류되어 **초음파 센서를 이용한 기술들에 대한 연구가 가장 많이 이루어지고 있음**을 알 수 있음



▌그림 2.3.37 비파괴 센서 유형별 논문게재 동향▐

4. 이슈 및 시사점

□ 용수공급관로의 정밀진단·성능평가 기술은 ICT, 비파괴, 로봇기술(Robotics), S/W 융합, **전체구간에 대한 장거리 면적 스캐닝을 통해 관의 상태를 한눈에 파악**하고 **진단·처방할 수 있는 기술에 집중**

- 관 내부에 이동하면서 적용되는 탐상장비(ILI, In-line inspection tool)는, **가스, 송유, 수도 각각의 배관 환경에 적용 가능하며 단수·무단수, 유인·무인 형태의 다양한 방식으로 발전**

- 정밀진단 장비는 고가이므로 한개의 이동장비로 **다양한 관경에 적용할 수 있는 형태, 장거리 탐상 가능, 에너지 소모량 적은 첨단장비로 발전**되고 있음

- 선진국에서는 주요 인프라 시설에 대해 많은 상태감시 및 센서네트워크 기술을 개발 추진 중, 최근 **구조물 내에서 구조물의 상태를 연속적으로 감시, 손상을 감지·예측하는 기술 주력**

- 운영중인 관로에 대해 실시간 변화 관측, **파괴 예측으로 구조적인 상태를 감시(SHM, Structure Health Monitoring)하는 신 개념으로 패러다임 변화**

- 가스, 송유, 상하수도 관로, 터널, 교량, 철도, 항공, 사면, 건축 구조물 등 다양한 분야에 SHM 기술 적용 중, 임베디드 센서, IoT기반 센서네트워크, 에너지 Harvesting, 비파괴 기술 융합(상태감시) 등이 주요 관심사

□ 정부 정책 및 미래 기술변화에 선제적 대응 필요

- 정부의 **ICT 융·복합 산업의 경쟁력 확보 강화** 및 **R&D 지원확대에 따른 미래 기술** 개발 필요

- **범정부(과기부, 산자부, 노동부, 행자부, 건교부)적 비파괴검사기술 진흥계획 수립** (2012) 추진 및 각 **산업분야의 지능형 로봇 등 기술 발전 시책 수립** 추진

* 범정부적 ICT, 로봇, 비파괴 등 융·복합 기술 발전 추진 필요

- 선진국의 **미래 물시장 주도권 확보 강화** 및 **국가적 지원 확대**에 대응하고 **세계 물시장 선점을 위한 기술경쟁력 확보**를 위해 정부의 지원 강화 및 전략 필요

- **지능형 스마트 통합 물관리 구현 및 해외 물시장 선점을 목표로 하는 핵심 브랜드화** 기술 개발로 물산업 대외 경쟁력 향상 필요

- **지능형 안전진단 및 유지관리 기술격차 해소**, **해외 의존도 및 기술역량 부족**에 따른 기술 전략 추진 필요

□ 첨단기술을 활용한 **사고예방 중심의 과학적 첨단진단·감시 기술 중요성 부각**

- 국민의 안전욕구 증대, 산업경제 고도화에 따라 **공공의 안전과 신뢰 향상을 위한 비파괴(NDT)등 ICT 융·복합 첨단 정밀진단기술 중요성 부각**
- **지하에 매설된 관로의 상태를 정확하게 파악 할 기술**이 부족하고 접근에 어려움 있으므로 이를 해결하기 위한 **관로 상태의 정량적 조사, 정밀 진단 기술 필요**
- **ICT 기술 융·복합**을 통한 시설물 점검·진단 장비 개발 및 **효율성.정밀도 향상 필요**
- 선진적 안전관리 체계 확립, **안전진단 해외시장 진출지원 및 전문기관 육성** 전략 필요
- 관산학 기술개발 추진, 민간기업 신기술 개발·검증에 수도사업자 필드 제공 등 협력 필요
- 과거 간접평가, 점적인 국부적 진단으로 데이터 신뢰성 부족 한계, 정확한 처방의 어려움 해소 및 진단 신뢰성 향상을 위한 정밀진단 정량화 기술 필요
- 노후 관로에 대한 정밀한 상태 진단 결과를 분석하여 시설 성능을 제대로 평가하고 **잔존 수명을 예측, 성능개선과 사용 수명 연장 방안 등을 종합적으로 검토**하여 보수, 보강 또는 교체 여부 등 **개량 방안을 결정하고 합리적인 예산 투자 계획**을 수립토록 하여야 함
- 현재 가스·송유관 등에서 비파괴 기술 접목 장거리 면적 탐상을 통한 매설배관 진단·성능평가·감시 추진
- **용수공급관로의 관종, 관경, 관 내부상태, 공급시스템, 기존 배관망 구조 등이 상이한 여건에 따라 최적 적용될 수 있는 비파괴 기술, 이동탐상 구동 장비 개발 필요**

□ **기술수준/예측결과 최고 선진국(미국) 대비 기술수준(%) 및 기술격차(년) 해소 필요**

- 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술 62.4~67%, 4.2~4.6년
- 비파괴 성능평가 기술 60.4~67.9%, 5.8~6.1년
- 구조적 상태감시 기술 63.3~67.7, 5.1~5.8년
- 국내 기술적 실현시기‘20~’21년, 사회경제적 실현시기‘22~’23년 예상
- 국내 비파괴 진단·감시 기술 낙후, 외국 기업 의존도 확대로 **국가 주요 SOC 인프라 시설물 검사결과 및 막대한 예산 유출 우려로 조속한 투자 및 기술개발 필요**

- 독자적인 기술 확보 시급, 전문 인력/기관 양성 및 신규 고용창출을 통한 산업경쟁력 강화 필요

- 특허 동향 분석 결과 국가별로 미국, 유럽, 일본 순, 국내는 삼성, 원자력연구원, 가스공사, 성균관대 등이 특허 출원 주도, 공백영역 기술 개발 필요

- 한국가스공사 가스배관, 한국원자력연구원 발전소 배관 등 비파괴 탐상장비를 한국표준과학연구원 등에서 비파괴센서시스템 개발 중, 한국건설기술연구원, 수자원기술(주) 등에서 관로 갱생, 진단 관련 장비 개발 사례

- 선진국 대비 큰 기술격차 및 높은 해외 의존도 해소 위한 기술 필요, 창조경제 실현을 위해 **우리나라가 기술경쟁력을 보유한 ICT 기술 기반으로 로봇, 비파괴 기술과의 융·복합을 통한 선진국 수준의 첨단 진단 기술 확보 필요**

제 4 절 연구개발 인프라 분석

1. 국내 인프라 분석

가. 주요 연구기관

(1) 한국가스공사 연구개발원

□ 한국가스공사 연구개발원은 1988년 한국가스공사 기업부설연구소로 설립, 천연가스와 에너지관련 연구개발 사업을 수행중이며, 연구개발원 내 설비기술연구센터에서 **2000년부터 지능형 피그 연구개발에 착수, 2004년 지오매트리 피그, 2008년에는 자기누설피그 자체 상용화 모델 개발**을 **완료**

□ **2012년부터는 언피거블(unpiggable) 가스관 검사용 자가 추진 로봇 개발을 추진**, 2015~2016년에는 Pilot 로봇에 대한 신뢰성을 검증하고, **2017년에는 개발을 완료하여 현장에 투입**할 계획 임

- 위 언피거블 자가추진 로봇은 2012년부터 5년간 사업비 228억원(정부 175억원, 민간 53억원)이 투입되는 국가연구사업(산업부)으로 지능형 피그(배관내 유체 흐름을 이용한 자동 부식 검사 장비)의 적용이 불가능한 가스배관용 비파괴검사 자가추진 로봇 개발을 목표로 현재 8인치(중소형배관용)와 16인치(대형배관용)의 2종류 로봇 개발을 추진 중임

- 또한 **배관에 가해지는 충격을 실시간으로 모니터링**하고, 충격위치를 산출 할 수 있는 무**선통신 기반의 모니터링 시스템**을 개발, 마산만 해저배관 현장적용 실험을 통하여 유용성을 검증하는 등 **다양한 구조적 안정성 확보를 위한 감시 모니터링 기술을 개발추진 중**



▌그림 2.4.1 한국가스공사 연구개발원의 언피거블 자가추진형 비파괴 탐상 장비▐

(2) 한국원자력연구원

□ 한국원자력연구원은 1959년 원자력연구소로 출범하여 2007년 한국원자력연구원으로 명칭이 변경되었으며, **차세대 원자로 개발 등 원자력과 관련한 연구개발과 신에너지에 대한 연구 등을 중심으로 R&D 수행** 중

□ 특히 한국원자력연구원 원자력융합기술개발부에서는 2009~2012년(3년간) 화력발전소 내부의 **지름 10cm의 소구경 배관에 투입, 100m 까지 자유롭게 이동하면서 4방향에서 발사되는 레이저 주사**를 이용, **배관 내부의 모습을 3차원으로 복원**한 다음 고화질로 전송함으로써 배관 내부에 존재하는 1 mm 이하(탐지가능 최소크기 0.47mm)의 이물질, 파임(침식), 돌출 등 **미세결함을 탐지할 수 있는 비파괴 검사 장비를 개발**



▌그림 2.4.2 한국원자력연구원의 화력발전소 배관 비파괴 탐상 장비▐

(3) 한국건설기술연구원(KICT)

□ 한국건설기술연구원은 편리하고 안전한 고품격 국토조성을 위한 정부정책 지원과 연구

개발을 담당하고 있는 정부출연연구기관으로서 1983년에 재단법인으로 개원하였으며, 연구원은 건설정책연구소 등 총 9개 연구소로 운영 중이며, 환경플랜트연구소에서는 **지능형 물공급 시설 건설기술 등 지하매설 용수공급망 성능향상을 위한 기술 개발을 추진 중**

□ 최근 용수공급관로와 관련하여, 상수도관로 긴급진단 및 누수탐지시스템 활용기술, 하수관거 상태평가 DB 표준화 및 레이저 탐사 시스템, **상수도 관망시설의 자산관리 솔루션**, **마이크로그리드 스마트 용수관리 기술**, **국토 라이프라인 연구개발사업 기획**, **상수도시설물의 개량을 위한 마스터플랜 구축 및 상수도관로의 개량 매뉴얼** 등 **용수공급관로에 대한 진단·성능평가에 대한 연구를 수행**

□ 과거 상수도와 하수도의 구조적인 상태에 따라 관로를 보강하기 위한 다양한 갱생기술을 개발한 바 있으며, 관로내 세관과 라이닝을 위한 다양한 로봇과 장비 개발 노하우 보유

(4) 한국표준과학연구원(KRISS)

□ 한국표준과학연구원(KRISS, Korea Research Institute of Standards and Science) 은 1975년 설립 이래 **국가측정표준 대표기관**으로서 국가과학기술 발전의 토대를 제공하였으며 중화학공업, 반도체, 조선, 항공, 자동차 등 우리나라의 주력산업 제품의 품질을 국제적 수준으로 향상시키는데 중추적인 역할을 수행, 직원은 700명 수준

□ 한국표준과학연구원 내에는 기반표준, 삶의질측정표준, 산업측정표준, 미래융합기술 등 4개의 본부가 있으며, 이중 **삶의질측정표준 안전측정센터에서는 비파괴 초음파/음향방출 측정 평가기술, 적외선 열화상, 전자기 센싱기술, 포토센싱 기술, 센서 네트웍 및 에너지 하베스팅 기술 등 비파괴 기술과 구조적 상태감시에 필요한 요소기술 관련 R&D 수행** 중

- THz파를 이용한 실시간 비접촉 비파괴 두께 측정, 연속파 THz 빔 스캔을 이용한 고속 3차원 영상 탐지장치, 음향과 진동, 온도 동시측정을 위한 광섬유 간섭형 센서와 센싱방법 등 다양한 기술력을 확보

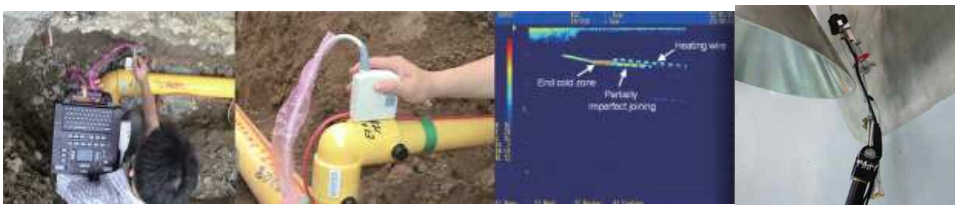
나. 국내 주요 업체

(1) 인디시스템

□ 1999년 10월 27일 음향과 초음파 기술을 기반으로 한 비파괴 검사용 위상배열 초음파 검사장비 개발을 시작으로, **초음파, 배열초음파, 유도초음파, 음향방출, 비파괴 관련 프로그래밍 등 다양한 기술 보유**

□ 수도용 배관으로 널리 사용되는 **폴리에틸렌(Polyethylene, PE) 배관의 내부, 연결부 검사를 위한 위상배열 초음파 비파괴 검사 시스템을 국내 최초로 개발**하였고, 초음파 완전류 비파괴 검사 자동화 시스템과 금속관종을 위한DIPT106(Digital Image Processing Technique)을 개발

- DIPT106은 파이프 단면의 검사 영상을 관 모양으로 변환된 B-scan으로 제공, 사용자가 수신 신호 처리와 이미지 처리를 통해 관의 두께 변화와 결함을 판별 가능하도록 하는 기술



▌그림 2.4.3 인디시스템의 PE관 전기융착 검사 시스템 및 정밀탐상 스캐닝 장비▐

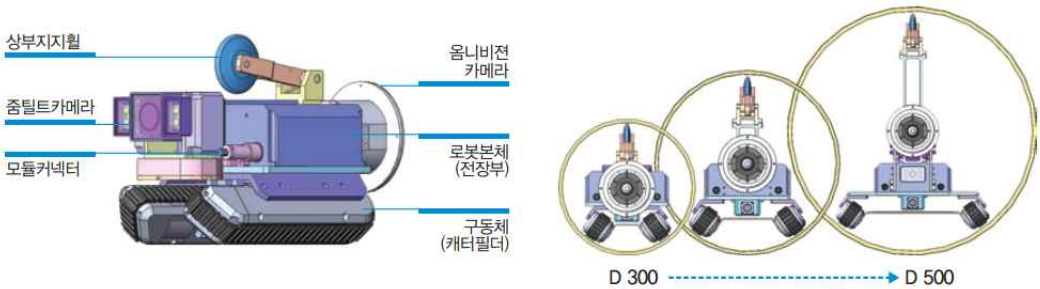
(2) 나우(주)

□ 나우는 **비파괴 검사장비 제조와 판매**를 **전문**으로 하는 회사로, 1999년에 설립되어 RT, MT, PT, ECT, PMO등 종합적인 비파괴 검사 장비를 공급하고 있으며, 배관, 항공, 자동차, 주조 등 산업영역에서 **자동화 생산 비파괴 검사 시스템(방사선 투과, 초음파 탐상, 와전류 탐상 등)에 대한 기술적 노하우를 바탕으로 비파괴 검사에 대한 컨설팅과 교육 등**을 **수행**

(3) 수자원기술(주)

□ 1986년 수자원시설보수(주)로 시작한 **수자원 및 상하수도 분야 시설물 유지보수회사**로 기술연구소에서 환경부 국가연구개발사업인 **에코스타 프로젝트, 차세대 지능형 상수관망기술 개발**, 환경부/지식경제부 연구개발 과제인 **상수도관망 로봇활용 시범사업 등**을 통해 **상수도 유지관리 및 보수를 위한 로봇에 관련된 기술 개발을 수행**해오고 있음

□ 상수관로 조사/진단 기술로서는 **부단수 내시진단** 장비, 매설관 **위치탐사** 시스템, **영상감시** 기반의 관로 진단 로봇, 관내면에서의 **누수음 분석을 이용한 누수탐지 장치 등**을 개발 및 개발 중에 있음

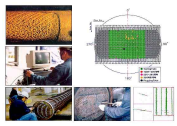
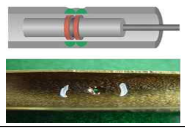


▌그림 2.4.4 수자원기술(주)의 상수관로 내부 화상분석 및 진단 장비▐

(4) 그 외 국내 주요 비파괴, 구조 감시 관련 업체 현황

▌표 2.4.1 국내 주요 비파괴, 구조 감시 관련 업체 주요 보유기술 현황▐

업 체 명	주요 분야	주요 비파괴 보유기술	출처
대한검사기술(주)	- 비파괴 자동 탐상 시스템개발 - 품질관리 자동화 시스템 개발 - 대형구조물의 안전 및 수명진단 - 예측 프로그램 수행, 비파괴검사 기법 개발	- 원자력 발전 설비 용접부 검사 - 용접물, 주조물 압연재 등 검사(품질관리, 품질평가, 보수검사)	 www.kieco.co.kr
세안기술 주식회사	- 원자력 발전 가동전(PSI), 가동중(ISI) 검사 - 비파괴 안정성 검사 - 방사선 안전관리	- 원자력 발전소 비파괴 검사 - 방사선(능) 계측기 교정 서비스	 www.sae-an.co.kr

㈜아거스	- 석유화학, 정유공장, 원자력 발전소, 교량 등 (사회기반시설 비파괴 검사 기술용역 업무)	- IRIS(부식, 침식에 의한 Leak를 사전에 탐사) - 와전류탐상검사	 www.arguseye.com
앤스코(주)	- 원자력 발전소 가동 전, 중 검사 - 산업설비 비파괴 검사 - 안전진단 평가 - 비파괴 검사에 필요한 장비와 기술 개발	- 자동초음파 검사 (원격 자동시스템으로 균열 검출) - 와전류탐상검사	 www.ansco.kr
(주)유엠아이	- 항공기 부품검사 - 원자로 비파괴검사 - 원자력 발전가동 전, 중 검사	- 해수배관 내부피막 건정성 검사 - 증기발생기 Stay Cylinder 원격 버핑 및 자동 초음파 검사	 www.umi.co.kr
㈜ 한국공업엔지니어링	- 중화학 공업, 고압 Plant 등 비파괴 검사 - 특수검사	- 열교환기 Tube 수명평가(ECT/IRIS) - 열교환기 RT검사 - 종합 비파괴 검사(설비 및 배관, 구조물) - 특수비파괴검사(TOFD, Phased Array, Corrosion Mapping)	 www.hiendt.co.kr
㈜ 디섹	- LNG선박, 가스저장탱크, 배관 누설여부 검사 - 파이브 내부부식, 용접부 검사 - 도장검사, 의장검사 등	- 헬륨 및 암모니아 누설검사 - Camera Test - 품질검사 - 자동초음파 검사	 www.idsec.co.kr
(주)레이나	- 압연 롤 검사장비, 알루미늄 등 파이프 검사 - 비파괴 검사장비 제조	- 파이프 탐상기 (와전류 방식 표면결함검사) - 롤 흠 탐상기	 www.raynar.co.kr
세이프텍 (주)	- UT, PT, MT 검사 - 감마스캔, 유도초음파 배관의 건전성 검사	- 감마스캔 (실시간 배관 진단) - 유도초음파	 www.safe-tech.co.kr
㈜ 올네이션	- 국내외 기자재 및 설비 검정 - 인증 및 무역 업무 - 비파괴검사 및 열처리, 배관시공	- 방사선 투과검사 - 초음파탐상검사	 www.allnations.co.kr

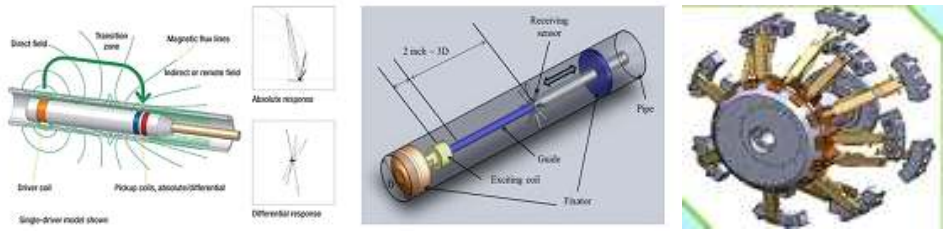
호진산업기연(주)	- 비파괴 검사장비 판매 및 검사 - 비파괴 검사용 방사성동위원소 개발	- 비피괴검사 방사성 동위원소(IRS100) - 비파괴 검사용 조사기 (880 SERIES)	 www.hojinri.com

다. 국내 주요 대학

(1) 성균관 대학교

□ 비파괴평가 연구실은 1998년에 설립되었으며, **초음파 탐상검사와 와전류 탐상검사 분야를 중점연구 분야**로, 이와 관련된 **NDE 모델링 및 시뮬레이션, 자동화 NDE 시스템, NDE 신호의 지능형 역산, 비파괴 재질 평가 등의 연구**를 **수행**하고 있음

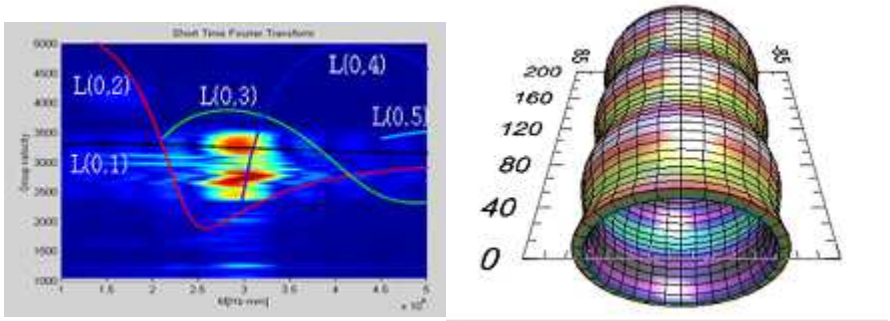
□ IOWA주립대 NDE 센터, 일본 Tohoku 대학, 중국 Tongji 대학, 프랑스 Mediterranee 대학과 같은 **국외 연구기관과 국제공동연구를 수행하는 등 많은 국제 교류**를 하고 있으며 국내에서도 KOSEF, DHI, KOGAS, KGS, KINS, KRRI, KESRI, ADD 등과 공동연구를 수행하였음



▌그림 2.4.5 성균관대학교의 8인치, 16인치 RFECT 언피거블 기술▐

(2) 서울과학기술대학교

□ 서울과학기술대학교의 비파괴 평가 연구실은 1995년 **첨단 지능형 비파괴 계측, 진단, 전문가 시스템 개발 등을 목표로 설립**되었으며, 미국 펜실베니아 주립대, 일본 동경공업대학 등과 유기적인 관계를 형성, **초음파 AFM 기술, 스캐닝 음향 마이크로픽 기술, 비선형 음향기술 등 나노구조의 특성을 파악하는 기술**과 **유도초음파, 비접촉 초음파 NDE(Lamb-EMAT), 초음파 NDE의 통계적 신뢰성 평가에 중점을 둔 구조적 건전성 감시기술(SHM) R&D**를 **수행** 중



▌그림 2.4.6 서울과학기술대학교의 유도초음파 및 비접촉 초음파 NDE 기술▐

(3) 한양대학교

□ 한양대학교 지능계측 및 비파괴평가 연구실은 1992년 설립되었고, **산업계측과 비파괴검사에 관한 연구를 활발히 수행**해 왔으며, 현재 **초음파, 레이저-초음파, 광응용 및 비전 등을 이용한 정밀계측과 비파괴평가 기술**의 개발, 그리고 이들을 이용한 **재료의 열화평가, 결함검출, 의료용 진단 등 능동안전 관련기술에 대한 연구를 수행** 중이며 그간 비파괴 관련 50여건 이상의 국가 및 산업체 프로젝트를 수행한바 있음

- **주 연구 분야는 초음파 비파괴 평가**로서 초음파 비선형성을 이용한 미세결함 평가 및 영상화(원전 구조재 등), 초음파 비선형성을 이용한 재료 열화손상의 조기진단기술(피로손상, 경년열화, SCC 등), 레이저-재료 상호작용 분야로서 레이저를 이용한 초음파 발생과 비접촉 비파괴 평가기술, 레이저에 의한 재료손상평가, 광계측기술 분야로서 레이저 광학계를 이용한 정밀계측, 머신비전 응용기술(검사 자동화, 결함 검출 등), 지능형 고안전차량 분야로서 Automative Sensory System, 차간거리 및 상대속도 측정 등을 중점적으로 연구하고 있음

□ 현재 고출력 레이저에 의한 손상분석, 잠닉손상 정밀진단을 위한 선형/비선형 하이브리드 초음파 기술, 잠닉손상진단 핵심 원천기술 개발(총괄) 등을 수행(2013.7~2020.6, 총 연구비 190억원) 중이며, 초음파 종파와 횡파를 이용한 두께 측정, 링배열 레이저 조사에 의한 비접촉식 초음파 배관 검사, 레이저-초음파를 이용한 튜브의 결함측정 다수의 재산권 보유

* 잠닉: 파손이나 기능저하를 유발하는 잠재적 요소 및 현재의 비파괴 검사 기술로 발견하기 어려운 결함을 의미함

(4) 한국과학기술원(KAIST)

□ KAIST의 스마트구조시스템연구실(Smart Structures and System labs)에서는 **스마트 센싱 기술을 이용한 구조물 건전성 모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)** 및 **비파괴 검사 (Nondestructive Testing, NDT) 기술을 기반으로 무기저(Reference-free) 자동 손상감지 기술**, **접촉식 센서 기반 실시간 구조물 건전성 모니터링 기술**, 비접촉식 장치 기반 **손상감지 기술 등의 연구성과를 도출**하였음

□ 주요 연구분야로는 레이저 기반 비접촉식 자동 손상감지 기술, 비선형 초음파 기반 구조물 손상감지 기술 및 손상감지용 무선 센서 노드 개발, 비접촉식 열화상 장치 기반 자동 손상감지 기술, 3차원 레이저 스캐너를 사용한 BIM 기반 건설 부재 품질 관리 기술, SHM용 무선센서 노드의 운영을 위한 무선 전력/데이터 전송 기술 등이 있음

(5) 부산대학교

□ 전기기기 및 전자기응용연구실에서 **유한요소법에 의한 전기기기의 해석과 설계기술**을 기반으로 **지하매설 배관 검사를 위한 자기누설탐상 시스템 개발**연구를 한국가스공사, 한전 전력연구원 등과 공동수행

□ 주요연구내용으로 **MFL용 자기 시스템의 최적설계 및 Signal 보정**에 관한연구, 지하매설 배관 검사를 위한 자기누설탐상에서 **센서의 주행에 의한 탐상신호 왜곡 및 보상**에 관한 연구, **자기누설 피그의 데이터 취득, 보정, 처리 및 분석기술**, 금속성 거대구조물에서 발생하는 미세 결함을 검출하기 위한 자기누설탐상기법 개발, **언피거블 가스배관 비파괴 검사용 자가추진 로봇기술 개발** 등이 있음



▌그림 2.4.7 부산대학교의 자기누설비파괴 검사 시스템▐

- 자기 비파괴 검사시스템, 자기식센서 시스템 등 비파괴 진단과 관련된 연구개발을 수행 중

라. 국내 주요 대학 외 국내 비파괴 관련 학회, 협회, 교육기관 등

- 한국비파괴검사학회
- 한국비파괴검사협회
- 아세아항공전문학교
- 우창비파괴검사학원
- 광주공과학원
- 순천직업전문학교
- 연세직접전문학교
- 한동직업전문학교

2. 국외 인프라 분석

가. 주요 연구기관

(1) 미국 전력연구소(Electric Power Research Institute, EPRI)

□ EPRI는 1973년에 설립, 캘리포니아의 팔로알토에 본사를 두고 있으며, 미국 내 5개 지역에 산하연구소를 두고 있으며, 주로 미국 내에서 **전기의 생산·공급과 관련된 연구개발**을 수행하고 있는 비영리 기관

□ 미국 내 전기사용량의 **약 90%에 해당하는 전기 공급업체가 회원사로 등록**되어 있으며, 국제적으로도 40여 개국 1,000개 이상의 에너지 관련 기업에 서비스를 제공하고 있음

□ EPRI는 원자력 발전소에 대해 처음으로 **비파괴 탐상을 위한 세계 최대 규모의 센터를 설립**하였고, 현재는 **화력발전소와 주요 산업배관의 내부진단을 위한 비파괴 탐상기술의 개발**을 **확대** 중에 있음

□ 비파괴 평가 관련 주요 R&D 영역은 콘크리트, 로봇공학, 모델링과 시뮬레이션, 폐(핵) 연료 수조(Spent fuel pools), 건식 저장용기 등에 관한 것이며, 성능 데모프로그램을 운영 중

□ 2015년도 EPRI에서 개발 중인 비파괴 기술은 **와전류 배열탐상 탐촉자 개발, 구조적인 탐상이 가능한 EMATs를 이용한 고주파 유도초음파, 저주파 유도초음파 탐상을 이용한 감시 기술, 음향방출 기술** 등의 비파괴 기술과 **데이터 분석을 위한 영상화 기술도 함께 개발**을 추진 중에 있음

□ 2016년도 주요 추진과제로는 원자력 발전소의 비파괴 탐상의 질적 향상을 지원하기 위한 NDE 모델링과 시뮬레이션 결과 평가기법 개발, **지하매설 배관의 상부와 하부에서 적용할 수 있는 첨단 비파괴 기술, 사용 중에도 탐상이 가능한 탐상기술, 고감도센서를 장착한 로봇을 활용한 NDE 탐상**과 **구조적 감시(structural health monitoring)기술**, 로봇 없이 암호화된 NDE 탐상기술, NDE 탐상비용의 절감방안 등 이며, 이외에도 **지속적인 NDE 평가 프로그램 개발을 추진 중**



▌그림 2.4.8 가이드 와이어 추진방식의 EPRI Robot ▌

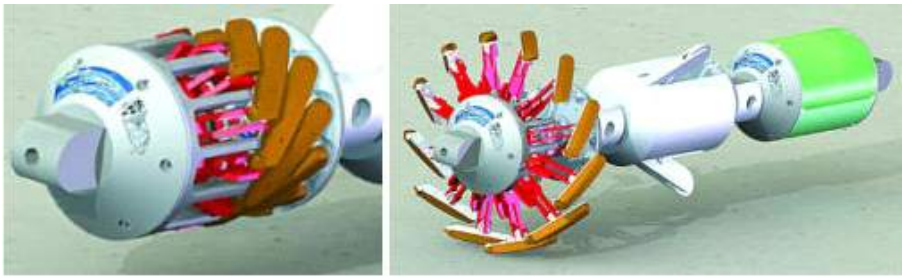
(2) 미국 사우스웨스트 연구소(SwRI, Southwest Research Institute)

□ SwRI는 미국 텍사스 샌안토니오에 위치하고 있으며, 직원수는 약 2,800명이며, 주로 **산업계와 정부관련 기술개발 업무를 수행**하는 연구기관으로 센서 시스템과 비파괴 기술 부서를 두고 있음

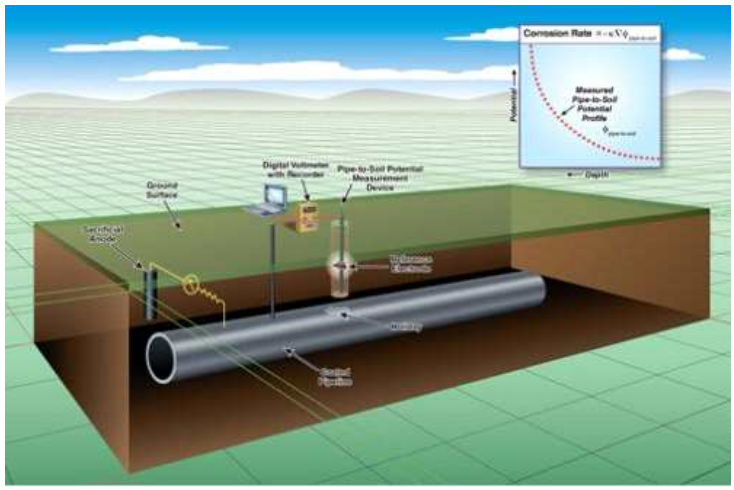
□ 비파괴 센서 및 측정, 응용 프로그램 기술개발에 있어 글로벌 선두주자로 평가 받고 있으며, 약 40년 동안 비파괴 기술에 대한 연구개발을 수행해 오고 있으며, 본 기획연구의 특허분석에서 **구조적 상태 감시 및 예측과 관련하여 가장 많은 특허를 보유**하고 있는 것으로 분석되었음

□ **초음파, 전자기장, 유도초음파를 베이스로 한 Magnetostrictive 비파괴 센서를 중심**으로 검사 **대상의 재질, 구성요소, 사용 환경에 적합한 기술을 제공**하고 있으며, 배관, 배관용접, 열교환기, 항공, 우주, 압력반응기, 가스터빈, 교량 등 다양한 분야의 비파괴 기술 개발하고 있음

□ 비파괴 시스템으로 특화된 기술로는 고도화된 데이터 취득 정보시스템(EDAS®), Magnetostrictive 센서(MsS and MsSR), 자동격자 시스템, 흑연화된 부식부위 탐지, 도장이 된 금속두께 측정, 원거리 와전류 등에 대한 기술을 지속적으로 개발 추진하고 있으며, 결함시편 설계와 제조, 비파괴 절차의 평가, 탐상 신뢰성 특성, 컴퓨터 베이스 시뮬레이션 등 비파괴 시스템 성능의 정량적인 특성을 강화하기 위한 기술도 함께 개발 중



▌그림 2.4.9 SwRI의 RFEC ILI 장비▐



▌그림 2.4.10 SwRI의 corrosion rate 측정 예▐

(3) 캐나다 국립 연구 위원회(NRC, National Research Council)

□ 캐나다 온타리오에 위치한 NRC는 캐나다 내 여러 연구시설을 운영 중인 캐나다 최고의 국가연구위원회로서 주요 R&D 분야는 항공우주, 수생 및 작물자원 개발, 자동차 및 지상교통, 건설, 정보통신기술, 측정과학과 표준, 인체치료와 관련 기기, 천체, 바다/해안/하천공학, 보완과 파괴기술 등 다양

□ 이중 용수공급관로와 관련된 분야는 **NRC 건설연구소(NRC Institute of research in construction, NRC-IRC)**에서 수행하고 있으며, 물과 관련한 이슈로 **지하 매설물에 대한 다양한 연구를 수행 중**이며, 특히 **상하수도관에 대한 상태평가를 위한 모델과 기술, 의사결정 방법 등을 중점적으로 수행**하고 있음

- D-WARP, 상수관로 개량 프로그램 개발, 개별 상수관로의 성능저하속도에 미치는 동적 영향 평가, 대형 주철관종의 파괴 파손 특성 평가, 플라스틱관의 누수탐지 방법,

콘크리트 관의 비파괴 평가, 상수관로 수질의 온라인 모니터링, **대형 상수관로 리스크 관리, 실시간 연속 모니터링을 위한 무선센서네트워크 등의 R&D를 수행**하였음

□ 특히 2005~2010년까지 대형 **상수관로를 정기적으로 점검하고 상태를 파악하기 위한 목적으로 비파괴 검사와 영상촬영이 가능한 비파괴 검사장비 AUV(autonomous underwater vehicle)를 개발**하였음

- AUV는 레이저 프로파일링, 초음파 탐상, 다중 카메라, 데이터 취득 분석 소프트웨어 등이 결합된 형태로 개발되었음



▌그림 2.4.11 NRC의 Modular Autonomous underwater vehicle ▐

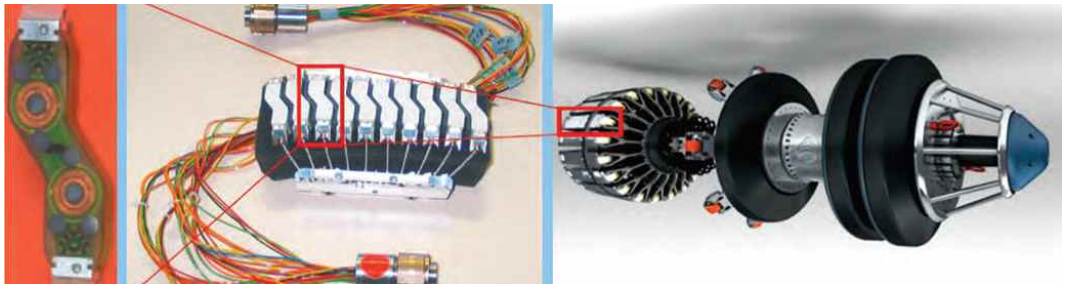
(4) 독일 프라운호퍼(FhG, Fraunhofer Gesellschaft)

□ 독일 프라운호퍼는 독일전역에 66개의 연구기관을 두고 있는 **세계적인 국제연구조직**으로, 각각의 연구기관은 크게 보건/영양 (Health and Nutrition), 안전/보안 (Safe and Security), 정보/통신 (Information and Communication), 운송/교통 (Transportation and Mobility), 에너지 (Energy and Living) 그리고 고효율 생산 (Resource Efficient Production)의 **6 분야에서 약 2만 2천명의 연구자와 엔지니어가 연구를 수행**하고 있음

□ 이중 자르브뤼켄에 위치하고 있는 프라운호퍼 IZFP 연구소는 1972년 설립된 비파괴 시험 프로세스 전문 연구기관으로서 자동차, 항공 우주, 철도, 에너지, 건설, 농업 등 **다양한 산업분야에 NDT 기술에 대한 경험과 기술을 제공하며 또 필요한 NDT 기술을 개발**하고 있음

□ 프라운호퍼 IZFP 연구소는 직원수는 113명으로 재정의 75%는 프로젝트 수행을 통해 확보하고 있으며, 2013년 통 사업예산은 약 15.25 백만유로, 연구계약은 6.8 백만유로 수준

□ 프라운호퍼 IZFP 연구소는 크게 5개의 NDT 시스템 전자부서(NDT Systems Electronics), 구성탐상부서(Component Inspection), 생산통합 NDT 부서(Production-integrated NDT), 재료특성부서(Materials Characterization), 운영중 탐상과 라이프 사이클 모니터링(In-service Inspection and Life-cycle Monitoring) 등 NDT 부서로 구성



▌그림 2.4.12 프라운호퍼 IZFP 균열 탐상 PIG(EMAT) 센서▐

(5) TWI(The Welding Institute)

□ 영국 TWI는 캠브리지에 1946년에 설립되었으며 약 1,000여명의 직원을 두고 있으며, **70개국 1,800개 업체와 함께 연구 및 기술개발을 수행**하는 비영리 독립조직

□ 본사에는 National Structural Integrity Research Centre가 있으며, **대규모 파괴, 피로 테스트, 자동화 첨단화 NDT 검사시스템 개발, 고온 위상배열 초음파와 유도초음파 등이 비파괴 관련 주요 연구 영역** 임

□ 최근 복합 손상 탐지 및 모니터링에 대한 음향방출 방법, 자동합성검사 시스템 등 다양한 기술개발을 추진 중이며, **배관을 위한 장거리 유도초음파(Teletest Focus Plus), 플라스틱 배관을 위한 검사시스템 등 개발 보급** 중임



▌그림 2.4.13 TWI long-range testing tool▐

□ TWI에는 두 개의 메인 NDT 연구센터가 캠브리지 애빙톤과 뉴사우스 웨일즈 포트탤벗에 위치하고 있으며, 광범위한 NDT 개발과 영국 정부 또는 EU지원 프로젝트를 수행, **최근 송유배관 언피거블 ILI 장비 개발프로젝트인 PIGWaves 프로젝트를 주관**하고 있음, PIGWaves 프로젝트는 long-range 유도초음파를 이용하여 150~350 mm 송유관의 비파괴 탐상을 목표로 하고 있음



▌그림 2.4.14 언피거블 ILI 장비인 PIGWaves▐

- **PIGWaves는 인력에 의한 비파괴탐상(초음파, 자기누설 등)에 의해 연간 €12.5억이 소요되고 있는 세계 석유화학산업 배관의 비파괴 진단의 검사비용과 작업 효율성을 크게 개선할 것으로 평가**되고 있음

(6) 그 외 연구기관

□ 그 외에도 아래와 같은 많은 연구기관에서 배관의 비파괴 정밀진단 장비, 구조적 상태 감시 개발연구를 수행하고 있음

- BAM, Federal Institute of Materials Research and Testing, http://www.bam.de/en/
- Institute of Acoustics, http://www.ioa.org.uk
- ISHMII, International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (www.ishmii.org)
- SAMCO, Structural Assessment, Monitoring and Control (www.samco.org)
- SIMoNET, Structural Integrity Monitoring Network (www.simonet.org.uk)
- los alamos national laboratory, www.lanl.gov

나. 해외 주요 업체

(1) T.D. Williamson(TWD)

□ 1920년에 설립된 T.D. Williamson(TWD)은 미국 오클라호마 Tulsa에 위치하고 있는 **배관 서비스 전문업체**로서, 주로 배관에 대한 세관 또는 보수를 전문으로 하였으나, **2002년 미국기업인 Magpie를 인수하여 비파괴탐상 사업분야에 진출**하였음, ILI 관련 사업부서 인원은 약 150 명 수준

□ 주로 MFL 기술을 바탕으로, **고속으로 주행 가능한 고해상도 비파괴 ILI 장비를 이용**하여 배관탐상(GMFL ILI 장비)을 하고 있음, 최대 48 in(약 1,220mm) 까지 작업 가능



▌그림 2.4.15 TWD GMFL ILI 장비▐

(2) Russell NDE System Inc.

□ 캐나다 Russel NDE systems Inc.는 약 35년 동안 **전 세계적으로 비파괴 제품을 생산**하고, **기술 서비스를 제공**해온 업체로서, MFL과 초음파 비파괴기술의 한계로 지적되고 있는 **상하수도배관 내부의 스케일, 결절, 침전물, 도장재의 극복이 가능한 언피거블 RFT(Remote Field Testing) ILI기술 개발에 주력** 중임

□ 개발한 RFT ILI장비는 자유유영형으로 운영할 경우 최대 30km, 와이어 유도형방식으로 운영할 경우 3km까지 사용될 수 있으며, 모든 관경범위(50mm~1,981mm 실적보유)에 적용가능하고 두께 측면에서는 강관은 16 mm, 주철관종은 30 mm까지 탐상이 가능 함



▌그림 2.4.16 Russell NDE System Inc의 RFT ILI 장비 (좌)소구경, (우)대구경▐

(3) PII Pipeline Solutions

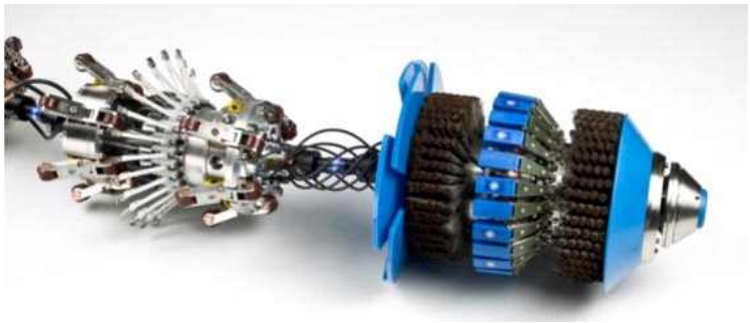
□ “GE Oil and Gas”와 “AI Shaheen Holdings”의 JV로 영국의 Cramlington에 위치하고 있으며, 2002년에 설립, 직원은 전 세계적으로 약 2,000명 이상이며, **주로 배관검사와 소프트웨어 등**

배관에 대한 종합적인 솔루션을 제공하고 있으며, 전 세계적으로 7개의 해외 지사를 운영 중

□ 2009년 매출액은 약 260백만 달러로 추정되며, 주로 **오일과 가스의 배관망 관리와 평가에 필요한 비파괴 기술과 소프트웨어를 개발**

□ 2015년 상반기까지 비파괴 ILI 장비를 활용하여 전 세계 1,185,916 km의 송유 및 가스 배관 탐상

- 주요 측정대상은 Geometry & Mapping, Metal loss, Crack detection 이며, **각 탐상 목적에 맞도록 12개의 다양한 비파괴 ILI 장비 보유, 축적된 노하우를 토대로 배관탐상의 목적에 적합한 기술적 선택** 및 측정을 통한 다양한 평가 내용 제공



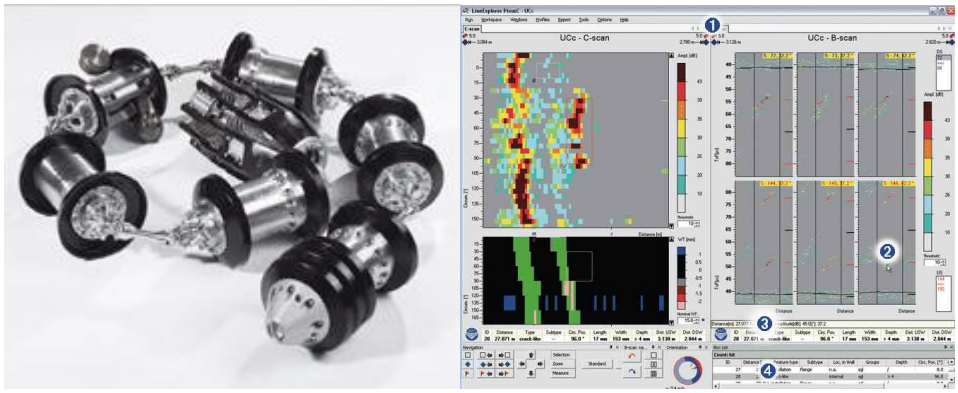
▌그림 2.4.17 PII Pipeline Solutions의 ILI 탐상장비▐

(4) NDT Systems & Services GmbH & Co. KG

□ NDT Systems & Services GmbH & Co. KG 는 독일 Stutenseee에 위치하고 있으며, 2000년도에 NDT Systems & Services로 설립되었으나, 2012년도에 독일 Weissker Group에 인수·합병되었으며, 미국, 캐나다 등 4개국에 해외지사를 보유하고 있음

□ 현재는 **초음파를 활용한 심해배관 검사장비에 특화**되어 있으며, 초음파 장비 분야에서는 PII보다 속도와 정확성이 월등하다는 평가, 다만 상대적으로 시장점유율은 낮은 편이나 최근 노후화된 MFL 장비 개선으로 매출이 확대되는 추세

- 주요 서비스 분야는 검사 계획, 프로그램, 인라인 검사, 세척, 금속손실, 균열 등 조사, 맵핑, 엔지니어링, 그리고 데이터 관리 소프트웨어 등

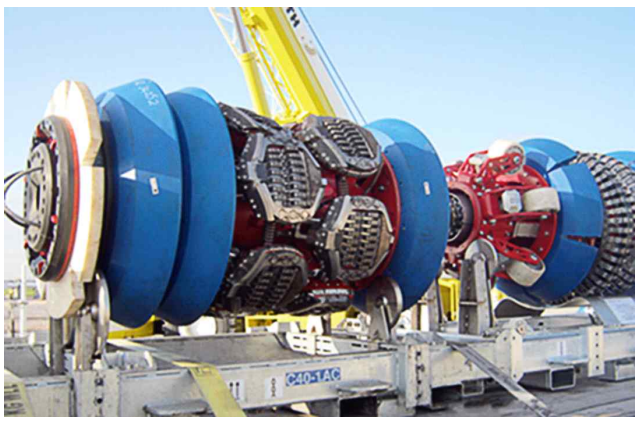


▌그림 2.4.18 NDT Systems & Services GmbH & Co. KG 의 초음파 ILI 장비와 S/W▐

(5) Rosen Inspection

□ Rosen은 가스 및 송유관로의 완결성 진단 장비를 개발을 위해 1981년 독일에 설립된 회사로, 전 세계모든 대륙에 21개의 지사를 두고 있으며, 직원은 약 1,500명 수준, 비파괴 ILI 장비를 개발·제작하고 탐상용역 서비스 등을 제공

□ 현재는 축적된 노하우를 바탕으로 솔루션 스카우트(Solution Scout)를 사용하여 **목적에 맞는 ILI 장비를 선택하고 활용할 수 있도록 서비스 제공**



▌그림 2.4.19 ROSEN’s RoCombo MFL-C/XT▐

(6) BJ Pipeline Inspection Services (Bakes Hughes)

□ BJ Pipeline Inspection Services은 캐나다 캘거리 Alberta에 위치하고 있으며, 1998년도에 설립되었고, 직원은 약 300 명 수준, 미국, 멕시코, 포르투갈에 해외 지사를 주고 있음

□ 1988년 Geometry 피그의 개발을 시작으로 MFL 피그, Tri-axial 센서 등을 개발하였고,

Metal loss 탐측에 높은 정확도를 발휘하고 있으며, **고해상도 Calliper tool를 활용한 Mapping 기술도 매우 우수**한 것으로 평가

□ BJ Pipeline Inspection Services은 2010년 미국 유전개발 서비스업체인 Bakes Hughes에 인수되어, 향후 시너지 효과가 클 것으로 기대

- 현재는 Bakes Hughes가 배관탐상 서비스를 제공



▌그림 2.4.20 Baker Hughes GEMINI™ high-resolution MFL and caliper ILI tool▐

(7) Pure Technology

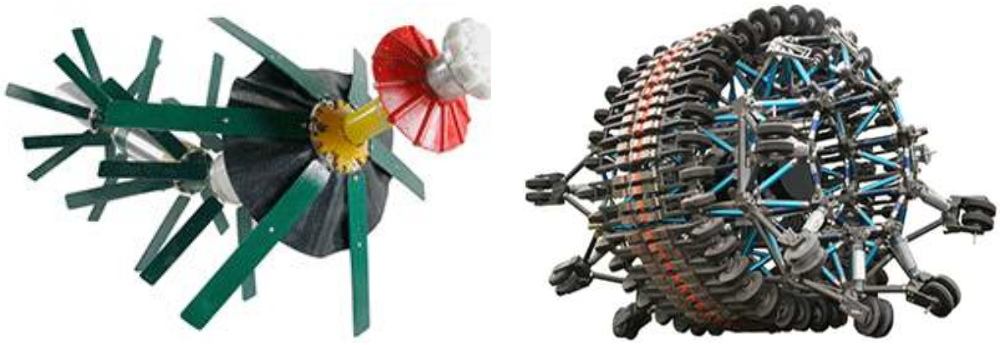
□ 캐나다 캘거리에 위치한 Pure technology는 1993년 설립되었으며, 초기에는 건물과 교량 등에서 물리적인 변위를 음향센서로 검출하는 SoundPrint® technology를 통한 원거리 구조감시기술로 시작된 회사

□ 2010년 **PPIC(Pressure Pipe Inspection Company)**을 **인수**하고, 같은 해 호주와 뉴질랜드의 배관 누수와 상태평가 서비스를 위해 **Aqua Environmental Pty. Ltd.을 인수**하였음, 현재 중국 JV와 홍콩에 지사가 있음

□ 상수관로 분야에서는 **자산관리, 비파괴 탐상 서비스, 배관 감시 등에 중점**을 두어 사업을 추진하고 있으며, **비파괴 탐상 서비스는 주로 누수탐지, 두께손실, Gas Porket, 비디오 탐상 등에 중점**을 두고 있음

□ 누수탐사와 비디오탐상을 위한 장비로는 **스마트 볼(수십 km)과 사하라(Sahara CCTV)**를 사용하고 있으며, 사하라 장비는 관내부 상태의 확인과 함께 작은 누수지점의 파악도 가능(1회 투입시 최대 2 km 조사 가능)

□ 비파괴 탐상기술로는 **전자기장 기술(Electromagnetic)로 특화**되어있으며, 다양한 관종 그리고 단수 또는 무단수의 경우에도 작업이 가능한 장비를 개발하였음



[유체흐름형 PipeDiver] [자가추진형 MFL장비]

▌그림 2.4.21 Pure technologies의 누수와 비파괴 탐상 장비▐

(8) Smartec

□ Smartec은 스위스 Manno에 위치하고 있으며, **광섬유센서 측정과 구조적 상태 모니터링 시스템을 선도하는 업체**로서, 1996년 이후 건축물, 교량, 터널, 댐, 배관 등에 관련 시스템을 제공

□ 배관분야에서는 **원유, 가스, 수도, 하수도 등 모든 배관의 구조적 상태 모니터링 시스템**과 엔지니어링 서비스를 제공하고 있으며, 특히 분산형 광섬유 센서 케이블, 측정기, 소프트웨어 등 통합된 모니터링 솔루션을 제공

- 주요 제조 센서로는 변위, 온도, Piezometer, 포인트센서, 분선형 응력센서, 분포형 온도센서 등이며, 관련 소프트웨어로는 DiView, SDB, SDB Pro, SDB View 등이 있음



▌그림 2.4.22 Smartec의 가스배관 SMARTTape 설치 전경▐

(9) FOX-TEK

□ 캐나다의 FOX-TEK은 **광섬유 센서를 이용한 시스템 개발, 설계, 제조, 공급**과 이와 관련한 측정기, **소프트웨어 서비스를 제공**하는 전문업체로 오일, 가스, 원자력, 화학 그리고 도시 기반 시설에 필요한 **연속적인 원격 모니터링 또는 탐상기반의 시스템을 제공**하는 업체

□ 주요 서비스로는 연속 감시시스템, 현장검사 시스템, FT 센서/모니터, 핀포인트 센서/모니터, 소프트웨어 등이며, 연속감시 시스템은 현장의 센서와 모니터, 제어센터에서의 분석 소프트웨어 등으로 구성되며, 현장검사 시스템은 주로 현장지원과 분석 서비스로서 모니텅 위치, 보고되어야 할 변수, 어떤 정보를 지원 받을 것인가에 대한 솔류션과 설치 서비스를 제공

□ FOX-TEK에서는 DMAT 소프트웨어를 제공하고 있는데, **DMAT는 FT 모니터 또는 핀포인트 모니터의 모든 채널로 들어오는 데이터를 수집**하고 **분석과 해석이 가능하도록 그래픽 포맷으로 정보를 제공**



▌그림 2.4.23 FOX-TEK의 광섬유를 이용한 구조적 상태 감시▐

(10) Hitachi

□ 히타치는 대규모 용수공급관로의 **비파괴 진단.성능평가 기술과 관련한 특허분석에서 가장 많은 특허를 보유하고 있는 업체**로 **초음파, 유도초음파, 위상배열초음파, 방사선 등 다양한 비파괴 요소기술**을 이용하여 발전소, 플랜트 배관의 용접부, 직관부, 엘보 등에 대한 잔존두께 측정뿐 만 아니라 비행기 안전 진단 등 **다양한 산업에 적용 가능한 비파괴 검사기술의 개발과 장비를 제작**하고 있음

(11) 그 밖의 해외업체 현황

- SIMTReC, Centre for Structural Innovation and Monitoring Technologies Inc, www.simtrec.ca
- A.HAK Industrial Services, www.a-hak-is.com
- Applus RTD, www.applusrtd.com
- DIakont, www.diakont.com
- Remote Inspection technologies, www.remoteinspectiontechnologies.com
- The Guided ULtrasonic Ltd., www.guided-ultrasonics.com

다. 해외 주요대학

□ 해외 주요대학의 비파괴 탐상, 구조적 상태감시 기술 관련 R&D 수행 현황

▌표 2.4.2 해외 주요 대학 R&D 영역과 수행 프로젝트▐

대학	주요 R&D 영역과 수행 프로젝트	비고
IOWA STATE UNIVERSITY Center for Nondestructive Evaluation	- 1985년 비파괴 평가센터 설립 - 전류, 초음파, 마그네틱, 테라헤르츠와 관련한 R&D를 바탕으로 결함탐지, 결함특성, 재료특성, 프로세스 감시 등에 요구되는 비파괴 검사, 감지기술에 대한 개발과 응용기술 프로젝트 수행	비파괴 요소기술 개발
미국 MICHIGAN STATE UNIVERSITY	- 비파괴 평가 실험실에서 비파괴 센서, 모니터링, 탐상을 위한 시스템 설계와 개발에 중점을 두고 전자기를 포함한 혁신적인 비파괴 기술의 개발, 새로운 신호처리, 신호자동 해석, 센서의 최적 디자인, 구조적 상태 감시를 위한 무선네트웍 등이 주요 R&D 수행분야 - 석유와 가스배관 ILI 모니터링 요소기술, 와전류 데이터 분석을 위한 완전 자동화 시스템, 완전류와 초음파에 대한 고 해상도 기술 등을 개발	비파괴 요소기술 개발

영국 University of BRISTOL	- 공학부에서 주로 배열초음파 영상화, 비선형 초음파를 포함한 재료 특성, 복합재료에 대한 비파괴 탐상, 구조적 건전성 감시(SHL), 초음파 입자조작 등 R&D를 중점 수행 - 비파괴 탐상을 위한 배열초음파 탐상최적화, 3차원 영상화 고도화, 구조물에서 음향방출에 의한 국부적 손상검출, 센서네트워크에 의한 구조적 건전성 감시 등 프로젝트 수행 중	비파괴 기술과 구조적 감시 요소기술 개발
영국 Imperial College London	- Non-Destructive Evaluation Group에서 이미징, 비파괴 탐상과 감시 재료특성, 구조적 건전성 감시 분야 등의 R&D를 중점 수행 - 초음파, 유도초음파, 전자기장, 음향방출 등과 관련한 다양한 프로젝트 수행	비파괴 기술과 구조적 감시 요소기술 개발
독일 Universität Stuttgart	- 비파괴 관련하여 2개의 학과가 운영되고 있으며, 비파괴 검사, 감시시스템, 비파괴 시험 관련 R&D 수행 - 음향방출, Impark-에코, GPR 등 구조적인 상태 모니터링을 위한 새로운 방법(스트레인, 변형, 균열오프닝, 진동, 온도 등)과 무선 모니터링 기술, 초음파 등 다양한 비파괴 기술의 가스, 원자력 등 요소기술, 재료평가, 용접결함 등 R&D와 프로젝트를 수행	비파괴 기술과 구조적 감시 요소기술 개발
일본 IWATE UNIVERSITY Faculty of Engineering, Graduate School of Engineering	- 비파괴 평가와 과학연구센터(2001년 설립)를 통하여 자기 초음파 음향측정을 이용한 구조 재료의 열화, 자기(magnetism)정과 특성평가를 이용한 비파괴 검사 장비 개발, 자기를 이용한 새로운 비파괴 검사 방법 등 개발을 추진	비파괴 요소기술 개발

□ 그 밖의 해외대학 현황

- Tokyo Institute of Technology, Precision and Intelligence Lab. www.pi.titech.ac.jp/
- William and Mary College, USA, http://as.wm.edu/Nondestructive.html
- DIU Dresden International University, Germany, www.di-uni.de
- University of Warick, UK, www2.warwick.ac.uk

라. 기타 해외 주요 비파괴, 구조적 감시 협회와 학술단체

- ASNT, American Society for Nondestructive Testing (www.asnt.org)
- CINDE, Canadian Institute for NDE (www.cinde.ca)

- Swedish Society for Nondestructive Testing (www.ndtsweden.com)
- Russian Society for Non-Destructive Testing & Technical Diagnostics (www.rsnttd.ru)
- NSNDT, Norwegian NDT Society (www.ndt.no)
- JSNDI, Japanese Society for Non-Destructive Inspection (www.jsndi.jp)
- AIPnD, Italian Society for Non-Destructive Testing (www.aipnd.it)
- DGZfP, German Society for Non-Destructive Testing (www.dgzfp.de)
- COFREND, French NDT Organisation (www.cofrend.com)
- EFNDT, European Federation for Non-Destructive Testing (www.efndt.org)
- ISNDT, The Indian Society for Non-Destructive Testing (www.isnt.org.in)

제 3 장 기술수요 및 수준 · 예측조사

제 1 절 기술수요조사

1. 개 요

가. 기술수요조사의 목적

□ 기술수요조사는 노후화된 대규모 용수공급관로(도수, 송수, 공업 등) 진단기술의 한계에 따라 **세계적 수준의 대규모 용수공급관로 진단·감시 기술, 첨단·지능화 기술 확보**를 위해 기술개발이 **필요한 기술아이템 도출을 목적**으로 함

○ **산·학·연 전문가를 대상**으로 세계적 수준의 대규모 용수공급관로 진단·감시 기술, 첨단·지능화 기술 확보를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함

○ 기술수요조사는 **기술개발 우선순위를 파악**하고 **기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련**하기 위한 사전 조사에 해당됨

- 대규모 용수공급 관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가와 운영감시 기술의 분류체계를 제시하고 수요조사를 실시하였으며, 기술분류체계 상 연구개발 아이템이 많이 제안된 기술분야는 기술개발 니즈가 높은 기술분야로 볼 수 있음
- 연구개발 아이템이 제안되지 않은 기술분야는 기술개발 니즈가 없는 기술분야로 볼 수 있음

나. 기술수요조사의 절차

□ 기술수요조사는 **기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진**함

○ 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사서 항목을 결정하고 기술수요조사 대상자를 설정

○ 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함

○ 기술수요조사 결과분석단계에선 기술분류체계와 회신된 기술아이템을 매칭하고, 응답현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함

○ 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 중점분야별 후보과제 구성에 활용함



▌그림 3.1.1 기술수요조사 프로세스▐

다. 기술수요조사 발송 및 응답개요

□ 기술수요조사는 내부 기획연구진, 분과별 기술위원, 자문위원 및 외부전문가를 대상으로 E-mail을 통해 조사함

▌표 3.1.1 기술수요조사 발송 및 응답개요▐

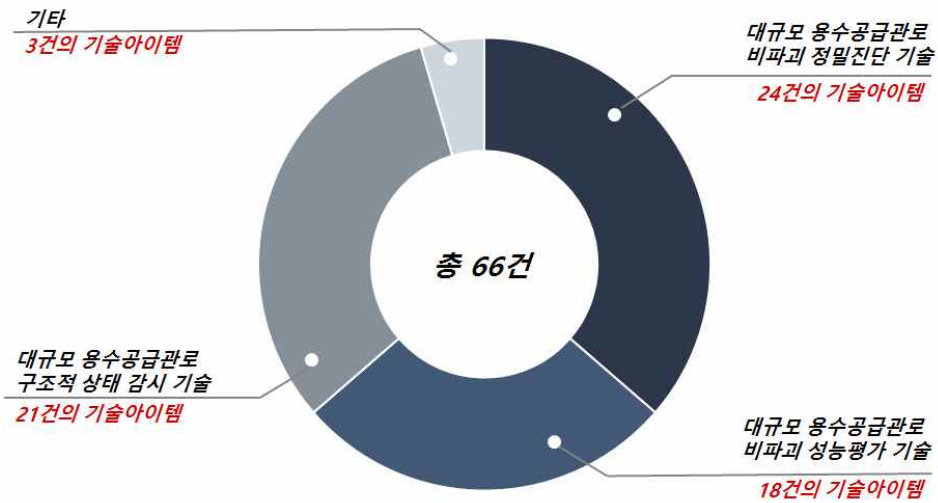
구분	내용
조사기간	2015년 11월 10일 ~ 11월 27일(3주간)
조사대상	내부 기획연구진, 분과별 기술위원, 자문위원 및 외부전문가
조사방법	E-mail을 통한 설문조사

2. 기술수요조사 결과

□ 제안 받은 **기술아이템은 총 66건**이며, 3개 기술분야별로 구분할 경우 관로 비파괴 정밀진단 기술 분야에서 가장 많은 24건의 기술아이템을 제안 받음

○ 기술분야별로 **대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단 24건**, **관로 비파괴 성능평가 18건**, **관로 운영감시 관련 기술 21건**을 제안 받음

○ 3개 기술분야 이외의 제안 받은 기술은 총 3건임



▌그림 3.1.2 기술분야별 기술수요조사 회신결과▐

□ 다만 기술아이템은 총 66 건 중 기술아이템 명은 다르나, 소분류의 **기술내용 상 중복성 등을 고려**하여 통합한 결과, **총 30 건의 기술아이템으로 재정리**

○ 기술분야별로 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단 16건, 관로 비파괴 성능평가 6

건, 관로 운영감시 관련 기술 8건으로 나타남

- 기존 기술분류체계의 소분류에 해당하는 기술내용은 총 24건으로, 건수로는 약 6건의 기술명이 증가

□ 특히 제안된 기술아이템중 비파괴 정밀진단을 위한 **관 내부 이동장비에 대해서는 하나의 장비 유형이 아닌 유체유영형 이동체와 자율주행형 이동체에 대해 각각 제안**

○ 이는 단수가 어려운 구간에는 운영중 탐상이 가능한 유체유영형이 적합하나, 단수가 가능한 구간에는 **탐상의 정밀도가 상대적으로 높은 자율주행형 장비가 더 효과적으로 인식**

▌표 3.1.2 기술분야별 기술아이템▐

기술분야	제안된 기술아이템
대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술	비파괴 탐상장치를 탑재한 관로 내부 장거리 이동장치 기술
	펄스와 전류를 이용한 관로 두께 감육 진단 기술 개발
	대규모 용수공급관로의 누수 위치 및 방향 탐지
	MSI진단/소나, 전기스캔, 수중청음기, CCTV(HD급), 압력센서 등
	비파괴검사 장치를 탑재한 배관 내부 이동형 검사 로봇 기술 개발
	음향/초음파(AE/UT)기술을 응용한 스마트 누출탐지 알고리즘 및 센서 개발
	관로 이동장비 기술, 용수공급관로의 비파괴 고감도 Hybrid 진단센서, 신호전송·해석, Scanning·3-D 디스플레이 등 요소기술 개발 등
	비파괴 검사 장비의 탑재가 가능한 관로 내부 자율 주행 로봇 기술
	관내외 이동 검사 로봇 탑재용 비접촉 배관 두께 및 결함 검사 기술
	대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀 진단 · 성능평가와 운영감시 시스템 개발
	대규모 용수공급관로 누수 및 결함 탐지기술
	수중 영상 및 음향 제어 기반의 관내면 진단 및 누수탐사 기술
	대구경 관로용 IMU 기반 인파이프 매설관 위치탐사 시스템 기술
	로보틱 기반, 비파괴 진단 시스템 탑재용 관내 이동 플랫폼 기술
	대구경 상수관로 내부에서 활용 가능한 관체 변형도 측정 및 위험도 분석 기술
	대구경 관로용 멀티센서 기반의 지상 관로 탐지 시스템 기술
	CFPD를 활용한 빅데이터 기반 누수탐지 시스템 구축
	공간정보체계 기반의 센서 데이터 처리, 분석 및 시각화 기술
	관체 비파괴 진단 결과의 3차원 영상화 분석 기술
	용수공급관로 관내면 비파괴 센서의 개발 및 적용
	관 내면 비파괴 센싱 데이터의 수집 및 처리 기술
	용수공급 관로용 다기능 진단 로봇 개발
	상수관로 비파괴 진단 장비 개발
	관로 정밀진단 및 상태 감시 정보 관리 기술

기술분야	제안된 기술아이템
대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가기술	대규모 재해를 고려한 용수공급관로의 취약도 및 공급성 산정 시스템 개발
	대규모 용수공급관로 개량 의사결정 시스템 개발
	장거리 비파괴 탐상에 따른 구조적 안전성 해석 기술
	장거리 비파괴 탐상에 따른 구조적 파손 위험도 평가 기술 개발
	장거리 비파괴 탐상에 따른 물리적 잔존수명 예측기술 개발
	내외면 비파괴 탐상 기술의 표준화
	비파괴 종합적 개량의사결정 방법 개발
	장거리 비파괴 종합 정밀진단·성능평가 Test-bed 구축(시범사업)
	도·송수관로 잔존수명 평가기술
	용수공급관로의 구조적 안전성 및 파손위험 평가 기술
	용수공급관로의 잔존수명 예측 기술
	용수공급관로 비파괴 성능 진단 및 평가 기술 적용 및 성능 검증을 위한 Test-Bed 구축 및 운영
	비파괴 진단에 의한 대규모용수공급관로 개대체 의사결정 지원 S/W 개발
	관로의 구조적 안전성 해석 평가 및 잔존수명 예측 모델 개발
	관로의 구조적 신뢰성 평가시스템 개발
	관로 수명 예측 기술 및 적정 개량공법 선정 방법
	종합적 관로 성능평가 시스템 기술
	비파괴 진단기술을 활용한 관로 개량 의사결정 기법

기술분야	제안된 기술아이템
대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술	대규모 용수공급 관로의 이상 탐지를 위한 광섬유 분포 측정 기술 개발
	대규모 용수공급 관로의 장기간의 연속 모니터링을 위한 센서 기술 개발
	PDA분석을 통한 관거의 수리학적 중요도 산정 및 비파괴 정밀진단/모니터링 우선순위 선정기술
	물 종합보험 개발 및 가입을 통한 위험 분담 방안
	대규모 용수공급관로 실시간 관 파괴/누수 탐지 (Detection) 및 진단(Diagnosis/ Localization) 프로그램 개발
	지중 배관 건전성 모니터링을 위한 영구 설치 (Permanently Installed) 센서 기술 개발
	UAV(드론)를 활용한 관로 누수 및 점검, 상태평가 기술
	Development of water pipe operational and structural condition monitoring system using Internet-of-things and big data technologies
	최적 개량 의사결정을 위한 관로의 잔존수명 예측 기술
	용수공급관로의 Health Monitoring 및 Management 시스템
	구조적 상태감시 센서 개발
	센서 네트워 기반 온라인 구조적 감시기술 개발
	대규모 용수공급관로 원거리 상태감시기술 개발
	대규모 용수공급관로 지중 매설환경 모니터링 기술
	구조적 상태와 매설환경 변화에 따른 구조적 해석기술 개발
	물리적인 파손위험성 예측 기술
	구조적인 상태변화 감지, 데이터 해석기술 개발
	구조적인 상태감시 통합관리 시스템 개발
	관로의 구조적 거동 감시 기술 (Techniques for Monitoring Structural Behavior of Pipeline Systems)
	용수공급 관로 상태 감시 및 파손 감지 장치 개발
	구조적 열화 감시 및 예측기술
기타	대규모 용수공급관로 구조 안전성 평가 표준화
	용수공급관로 비파괴 정밀진단을 활용한 시설물 평가기준 정립 및 제도화
	대구경 관로 주변 공동 탐지를 위한 지중 매설환경 모니터링 기술

▌표 3.1.3 기술분야별 확정 기술아이템▐

기술분야	기술아이템
대규모 용슈공급관의 비파괴 정밀진단 기술 개발	관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
	관 내면 누수탐지 multi-sensor 기술 개발
	자기 위치측정 장치(시스템) 개발
	관 내부 탐상용 다축 카메라 개발
	관 내부 상태 3차원 그래픽 기술 개발
	비파괴 3차원 영상화 기술 개발
	관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
	유체유영형 이동체 개발
	자율주행형 이동체 개발
	관 외면 이동체 개발
	이동체 투입회수 기술(장치 등) 개발
	이동체 비상대응 기술 개발
	이동체 관제기술 개발
	센서 데이터 송수신(통신) 장치(시스템) 개발
	이동체 저전력(고성능) 전원공급(배터리 등) 기술 개발
	비파괴 탐상을 위한 관표면 전처리 기술(관세척 장비 등) 개발
대규모 용슈공급관의 비파괴 성능평가 기술 개발	비파괴 진단DB(3D)를 활용한 구조해석 기술 개발
	잔존수명 예측 평가 기술 개발
	비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발
	비파괴 종합적 개량의사 결정 기술(시스템) 개발
	비파괴 진단 테스트베드 구축, 효과검증
	비파괴 탐상정보 통합 운영관리시스템 개발
대규모 용슈공급관의 구조적 상태감시 기술 개발	실시간 구조적 상태감시 기술 개발
	GPR 기반의 지중탐상 기술 개발
	지중환경 영향평가 기술 개발
	드론기반의 원거리 감시기술 개발
	실시간 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발
	수리정보를 활용한 누수예측 기술 개발
	구조적 감시 테스트베드 구축, 효과검증
	실시간 구조적 상태감시 통합관리 기술 개발

제 2 절 기술수준 및 예측조사

1. 개 요

가. 기술수준/예측조사의 목적

□ ‘대규모 용수공급 관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가와 운영감시시스템 개발 기획’연구의 **기술수준/예측조사**는 **관련 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가**하여 **과제우선 순위 평가를 위한 기초자료로 활용**하는 것을 목적으로 함

- 산·학·연 전문가를 대상으로 대규모 용수공급 관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가 및 운영감시시스템의 실현시기, 기술수준, TRL단계, 중요도 등을 조사함

- 연구개발 사업 계획과 전략 수립에 활용하기 위해 적합한 자료와 다양한 예측방법을 사용하여 미래의 기술변화 파악에 필요한 정보를 수집함

- 현재 기술의 수준을 살펴봄으로써 기술변화를 예측하고, 이를 기반으로 기술개발의 방향을 설정함

나. 기술수준/예측조사의 절차

□ 기술수준/예측조사는 기술수준/예측조사 설계, 기술수준/예측조사 수행, 기술수준/예측조사 결과분석, 기술수준/예측조사 결과 활용 순으로 추진함

○ 기술수준/예측조사 설계단계에서는 기술수준/예측조사서 항목을 결정하고 기술수준/예측조사 대상자를 설정함

- 조사항목은 기술수준/예측조사를 수행한 선행연구의 기술수준/예측조사항목을 검토하여 기술개발 추진방향 설정에 시사점을 줄 수 있는 항목으로 구성함

- 세부 기술분야별 최고기술보유국과 국내의 기술적/사회경제적 기술실현시기, 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준, 기술격차, 격차년도, TRL, 인프라 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득방식, 정부우선 시행방안 등을 조사항목으로 설정함

○ 기술수준/예측조사 수행단계에서는 기술수준/예측조사 대상자에게 **조사서를 발송하고 회신하며, 2Round에 걸친 Mini-델파이 방법을 활용**함

- 2Round조사에서는 응답자별로 본인의 1Round 응답결과와 전체 조사대상자 응답 통계자료를 함께 제공하고 통계자료를 확인 후 1Round 응답결과를 수정할 수 있도록 하여 조사항목별로 전문가의 합의를 유도함

- 2Round 응답결과 중 양 극단값을 평가한 조사자의 응답결과를 배제한 값의 평균치를 최종 결과값으로 설정함

○ 기술수준/예측조사 **결과분석단계에선 기술분류체계별 조사 결과에 대한 통계분석**과 **기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 수행**함

○ 기술수준/예측조사 결과활용단계에서는 분석결과를 기반으로 **세부과제기획 또는 RFP 작성시 연구개발추진전략 설정에 활용**하고 **사전타당성(기술수준 및 성공가능성, 사업추진의 시급성, 기술개발 계획의 적절성) 작성시 근거자료로 활용**함



▌그림 3.2.1 기술수준/예측조사 프로세스▐

다. 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요

□ 기술수준/예측조사는 내부 기획연구진, 분과별 기술위원, 자문위원 및 외부전문가들을 대상으로 E-mail을 발송하여 조사함

▌표 3.2.1 기술수준/예측조사 발송 및 응답개요▐

구분	내용
조사기간	- 1차 조사기간 : 2015년 11월 10일 ~ 11월 27일 (3주간) - 2차 조사기간 : 2015년 11월 30일 ~ 12월 4일 (1주간)
조사대상	- 내부 기획연구진, 분과별 기술위원, 자문위원 및 외부전문가
조사방법	- E-mail을 통한 설문조사

라. 기술수준/예측조사 항목 설정

(1) 기술 실현시기

□ '기술적 실현시기'는 해당기술의 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time)임

□ '사회경제적 실현시기'는 해당기술의 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time)임

(2) 국내 기술수준 및 기술격차

□ '국내 기술수준'은 `15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술보유국 대비 국내 기술수준임

- 기술수준의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.2 기술수준 평가 기준▐

기술수준	설명
100%	- 독보적 세계 최고
81% ~ 99%	- 기술 분야를 선도
61% ~ 80%	- 선진기술의 모방개량이 가능
41% ~ 60%	- 선진기술의 도입적용이 가능
1% ~ 40%	- 연구개발능력이 취약
0%	- 우리나라에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음

□ '기술격차'는 국내 기술수준이 세계최고기술에 도달하기까지 소요되는 시간(단위 : 년)임

□ '기술격차추세'는 세계 최고기술과 국내 기술수준 격차가 어떻게 변화하고 있는지를

나타내는 지표로 5점 척도로 평가함

- 기술격차추세의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.3 기술격차추세 평가 기준▐

구분	설명
5	- 최고기술과 기술격차가 “빠르게 확대 중”
4	- 최고기술과 기술격차가 “확대 중”
3	- 최고기술과 기술격차가 “유지되고 있음”
2	- 최고기술과 기술격차가 “축소 중”
1	- 최고기술과 기술격차가 “빠르게 축소 중”

(3) 기술성숙도(TRL)

□ ‘기술성숙도(TRL)’는 해당기술의 국내·외 기술성숙도를 나타내는 지표임

- 기술성숙도(TRL)의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.4 기술성숙도(TRL) 평가 기준▐

기술 성숙도	설명
1단계	- 기초이론/실험 등 기초연구가 시작되고 응용연구로 전환되기 시작하는 단계
2단계	- 실용목적의 아이디어, 특허 등 개념이 정립되는 단계
3단계	- 실험실 규모의 기본성능평가가 수행되는 단계
4단계	- 실험실 규모의 핵심성능평가가 수행되는 단계
5단계	- 확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
6단계	- 파일럿 규모의 시작품 제작 및 성능평가가 수행되는 단계
7단계	- 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 이뤄지는 단계
8단계	- 시제품 제작 및 신기술 검증/인증/표준화가 수행되는 단계
9단계	- 사업화가 완료된 단계

(4) 최고기술 보유국

□ ‘최고기술 보유국’은 `15년 현재 시점에서 해당기술의 최고기술을 보유한 국가임

(5) 기술기반 성숙도

□ ‘기술기반 성숙도’는 `15년 현재 시점에서 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

- 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.5 기술기반 성숙도 평가 기준▐

구분	설명
5	- 세계선도 연구인력 및 장비 등 확보
4	- 최고기술보유국과 동등한 수준
3	- 최고기술보유국보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보
2	- 국내 관련 연구인력, 장비가 매우적어 해외협력연구가 필요한 수준
1	- 국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무

(6) 기술적 중요도

□ ‘기술 핵심성’은 해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

- 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.6 기술 핵심성 평가 기준▐

구분	설명
5	해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음
4	해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음
3	해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임
2	해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음
1	해당기술이 ‘관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련기술’ 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음

□ ‘시급성’은 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

- 시급성의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.7 시급성 평가 기준▐

구분	설명
5	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함
4	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급함
3	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급한 정도가 보통임
2	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 시급하지 않음
1	- 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 전혀 시급하지 않음

□ ‘과학기술적 파급효과’는 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시함

- 과학기술적 파급효과의 평가 기준은 다음과 같음

▌표 3.2.8 과학기술적 파급효과 평가 기준▐

구분	설명
5	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 높음
4	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 높음
3	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 보통임
2	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 낮음
1	- 타 요소기술 개발에 미치는 영향력이 매우 낮음

(7) 기술획득방식

□ ‘기술획득방식’은 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타냄

- 기술획득방식은 아래 4개 항목 중 하나를 선택하여 조사함

▌표 3.2.9 기술획득방식 조사 항목▐

구분		설명
자체 개발	민간	- 기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 바람직함
	정부	- 기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연연구소 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 바람직함
	공동	- 정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함
기술도입 및 국제공동연구		- 국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발보다는 국제공동개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함

(8) 정부우선 시행방안

□ '정부우선 시행방안'은 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미함

- 정부우선 시행방안은 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

▌표 3.2.10 정부우선 시행방안 조사 항목▐

구분	설명
인력양성	- 해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류 활성화	- 기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라구축	- 기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비확대	- 기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도개선	- 규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

2. 기술수준/예측조사 결과

가. 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

구분		1. 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술		
		1.1 관 내면 비파괴 탐상 기술	1.2 관 외면 비파괴 탐상 기술	1.3 관로 이동장비 기술
기술수준(%)		63.8	67.0	62.4
기술격차(년)		4.6	4.2	4.5
기술적중요도(5점척도)		4.3	3.9	4.1
시급성(5점척도)		4.2	4.3	4.2
파급효과(5점척도)		4.0	3.9	3.7
기술적 실현시기(년)	최고기술국	`15	기실현	`16
	국내	`20	`20	`20
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	`16	`16	`17
	국내	`22	`22	`23
기술획득 방식(%)	민간	13.6	19.4	69.1
	정부	11.4	6.4	0.6
	정부/민간 공동	63.6	71.0	25.0
	기술도입 및 국제공동연구	11.4	3.2	5.3
정부우선 시행방안(%)	인력양성	6.2	3.2	6.8
	협력교류 활성화	27.5	27.4	19.5
	인프라구축	12.5	17.8	20.3
	연구비 확대	43.8	40.3	40.7
	제도개선	10.0	11.3	12.7

나. 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술

구분		2. 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술		
		2.1 비파괴 구조해석 평가기술	2.2 물리적 잔존수명 예측 기술	2.3 종합적 비파괴 성능평가 시스템
기술수준(%)		61.6	60.4	67.9
기술격차(년)		6.1	5.8	6.0
기술적중요도(5점척도)		4.2	3.8	3.7
시급성(5점척도)		4.2	4.1	4.0
파급효과(5점척도)		3.9	3.5	3.6
기술적 실현시기(년)	최고기술국	기실현	기실현	기실현
	국내	`21	`21	`21
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	`16	`16	`16
	국내	`22	`23	`23
기술획득 방식(%)	민간	25.0	0.0	4.2
	정부	29.2	0.0	16.6
	정부/민간 공동	45.8	91.7	75.0
	기술도입 및 국제공동연구	0.0	8.3	4.2
정부우선 시행방안(%)	인력양성	2.0	10.0	2.1
	협력교류 활성화	25.5	33.3	29.2
	인프라구축	21.6	16.7	22.9
	연구비 확대	37.2	26.7	31.2
	제도개선	13.7	13.3	14.6

다. 대규모 용수공급관로 구조적 상태감시 기술

구분		3. 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술		
		3.1 실시간 구조적 상태 감시 기술	3.2 실시간 구조적 파손 예측 기술	3.3 실시간 구조적 상태 통합관리 기술
기술수준(%)		63.3	65.3	67.7
기술격차(년)		5.8	5.1	5.1
기술적중요도(5점척도)		4.2	4.1	4.3
시급성(5점척도)		4.3	4.2	4.3
파급효과(5점척도)		4.0	3.6	3.8
기술적 실현시기(년)	최고기술국	`15	`15	`16
	국내	`21	`21	`21
사회경제적 보급시기(년)	최고기술국	`17	`17	`17
	국내	`23	`23	`23
기술획득 방식(%)	민간	8.6	5.3	5.6
	정부	8.6	10.5	5.6
	정부/민간 공동	80.0	84.2	88.8
	기술도입 및 국제공동연구	2.8	0.0	0.0
정부우선 시행방안(%)	인력양성	4.4	8.1	8.8
	협력교류 활성화	23.5	21.6	32.4
	인프라구축	16.2	27.0	20.6
	연구비 확대	42.7	40.6	35.3
	제도개선	13.2	2.7	2.9

3. 기술수준/예측분석 결과

가. 국내.외 기술 실현시기

□ 전체 기술 관점에서 최고기술보유국은 **국내보다 약 5~6년 앞서 기술이 실현**될 것으로 보이며, 이후 **약 2년 정도의 격차를 두고 사회경제적으로 실현**될 것으로 예측됨

- 최고기술국의 기술적 실현시기는 1~2년 내에 모두 이루어질 것으로 예측되며 이는 **국내보다 약 5년 앞서**는 것임
- 향후 국내에서는 이를 고려하여 기술 개발 추진계획(기술로드맵) 수립이 필요함



▌그림 3.2.2 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술적 실현시기 예측 결과▐

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 `17년 전후, 국내는 `22년 이후로 예측되며 기술적 실현 이후 상용화까지는 국내·외 모두 약 2년 정도 소요되는 것으로 예측됨
- 상용화를 고려한 계획수립을 통해 국내·외 격차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨



▌그림 3.2.3 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 비파괴 정밀진단 기술의 경우 최고기술국은 **국내에 비해 약 5년 앞서 기술적으로 실현**될 것으로 보이며, 이후 상용화까지 약 2년이 소요될 것으로 예측됨

- 최고기술국의 기술적 실현시기는 `16년 내에 모두 이루어질 것으로 예측되며, **국내는 `20년(80.0%)에 대부분의 기술이 실현될 것으로 예측**됨



▌그림 3.2.4 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술적 실현시기 예측 결과▐

- 최고기술국의 사회경제적 실현시기는 `16~`17년(80.0%)에 집중되며, **상용화까지 짧게는 1년에서 2년이 소요될 것으로 예측**되고, 국내의 경우 `22년(90.0%)에 집중되어 상용화까지 약 2년 소요되는 것으로 예측됨



▌그림 3.2.5 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과▐

▌표 3.2.11 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 실현시기▐

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
1.1 관 내면 비파괴 탐상 기술	1.1.1 관 내면 비파괴 진단센서 기술	`15	`20	`16	`22
	1.1.2 데이터 처리 기술	`15	`20	`16	`22
	1.1.3 3차원 영상화 분석 기술	`15	`20	`17	`22
1.2 관 외면 비파괴 탐상 기술	1.2.1 관 외면 비파괴 진단센서 기술	기 실현	`21	`16	`22
	1.2.2 데이터 처리 기술	기 실현	`20	`16	`22
	1.2.3 3차원 영상화 분석 기술	`15	`20	`17	`22
1.3 관로 이동장비 기술	1.3.1 관로 내부 이동장비 제작 기술	`15	`20	`17	`22
	1.3.2 관로 내부 이동장비 투입, 회수 기술	`16	`20	`17	`22
	1.3.3 관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술	`16	`21	`18	`23
	1.3.4 관로 외부 이동장비 제작 기술	`15	`20	`18	`22

(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 비파괴 정밀진단 기술의 경우 최고기술국은 **국내에 비해 약 6~7년 앞서 기술적으로 실현**될 것으로 예측되어, 전체 분야 중 가장 큰 차이를 보이고 있음

- 최고기술국의 경우 비파괴 성능평가기술은 대부분 기술적으로 실현된 것으로 예측되며, **국내 기술적 실현시기는 `21년 (67.0%)에 집중**되어 있는 것으로 예측됨



▌그림 3.2.6 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술적 실현시기 예측 결과▐

- 최고 기술국의 사회경제적 실현시기는 `16년(83.0%)년에 집중되어 상용화 까지 약 2년이 소요되는 것으로 예측되며, **국내의 경우 `23년(67.0%)에 집중되어 상용화까지 약 2년이 소요**되는 것으로 예측됨



▌그림 3.2.7 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과▐

▌표 3.2.12 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 실현시기▐

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
2.1 비파괴 구조해석 평가기술	2.1.1 구조적 안전성 해석 기술	기실현	`21	`16	`22
	2.1.2 구조적 파손 위험도 평가 기술	기실현	`21	`16	`23
2.2 물리적 잔존수명 예측 기술	2.2.1 물리적 잔존수명 예측 기술	기실현	`21	`16	`23
2.3 종합적 비파괴 성능평가 시스템	2.3.1 내외면 비파괴 탐상 기술의 표준화	`15	`22	`17	`23
	2.3.2 탐상 종합 개량의사 결정 기술	기실현	`20	`16	`22
	2.3.3 비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축 (시범사업)	`15	`21	`16	`23

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 구조적 상태 감시 기술의 경우 최고기술국은 **국내에 비해 약 6년 앞서 기술적으로 실현**될 것으로 보이며, 이후 사회경제적 실현까지 약 2년이 소요될 것으로 예측됨

- 최고기술국의 경우 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술은 `15~`16년에 모두 실현될 것으로 예측되며, **국내는 `21년(63.0%)에 집중**되어 있고 **세계 기술적 시기와 약 6년의 격차를 보이는 것으로 예측**됨



▌그림 3.2.8 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술적 실현시기 예측 결과▐

- 세계최고기술국은 `17년에 사회경제적으로 실현될 것으로 예측되며, 국내의 경우 `23년에 사회경제적으로 실현될 것으로 예측됨



▌그림 3.2.9 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 사회경제적 실현시기 예측 결과▐

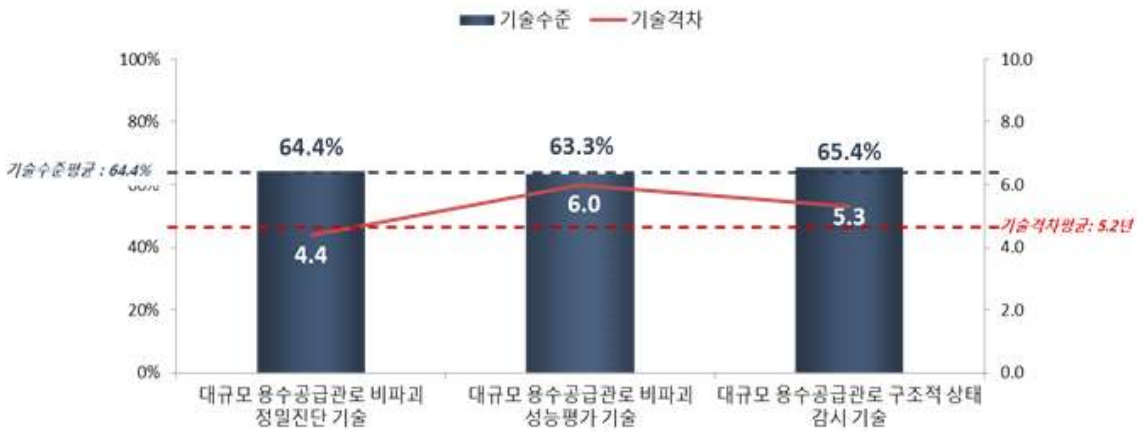
▌표 3.2.13 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 실현시기 ▐

기술분류체계		기술적 실현시기(년)		사회경제적 실현시기(년)	
중분류	소분류	세계	국내	세계	국내
3.1 실시간 구조적 상태 감시 기술	3.1.1 구조적 상태 감시센서 기술	`15	`22	`17	`23
	3.1.2 센서네트워크 기반 온라인 감시 기술	`15	`20	`17	`22
	3.1.3 원거리 감시기술	`15	`21	`17	`23
	3.1.4 지중 매설환경 모니터링 기술	`15	`21	`17	`23
3.2 실시간 구조적 파손 예측 기술	3.2.1 상태변화에 따른 구조적 해석 기술	`15	`20	`17	`23
	3.2.2 물리적 파손위험 예측 기술	`16	`21	`17	`23
3.3 실시간 구조적 상태 통합관리 기술	3.3.1 구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술	`15	`21	`17	`23
	3.3.2 구조적 감시 통합관리 시스템	`16	`21	`17	`23

나. 기술수준 및 기술격차

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술수준 평균은 64.4%, 기술격차는 5.2년임

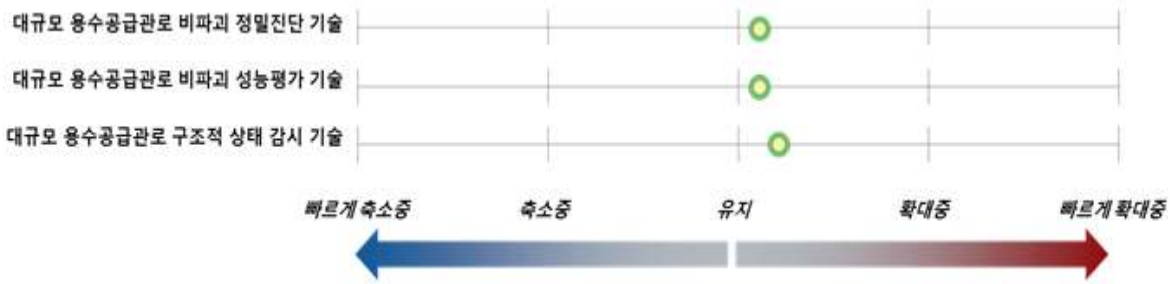
- **대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술**은 **기술격차가 4.4년**으로 타 기술 대비 가장 작은 것으로 나타남
- 대규모 용수공급관로 **비파괴 성능평가기술**은 **기술격차가 6.0년**으로 타 기술 대비 가장 큰 것으로 나타남
- 대규모 용수공급관로 **구조적 상태 감시 기술**은 **상대적으로 기술수준이 가장 높으나 기술격차의 확대 추세는 비교적 큰 것**으로 나타남



▌그림 3.2.10 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술수준 및 기술격차▐

□ 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 **관련 기술의 기술격차추세는 조금씩 확대중**인 것으로 나타남

- 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 모든 세부기술이 확대 추세에 있으며, 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술이 상대적으로 가장 빠른 속도로 확대되고 있음

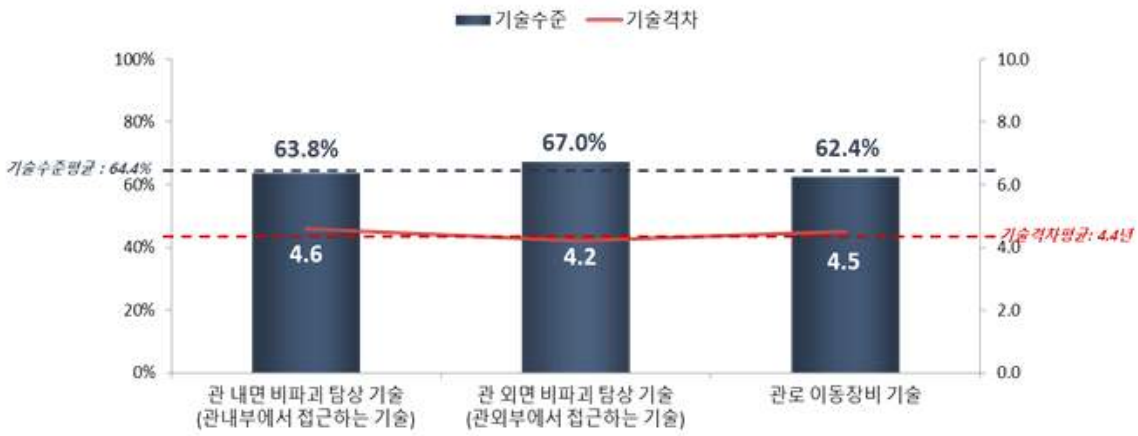


▌그림 3.2.11 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술격차 추세▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 정밀진단 기술의 평균 기술수준은 64.4%, 기술격차는 4.4년**임

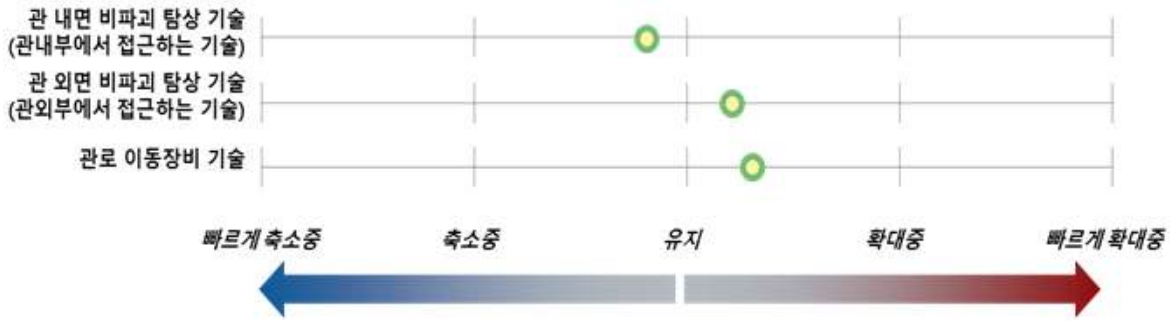
- 관 외면 비파괴 탐상 기술은 상대적으로 기술수준이 67.0%로 가장 높으며, 기술격차는 4.2년으로 가장 낮은 것으로 나타남



▌그림 3.2.12 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술수준 및 기술격차▐

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술은 관 내면 비파괴 탐상 기술을 제외한 모든 기술의 격차가 확대 중인 것으로 나타남

- 관 내면 비파괴 탐상 기술은 기술격차가 유지 또는 서서히 축소되는 것으로 나타났으며, 관 외면 비파괴 탐상 기술, 관로 이동장비 기술은 기술격차가 점차 확대 중인 것으로 나타남



▌그림 3.2.13 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술격차 추세▐

(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 성능평가 기술의 평균 기술수준은 63.3%, 기술격차는 6.0년**임

- 물리적 잔존수명 예측 기술은 기술수준이 60.4%로 상대적으로 가장 낮으나, 기술격차는 5.8년으로 상대적으로 가장 작은 것으로 나타남

- 종합적 비파괴 성능평가 시스템 기술의 기술수준은 67.9%로 상대적으로 가장 높은 것으로 나타남



▌그림 3.2.14 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술수준 및 기술격차▐

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술은 물리적 잔존수명 예측 기술을 제외한 나머지 기술의 기술격차 추세는 유지중인 것으로 나타남

- 비파괴 구조해석 평가기술, 물리적 잔존수명 예측 기술의 기술격차는 유지중인 것으로 나타났으나, 종합적 비파괴 성능평가 시스템 기술은 기술격차가 확대중인 것으로 나타남



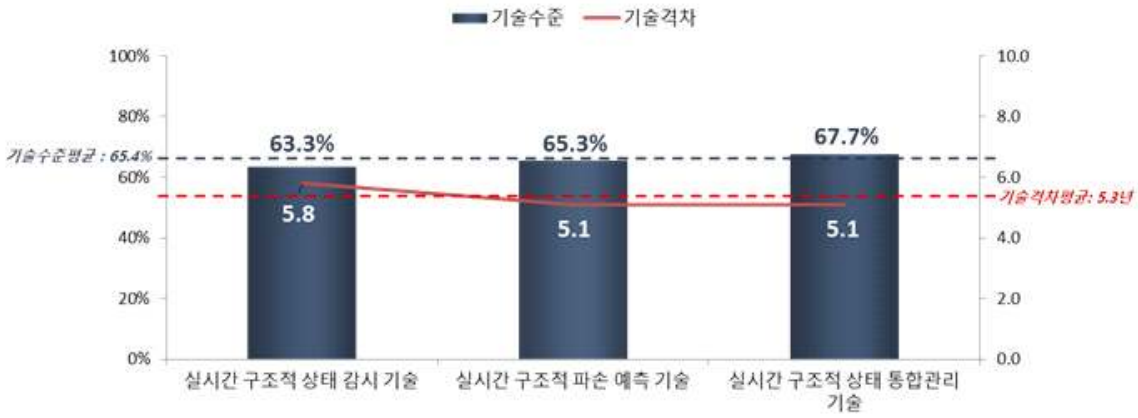
▌그림 3.2.15 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술격차 추세▐

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 **구조적 상태 감시 기술의 평균 기술수준은 65.4%, 기술격차는 5.3년**임

- 실시간 구조적 상태 감시 기술은 기술수준이 63.3%로 상대적으로 가장 낮으며, 기술격차는 5.8년으로 가장 큰 것으로 나타남
- 실시간 구조적 상태 통합관리 기술은 기술수준이 67.7%로 상대적으로 높은 편이며,

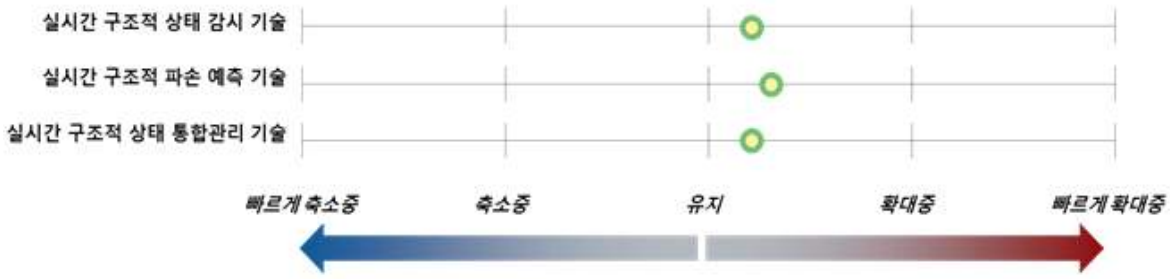
기술격차는 5.1년으로 평균을 밑도는 것으로 나타남



▌그림 3.2.16 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술수준 및 기술격차▐

□ 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술에 포함된 모든 기술은 기술격차가 점차 확대되는 것으로 나타남

- 실시간 구조적 파손 예측 기술이 상대적으로 가장 빠르게 확대중인 것으로 나타남



▌그림 3.2.17 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술격차 추세▐

다. 기술성숙도(TRL)

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 기술의 국외 TRL은 7~8단계**, **국내는 4~5단계**에 있는 것으로 나타났으며, 향후 TRL 성과달성을 통한 계량적 평가 시 활용할 수 있음

- 국내 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 기술의 TRL단계는 4~5단계로 실험실 규모의 성능평가, 시작품 제작이 이루어지고 있음
- 현재 국외의 경우 신뢰성 평가 및 수요기업 평가가 완료되고 있는 것으로 분석되었

으며, 향후 이를 고려한 기술개발 종료시점의 TRL 설정이 필요함



▌그림 3.2.18 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술성숙도▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 국외 TRL은 8단계, 국내는 4~5단계에 있는 것으로 나타남

- 국외 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술은 대부분 시제품 제작 및 신기술 검증 수행 단계로 상용화 단계에 근접해 있음
- 국내 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술은 TRL 4~5단계로 실험실 규모의 핵심성능평가, 시작품 제작이 수행되고 있음



▌그림 3.2.19 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술성숙도▐

(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 국외 TRL은 7~8단계, 국내는 4~5단계에 있는 것으로 나타남

- 국외 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술은 TRL 7~8단계로 신뢰성평가, 시제품 제작 및 신기술 검증이 이루어지고 있음

- 국내 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술은 TRL 4~5단계로 전체 기술분야 중 가장 낮은 단계를 보이고 있음



▌그림 3.2.20 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술성숙도▐

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 국외 TRL은 7~8단계, 국내는 5단계에 있는 것으로 나타남

- 국외 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술은 TRL 7~8단계로 신뢰성 평가 및 시제품 제작이 이루어지고 있음

- 국내 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술은 TRL 5단계로 전체 기술분야 중 비교적 높은 단계를 보이고 있음

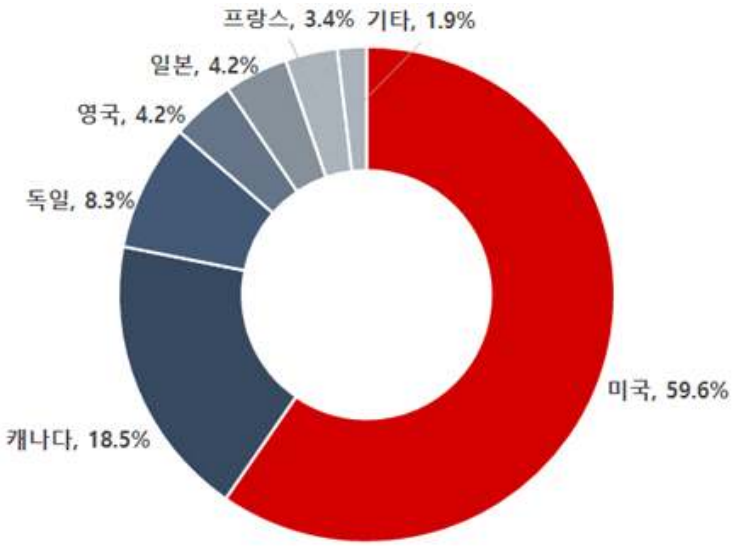


▌그림 3.2.21 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술성숙도▐

라. 최고기술보유국

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 최고기술보유국은 미국(59.6%), 캐나다(18.5%), 독일(8.3%) 순으로 조사되었으며, 이를 동향 및 환경분석 대상국가로 고려할 수 있음



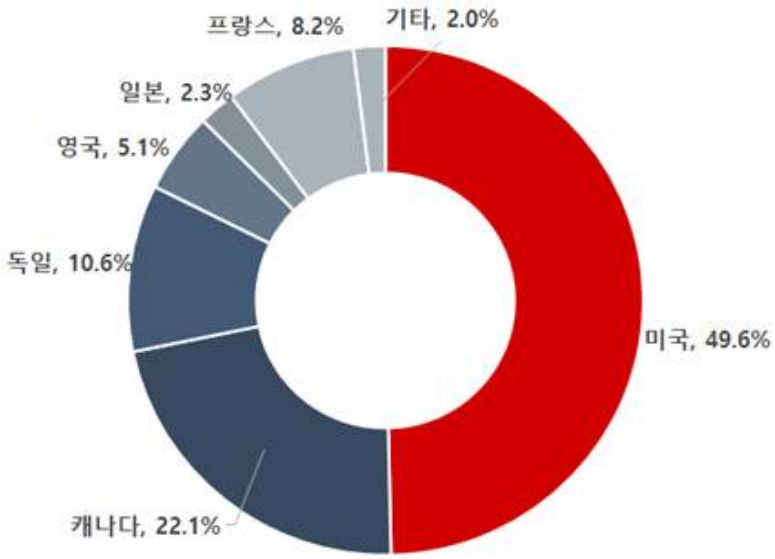
* 기타는 한국, 중국, 벨기에, 이스라엘 등

▌그림 3.2.22 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 최고기술보유국 비중▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 최고기술보유국은 미국(49.6%), 캐나다(22.1%), 독일(10.6%), 프랑스(8.2%), 영국(5.1%), 일본(2.3%) 순으로 조사됨



* 기타는 벨기에 1.4%

▌그림 3.2.23 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술 최고기술보유국 비중▐

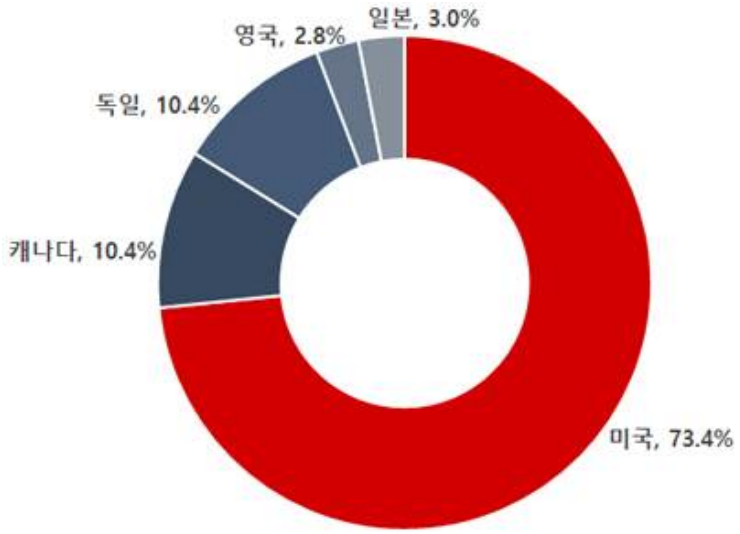
▌표 3.2.14 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 최고기술보유국 조사결과▐

중분류	최고기술보유국(비중)						
	미국	캐나다	독일	영국	일본	프랑스	기타
1.1 관 내면 비파괴 탐상 기술	**51.1%**	30.1%	8.3%	4.4%	0.0%	0.0%	6.1%
1.2 관 외면 비파괴 탐상 기술	**54.0%**	10.9%	13.9%	6.1%	0.0%	15.1%	0.0%
1.3 관로 이동장비 기술	**43.5%**	25.3%	9.7%	4.8%	7.0%	9.7%	0.0%

(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 최고기술보유국은 미국(73.4%), 캐나다(10.4%), 독일(10.4%), 영국(2.8%), 일본(3.0%) 순으로 조사됨



▌그림 3.2.24 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술 최고기술보유국 비중▐

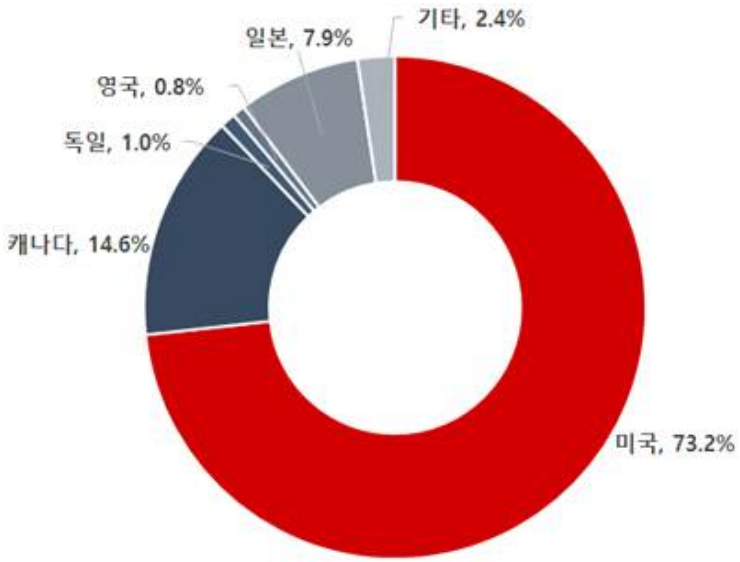
▌표 3.2.15 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 최고기술보유국 조사결과▐

중분류	최고기술보유국(비중)						
	미국	캐나다	독일	영국	일본	프랑스	기타
2.1 비파괴 구조해석 평가기술	**74.8%**	8.4%	8.4%	8.4%	0.0%	0.0%	0.0%
2.2 물리적 잔존수명 예측 기술	**72.7%**	9.1%	9.1%	0.0%	9.1%	0.0%	0.0%
2.3 종합적 비파괴 성능평가 시스템	**72.6%**	13.7%	13.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 최고기술보유국을 조사한 결과 미국이 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 최고기술보유국은 미국(73.2%), 캐나다(14.6%), 독일(1.0%), 일본(7.9%), 영국(0.8%) 순으로 조사됨



* 기타는 한국, 중국, 이스라엘 1.6%

▌그림 3.2.25 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 최고기술보유국 비중▐

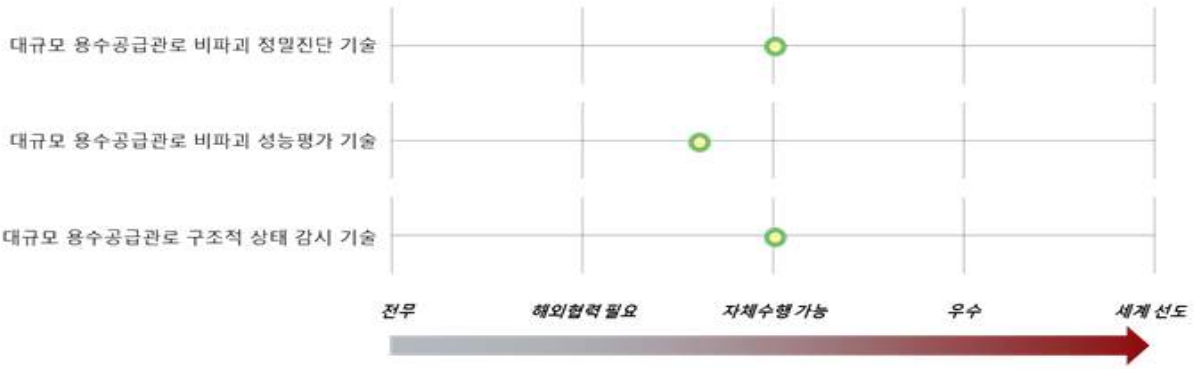
▌표 3.2.16 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 최고기술보유국 조사결과▐

중분류	최고기술보유국(비중)						
	미국	캐나다	독일	영국	일본	프랑스	기타
3.1 실시간 구조적 상태 감시 기술	**70.7%**	14.1%	3.1%	2.5%	2.3%	0.0%	7.3%
3.2 실시간 구조적 파손 예측 기술	**77.4%**	15.5%	0.0%	0.0%	7.1%	0.0%	0.0%
3.3 실시간 구조적 상태 통합 관리 기술	**71.4%**	14.3%	0.0%	0.0%	14.3%	0.0%	0.0%

마. 기술기반(인프라) 성숙도

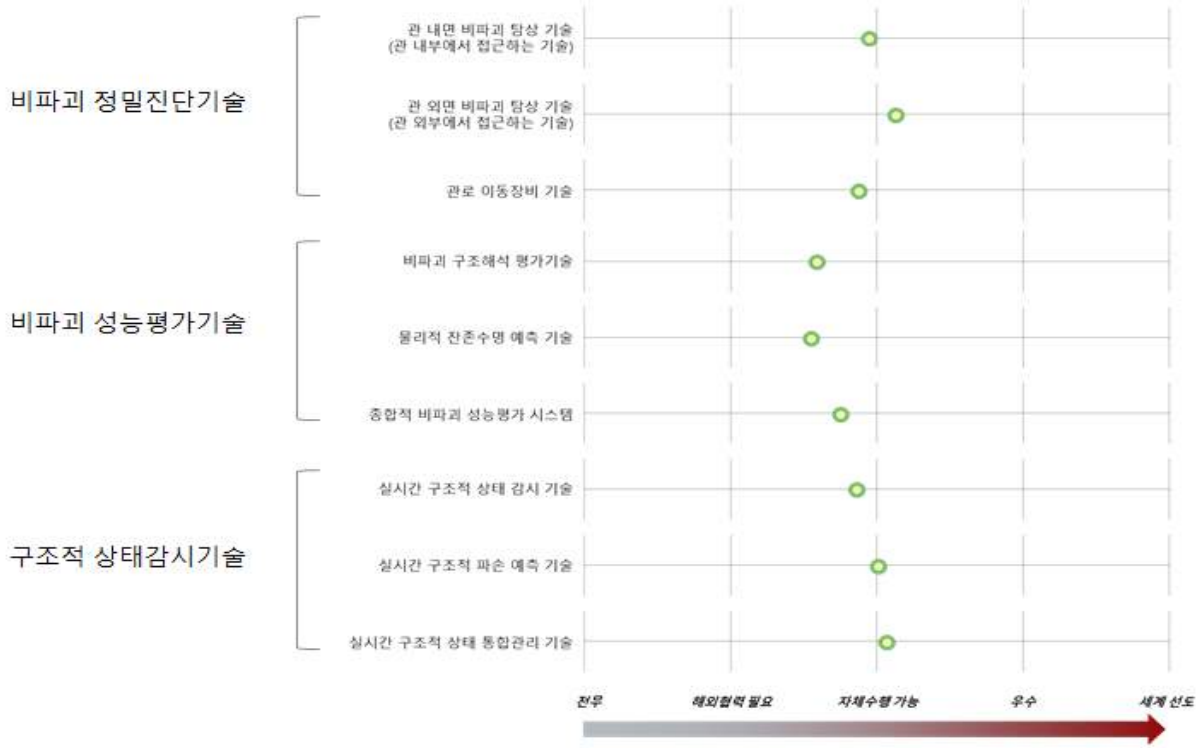
□ 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀 진단·성능평가·운영감시 기술의 인프라(산업기술 연구인력, 장비 등) 성숙도 조사결과 **대부분의 분야가 연구의 국내 자체수행이 가능**한 것으로 나타남

- 대부분의 기술이 **자체수행이 가능한 인프라를 갖추고 있는것으로 조사**되었으나, 대규모 용수공급관로 **비파괴 성능평가 기술의 경우 일부 해외협력이 필요한 부분**이 있는 것으로 나타남



▌그림 3.2.26 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 성숙도(대분류)▐

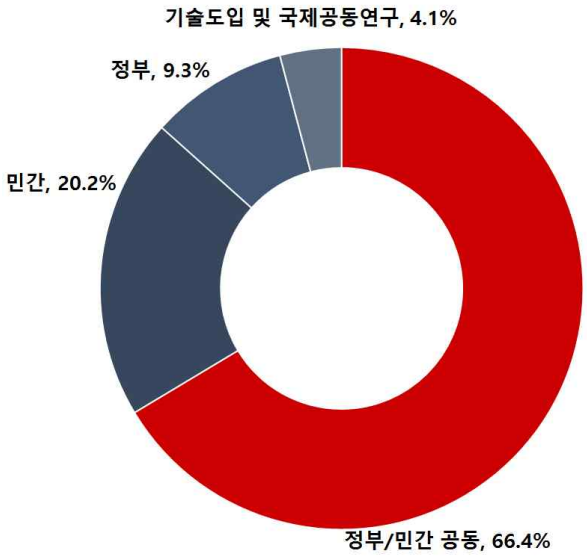
□ 중분류 수준에서는 비파괴 **성능평가기술 중 "비파괴 구조해석 평가기술", "물리적 잔존수명 예측기술" 의 경우 일부 해외협력이 필요한 기술분야**로 나타남



▌그림 3.2.27 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술 성숙도(중분류)▐

바. 기술획득 방식

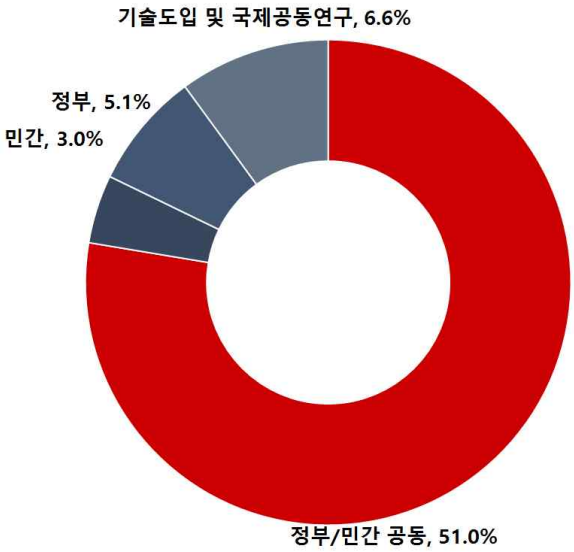
□ 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술은 **정부-민간 공동추진(66.4%)의 중요성이 높은 것**으로 나타남



▌그림 3.2.28 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 기술획득 방식 비중▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(51.0%)의 중요성이 높은 것으로 나타남



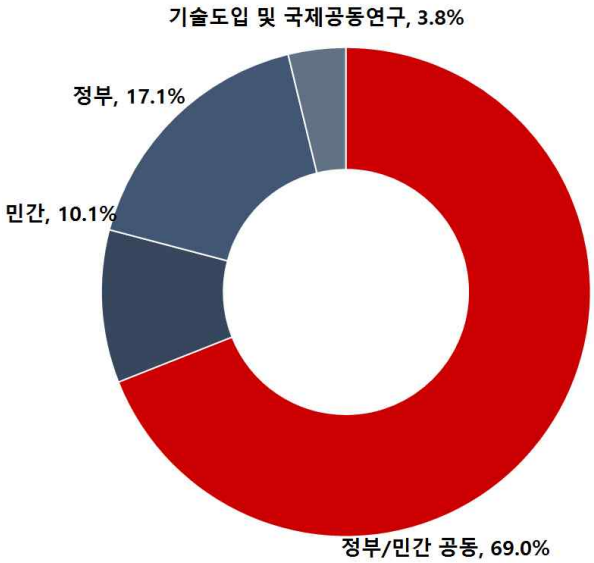
▌그림 3.2.29 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술획득 방식 비중▐

▌표 3.2.17 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 기술획득 방식 조사결과▐

중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
1.1 관 내면 비파괴 탐상 기술	13.6%	11.4%	63.6%	11.4%
1.2 관 외면 비파괴 탐상 기술	19.4%	6.5%	70.9%	3.2%
1.3 관로 이동장비 기술	69.0%	0.7%	25.0%	5.3%

(2) 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능파괴 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(69.0%)의 중요성이 높은 것으로 나타남



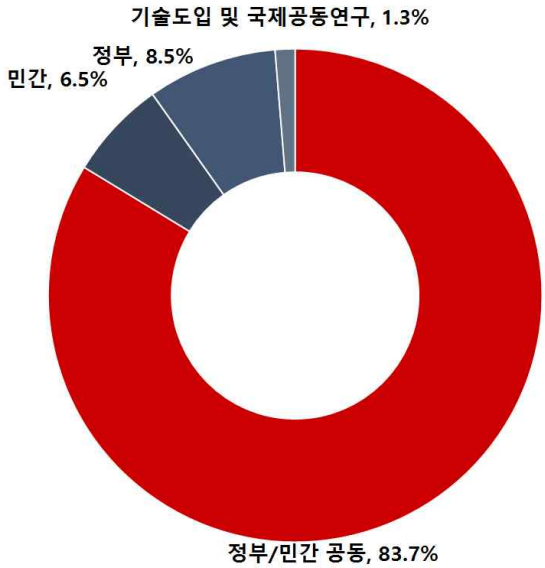
▌그림 3.2.30 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술획득 방식 비중▐

▌표 3.2.18 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 기술획득 방식 조사결과▐

중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
2.1 비파괴 구조해석 평가기술	25.0%	29.2%	45.8%	0.0%
2.2 물리적 잔존수명 예측 기술	0.0%	0.0%	91.7%	8.3%
2.3 종합적 비파괴 성능평가 시스템	4.2%	16.7%	74.9%	4.2%

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술획득 방식은 대체적으로 정부-민간 공동(83.7%)의 중요성이 높은 것으로 나타남



▌그림 3.2.31 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술획득 방식 비중▐

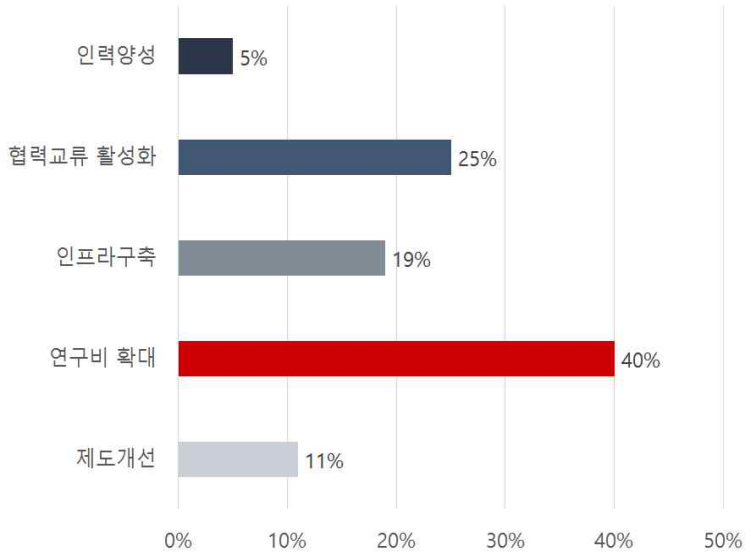
▌표 3.2.19 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 기술획득 방식 조사결과▐

중분류	기술획득방식			
	민간주도	정부주도	정부-민간 공동	기술도입 및 국제공동연구
3.1 실시간 구조적 상태 감시 기술	8.6%	8.6%	79.9%	2.9%
3.2 실시간 구조적 파손 예측 기술	5.3%	10.5%	84.2%	0.0%
3.3 실시간 구조적 상태 통합관리 기술	5.6%	5.6%	88.8%	0.0%

사. 정부우선 시행방안

□ 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 **관련 기술분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대**인 것으로 나타남

- 연구비 확대 외에 “협력교류 활성화”의 이슈가 부각된 것은 기획 시 정부-수요처-기술개발자 등 이해관계자간의 협력 및 역할제시가 필요함을 의미함



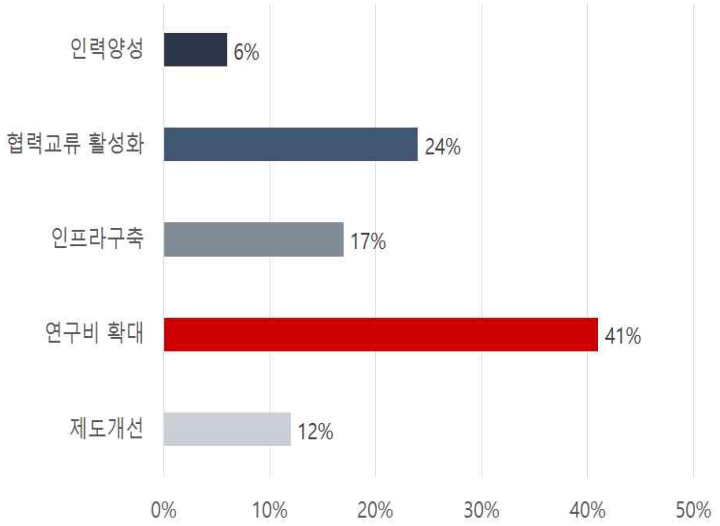
▌그림 3.2.32 관로 비파괴 정밀진단, 성능평가, 운영감시 관련 기술의 정부우선 시행방안 비중▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남

- 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술 분야 하위기술 모두가 연구비 확대가 가

장 시급한 것으로 나타남



▌그림 3.2.33 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 정부우선 시행방안 비중▐

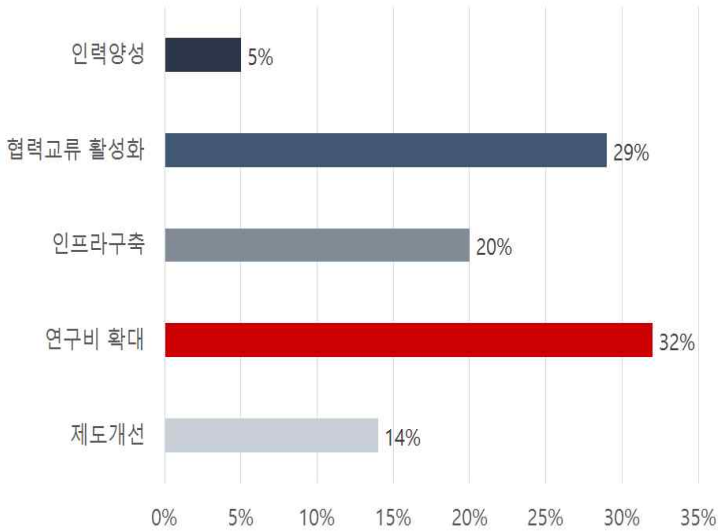
▌표 3.2.20 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술의 정부우선 시행방안 조사결과▐

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
1.1 관 내면 비파괴 탐상 기술	6.3%	27.5%	12.5%	43.7%	10.0%
1.2 관 외면 비파괴 탐상 기술	3.2%	27.4%	17.7%	40.4%	11.3%
1.3 관로 이동장비 기술	6.8%	19.5%	20.3%	40.7%	12.7%

(2) 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남

- 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야 하위기술 중 물리적 잔존수명 예측 기술은 협력교류 활성화가 가장 큰 비중(33.3%)을 차지함



▌그림 3.2.34 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 정부우선 시행방안 비중▐

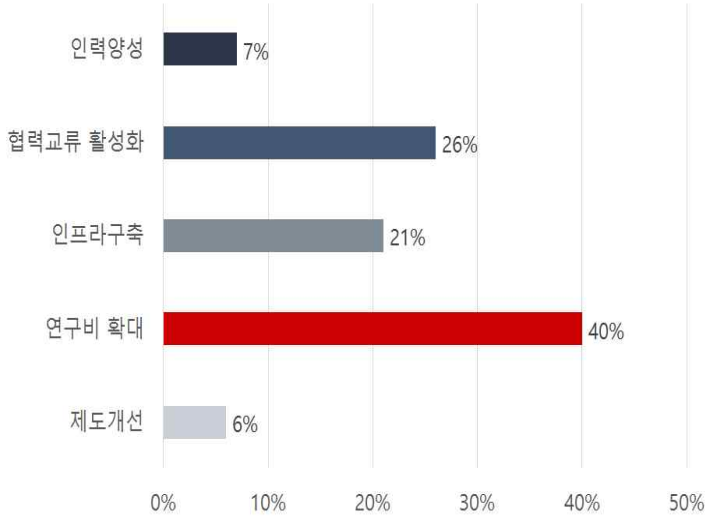
▌표 3.2.21 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술의 정부우선 시행방안 조사결과▐

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도개선
2.1 비파괴 구조해석 평가기술	2.0%	25.5%	21.6%	37.2%	13.7%
2.2 물리적 잔존수명 예측 기술	10.0%	33.3%	16.7%	26.7%	13.3%
2.3 종합적 비파괴 성능평가 시스템	2.1%	29.2%	22.9%	31.2%	14.6%

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 분야의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대인 것으로 나타남

- 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 분야 하위기술 모두가 연구비 확대가 가장 시급한 것으로 나타남



▌그림 3.2.35 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 정부우선 시행방안 비중▐

▌표 3.2.22 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술의 정부우선 시행방안 조사결과▐

중분류	정부 우선 시행방안				
	인력양성	협력교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선
3.1 실시간 구조적 상태 감시 기술	4.4%	23.5%	16.2%	42.7%	13.2%
3.2 실시간 구조적 파손 예측 기술	8.1%	21.6%	27.0%	40.6%	2.7%
3.3 실시간 구조적 상태 통합관리 기술	8.8%	32.4%	20.6%	35.3%	2.9%

아. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

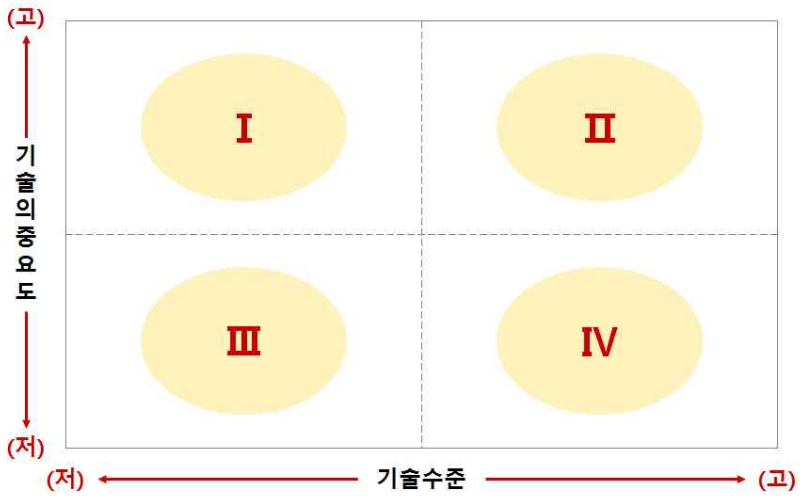
□ 4분면별 전략은 기술 수준과 기술의 중요도를 축으로 함

Ⅰ : 재원에 따라 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 하는 영역

Ⅱ : 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역

Ⅲ : 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 영역

Ⅳ : 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역

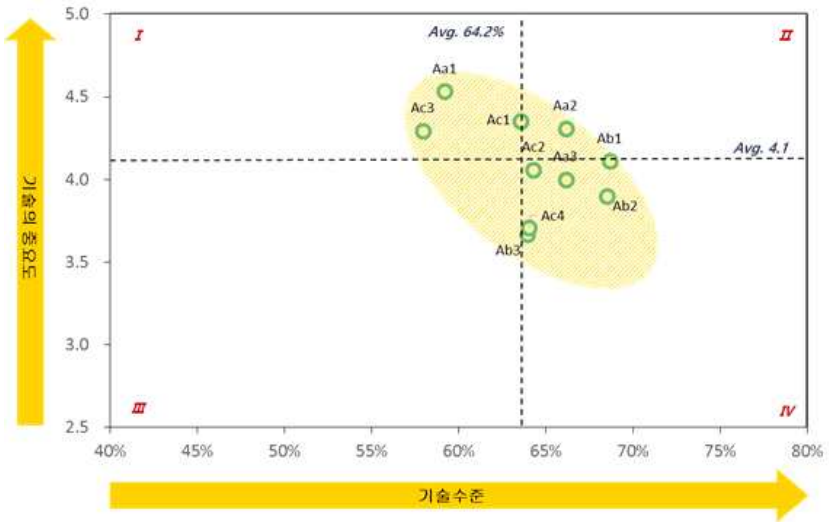


▌그림 3.2.36 기술수준–중요도 포트폴리오 영역구분▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 정밀진단 기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 Ⅰ, Ⅳ영역에 포함**되는 것으로 나타남

- Aa1(관 내면 비파괴 진단센서 기술), Ac1(관로 내부 이동장비 제작 기술), Ac3(관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 적극적 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- Ⅱ영역에 포함된 Aa2(데이터 처리 기술)은 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 것으로 분석됨
- Aa3(3차원 영상화 분석 기술), Ab1(관 외면 비파괴 진단센서 기술), Ab2(데이터 처리 기술), Ab3(3차원 영상화 분석 기술), Ac2(관로 내부 이동장비 투입, 회수 기술), Ac4(관로 외부 이동장비 제작 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함



▌그림 3.2.37 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야 기술수준–중요도 포트폴리오▐

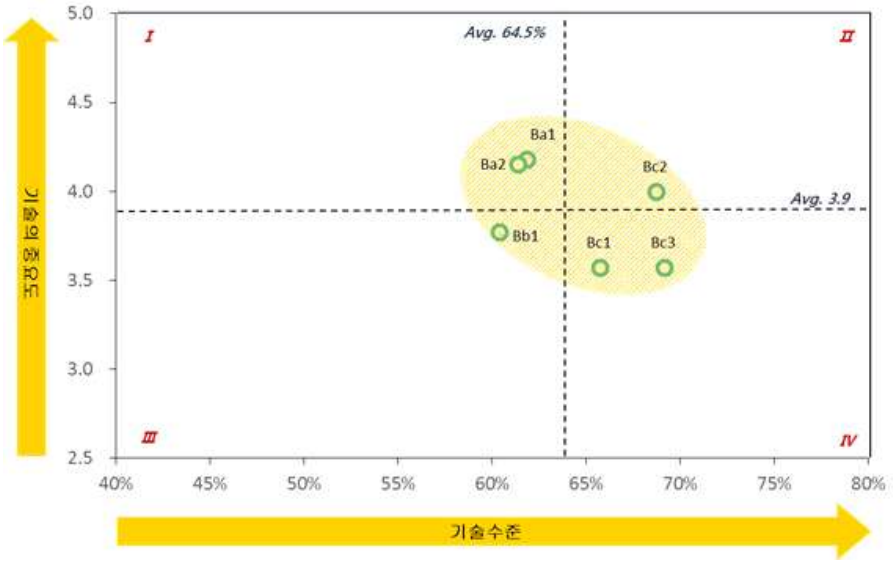
(2) 대규모 용수공급관로 성능평가 기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 성능평가 기술 분야는** 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 **Ⅰ, Ⅳ 영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Ba1(구조적 안전성 해석 기술), Ba2(구조적 파손 위험도 평가 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 적극적 투자로 기술수준향상을 추구해야 함

* Ⅱ영역에 포함된 Bc2(탐상 종합 개량의사 결정 기술)은 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 것으로 분석됨

- Bb1(물리적 잔존수명 예측 기술)은 Ⅲ 영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 것으로 분석됨
- Bc1(내외면 비파괴 탐상 기술의 표준화), Bc3(비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함

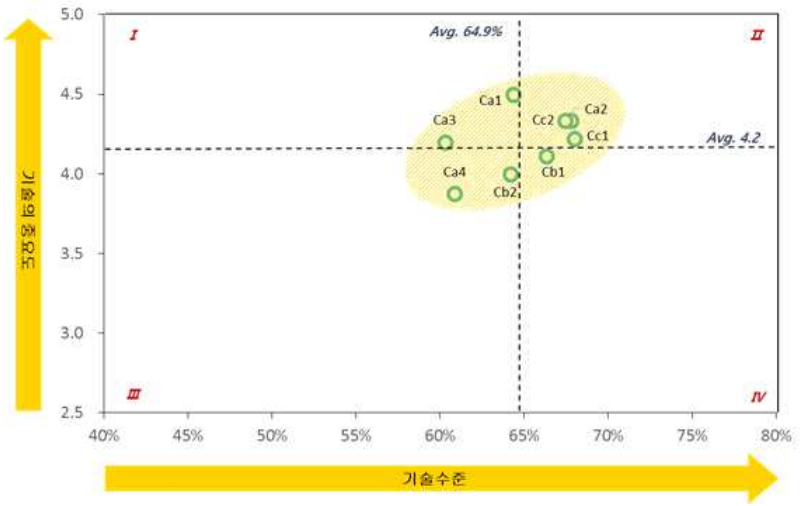


▌그림 3.2.38 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술분야 기술수준–중요도 포트폴리오▐

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 **구조적 상태감시 기술 분야**는 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 주로 **Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Ca1(구조적 상태 감시센서 기술), Ca3(원거리 감시기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 적극적 투자로 기술수준향상을 추구해야 함
- Ca2(센서 네트웍 기반 온라인 감시 기술), Cc1(구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술), Cc2(구조적 감시 통합관리 시스템)은 Ⅱ영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 것으로 분석됨
- Ca4(지중 매설환경 모니터링 기술), Cb2(물리적 파손위험 예측 기술)은 Ⅲ 영역에 포함되어 기술 및 시장변화에 따른 대응이 필요한 것으로 분석됨
- Cb1(상태변화에 따른 구조적 해석 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술시급성이나 파급효과는 상대적으로 크지 않으나, 다른 핵심 기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야함



▌그림 3.2.39 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술분야 기술수준–중요도 포트폴리오▐

자. 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석

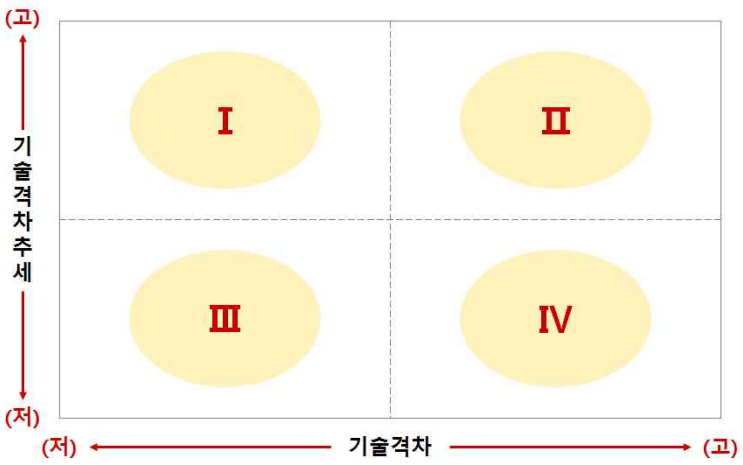
□ 4분면별 전략은 기술격차추세와 기술격차를 축으로 함

Ⅰ : 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요한 영역

Ⅱ : 기술개발을 가속화할 필요가 있는 영역

Ⅲ : 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술수준에 이르기 위한 기술개발을 고려하는 영역

Ⅳ : 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략을 구사해야 하는 영역

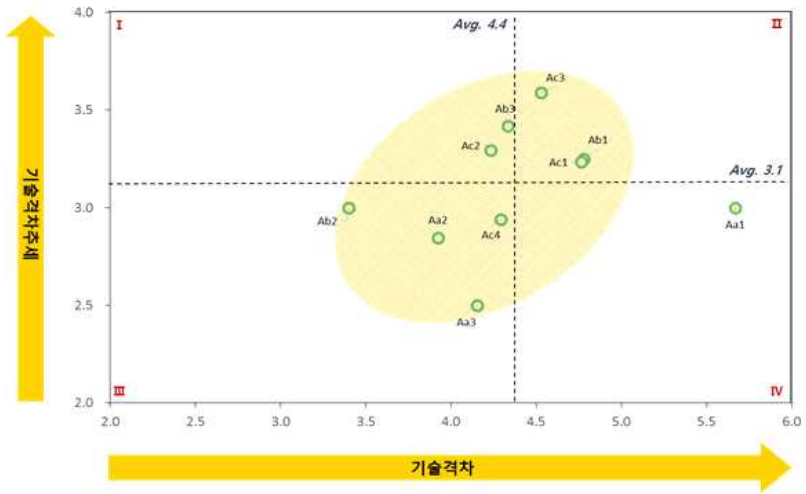


▌그림 3.2.40 기술격차–격차추세 포트폴리오 영역구분▐

(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 정밀진단기술 분야**는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 대부분 **Ⅱ, Ⅲ영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Ab3(3차원 영상화 분석 기술), Ac2(관로 내부 이동장비 투입, 회수 기술)은 Ⅰ영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- Ab1(관 외면 비파괴 진단센서 기술), Ac1(관로 내부 이동장비 제작 기술), Ac3(관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술)은 Ⅱ영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있는 것으로 분석됨
- Aa2(데이터 처리 기술), Aa3(3차원 영상화 분석 기술), Ab2(데이터 처리 기술), Ac4 (관로 외부 이동장비 제작 기술)은 Ⅲ영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함
- Aa1(관 내면 비파괴 진단센서 기술)은 Ⅳ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



▌그림 3.2.41 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야 기술격차–격차추세 포트폴리오▐

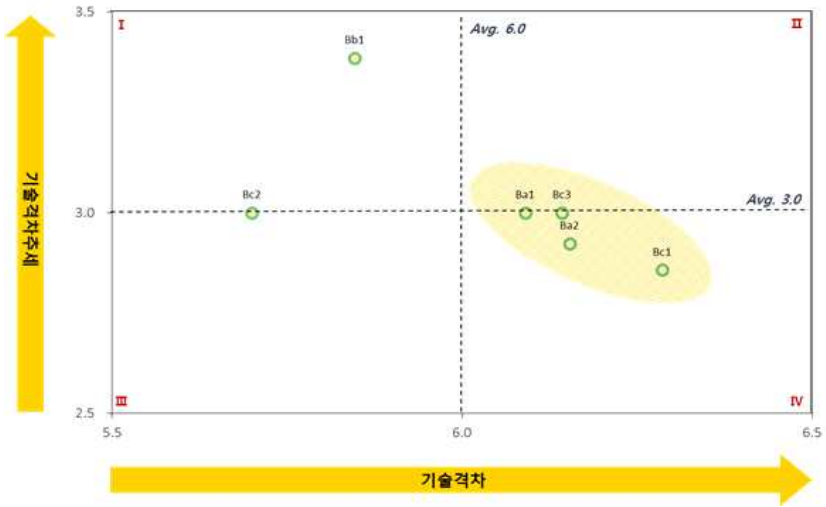
(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 성능평가기술 분야**는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 대부분 **Ⅳ 영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Bb1(물리적 잔존수명 예측 기술)은 Ⅰ영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조

기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함

- Bc2(탐상 종합 개량의사 결정 기술)은 Ⅲ영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함
- Ba1(구조적 안전성 해석 기술), Ba2(구조적 파손 위험도 평가 기술), Bc1(내외면 비파괴 탐상 기술의 표준화), Bc3(비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축)은 Ⅳ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



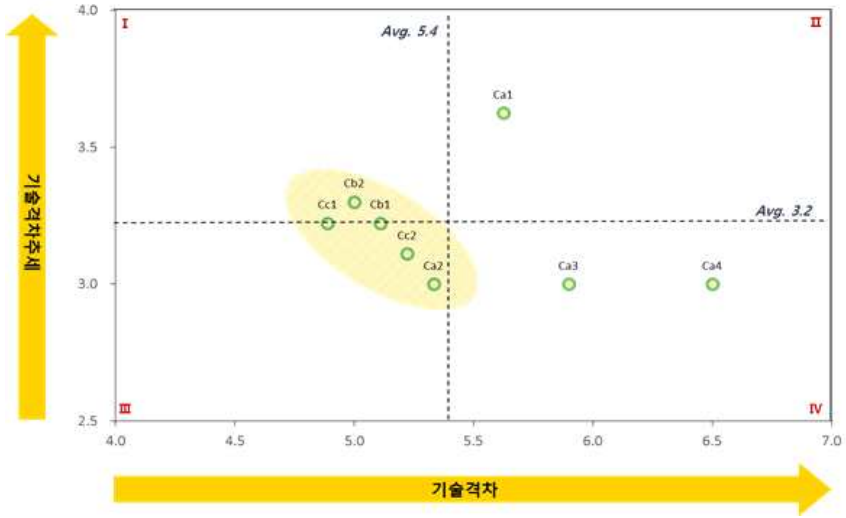
▌그림 3.2.42 대규모 용수공급관로 비파괴 상태평가 기술분야 기술격차–격차추세 포트폴리오▐

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

□ 대규모 용수공급관로 **구조적 상태 감시기술 분야**는 기술격차-격차추세 포트폴리오 분석 결과 대부분 **Ⅲ 영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Cb2(물리적 파손위험 예측 기술)은 Ⅰ영역에 속하여 기술격차가 확대되는 이유를 조기에 파악하여 이에 대한 대응이 필요함
- Ca1(구조적 상태 감시센서 기술)은 Ⅱ영역에 속하여 기술개발을 가속화할 필요가 있는 것으로 분석됨
- Ca2(센서 네트워 기반 온라인 감시 기술), Cb1(상태변화에 따른 구조적 해석 기술), Cc1(구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술), Cc2(구조적 감시 통합관리 시스템)은 Ⅲ영역에 속하여 지속적인 모니터링 및 관리-유지하거나 최고 기술 수준에 이르기 위한 기술개발 고려가 필요함

- Ca3(원거리 감시기술), Ca4(지중 매설환경 모니터링 기술)은 Ⅳ영역에 속하여 효과적인 기술개발 전략이 마련되지 않는다면 자체 개발 이외의 전략이 필요함



▌그림 3.2.43 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술분야 기술격차–격차추세 포트폴리오▐

차. 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석

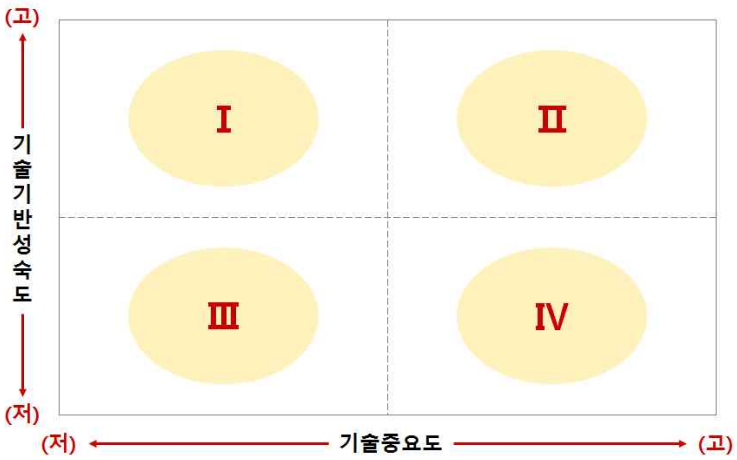
□ 4분면별 전략은 기술기반성숙도과 평균 중요도를 축으로 함

Ⅰ : 기술기반 관리-유지 영역

Ⅱ : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나아갈 필요가 있는 영역

Ⅲ : 점진적으로 기술기반을 확보해 나아가야 할 영역

Ⅳ : 기술기반 확보가 시급한 영역



▌그림 3.2.44 기술기반성숙도–중요도 포트폴리오 영역구분▐

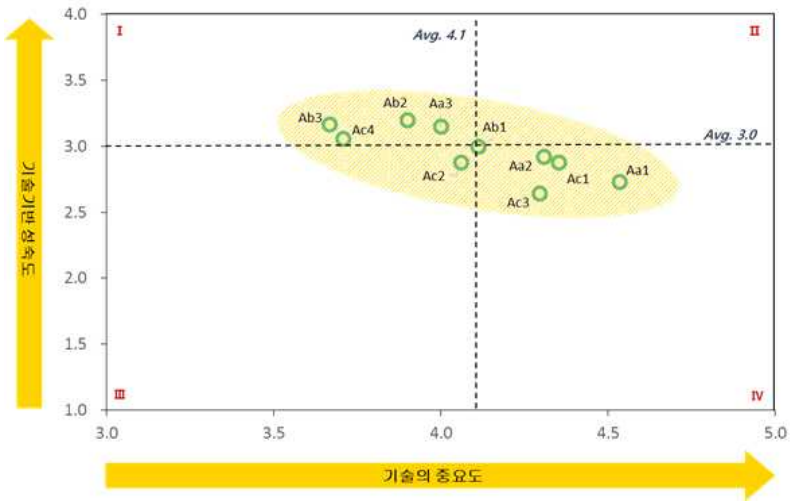
(1) 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술

□ 대규모 용수공급관로 **비파괴 정밀진단 기술 분야**는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 주로 **Ⅰ, Ⅳ 영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Aa3(3차원 영상화 분석 기술), Ab2(데이터 처리 기술), Ab3(3차원 영상화 분석 기술), Ac4(관로 외부 이동장비 제작 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 이루어져야 함

* Ⅲ영역에 포함된 Ac2(관로 내부 이동장비 투입, 회수 기술)은 점진적으로 기술기반을 확보해 나가야 함

- Aa1(관 내면 비파괴 진단센서 기술), Aa2(데이터 처리 기술), Ab1(관 외면 비파괴 진단센서 기술), Ac1(관로 내부 이동장비 제작 기술), Ac3(관로 내부 이동장비 비상시 대응 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



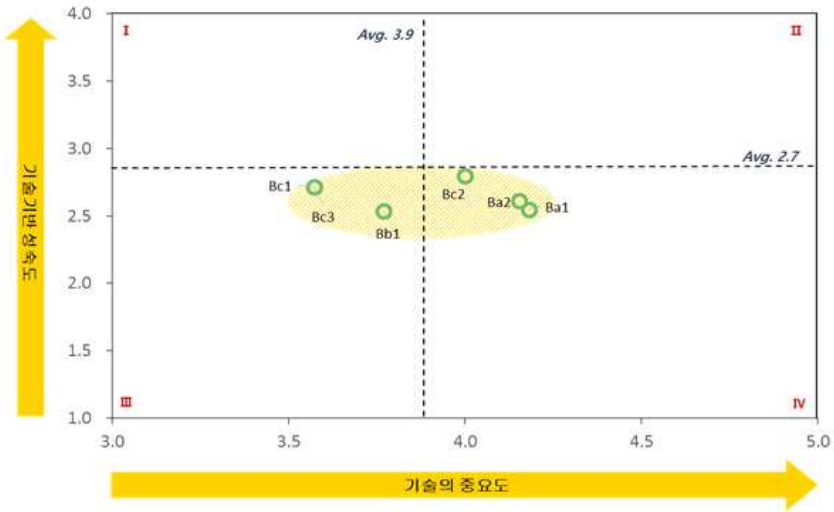
▌그림 3.2.45 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단 기술분야의 기술기반성숙도–중요도 포트폴리오▐

(2) 대규모 용수공급관로 성능평가기술

□ 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술 분야는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 주로 Ⅲ, Ⅳ영역에 해당되는 것으로 분석됨

- Bb1(물리적 잔존수명 예측 기술), Bc1(내외면 비파괴 탐상 기술의 표준화), Bc3(비파괴 종합 진단·성능평가 Test bed 구축)은 Ⅲ영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함

- Ba1(구조적 안전성 해석 기술), Ba2(구조적 파손 위험도 평가 기술), Bc2(탐상 종합 개량의사 결정 기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



▌그림 3.2.46 대규모 용수공급관로 비파괴 성능평가 기술분야의 기술기반성숙도–중요도 포트폴리오▐

(3) 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술

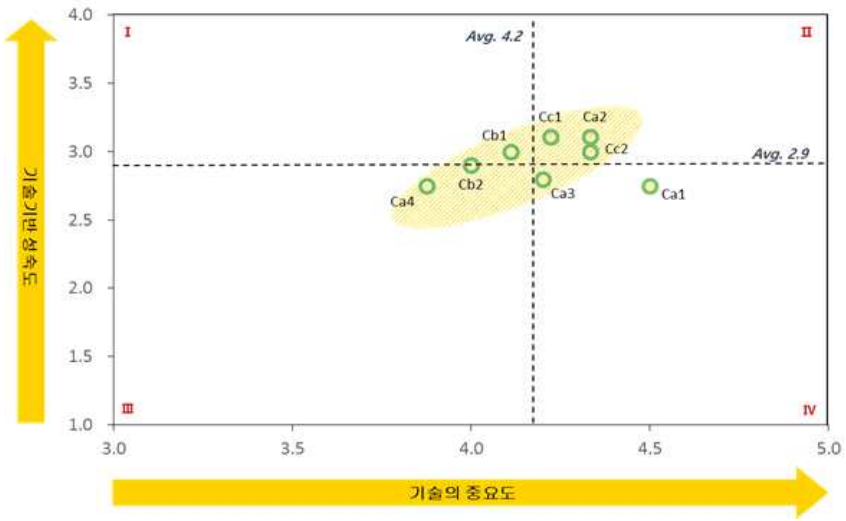
□ 대규모 용수공급관로 **구조적 상태감시 기술 분야**는 기술기반성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과 대부분 **Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ 영역에 해당**되는 것으로 분석됨

- Cb1(상태변화에 따른 구조적 해석 기술)은 Ⅰ영역에 포함되어 기술기반 관리-유지가 필요함

- Ca2(센서 네트워 기반 온라인 감시 기술), Cc1(구조적 상태변화 감지, 데이터 해석 기술), Cc2(구조적 감시 통합관리 시스템)은 Ⅱ영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대할 필요가 있음

- Cb2(물리적 파손위험 예측 기술), Ca4(지중 매설환경 모니터링 기술)은 Ⅲ영역에 포함되어 점진적으로 기술기반을 확보해야 함

- Ca1(구조적 상태 감시센서 기술), Ca3(원거리 감시기술)은 Ⅳ영역에 포함되어 기술기반 확보가 시급함



▌그림 3.2.47 대규모 용수공급관로 구조적 상태 감시 기술 분야의 기술기반성숙도–중요도 포트폴리오▐

제 4 장 연구개발 과제 구성 및 추진전략

제 1 절 SWOT / Issue-Tree 분석

1. SWOT 분석

가. 내·외부 요인 분석

□ 내부 및 외부 환경 요인을 분석하여 기술개발 전략 수립 위한 방향 제시

□ 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석

- 주요 선진국가 및 전문기관과 비교하여 상대적으로 우수하거나 부족한 부분을 제시함
- 강점 및 약점은 '동향조사 및 환경분석'에서 기술/특허/논문/인프라 분석결과를 내/외부 요인으로 구분하고 내부요인을 강점과 약점으로 다시 구분하여 키워드를 작성함
- 강점 및 약점은 주요 선진 국가 및 기관 대비 정책, 기술력, 핵심경쟁력, 노하우, 현황 등의 관점에서 정리할 수 있음

□ 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석

- 대외 환경변화로 인해 새롭게 발생하는 기회요인 및 불안요인 등을 제시함
- 기회 및 위협요인은 '동향조사 및 환경분석'에서 정책/시장/기술동향 분석결과를 내/외부 요인으로 구분하고 외부요인을 기회와 위협요인으로 다시 구분하여 키워드를 작성함
- 기회요인 및 위협요인은 국가별 기술의 융합추세, 해외 주요국 대비 정책적 장려정도, 국내외 기술수요 차이, 국가별 시장의 성장의 차이, 해외 주요국의 기술개발 전략 등의 관점에서 정리될 수 있음

나. 포지션별 전략 수립

□ SO/WO/ST/WT의 포지션별 전략을 수립하여, 아래 서식에 기입하고 각 전략별 세부내용을 설명함

- SO 전략 : 강점을 이용하여 기회요인을 활용하는 전략, ICT 융·복합 정밀 진단·감시 기술 개발 정부 지원으로 관로 노후화 대책 및 용수공급 관로 안정성 확보

- ST 전략 : 강점을 이용하여 위협요인을 극복하는 전략, 노후관로의 효율적 개량, 유지관리 고도화를 위한 정밀 진단·감시 기술 개발로 물시장 기술·가격 경쟁력 확보

- WO 전략 : 기회를 이용하여 약점을 줄이는 전략, 관로 정밀 진단 센서, 장비, 진단 엔지니어링. 유지관리 등 시장 확대, 창출, 인력 양성, 전문기업 육성을 통한 산업경쟁력 강화

- WT 전략 : 위협과 약점을 최소화하는 전략, 지하에 매설되어 조사와 접근에 한계가 있는 관로 상태의 정량적 진단· 감시 국산화기술 개발로 수입대체 및 해외 시장 경쟁력 확보

	【 강 점(S) 】	【 약 점(W) 】
내부 환경 분석	• 정부 R&D 지원 강화 • 세계수준의 ICT 기술력 보유 • 융・복합 신사업 창출 확대 정책 • 물산업 지원 정책 강화 • 중소기업 동반성장 및 일자리창출 정책 추진 • 해외시장 진출 협력, 지원체계 강화 • 정밀안전진단(시설물의안전관리에관한 특별법), 관망진단 등 법, 제도 근거 • 대규모 용수공급 관로(광역상수도, 공업용수도, 지방상수도) 수요처 대상 실용화 유리 • 관로사고 예방 및 피해 최소화 필요성 인식 • 대규모 예산이 투입되는 노후관 개량사업의 효율적 시행 필요성 인식	• 세계 최고수준 대비 기술력 부족 • 자본 및 기술력 확보 전문기업 부재 • 예산 부족으로 노후관 진단 개량 사업 미흡 • 국내 시장규모 한계 및 기술개발(투자) 미흡 • 장비 및 기술 해외 의존도 높음(수입, 외화 및 정보 유출) • 해외시장 진출 전략 부재, 시장의 기술장벽 높아 신규 진입 어려움 • 비파괴 기술 및 장비 산업 비활성화 (취약) • 지하 매설 관로 조사, 접근 어려움 • 관로 상태 진단 방법, 결과에 따른 조치 한계 및 자료 신뢰성 미비 • 자연재해에 대비하여 관로 사고· 피해 대응 위한 기술개발· 사업 우선 시행 필요성 인식 부족
외부 환경 분석	【 기 회(O) 】	【 위 협(T) 】
	• 관로 인프라 증가 및 유지관리 시장 확대 전망 • 물시장 빠른 성장(중국 등 아시아권 주변국 물시장 급성장) • 물산업 육성, 지원 전략 강화 • 관로 노후화 및 개량시기 도래로 기술 수요 급증 • 관로사고로 인한 경제적 피해 및 생활 불편 증가 • SOC 시설물 안전관리 강화 및 사고 예방 필요성 인식 • 빅데이터 활용 및 IoT 기술 확대에 따른 융・복합 기술 선점 가능 • 자동화 및 지식기반 서비스 산업 성장 • 비파괴기술 및 로봇산업 육성 전략 추진 • 플랜트, 가스관, 송유관 등 배관 관련 산업 적용 분야 연계·확대 가능	• 선진 외국기업 국내진출 확대 • 선도업체 해외시장 지배 확대 강화 • 선진국 기술개발 지원 및 기술력 확보 강화 • 선진국과의 기술 격차 심화 • 북미 및 유럽 기술경쟁력 우위, 가격경쟁력 앞세운 중국 등 아시아권 국가 추격 • 선진기업 특허, 기술 독점에 따른 해외진출 장벽 • 전면적인 노후관 교체시 대규모 투자로 인한 재정지출 및 부담 증가 예상 • 국내 건설경기 침체 및 해외건설 사업 경쟁력 저하

SO 전략	o 관로 정밀진단감시기술 정부 R&D 추진 o ICT와 로봇, 비파괴기술 등 융·복합기술 개발을 통한 기술경쟁력 및 미래성장 동력 확보 o 관로 노후화, 사고 증가에 따른 예방적 안전관리 강화 및 효율적 개량 대책 추진 o 안전 및 진단 제도 강화에 따른 기술 확보 및 국내 전문기업 육성 지원 확대
WO 전략	o 선진국과 기술격차 해소 위해 진단·감시 기술(장비) 개발 R&D 투자 확대 o 지하매설관로 관리 한계성 극복 위한 자동화, 무인화 첨단 장비 및 기술 개발 o 기술 개발 및 기술사업화 지원을 통한 전문기업 육성, 국내 물시장 확대, 물산업 기술경쟁력 확보 o 다학제간 융·복합 기술 협력을 통한 시너지 창출, 중소기업의 강소기업화, 관로 유지관리 기술 확보
ST 전략	o 선진국 국내외 물시장 진출 확대에 따른 기술 및 가격 경쟁력 확보 전략 수립 o 정밀진단 기술 개발·확보를 통한 개량(보수/보강, 교체), 장비 제작, 유지관리 서비스 등 관련 산업 활성화 o 노후관로 개량사업 효율화 및 효율적 예산 활용을 위한 정밀진단감시 기술 확보 o 진단 제도 활성화를 위한 진단 기준, 방법 개발 및 테스트베드 기술 검인증 지원 o 정부, 지자체, 학계, 업계 등 관·산·학·연 연계·협력체계 구축을 통한 기술경쟁력 확보
WT 전략	o 선진국의 기술개발 및 기술력 확보 지원 강화를 통한 시장 지배 확대에 대한 대책 강구 o 관로 상태의 정량적 평가 및 자료 신뢰성 향상을 위한 관로 진단·감시 국산화기술 개발로 수입대체 및 해외 진출 기반 마련 o 지적재산권 확보 강화 o 실용화기술 개발 및 테스트베드 검증 지원을 통한 기술력 향상, 시장경쟁력 확보 o 관로 노후화, 사고· 피해에 따른 대규모 투자로 인한 재정지출 부담 증가에 대한 대응 및 예산투자· 개량 우선순위화 필요성 강화

2. Issue-Tree 분석

□ **정책, 기술, 시장, 동향 분석** 결과 및 시사점을 요약 서술하고, 이로부터 도출되는 **핵심 Keyword 제시**

□ 대내외 환경 분석(STEEP)은 사회적(Social), 기술적(Technological), 경제적(Economic), 환경적

(Ecological), 정치적(Political) 특성에 따라 각 외부 요인을 파악하고 서로의 인과관계를 분석

- **(사회적)** 용수공급 **관로 노후화**에 따라 교체 수요 및 소요예산 급증, 사고 복구 위주보다는 **예방적 대응으로 피해 최소화** 필요성 인식, 관로 인프라는 국민생활 및 국가경제에 큰 영향을 주는 기간 시설로써 **안정성 확보를 위한 관리 강화** 필요, 전문기업 육성, 인력 양성, 일자리 창출 등을 위해 정부의 전략적 지원을 통한 산업 경쟁력 강화 필요

* '안전과 통합사회' 가 정부 5대 국정목표 중 하나

- **(기술적)** 지하에 매설된 관로의 상태를 조사 할 기술이 부족하고 접근에 어려움 있으므로 이를 해결하기 위한 관로 상태의 정밀 진단 기술 필요, **국부적 조사 결과에 대한 낮은 신뢰성을 향상시키기 위한 정밀진단 정량화 기술 필요**, 선진국 대비 큰 기술격차 및 높은 해외 의존도 해소 위한 기술 필요, **창조경제 실현을 위한 ICT, 로봇, 비파괴 등 융·복합 정밀 진단기술 필요**

* 범정부적 ICT, 로봇, 비파괴 등 융·복합 기술 발전 추진

- **(경제적)** 대규모 **관로 사고로 인한 막대한 피해 비용 발생** 및 생활 불편 해소, 노후 시설의 유지관리 비용 급증에 대한 전략적.경제적인 대처 방안 필요, **해외 의존도 높아 막대한 외화 및 국내 정보 유출 우려**, 글로벌 물시장 확대 중이며 선진국.선진기업은 시장 지배 확대 추진중이나 국내기업은 기술력 한계로 진출 미흡에 대처 전략 필요

* 국가 인프라 유지관리 비용 및 피해 저감 및 해외시장 경쟁력 확보 강화

- **(환경적)** 노후관로 재구축 시대 도래, **진단·개량 및 유지관리 시장 확대**, 예방적 유지관리 중요성 증대, **물공급 시설의 사용수명 연장을 통한 국가 기반시설 자산관리 방안 필요**, 첨단 융·복합 진단·감시 기술 개발 보급 확대 추세에 합리적 대처 필요

* 세계 각국 국가 기반시설 자산의 효율적 관리 및 국가 산업경쟁력 확보를 위한 정부 지원 강화

- **(정책적) 노후 관로 급증에 따른 사고 예방, 안전성 확보 대책 필요**, 경제적 개량 전략 을 통한 국가 예산 효율적 활용, 중단없는 물 공급을 통한 국민 물복지 대책, 해외 물시장 진출을 위해 국내 기업 기술경쟁력 확보토록 정부 지원 강화 필요

* 범정부적 시설 안전 및 유지관리 고도화를 통한 재해와 사고로부터 안전한 생활 환경 조성 추진

□ 동향 및 대내외 환경 분석을 통해 핵심 이슈 정의

- **지하에 매설**되어 있는 **용수공급 관로의 상태를 정확하게 파악 할 수 있는 정량적 조사, 진단 방법 필요**

- 우리나라가 기술경쟁력을 보유한 **ICT 기술 기반으로 로봇, 비파괴 기술과의 융·복합을 통한 선진국 수준의 첨단 진단 기술 확보** 필요

- 노후 관로에 대한 정밀한 상태 진단 결과를 분석하여 시설 성능을 제대로 평가하고 잔존 **수명을 예측하고 성능개선과 사용 수명 연장 방안 등을 종합적으로 검토**하여 보수, 보강 또는 교체 여부 등 **개량 방안을 결정하고 합리적인 예산 투자 계획을 수립**토록 하여야 함

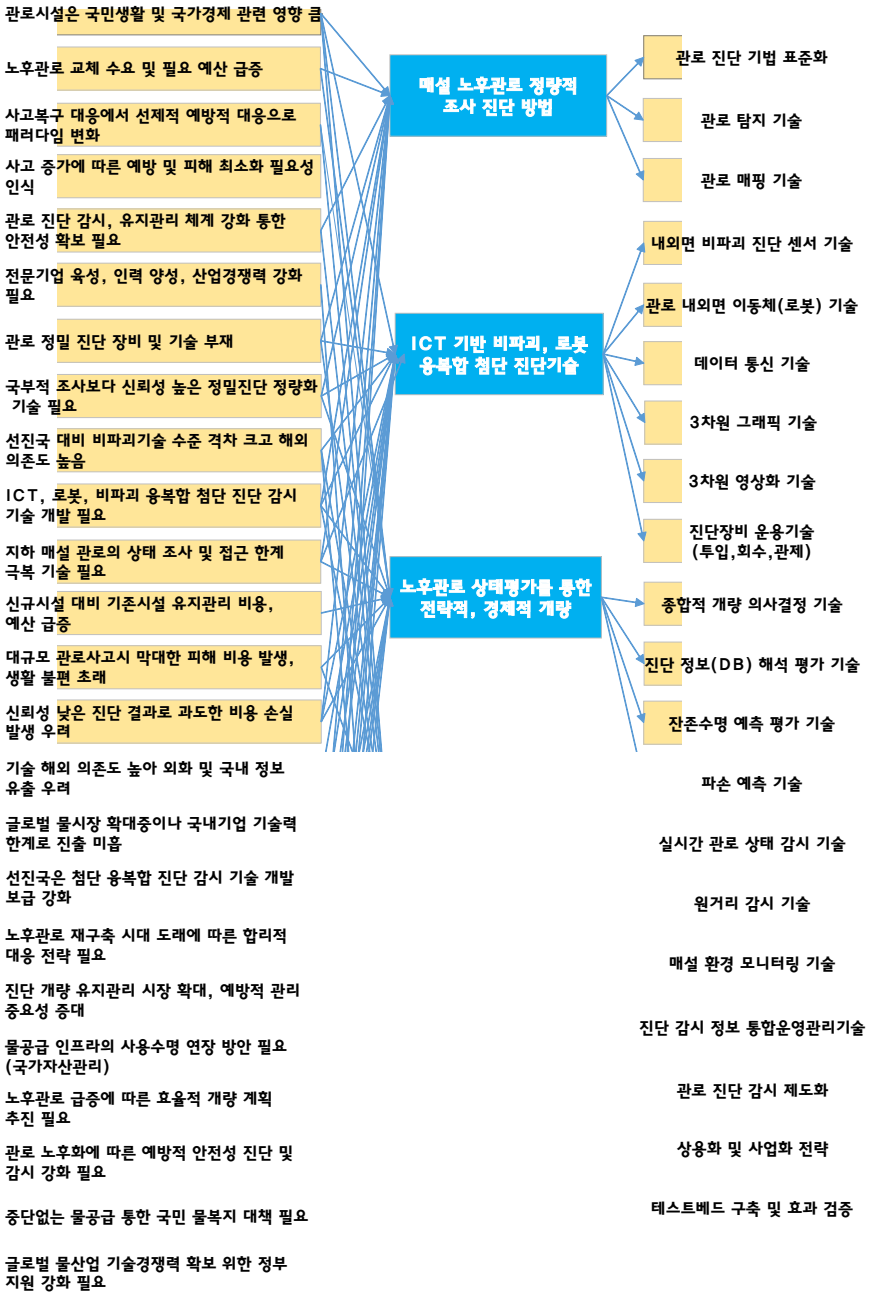
- 대규모 관로 **사고에 따른 복구 비용 및 기간 소요, 국민 생활 불편 초래 등**으로 인한 산업.경제 손실, 국가 경제 장애를 최소화 및 방지하기 위하여 **상시적 모니터링을 통한 선제적, 예방적 유지관리 필요**

- 중단없는 물공급과 세계 물시장 기술경쟁력 확보를 위한 정부의 지원 강화 필요

□ 핵심이슈 및 R&D Needs

- 동향분석에서 도출된 서로 관련성 있는 Keyword를 통합하여 핵심이슈를 정의하고, 이슈를 해결하기 위한 R&D Needs를 정의함

- R&D Needs는 기술명을 의미하는 것이 아니라 이슈를 해결하기 위해 필요한 기술이 당장 마련되어 있지 않을 경우 이를 개발하기 위해 어떤 R&D가 필요한가를 의미하는 것



▌그림 4.1.1 Issue Tree ▐

제 2 절 비전 및 목표

1. 비전

□ **기술, 시장, 정책 동향 등 외부 환경 및 기술수준을 고려하여 비전 수립**

- **(기술)** 지하에 매설되어 상태를 파악하기 힘든 **관로 시설의 접근 한계 극복, 정량적, 신뢰성 있는 ICT+로봇, 센서, 비파괴기술 등 첨단 융·복합 진단·감시기술 개발**로 선진국 수준의 기술수준 확보 및 기술격차 해소

- **(시장)** 세계물시장 지속 확대·성장, **선진국 시장 주도 강화에 대비한 기술경쟁력 확보** 필요, 용수공급 관로 진단 감시 관련 센서, 부품, 소재 및 장비 제작, 진단 엔지니어링, 유지관리 등 **시장 확대 및 창출, 유관 전문인력 양성, 중소·중견 기업 육성 등을 통한 산업경쟁력 강화 등 물산업 기반 견인**

- **(정책) 국민생활 및 국가 경제에 큰 영향을 미치는 국가 기간 인프라 시설**인 용수공급 관로의사고로 인한 경제적 피해, 생활 불편 예방 및 최소화로 **국민 안전 제고는 물론, 중단없는 안전한 물공급으로 국민 물복지 향상**에 기여

- **(경제) 막대한 재정이 소요되는 노후 용수공급 관로 개량** 및 **유지관리 수요 급증**, 국가 용수공급 인프라의 체계적 진단과 상태 감시로 **한정된 예산의 효율적 재정 투자, 사용 수명 연장 등 국가 자산관리 효율화 도모**

- **(사회)** 세계 각국에서 노후관로 내용연수 도래로 천문학적 유지관리 비용 발생에 대한 우려가 제기되면서 **사고 복구 중심에서 예방적 유지관리**로 이슈 전환, 용수공급 관로 노후화로 진단, 개량 등 유지관리 시장의 확대 추세(제2의 건설시장으로 인식 확산)

□ **국민안전 및 물 복지 실현을 위한 중단 없는 용수공급 안정화 체계 구축을 비전으로 설정**

2. 목표

□ 비전 달성을 위해 도달해야 할 성과를 목표로 제시

- 2022년 까지 **세계 최고 수준의 대규모 용수공급관로 진단·감시 시스템 기술 확보**로 **안정적 용수공급 기반 마련**

- 안전한 사회 구축 및 기술경쟁력 강화를 위해 **ICT, 비파괴, 로봇 등 융·복합 기술 개발을 통한 등 세계 수준의 지능형 용수공급 인프라 진단·감시 기술 확보**

□ 세계 수준의 **대규모 용수공급관로 진단·감시 시스템 기술경쟁력 확보를 위한 필요 기술 개발을 세부 목표로 선정**

- 관로 내외면 비파괴 정밀진단 센서, 장비, S/W, 통합시스템 개발
- 비파괴 진단 요소기술 및 시스템 통합 기술의 테스트베드 검증평가
- 관로 비파괴 진단 표준가이드라인 등 상용화·사업화 기술 개발



▌그림 4.2.1 개발기술의 목표 및 비전▐

□ 단계별 목표

▌표 4.2.1 단계별 목표 및 추진내용▐

구분	1단계(1~2차년도)	2단계(3~4차년도)	3단계(5차년도)
단계별 목표	관로 비파괴 진단·감시 요소기술 개발	관로 비파괴 진단·감시 시스템 개발	관로 비파괴 진단·감시 상용화 기술 개발
주요 추진 내용	- 관로 비파괴 진단 멀티센서 개발 - 관로 진단 장비(이동체) 플랫폼 개발 - 관로 구조적 상태감시 센서 개발	- 관로 비파괴 진단 데이터 처리 및 3차원 영상화 기술 개발 - 관로 진단 장비(이동체) 운영제어기술 개발 - 테스트베드 구축 및 기술 성능 검증·평가	- 관로 비파괴 진단 표준 가이드라인 - 관로 비파괴 진단 종합의사결정시스템 개발 - 실시간 상태감시 정보통합 운영관리시스템 개발

제 3 절 기술개발에 따른 미래상

□ 첨단 내외면 장거리 비파괴 탐상기술 확보로 **전 구간 구조적 상태 파악을 통한 경제적인 개량 추진과 중단없는 용수공급으로 국민 물 복지 실현**

- 기존에는 인력에 의한 직접조사로 단수수반, 고비용, 장시간 소요, 점 적인 표본 조사 수준으로 오진위험성에 따른 과도한 개량비용 발생과 관 수명단축 초래

☞ (현재) 중환자에 대한 청진기 수준의 진단 ☞ (미래) 전 구간 CT 촬영을 통한 관 상태 파악과 처방

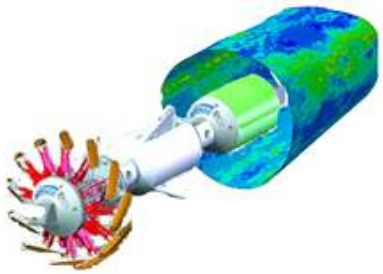
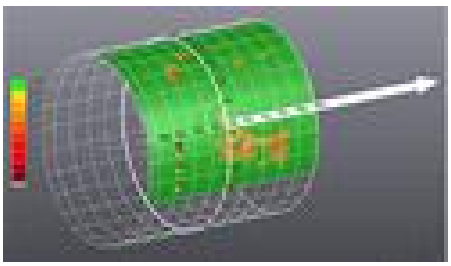
□ **실시간 사고를 사전에 예측할 수 있는 Smart SCM(Structural Condition Monitoring) 첨단 기술 확보로 선제적 대응을 통한 재난재해 방지**

- 기존에는 사고 예방적 차원의 구조적 상태감시 보다 사고 후 신속한 긴급복구(조기에 사고발생 시간·위치 확인) 대응 위주의 기술개발 치중

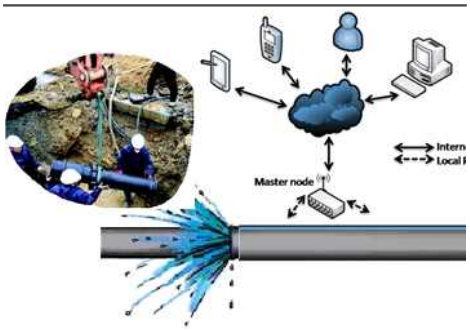
☞ (현재) 사고 후 발생·위치 탐지시간의 단축

☞ (미래) 사고를 사전에 감지하여 선제적 대응

▌표 4.3.1 Smart SCM기반 선제적 재난 · 재해 방지▐

	As Is	To Be
관내면 첨단지능형 비파괴 정밀안전 진단 기술 개발	▪ 굴착 또는 인력인입에 의한 조사 ▪ 점(point)적인 육안조사 방식 (대표성, 신뢰성 결여) 	▪ 장거리 면적 scanning 연속측정으로 전체구간의 구조적 상태파악 (내외면 두께손실, 결함, 균열 등) ▪ 3차원 영상화로 개량결정(보수보강 등) 용이 
관외면 비파괴 정밀진단 자동화 기술 개발	▪ 굴착 또는 인력에 의한 조사 ▪ 취약구간, 밸브실, 노출배관 조사 (대표성, 신뢰성 결여) 	▪ 면적 scanning 구조적 상태파악 ▪ 노출배관, 내부탐상 불가구간 등 정밀탐상에 따른 대응력 강화 (취수장, 가압장, 정수장, 밸브실 등) 
비파괴 종합적 성능평가 기술 개발	▪ 1차원적인 하중-응력수식 기반의 단편적 계산 평가 (점적인 조사 기반으로 과소 또는 과대평가) 	▪ 전체구간 3차원 구조해석 +잔존수명 예측 기반의 안전성 평가 - 상태에 따른 정확한 처방 가능 
구조적 상태감시 예측 고도화 기술 개발	▪ 실시간 누수발생 감시를 통한 파손 감지 - 사고발생 후 긴급대응 강화	▪ 실시간 구조적인 상태변화 감시·파손 예측 - 사고발생 전 선제적 대응(보수보강)으로 사고예방

대규모 용수공급 관로 비파괴 정밀진단 성능평가와 운영감시 시스템 개발

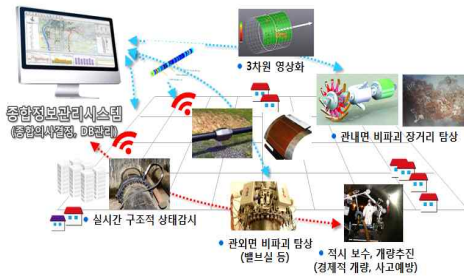




○ 간접평가(예측모델, 예측신뢰성(Low)) 또는 직접평가 (단수, 점적인 조사 수준)
- 오진위험성으로 과도한 개량비용, 수명단축 초래
○ 사고 후 긴급대응의 구조적 상태감시 체계

○ 무단수 비파괴 장거리 면적 scanning을 통한 전체구간 부식 손상, 결함, 균열 확인
- 3차원 영상화로 정확한 진단, 개량결정
○ 감시예측을 통한 선제적 대응으로 재난재해 방지





제 4 절 연구개발 과제 구성

1. 후보과제 Pool 구성

□ 정책, 기술, 시장, 동향 분석 결과 및 **기술수요조사 결과 66건을 토대로 각 제안 과제 간의 유사.중복 내용을 검토하여 30개 과제로 정리**하여 **후보과제 목록**을 **작성**

▌표 4.4.1 후보과제 목록▐

기술분야		후보과제 목록
대규모 용슈공급관의 비파괴 정밀진단 기술 개발	1	관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
	2	관 내면 누수탐지 multi-sensor 기술 개발
	3	자기 위치측정 장치(시스템) 개발
	4	관 내부 탐상용 다축 카메라 개발
	5	관 내부 상태 3차원 그래픽 기술 개발
	6	비파괴 3차원 영상화 기술 개발
	7	관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
	8	유체유영형 이동체 개발
	9	자율주행형 이동체 개발
	10	관 외면 이동체 개발
	11	이동체 투입회수 기술(장치 등) 개발
	12	이동체 비상대응 기술 개발
	13	이동체 관제기술 개발
	14	센서 데이터 송수신(통신) 장치(시스템) 개발
	15	이동체 저전력(고성능) 전원공급(배터리 등) 기술 개발
	16	비파괴 탐상을 위한 관표면 전처리 기술(관세척 장비 등) 개발
대규모 용슈공급관의 비파괴 성능평가 기술 개발	17	비파괴 진단DB(3D)를 활용한 구조해석 기술 개발
	18	잔존수명 예측 평가 기술 개발
	19	비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발
	20	비파괴 종합적 개량의사 결정 기술(시스템) 개발
	21	비파괴 진단 테스트베드 구축, 효과검증
	22	비파괴 탐상정보 통합 운영관리시스템 개발
대규모 용슈공급관의 구조적 상태감시 기술 개발	23	실시간 구조적 상태감시 기술 개발
	24	GPR 기반의 지중탐상 기술 개발
	25	지중환경 영향평가 기술 개발
	26	드론기반의 원거리 감시기술 개발
	27	실시간 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발
	28	수리정보를 활용한 누수예측 기술 개발
	29	구조적 감시 테스트베드 구축, 효과검증
	30	실시간 구조적 상태감시 통합관리 기술 개발

2. 후보과제 Pool 중복성 검토

□ 그간 정부 각 부처에서 시행한 국가R&D에 대해 기술개발 분야, 목적, 대상, 수준 등을 명확히 하여, **기술개발 중복성으로 인한 예산낭비를 예방**하고,

□ 동시에 기술의 중복성을 회피하고, **해당기술을 고도화·첨단화할 수 있는 대안**과 **R&D 추진전략을 수립**

- 중복성 검토는 기존 국가 R&D와 최근 수행(미완료) 또는 수행예정인 과제 중심으로

가. 기존 국가 R&D 중복성

□ **상하수도, 원자력, 가스, 기타 플랜트 배관 등을 중심으로**, 비파괴 중심의 진단, 성능평가, 구조적 상태감시 예측관련 검색수식어를 활용, **그간 발간된 국가 R&D 보고서를 토대로 검토**

- 검색수식어, Pipe, Pipeline, Nondestructive, Inspection, Evaluation, Assessment, Robot, Structural, Condition, Monitoring 등을 조합하여 검색

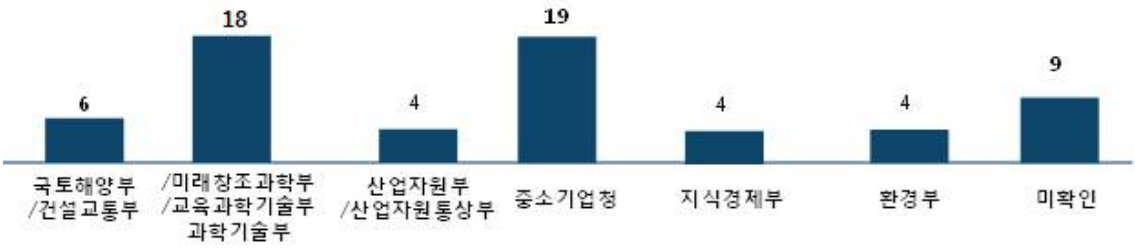
- 검색 사이트, http://radar.ndsl.kr/ 를 활용(National Digital Science Library)

□ 검토는 적용분야, 세부기술, 주요 기술개발 내용을 중심으로 하여, 기술적 측면에서의 관련성을 **High, Middle, Low, None으로 구분하고, 중복여부에 대한 판단**

- 각 해당분야 전문가로 구성된 기술위원회 위원을 거쳐서 중복성 여부를 판단·확인

□ (정부부처별) **2000년 이후** 관(Pipe)을 대상으로 수행된 **국가 R&D는 총 64건**이며, 이중 **중소기업청과 미래창조과학부를 통해서 가장 많은 R&D 수행**(각 19건, 18건 등)

- 국토교통부는 주로 **수자원 확보를 위한 누수저감과 감시기술**, **GIS 연계한 지하매설물의 안전도 평가, 옥내급수관 진단평가, 2차원적 관 외면 비파괴 탐상 장치 개발 수행**(6건, 10.7%)

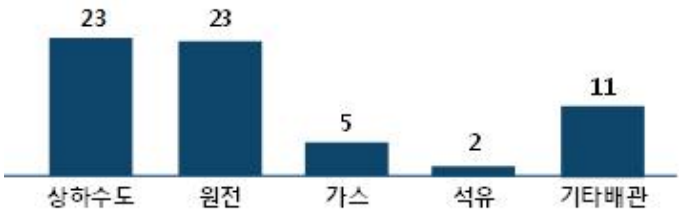


▌그림 4.4.1 정부 부처별 관련 연구수행 현황(2000~2015) ▐

□ **(적용분야) 상하수도(24건)와 원전(23건)으로 각각 36.9%, 35.4%을 차지**하여 관을 중심으로 가장 많은 국가 R&D를 수행

- 상하수도 분야에서는 주로, 대규모 용수공급관로 보다는 배급수관로 중심으로 구조적 상태감시 보다는 누수감시, 비파괴 보다는 관체 직접조사 중심과 평가, 예측 모델, 갱생장비(비파괴 탐상이 아닌 보수보강 로봇 중심), 위치탐상, 소프트웨어, 시스템 개발 위주로 수행

- 원자력, 가스, 석유(송유) 등은 대부분 소형배관 중심으로, 원자력은 외부 탐상용 비파괴 기술, 가스/송유는 피그형 비파괴 탐상기술로, 비파괴라는 기술적 측면에서는 중복될 수 있으나 적용대상 관경, 수압, 내부부식 등 여건이 달라 기술의 난이도나 환경적 접근 방식이 상이 함

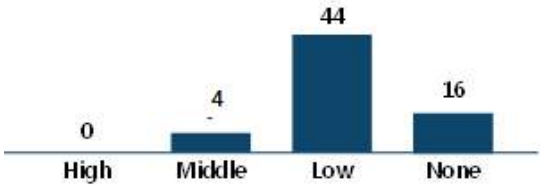


▌그림 4.4.2 분야별 관련 연구수행 현황(2000~2015) ▐

□ **(중복성)** 적용분야, 세부기술, 주요 기술개발 내용을 중심으로 중복성을 검토한 결과, **High는 없었으며, 대부분 Low(67.7%) 또는 None(24.6%)으로 평가**

- Middle 수준의 R&D가 약 7.7%이었으나, 대부분 적용분야, 비파괴, 진단, 감시 등 기술분야 측면에서 유사성은 있으나, 전체적으로는 기술 개발목적, 기술적 난이도와 접근방식이 상이

* 관로분야에서는 누수감시 파이프 또는 초음파를 이용한 수도관 선(line)적탐상 기술과 이미지 기술 등



▌그림 4.4.3 기획연구와의 중복성 검토 결과 ▐

□ (활용·고도화·차별화 방안) 본 기획연구에서는 기존 추진된 R&D 중, **본 기획연구와의 중복성이 Middle 이상인 과제(4 건)로 평가된 과제를 중심으로** 기술적 분석을 통해 대규모 용수공급관로에 대한 **기술 개발과정에서의 활용·고도화·차별화 방안 등을 수립**하여 선진화된 기술전략의 수립이 가능하도록 기획 추진

▌표 4.4.2 후보과제의 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과) ▐

번호	주관 부처	제목	분야	세부기술	주요내용	유사성
1	건설교통부	누수방지 및 저감기술 개발	상수관로 (배급수관로)	진단/누수감시/평가모델	수자원 확보를 위한 관망진단과 누수저감 기술 개발	L
2	환경부	유수율제고를 위한 상수도 관망 블록 최적관리시스템	상수관로 (배급수관로)	누수감시	유수율 제고를 위한 수압, 수량 등 원격 모니터링 기술 개발	L
3	환경부	고품질 수돗물 공급을 위한 최적관망관리 시스템 개발-Eco Star 프로젝트	상수관로 (배급수관로)	진단/보수/갱생장비	상수관망 수리, 수질, 시설 진단프로그램(Dr.pipe), 관로 보수, 갱생장비, 옥내급수관 진단, 평가기술 개발	L
4	환경부	차세대 지능형 상수관망 기술 개발	상수관로 (배급수관로)	진단/감시/설계	소구경내시장비,장거리관내부누수탐상장비, RFID 등을 활용한 매설위치 모니터링, 스마트미터, 수질센서와 감시운영기술, 보강용 갱생기술 (센서장착, 모니터링) 등 개발	L
5	과학기술부	상수도관망 시스템의 오염예방 및 위험관리 통합시스템의 개발	상수관로 (배급수관로)	수질감시	수리적 기법을 활용한 상수관망 내 수질오염 확산과 예측을 통한 위험관리 대응체계 기술 개발	N
6	환경부	내부수질관리 및 외부전기방식에 의한 상수관 부식원격제어와 통합관리시스템 기술개발	상수관로 (배급수관로)	부식제어	수도관 부식방지와 제어를 위한 부식성 수질조절과 외부방식 기술 개발	N
7	국토해양부	U-City 도시시설물의 지능화 체계구축을 위한 상수도관의 중앙누수모니터링 시스템 개발	상수관로 (배급수관로)	누수감시	상관식 누수탐지기를 이용한 누수모니터링 기술 개발	L
8	중소기업청	실시간 영상 획득을 이용한 관로 세척장치 설계 개발	상수관로 (배급수관로)	갱생장비	관로 세척을 하면서 실시간 시공영상을 획득할 수 있는 기술	L
9		상수도관로의 부식 및 노후도 예측모델 개발	상수관로 (배급수관로)	직접진단/평가모델	상수관로에 대한 부식진단(직접조사)과 상태예측 모델(점수평가방식 등) 개발	L
10	중소기업청	이동식 중형 노후 상하수관로 청소용 로봇장치 개발	상수관로 (배급수관로)	갱생장비	관로 갱생에 청소 등 다용도 기능으로 활용할 수 있는 기본 플랫폼 개발	L
11	산업통상자원부	누수 감지 기능을 갖는 합성수지관 개발	상수관로 (배급수관로)	누수감시	합성수지관에 감지선을 와인딩하여 누수를 감시할 수 있는 기술 개발	M

12	건설 교통부	DIPT(Digital Image Processing Technology)를 이용한 상하수도관망의 상태 및 신뢰성 평가기술 개발	상수관로 (배급수관로)	비파괴 진단	초음파를 이용하여 2차원 단면 영상화를 확보, 관의 상태를 평가하는 기술	M
13	중소 기업청	대구경 상수도관 노후관로용 비굴착 보수시스템 개발	상수관로 (도송수관로)	갱생장비	1500 mm 세척, 도장재 제거, 표면처리, 도장 등 기능을 갖는 갱생장비 개발	L
14	중소 기업청	노후 상수도 관내 인체 위해성 불순물질 제거용 CNC 3축 로봇 제어 무인 관로 청소용 이동 대차 개발	상수관로 (도송수관로)	갱생장비	관경 1,500~3,000mm 세척용 갱생장비 개발	L
15	건설 교통부	에너지절약 건물내 노후급수관의 상태 진단 및 평가를 위한 안전진단기술 개발	옥내급수관 (소형관로)	직접진단/ 비파괴 진단/평가 모델	옥내급수관 직접진단, 상태예측, 갱생, 비파괴 진단기술 개발	L
16	중소 기업청	하수관망 손상의 다목적 검사를 위한 통합 시스템 및 운용기술 개발	하수관거	센서/진단 장비	하수관거 손상검사를 위한 위치추적, 맵핑, 변형율 측정 알고리즘, 센서, 이동장비 개발	L
17	중소 기업청	검사로봇의 성능 향상을 위한 지관제거/보수용 로봇모듈 개발	하수관거	이동장비	기존하수관거보수장비의성능을향상할수있는 모듈(구동, 회전, 지지등)개발	N
18	건설 교통부	멀티센서를 이용한 지하매설관로 상태평가 및 관리시스템 개발	상하수도 (하수관거)	비파괴(CCTV 등)/진단장비/소프트웨어	관 내부상태를 정확히 영상을 정확히 해석하고 정량화할 수 있는 이미지 소프트웨어, 관 내부 이동장치, DB관리시스템 개발	L
19	중소 기업청	상·하수도 관로의 유지보수를 위한 로봇용 다단 변속 제어장치 개발	상하수도	보수장비	관로 보수장비의 변속제어 장치의 개발	N
20	중소 기업청	초음파를 이용한 갱생관 두께 비파괴측정 로봇개발	상하수도	비파괴(초음파)/진단장비	갱생에 사용되는 플라스틱(FRP, PVC, PE등)에 대한 시공 후 초음파로 두께를 비파괴적으로 측정할 수 있는 검사장비 개발	L
21	중소 기업청	연성관(Flexible Pipe) 변형량 측정 및 CCTV 촬영조사를 병행할 수 있는 CCTV 자주차 및 시각화 솔루션 개발	상하수도	비파괴(CCTV)/진단장비	CCTV를 이용하여 연성관의 변형과 상태를 동시에 파악할 수 있는 검사 이동장비 개발	L
22	중소 기업청	지하매설 배관위치와 손상부위측정 장비 개발	상하수도	관로탐지/ 외부도장재 손상 진단	하나의 장비로 전자유도탐사법에 의한 금속관로탐지와 DGVG 기능으로 코팅결함을 탐지하는 통합측정 장비 개발	N
23	건설 교통부	GIS를 이용한 지하매설물의 안전도평가시스템 개발	상하수도	평가	GIS와 연계하여 점수평가를 통해 관의 상태를 평가하는 기술 개발	L
24	중소 기업청	초음파를 이용한 갱생관 두께 비파괴측정 로봇개발	상하수도	비팍괴 진단/이동장비	초음파를 이용하여 갱생관의 두께를 측정할 수 있는 기술(이동장비의 진동최소화, 진동해석 기법 등)개발	L
25		유도초음파를 이용한 직선배관의 원거리 결함 탐지 실험	원전 (소형배관)	비파괴 진단	유도초음파기술을 활용하여 원전배관의 결함을 탐지 할 수 있는 기술개발	L

26	과학 기술부	탄성파를 이용한 원전기기시스템의 상태진단기술연구	원전 (소형배관)	비파괴 진단	초음파-탄성파진단시스템을위한핵심기반기술	L
27	교육 과학 기술부	원전 배관손상 비파괴 진단 신기술 개발	원전 (소형배관)	비파괴(위상배열, 열화상, 레이저 초음파, 유도초음파 등)/센서/영상화	위상배열초음파, 초음파 열화상, 레이저 초음파 탐상 기술 요소기술(탐촉자, 영상화 등) 배관 손상검사 기술개발	L
28		자왜 유도초음파 기술에 의한 배관의 결함 탐지	원전 (소형배관)	비파괴 진단	전자기음향 유도초음파 검사법과 병행하여 자왜 유도초음파 검사법을 이용한 배관결함 탐지 기술 개발	L
29	산업 자원부	중수로 피더관 결함 검사 기술 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단	사람접근이 어려운 고방성능 구역 내 배관에 대한 유도초음파 기술을 적용한 균열 검사 기술 개발	L
30	과학 기술부	가압수형 원전 2차측 배관 감육 연속 감시 시스템 개발	원전 (소형배관)	배관부식감시	원자력배관상태(부식)감시를위한 등전위교번식 직류전위차법(ES-DCPD)의 개발	L
31	교육 과학 기술부	영상신호를이용한원전배관 누설감시신기술개발	원전 (소형배관)	누설감시	영상신호를 이용한 원격방식으로 원전배관의 구조물 진동 측정을 통한 누설감시와 음향신호분석을 통한 누설 위치탐지기술 개발	N
32		원전 배관 온라인 감시를 위한 실험적 연구	원전 (소형배관)	비파괴 감시	유도초음파와 AE 기술을 활용하여 원전 배관의 결함 탐상을 감시할 수 있는 기술 개발	L
33	미래 창조 과학부	원자력 발전소 시설물의 상시 모니터링 시스템	원전 (소형배관)	비파괴 감시	원전 시설물의 노후화로 인한 손상을 유도초음파를 통해 사전에 감지 대응할 수 있는 기술 개발	L
34	과학 기술부	중수로 원전 칼란드리아 전면부 감시 점검 이동형 로봇개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비/시뮬 레이션 S/W	사람의 접근이 불가능한 중수로형 원자력발전소의 칼란드리아를 진단(입체영상/열영상/3차원시뮬레이션 등) 할 수 있는 기술 개발	L
35		원전 기기 부품의 온라인 연속 감시를 위한 유도초음파 진단 기술 개발	원전 (소형배관)	비파괴 감시	유도초음파 기법을 이용하여 스테인리스 배관에 대한 온라인 연속 감시를 통해 결함 탐상을 감시 할 수 있는 기술개발	L
36		전자기음향 유도초음파 탐상법에 의한 중수로 피더관의 결함 탐지	원전 (소형배관)	비파괴 진단	전자기음향파(센서 설계개발) 유도초음파를 이용하여 접근이 곤란한 중수로피더관(곡관부)의 균열을 탐상하기 위한 기술개발	L
37	지식 경제부	광계측을 이용한 원전설비의 비파괴 안전진단평가	원전 (소형배관)	비파괴 진단	변형 결함을 계측 가능한 레이저 계측기 계측기술 개발(시각화 프로그램 포함)	L
38	지식 경제부	화력발전소 배관 내부 검사용 로봇 기관 비파괴 진단기술 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	소구경 수직/수평 구조 배관 내부 이동 로봇기술과 레이저를 이용하여 배관 내부의 형상을 복원하고, 이상 상태를 탐지할 수 있는 기술 개발	M

39	지식 경제부	고소지역 장애물 극복형 원자로 배관 검사 로봇 개발	원전 (소형배관)	이동장비	고공에 설치된 복잡한 연결 구조의 배관을 타고 다니면서 검사가 가능한 고소지역 장애물 극복형 원자로건물 배관 검사 이동장비 개발	N
40	지식 경제부	곡관 및 분기관이 존재하는 원전 배관의 상태 감시 및 진단용 초음파 검사 로봇 시스템 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	원자력 발전소에 설치된 곡관 및 T자형 분기관 등 접근한계를 가지는 구조물에 대하여 EMAT Sensor를 장착한 탐상 이동장비 개발	L
41	과학 기술부	원자력 내방사선 로봇 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	원자로시설의 검사(감육상태,초음파,내방사선카메라 등)와 냉각제파이프 이물질 제거 등을 원격으로 제어 수행할 수 있는 이동장비 개발	L
42	중소 기업청	원자로 감시용 실시간 영상전송 로봇플랫폼 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	극한 작업환경에서 감시와 검사가 가능한 로봇플랫폼(미세모터제어,전력제어,영상화) 개발	L
43		원자력 산업용 첨단 로보트 기술 개발	원전 (소형배관)	이동장비	원전용 로봇시스템의 원격 현실감 기술과 지능제어 기법에 관한 연구	L
44	산업 자원부	Tele-existence 기술을 활용한 원전용 원격조작 로봇 기술개발	원전 (소형배관)	이동장비	Tele-existence 기술(무선네트워크, 3차원 거리측정, 시각계산 알고리즘 등)을 활용한 원전용 원격조작 이동장비 기술개발	L
45	과학 기술부	퍼지 이론 및 진화 연산 기법을 이용한 원전 작업용원격 제어 이동 로봇의 고장 극복에 관한 연구	원전 (소형배관)	이동장비 설계	원전과 같은 위험한 환경에서 원격제어되고 있는 이동장비의 고장상황에 대한 퍼지고장 진단 시스템을 진화연산을 사용하여 설계하는 방법 개발	L
46		원전 기기 원격 검사 및 평가 시스템 모델링	원전 (소형배관)	감시	웹과 자바를 이용하여 원자력발전소 가동중에 원전안전기기에 대한 안전성검사를 온라인으로 접근하여 수행할 수 있는 시스템 개발	N
47	산업 통상 자원부	저주파수 진동을 이용한 온라인 배관감육 감시 시스템 개발	원전 (소형배관)	비파괴 감시	가속도계 측정 범위의 저주파수 진동을 이용한 휴대용 배관감육 감시 시스템 개발	L
48	중소 기업청	배관진단용 스마트피그 개발	가스 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	원유, 정유, 석유화학, 천연가스 배관의 결함탐상에 이용할 수 있는 배관진단용 스마트 피그(가속도계, 센서모듈, 데이터 획득 등 탑재) 진단기술(배관위치, 변형률, 피그속도 등) 개발	M
49	중소 기업청	중구경 튜브 진단용 초음파 검사장치 개발	가스 (소형배관)	비파괴 진단	초음파 (Pulse/Echo) 방법을 이용하고 다수의 초음파 트랜스듀서를 탑재하여 측정신뢰도와 측정속도를 높인 배관 진단 기술개발	L
50	과학 기술부	형상인식이 가능한 비접촉 전자기 계측 시스템 개발	가스 (소형배관)	비파괴 진단	가스관과 같이 직접 측정이 어려운 배관에 대한 Magnetic Flux Leakage(MFL)방법에 의한 비접촉 비파괴 검사 시스템을 개발	L

51	과학 기술부	GPS를 이용한 배관침하 감시기술 현장적용 연구	가스 (소형배관)	감시	GPS를 이용한 가스배관 감시기술(침하, 변위량) 개발	L
52	중소 기업청	배관진단용 소나 캘리퍼 개발	가스/석유 (소형배관)	비파괴 진단/이동 장비	석유화학, 가스배관 등 배관두께 감소, 기하학적인 변형을 초음파 펄스/에코 방식으로 진단할 수 있는 250 mm 소나 캘리퍼 개발	L
53	과학 기술부	석유화학 플랜트 핵심설비의 수명평가 및 수명연장 기술 개발	석유 (소형배관)	비파괴 진단/잔존 수명 평가/감시	석유화학, 발전설비, 폐기물 소각로 등 고온 분위기에 노출되는 보일러, Heater, 가열로, furnace 튜브 등의 관상(Pipe/Tubular) 부품류에 나타나는 고온 부식현상에 대한 손상기구 해석, 내식성 평가와 수명관리(방사선, M리, 열교환기 온라인 감시기술 등) 관련기술 개발	L
54	중소 기업청	중화학 산업 설비 파이프 및 튜브의 결함 검사 로봇 시스템 개발	석유 (소형배관)	이동장비	석유화학 설비의 Reformer tube, eater tube, 관로부식, 보일러 튜브 감육, 균열 검사등 시설물 결함에 전자기를 결합하여 검사하는 이동장비 기술개발	L
55	교육 과학 기술부	무선통신 음향 방출 센서를 이용한 가압관 및 탱크의 누출 현상의 3차원 모니터링과 자가 치료시스템	모든배관 (소형배관)	누출감시	복합 IT 기술(센서, 단말기, 근거리 통신, RFID, 소프트웨어, PDA, 음향방출 등)을 이용하여 지하 탱크과 배관 누출현상을 모니터링(위치, 양) 하는 기술개발	N
56	과학 기술부	열교환기의 부식 및 스케일 on-line 모니터링 기술 개발	모든배관 (소형배관)	전기화학적 감시	열교환기의 부식과 스케일이 진행되는 동안에 이를 전기화학적인 수단을 이용하여 on- line monitoring 기술 개발	N
57	교육 과학 기술부	시간역전 원리를 이용한 판 및 관 구조물의 첨단 비파괴평가 기술 개발	모든배관 (소형배관)	비파괴 진단/감시	시간역전(time reversal) 원리를 이용하여 초음파 기반의 결함(손상) 탐지, 정량화, 영상화 기술을 개발	N
58	과학 기술부	로봇위치제어를 위한 물체 화상처리 및 비젼 제어 기법	모든 배관	이동장비 제어	물체 화상 처리 기법과 비젼제어 기법을 통합한 소프트웨어와 비젼시스템과 이동장비 제어기 간 인터페이스 프로그램 개발	N
59		안전 계측기술 개발	구조물	진단	Laser를 이용한 대형구조물의 3차원거동 계측, SQUID 비파괴평가, 사용중인 배관설비의 손상상태 비파괴평가 등 시설물 전반에 걸친 감시, 진단요소 기술 개발	L
60	중소 기업청	방사성 동위원소 Gd-153을 이용한 가동 중 배관의 두께 및 부식 손상 측정용 Radiometric scan 시스템 개발	가스/석유/중화학 등	비파괴 진단	방사성 동위원소 Gd-153을 이용한 가동 중 배관의 감육(두께) 및 부식 손상 측정용 Radiometric scan 시스템 기술개발	L
61		테라헤르츠 미래 선도기술	광범위	비파괴 진단	테라헤르츠기술을 이용한 원천기술(영상화) 개발	N

62	교육과학기술부	금속성 거대구조물에서 발생하는 미세 결함을 검출하기 위한 자기누설탐상기법 개발에 관한 연구	구조물	비파괴 진단	금속 구조물에서 발생하는 미세결함(2mm x 10mm)을 자기누설(Magnetic Flux Leakage)방식으로 감지(결함 형상, 치수변화 등)해 내는 기술 개발	N
63	중소기업청	3D 스테레오 카메라를 활용한 비접촉식 자동 변위측정시스템 개발	구조물	감시	3차원 형상인식 스테레오 카메라와 레이져 거리측정기를 활용하여 목표인식, 추적 변위 측정장비를 개발하고, 3차원 변위를 모니터링시스템으로 전송하는 무선 DAQ 송수신 모듈을 개발	N
64	중소기업청	배관 두께측정 센서 개발을 통한 예측정비 system 구축	석탄	감시	석탄회 이송용 주철배관의 마모를 상시적으로 감시하여 예측 정비를 구현하기 위한 센서와 온라인 모니터링 시스템 개발	N

▌표 4.4.3 후보과제의 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과)▐

주관부처	제목	분야	세부기술	주요내용	활용·고도화·차별화 방안		
산업통상자원부	누수 감지 기능을 갖는 합성수지관 개발	상수관로 (배급수관로)	누수감시	합성수지관에 감지선을 와인딩하여 누수를 감시할 수 있는 기술 개발	활용		○사고발생 사후가 아닌 사전예측으로 고도화·차별화 필요 ○감시센서는 비파괴 중심
					고도화	○	
					차별화	○	
건설교통부	DIPT(Digital Image Processing Technology)를 이용한 상하수도관망의 상태 및 신뢰성 평가기술 개발	상수관로 (배급수관로)	비파괴 진단	초음파를 이용하여 2차원 단면 영상화를 확보, 관의 상태를 평가하는 기술	활용		○초음파 이용 외면진단기술로(외면 부식깊이 제한) 본 기획에서는 내면 장거리 비파괴 탐상(1 km <)으로 차별화되어 있으며, 외면은 내·외면부식상태 파악이 모두 가능한 형태로 고도화 ○이미지 영상도 3차원 + 구조해석 + 안전성평가 등 차별·고도화 필요
					고도화	○	
					차별화	○	
지식경제부	화력발전소 배관 내부 검사용 로봇 기관 비파괴 진단기술 개발	원전 (소형배관)	비파괴 진단/이동장비	소구경 수직/수평 구조 배관 내부 이동 로봇기술과 레이저를 이용하여 배관 내부의 형상을 복원하고, 이상 상태 탐지할 수 있는 기술 개발	활용	○	○소형배관 위주의 장비로 주로 외면배관에서 적용되는 기술 ○대규모 용수공급관로 재질과 매설특성에 맞도록 자동화된 부분의 알고리즘 등 활용 가능한 경우 적극 활용 ○센서 등은 탐상목적에 맞도록 차별화 추진 필요
					고도화	○	
					차별화		
중소기업청	배관진단용 스마트피그 개발	가스 (소형배관)	비파괴 진단/이동장비	원유, 정유, 석유화학, 천연가스 배관의 결함탐상에 이용할 수 있는 배관진단용 스마트 피그(가속도계, 센서모듈, 데이터 획득 등 탑재) 진단기술(배관위치, 변형률, 피그속도 등) 개발	활용		○가스배관과 소형배관에 특화되어 있으므로, ○대규모 용수공급관로 ILI 장비 개발시 센서, 통신, 전원공급 방식 등 활용 가능한 기술은 적극 활용 ○다만 대규모 용수공급관로 내부 노후특성에 맞도록 이동체 플랫폼, 각종 센서 탑재방안 등 고도화하고 차별화하여 추진 필요
					고도화	○	
					차별화	○	

나. 최근 수행 또는 수행예정 국가 R&D 중복성

□ 최근 수행중이거나 수행예정인 국가 R&D 중 본 기획과제와 중복 가능성이 있을 수 있는 과제는 **환경부 2개** 과제, **미래창조과학부 1개** 과제이며, 이들 과제에 대해서는 각 기술개발 영역별로 상세 비교 분석 수행

- GBEST 차세대 지능형('12.05~16.04)과제는 환경부 과제로서 개발하고 있는 중복이 가능한 부분은 **상수관망 진단 부분**으로 개발예정 기술은 주로 국산화**(CCTV, 누수탐지)**로, 본 기획과제와는 차별되며, **감시 부분은 주로 수리, 수질 감시**로 본 기획과제의 비파괴 중심의 구조적 진단, 성능, 감시와는 기술적 해결방식이 상이하도록 추진 필요

- 2016년부터 착수예정인 **EI Phase II**는 환경부 과제로서, 상수관망 진단부분에서는 **소구경에 적용할 수 있는 누수, 관 내부 상태(visual)의 3차원 이미지화 등을 개발 예정**이며, 감시 부분은 주로 수리, 수질 감시로 본 기획의 기술개발 추진에서는 비파괴 중심의 구조적 진단, 성능, 감시중심으로 차별 고도화하여 추진 필요

* 누수탐지 기능 또는 visual 3차원 이미지 부분 등은 기획과제 기술 개발시 활용 가능한 부분은 적극 활용하되, 본 기획은 비파괴 기술 중 관의 구조적인 상태를 파악하여 3차원으로 이미지화하고, 그 상태를 구조적인 해석을 통하여 안전성을 평가하는 기술 개발로 차별화고도화하여 추진 필요

- **UGS** 과제는 **미래창초과학부** 과제로서, 최근 발생되고 있는 **지하공간의 문제를 해결**하기 위한 목적으로 수행되고 있으며, **진단과는 중복성이 없으며**, **감시 분야에서 GPR과 탄성파를 활용 분석하는 기술, 지중 환경이 관의 구조적인 상태에 미치는 영향 등에 관한 기술 개발 등에 대한 추진중**

* 감시기술 중 GRP 또는 지중환경에 미치는 영향 등 활용 가능성이 높은 기술에 대해서는 기술개발에 활용하되, 비파괴 중심으로 한 구조적인 상태감시예측으로 센서, 파손예측 등이 차별화하여 추진 필요

▌표 4.4.4 최근 국가 R&D 중복가능성 과제(기획위원회 검토결과)▐

구분	GBEST 차세대 지능형 상수관망 (환경부) '2012~2016 (현 진행중)	EI Phase II (환경부) '2016~2021 (단장선정 후 준비중)	UGS (미창부) '2015~2017 (현 진행중)	기술개발의 차별·고도화 방안
개발목표	국내물산업육성	국내물산업 육성	지하공간안전관리 (싱크홀)	대규모 용수공급관로 진단·성능평가·감시기술 첨단 고도화
관망해석	비정상 상태 해석이 가능한 PDD 기능 개발			

진단 평가 기술 관련	S/W		- 지진방재성능 평가 및 대응 기술 개발 - IoT활용 자산관리 시스템	- 관로 일체형 누수탐지 장치 - 관내 영상 취득 및 분석 시스템 - 상하수관로 주변공동 및 연약지반 탐지 기술	- 대규모 용수공급관로에 대한 장거리 비파괴 면적탐상, 이미지/영상화, 구조적 해석, 잔존수명 예측을 종합한 비파괴 중심의 종합 개량 의사결정 시스템 개발 * 탐상구간당 수십만개 이상의 상태 데이터, 비균질적 상태 정보수집으로 새로운 개념의 성능기준 마련 필요
	H/W	- 소구경 관내 상태(CCTV) 및 누수탐지를 위한 기술(Pure사 사하라 국산화 시도) - 부단수로 관로노선과 위치를 확인할 수 있는 관로탐사(맵핑)장비 - 밸브진단시스템 등	- 소구경 관로 부단수 다기능 진단로봇 - 소구경 장거리 관로 맵핑 장비 - 관체시편 정량분석 장비 - 이동형 원격누수 탐사 장치 - 비금속 관로 탐지 장치		- 대규모 용수공급관로에 대한 단수, 무단수 대응 비파괴 중심의 장거리 면적탐상 가능 Hybrid 센서, 신호해석, 영상화, 통신, 이동장비 등 첨단·지능화 된 기술 개발
운영 감시 (부식 포함)	S/W	- 상수관망 통합관리 시스템 - 스마트블록 구축(설계), 누수(압력) 및 위기관리 감시 시스템	- 상수관망 통합관리 시스템 - 운영최적화 시뮬레이터 - 스마트 예방시트를 이용한 누수감시 시스템	- 매설관에 의한 지반재해 위험 영향인자 분석 및 의사결정 프로세스	
	H/W	- RFID 등을 활용한 매설위치 모니터링 - 스마트 미터, 센서와 감시운영기술(수리, 수질)	- 배관내 생물막 모니터링 - 자가진단/고장분리 기능의 고속응답 수충격 제어 밸브 - AMI연동 상수관망 수압관리 및 누수추적 장비	- 상하수관로 건전도(누수, 변위, 파손, 부식 등) 센싱 및 분석 기술 * GPR, 탄성파 활용	- 대규모 용수공급관로의 실시간 구조적인 상태 변화를 비파괴 기술을 접목(초음파, 유도초음파 등)하여 감시, 사고 발생 전 파손징후를 예측하여 대응 할 수 있는 감시시스템 개발 * 신관보다 노후관에 적용 가능한 기술, 그리고 취약구간에 대응할 수 있는 기술로 첨단화
			- 센서네트워크 기반 상수관망 운영관리 시스템(수리, 수질)		
세척기술		- 아이스 피깅을 이용한 관세척 기술	- 고압수분사 관 세정 시스템 - Flushing, Pigging장비를 이용한 수질저하방지 시스템		
노후관 갱생 기술 관련 (소형관 위주)		- 관내부에 도료가 함침된 보강용 튜브를 설치하고 경화하여 보강하는 기술	- 현장제조 PE관을 이용한 이동형 비굴착 갱생장치 - 해외수출형 고강도 상수도 PVC관 및 이음관 개발		
에너지 절감		- 에너지 최적화기술 (수요예측, 소수력 에너지 회수 등)			

3. 후보과제 우선순위 평가

□ 후보과제 Pool로 구성된 후보과제에 대하여 **우선순위 조사 실시**

- 기술수요 조사시 기술명 및 내용을 검토하여 기존 기술명 유지, 기술 범위를 세분화하여 범위 확대, 내용이 유사한 기술명의 통합, 신규 제안 과제 등을 정리함

* 또한 기존 국가 R&D와 최근 수행 또는 예정인 과제와 중복되는 과제는 제외

□ 후보과제를 검토하여 **기술분류체계, 유사 분야, 과제 규모 등을 고려하여 후보과제 선정**

- 목표 달성을 위한 핵심기술 여부, 기간내 기술개발 성공 가능성 여부, 기술이전·상용화·사업화 가능성, 정부(국토부) 지원 필요성, 독창성 및 우월성(기 추진과제와 중복성 낮은 정도) 등에 대하여 각 5점 척도로 평가를 실시함
- 각 후보과제별 제목, 연구내용, 연구기간, 소요예산 등을 고려하여 과제 범위 및 규모, 내용을 검토하여 재구성 하여 후보과제를 선정함
- 30개 후보과제의 평가 순위를 고려하고 후보과제 중 정부 각 부처에서 기 추진 또는 추진 중인 타 과제와의 중복성이 큰 경우, 연구 범위가 넓게 확대 되는 경우에 대해서는 연구개발의 선택과 집중을 위하여 7개 과제는 중복성으로 제외, 10개 과제는 규모와 내용을 검토, 통합하여 12개 과제로 정리

□ 중점추진 분야별로 후보과제를 검토하여 연구개발과제를 구성함

- 4개 중점추진 분야별로 12개 최종 후보과제를 연구개발 과제로 구성

• **(중점추진분야 1)** 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단 기술 개발 분야 :

- 관내면 비파괴 상태진단을 위한 multi-sensor 기술, 비파괴 데이터의 3차원 영상화 기술, 관 내부 탐상 ILI(In-line inspection) 이동체, 진단장비 이동체 투입회수 기술, 진단장비이동체의 운영 제어 기술을 포함

• **(중점추진분야 2)** 관외면 정밀진단 자동화 기술개발 분야 :

- 관외면 비파괴 상태진단을 위한 multi-sensor 기술, 비파괴 데이터의 3차원 영상화 기술, 관 외면의 정밀탐상을 위한 자동화 장비 기술을 포함

• **(중점추진분야 3)** 비파괴 종합적 성능평가 기술개발 분야 :

- 비파괴 진단 장비, 방법, 기준 등에 관한 표준 가이드라인, 비파괴 진단 결과에 따른 잔존수명 평가 등 종합적 개량의사 결정, 비파괴 탐상정보와 GIS 등 정보시스템과의 연계, 통합 운영관리 시스템 기술을 포함

• **(중점추진분야 4)** 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발 분야 :

- 실시간 구조적 상태감시 센서 및 네트워크 기술, 파손예측 기술, 실시간 구조적 상태감시 테스트 베드 적용 및 정보통합관리 시스템 기술을 포함

▌표 4.4.5 후보과제 우선순위 산정 평가표▐

NO	후보과제명	핵심기술(5)	성공가능(5)	기술사업화(5)	정부지원(5)	독창성우월성(5)	합계평균(5)	점수순위	검토
1	관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	4.85	4.50	4.68	4.70	4.60	4.67	1	중점분야 1과제
2	관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	4.47	4.54	4.76	4.80	4.70	4.65	2	중점분야 2과제
3	관 내면 누수탐지 multi-sensor 기술 개발	3.96	3.81	3.78	3.61	3.41	3.71	24	중복/제외
4	자기 위치측정 장치(시스템) 개발	4.24	4.28	4.46	4.53	4.46	4.39	6	1번과제에 통합
5	관 내부 탐상용 다축 카메라 개발	2.97	2.97	2.96	2.96	2.67	2.90	28	중복/제외
6	관 내부 상태 3차원 그래픽 기술 개발	4.02	3.96	3.54	3.85	3.40	3.75	23	7번과제에 통합
7	비파괴 3차원 영상화 기술 개발	3.90	3.83	3.80	3.92	3.76	3.84	19	중점분야 3과제
8	유체유영형 이동체 개발	4.82	4.62	4.56	4.50	4.43	4.59	4	중점분야 1과제
9	자율주행형 이동체 개발	4.65	4.56	4.14	4.16	4.05	4.31	7	8번과제와 통합
10	관 외면 이동체 개발	3.98	4.24	4.07	4.23	4.12	4.13	12	중점분야 2과제
11	이동체 투입회수 기술(장치 등) 개발	4.16	4.54	4.26	4.38	4.06	4.28	8	중점분야 1과제
12	이동체 비상대응 기술 개발	3.96	3.84	3.63	3.86	3.56	3.77	21	13번과제에 통합
13	이동체 관제기술 개발	3.84	3.96	3.56	3.64	3.94	3.79	20	중점분야 1과제
14	센서 데이터 송수신(통신) 장치(시스템) 개발	3.74	3.85	3.83	3.80	3.63	3.77	22	8,9번과제에통합
15	이동체 저전력(고성능) 전원공급(배터리 등) 기술 개발	3.26	3.15	3.17	3.05	3.35	3.20	26	8,9번과제에통합
16	비파괴 탐상을 위한 관표면 전처리 기술(관세척 장비 등) 개발	2.99	2.84	2.68	2.63	2.86	2.80	29	중복/제외
17	비파괴 진단DB(3D)를 활용한 구조해석 기술 개발	4.49	4.70	4.65	4.61	4.55	4.60	3	7번과제에 통합
18	잔존수명 예측 평가 기술 개발	3.96	3.85	3.85	4.32	3.85	3.97	15	20번과제에 통합
19	비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발	4.14	4.31	4.21	4.09	3.96	4.14	11	20번과제에 통합
20	비파괴 종합적 개량의사 결정 기술(시스템) 개발	4.50	4.57	4.51	4.44	4.36	4.48	5	중점분야 3과제
21	비파괴 진단 테스트베드 구축, 효과검증	4.23	4.26	4.16	4.18	4.06	4.18	10	13번과제에 통합
22	비파괴 탐상정보 통합 운영관리시스템 개발	4.02	3.97	3.83	4.12	3.68	3.92	6	중점분야 3과제
23	실시간 구조적 상태감시 기술 개발	4.17	4.20	4.08	4.48	4.02	4.19	9	중점분야 4과제
24	GPR 기반의 지중탐상 기술 개발	2.83	2.80	2.92	2.62	2.57	2.75	30	중복/제외

25	지중환경 영향평가 기술 개발	3.54	3.62	3.71	3.67	3.62	3.63	25	중복 /제외
26	드론기반의 원거리 감시기술 개발	3.17	3.05	3.20	3.23	3.27	3.19	27	중복 /제외
27	실시간 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발	4.06	3.98	3.81	4.24	3.81	3.98	13	중점분야 4과제
28	수리정보를 활용한 누수예측 기술 개발	3.99	3.98	3.98	3.98	3.98	3.98	14	중복 /제외
29	구조적 감시 테스트베드 구축, 효과검증	3.89	3.87	3.85	3.83	3.81	3.85	18	30번과제에 통합
30	실시간 구조적 상태감시 통합관리 기술 개발	3.96	3.89	3.97	4.02	3.61	3.89	17	중점분야 4과제

4. 연구개발 과제 구성

□ 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시시스템 개발에 대한 연구개발 과제는 다음과 같이 구성함

▌표 4.4.6 연구개발 과제 구성(안)▐

중점추진분야	과제명	기획 RFP 항목
1. 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단기술 개발	▪ 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발 ▪ 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발 ▪ 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발 ▪ 이동체 관제기술 개발	비파괴 진단·성능평가 지능화
2. 관외면 정밀진단 자동화 기술개발	▪ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발 ▪ 자동화 정밀탐상 장비 개발	비파괴 진단·성능평가 지능화
3. 비파괴 종합적 성능평가 기술개발	▪ 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발 ▪ 비파괴 종합적 개량의사 결정 기술 개발 ▪ 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발	비파괴 진단·성능평가 지능화
4. 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발	▪ 실시간 구조적 상태감시 기술 개발 ▪ 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발 ▪ 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	구조적 상태감시·예측 시스템

5. 주요 기술에 대한 개발방향

□ 본 기획에서는 연구개발 과제 구성(안)은 그간 조사한 기술개발 동향조사와 기획위원회 전문가 의견 수렴을 통해 도출하였고, 이중 개발기술 대표기술에 해당하는 **「첨단지능형 비파괴 ILI(In-line inspection) 이동체 개발」**에 대해서는 1차 타당성 평가('15.11.03)를 반영을 통하여 **구체적인 검토를 통하여 기술 개발방향을 설정**

□ 주요 목표설정 내용

- 대규모 용수공급관로의 범위
- 대규모 용수공급관로의 개발 대상 관종 범위
- 대규모 용수공급관로 대상 적정 관경 범위
- 단수 또는 무단수 시 필요한 관내면 비파괴 정밀탐상 장비의 작업능력
- 관내면 비파괴 정밀탐상 장비의 구동방법
- 관내면 비파괴 정밀탐상 장비 개발시 고려해야 할 주요사항
- 개발기술에 대한 선진국 대비 목표기술 수준
- 개발기술에 필요한 적정 개발기간

□ 대규모 용수공급관로의 범위

- 용수공급관로는 다양하나, **단선관로이면서 사고발생시 면적, 공간적인 피해 규모가 막대한 관로**로 제한 필요

► 배수지 이후 배수본관, 지관, 급수관을 제외한 도·송수·공업용수관로로 제한

- (RFP 검토위원회) 댐여수로(수자원), 농업용수관로 등 대상관로 제외

□ 개발대상 관종

- 용수공급관로의 관종은 매우 다양하나, 도·송수·공업용수관로로 사용되는 **주요 관종은 내외면 도복장강관(45%)과 주철관종(46%)**, 다만 두 관종은 제조·매설년도에 따라 도장재 종류 또는 재질적 특성이 달라 기술수요, 개발기간, 성공가능성을 토대로 결정

* 현재 용수공급관로로는 내외면 도복장강관(매설년도에 따라 내외면 도장재 종류가 상이), 주철관종(회주철관, 닥타일주철관, 시멘트모르터 라이닝 닥타일주철관 등)



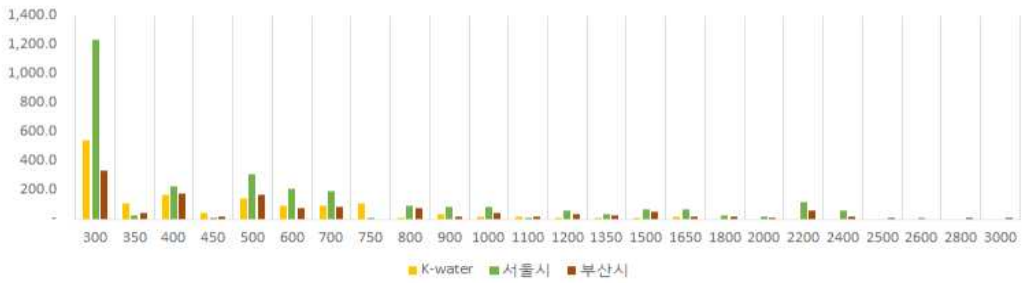
▌그림 4.4.4 대규모 용수공급관로의 재질별 현황(2014 상하수도 통계)▐

□ 개발대상 관경

- 국내에서는 상수도 시설에 대한 통계자료를 매면 조사하여 발표하고 있으나, 각 용도별, 관종별 관경 자료에 대해서는 자료가 부재한 상황, 따라서 본 기획에서는 K-water, 서울, 부산 등 주요 특광역시 등 도·송수·공업용수관로의 주요 관경분포를 토대로, 주요 관경범위를 선정 개발 추진 필요

* **내외면도복장강관은 600 ~ 1,500 mm, 대표관경 1,000 mm, 주철관종**의 경우에는 300 ~ 1,000 mm이며 대표관경은 **500 mm로 설정**

* K-water와 서울시, 부산 등 특광역시의 도·송수공업용수의 대표관경은 다음과 같음



▌그림 4.4.5 대규모 용수공급관로의 관경별 분포현황(2014년도)▐

□ 관내면 비파괴 정밀탐상 장비의 작업능력

- **측정거리)** 현재 용수공급관로의 비파괴 정밀탐상 이동장비의 측정거리는 장거리탐상이 가능하도록 배관망이 구축된 가스·송유관과 달리, 제수밸브(버터플라이 밸브 등), 기타 부속설비 (장비 인입, 인출 등) 등으로 인해 연속적인 측정에 어려움이 존재, 따라서 **도.송수.공업용수관로 상 제수밸브 평균 이격거리(1.5 km, K-water)를 고려**하여 연속적인 **측정인 가능한 거리를 측정거리로 설정**(최소 1.0 km 이상)

* 미국(USEPA) 등은 가능한 탐상거리를 최소 900 mm ~ 수 km로 보고

- **주요조사 내용)** 비파괴 정밀탐상 이동장비를 이용한 **주요 조사내용은 가스·송유관 등, 그리고 선진국의 주요 조사내용을 토대로 구조적인 안전성 측면과 관련성이 높은 보편적인 항목을 기본적인 기능항목으로 설정**

* 부식에 의한 내외면 두께손실, 결함(불연속면), 장비 또는 측정위치 파악 등으로 국한

□ 관내면 비파괴 정밀탐상 장비의 구동방법

- 현재 비파괴 정밀탐상 장비의 구동은 **단수 또는 무단수에 따라 그 형태가 달라지며, 단수와 무단수 적용방식에 따라 서로 다른 형태의 장비 개발 추진 필요**.

* 무단수시에는 관 내부상태 영향을 최소화하기 위해 유체에 압력이나 유속 흐름에 의존하면서 유영(또는 부유)하는 형태의 비접촉식 장비가 활용되고 있으며, 단수시에는 관경 대응력을 높이기 위해 자가추진형태이면서 조립식 형태로 개발 추진

► 대표적인 장비로 캐나다 Pipediver(무단수) 또는 MFL 장비(단수) 등

□ 목표 기술수준

- 현재 전 세계적으로 기술개발이 가속화되고 있으며, 다양한 기술을 가진 업체간 M&A 활발, 선진국과의 기술격차를 해소하기 위해서는 기술개발 추진시 필요 기술 전체의 원천기술 확보 보다는 **기존 기술을 선택적으로 도입·활용, 선택과 집중, 기능과 기술 통합에 중점을 두어 개발 추진시 선진국 대비 100% 가능**(가스 등 기획위원회 전문가 의견)

* 전체 기술을 구성하는 요소기술의 100% 국산화를 통한 기술 개발은 배제

□ 개발기간 설정

- 전 세계적인 기술적인 발전(기술격차)과 진보속도, 국내 타분야 개발 경험 등을 고려할 때 장기적인 개발보다는, 중기적인 차원의 기술 개발 필요, **최소 5년 이상의 기술개발기간 필요**

▌표 4.4.7 첨단지능형 비파괴 ILI(In-line inspection) 이동체 개발방향▐

구분	국내·외 기술동향 분석	1, 2차 기획위원회 ('15.09.21, 10.21)	개발방향
대규모 용수공급관로의 범위	○ 용수공급관로는 도수, 송수, 공업용수관로, 배수본관, 배수지관, 급수관 등이 사용 * RFP 검토위원회, 댐여수로(수자원), 농업용수관로(농촌진흥청) 등은 대상관로에서 제외	○ 대규모 용수공급관로 시설로부터 용수를 공급하는 관로는 도수, 송수, 공업용수관로, 배수본관을 포함	○ 단선관로이면서 사고발생시 **면적, 공간적인 피해가 막대한 관로로 제한** 필요 ► 도수, 송수, 공업용수관로 등 ○ 도수, 송수, 공업용수관로는 경계선이 명확하고, 그 경계선 내 시, 군, 배수구역 전체 또는 대규모 산업단지 등 대규모로 공간적 피해 영향을 주지만, 배수지 이후 배수본관은 하류로 갈수록 사고위치에 피해규모가 다르며, 그 경계선이 모호
대규모 용수공급관로의 관종	○ 대규모 용수공급관로로 사용중인 관로로는 내외면 도복장강관, 주철관종, 콘크리트관, GRP 등이 주로 사용되며, 그 외 폴리에텔렌, 경질염화비닐관, 스테인리스강관 등은 주로 배수관로 또는 급수관으로 사용 ○ 또한 대구경으로 생산·제조 가능한 관종도 이들 관종이 대부분 대구경으로 제조되거나 매설되어 사용 중 * 2013년 상수도통계, 도·송수·공업용수관로(14, 256 km) - 내외면 도복장강관, 6,426 km (45%) - 주철관종, 6,604 km (46%) - 그 외 1,226 km (9%) * 국내 주요 관종별 제조 생산능력 - 도복장강관, ~3,000 mm 또는 그 이상 - 주철관종, 1,200 mm 이하 - 콘크리트관, 과거 1,200 mm 이하 (현재 신규 미설치) - GRP, 현재 1,200 mm까지 수도관으로 적용 검토 대상	○ 대규모 용수공급관로로 사용중인 관로의 주 관종이 내외면도복장강관 또는 주철관종이므로, 이들 관종에 주력하여 우선개발 필요 ► 콘크리트관 또는 GRP 관 등은 매설된 구간길이가 상대적으로 짧음 ► 서울시, K-water의 대규모 용수공급관로의 관경별 관재질 현황을 분석한 결과 350~600mm는 주철관종이, 700mm 이상 관로의 경우에는 내외면도복장강관이 주요한 재질인 것으로 분석됨	○ 대규모 용수공급관로 관종으로 내외면 도복장강관과 주철관종을 포함하되, 이들 관종의 재질적 특성이 달라, 전체적인 기술수요, 개발기간, 개발비용, 성공가능성을 토대로 결정 필요 * 내외면도복강강관은 주로 고분자 계통으로 도장이 되었으나, 주철관종은 도장이 없는 무라이닝 또는 시멘트모르터 라이닝으로 되어 있어, 각 관종별로 적합한 비파괴 기술 개발 필요

대상관경	○ 현재 대규모 용수공급관로에 대한 직접적인 관경 범위에 대한 기준이 없는 상황이며, 대부분 용수공급관로의 관경에 대한 전국적인 통계자료도 전무한 상황 ○ 광역, 서울, 부산 등의 도·송수·공업용수관로의 관경범위를 조사한 결과, 내외면도복장강관은 700 ~ 3,000 mm가 비율이 높은 주 관경범위이며, 600mm 이하는 주철관종이 비율이 높은 주요 관경 범위에 해당	○ 내외면도복장강관 또는 주철관종의 주요 관경 등(생산범위 등)이 주로 강관이 대구경으로 사용되고 있고, 주철관종은 강관에 비하여 관경이 상대적으로 작으므로, ○ 내외면도복장강관은 매설현황을 고려하여 600 mm 이상, 주철관종은 300 mm 이상으로 하되, 도·송수·공업용수관로의 관경범위를 조사한 후, 대표관경을 결정 * 기획위원회의 전문가의 의견은 각 관종별 대표관경은 내외면도복장강관의 대표관경은 1,000 mm, 주철관종은 500 mm	○ 광역, 서울, 부산 등 특광역시 대규모 용수공급관로인 도·송수·공업용수관로 관경별 조사결과를 토대로 주요 관경 범위대에 적용할 수 있는 기술 개발 추진 * 관 재질별 적용 관경범위는 현 관 매설현황과 인력의 관내 접근성 등을 고려하여 설정하였으며, 대표관경은 향후 개발될 장치의 적용성과 크기 변화의 용이성을 고려하여 관경범위의 중간 크기로 설정함. 이에 내외면도복장강관은 600 ~ 1,500 mm, 대표관경1,000 mm, 주철관종의 경우에는 300 ~ 1,000 mm이며 대표관경은 500mm

단수 또는 무단수 관내면 비파괴 정밀탐상 장비의 작업능력	측정거리	○ 현재 가스배관 등은 모든 배관 구조와 부속설비(장비 통과가 가능한 밸브류, 장비 인입, 인출설비를 설치 운영 중) 등이 피그형 정밀탐상 장비가 장거리 주행을 하면서 탐상이 가능하도록 설계·매설 ► 1회 측정거리가 수십 km 에 달함 * USEPA(2012)에서 상수도관에 대해 조사한 결과에서도 가스관/송유관 등은 비파괴 기술에 따라 차이가 있으나, 최소 900 m ~ 수 km로 보고 ○ 반면, 용수공급관로는 장거리 면적탐상이 가능토록 설계·매설이 되어 있지 않아, 가스 등 배관처럼 장거리 탐상은 불가하며, 특히 밸브로 버터플라이 밸브를 사용하고 있어, 단수 또는 무단수 등 장비가 연속적으로 이동하기 어려운 구조임. 다만 광역기준으로 이들 밸브간 이격거리가 평균적으로 1.5 km 수준이므로, 1회 측정거리는 1.5 km 이내로 제약 될 수 있음	○ 용수공급관로의 연속적인 측정에 가장 큰 장애 요인은 밸브간 이격거리가 될 수 있으므로, 밸브간 평균 이격거리를 고려하여 1 km 이상 수준으로 목표를 설정하여 추진함이 바람직	○ 용수공급관로의 밸브간 평균 이격거리를 고려하여 1 km 이상 수준으로 목표를 설정하여 개발 추진
	주요조사항목	○ 현재 국내외적으로 가스관/송유관 등은 사용되는 관내부 이동탐상 장비는 대개 관 변형(휨이나 짓눌림 등), 탐상위치, 부식 등으로 인한 두께 손실(metal loss), 결함 등이 비파괴 정밀이동 탐상시 주요 측정 항목에 해당하며, 장비는 관 변형 등 별도장비로 운영하고, 위치탐상과 두께손실, 결함 등 측정은 기능을 통합한 장비 형태로 적용 ○ 외국에서 용수공급관로에 대해서도 대부분의 장비는 부식으로 인한 금속손실, 위치, 결함 여부 등을 탐상할 수 있는 기능을 갖추고 있음	○ 가스관 등 배관의 관 변형 등은 피그형 탐상장치의 이동장애 등을 고려하여 사전조사용으로 활용되는 측면이 강하나, 용수공급관로에서는 피그형 이동형태의 장비 보다는 용수공급관로 특성에 맞는 항목으로 선택 필요. ► 관의 구조적인 안전성 평가 측면에서 탐상위치, 부식 등으로 인한 두께 손실(metal loss), 결함 등을 주요 조사항목으로 선정 * 균열은 바로 누수로 나타나므로, 누수탐상 기능은 누수탐사 기술로서 해결 필요(개발 제외)	○ 기술동향과 기획위원회 의견 등을 고려, 용수공급관로 특성에 맞도록, 부식에 의한 금속손실, 결함(불연속면), 위치파악 기능을 기본 기능으로 하여 개발추진

구동방법	○ 현재 배관 내부탐상(가스, 송유, 용수공급관로 등)에 사용되는 장비의 구동은 크게, ① 유체흐름에 의해서 이동하는 장비, ② 케이블 견인 차량 장비, ③ 와이어 유도 추진 장비, ④ 자가추진 방식 장비 등이 사용 (EPRI, 2012) ○ 이중 가스/송유관 등은 대부분 피그형 장비를 사용하되 유체의 압력을 이용(고압구간)하거나 유체의 압력을 이용하지 않고, 자가추진 형태로 개발· 적용(저압구간) ○ 캐나다 Pure사는 무단수시에는 유체흐름에 의해서 이동하는 형태의 장비이나 피그형이 아닌 새로운 플랫폼의 이동탐상 장비를 개발(Pipediver) 적용하고 있으며, 단수시에는 관경별 대응이 가능한 자가추진형이면서 조립형 MFL 장비를 적용	○ 용수공급관로의 특성(관 내부상태)을 고려하여, 장비이동에 따라서는 수질에 미치는 영향이 클 수 있으므로, 무단수시에는 관 표면 비접촉하면서, 유체흐름에 의해 유영하듯이 이동할 수 있도록 있는 장비형태로, 단수시에는 관경대응력을 높일 수 있도록 조립식 형태를 고려하여 개발 추진 필요 * 관 내부상태 환경 - 노후관은 대부분 부식으로 내부에 결절(녹)이 존재하고, 표면에는 잔존도장재가 남아있으며, 관 표면에는 슬라임, 도수관로는 민물담치, 이토 등이 퇴적된 환경	○ 무단수시에는 관 표면 비접촉하면서, 유체흐름에 의해 유영하듯이 이동할 수 있도록 있는 장비형태로, 단수시에는 관경대응력을 높일 수 있도록 조립식 형태를 고려한 개발 추진 필요
목 표 기술수준	○ 현재 전 세계적으로 가스관/송유관/원자력 등 다양한 장비유형과 비파괴 기술, 소프트웨어, IT 기술 진보가 가속화 되고 있는 상황 ○ 캐나다 Pure사 등 기존 진단업체들이 용수공급관로에 대해 주요 시장으로 판단하고 진단기술 개발에 주력 ○ 비파괴 업체들간 M&A 등을 통해 배관상태와 종류에 따라 적용 가능한 기술보유 체계로 재편 중	○ 모든 부품 등을 모두 개발하고 그 구성요소를 국산화를 목표로 한다면, 개발 자체가 어려울 수 있으나, 기존 기술을 선택적으로 도입·활용, 선택과 집중을 하면 목표수준을 세계최고 수준(100%)으로 설정도 가능	○ 기획위원회 외 각 분야별 전문가의 기술수요, 수준, 예측조사를 토대로, 목표수준을 재설정 필요 ► 현재 국내 비파괴 기술에 대한 전반적인 원천기술은 선진국 의존도가 높고, 장비 제작과 핵심기술은 선진국 대비 낙후된 것으로 보고 - 검사기술 50% 수준, 센서/장비 30% 수준 ○ 따라서, 요소기술에 대해 국산화를 목표로 설정하기 보다는 국내외 기존 기술을 토대로 기능과 통합에 중점을 두어 개발 필요

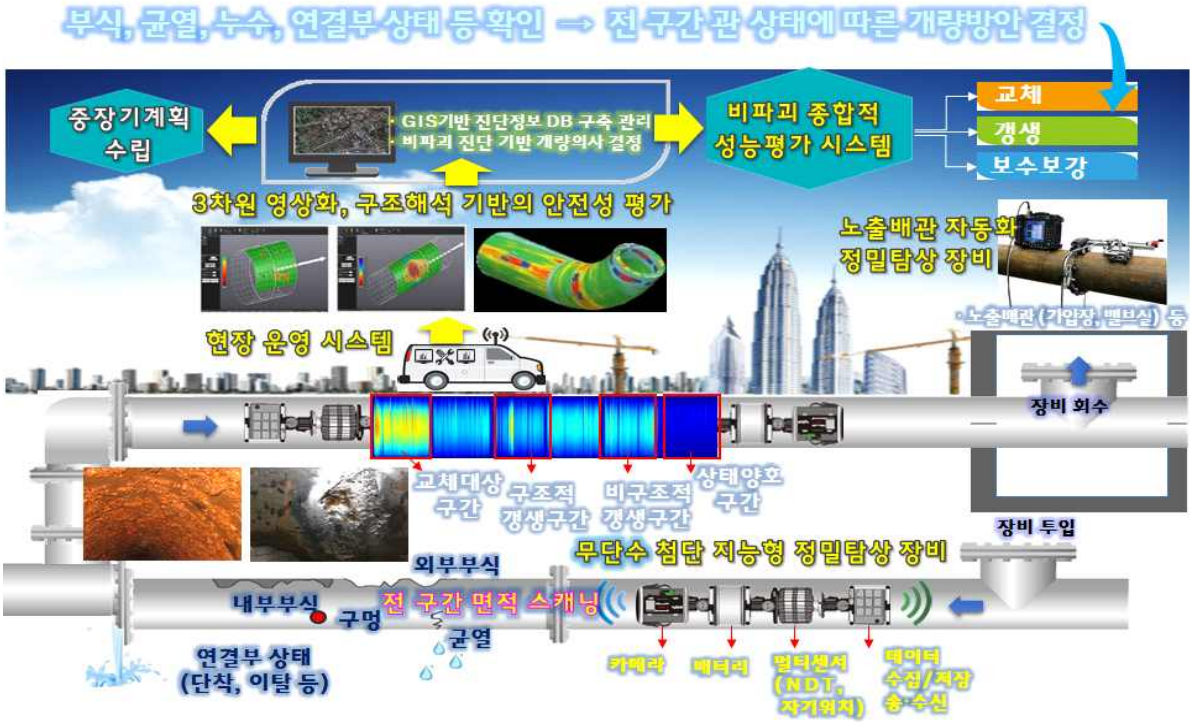
개발기간	○ 선진국에서도 각 관종, 관경, 그리고 용도(가스/송유/원자력/용수공급관로)에 맞춰, 대표적인 장비를 우선 개발 후 단계별로 발전시켜 나가는 추세 ○ 국내 가스관도 유체이용 피그형 장비 이후 자가추진형 장비를 단계별로 개발 추진하고 있으며, 관경도 대표관경을 대상으로 개발 추진 중 ► 국내 가스관은 2012 ~ 2016년까지 5년에 걸쳐, 200 mm와 400 mm에 적용할 수 있는 자가추진형 이동장비를 개발 중	○ 용수공급관로 전반에 걸쳐 활용될 수 있는 장비를 개발하는 데에는 많은 시간과 연구비가 필요하므로, 선택과 집중(관종, 관경, 구동방식 등)을 통해 우선 개발을 추진하고, 이후 확대하여 기술 개발 추진 필요 ► 우선 국내 가스관 개발 등 기술개발 경험을 토대로 최소 4 ~ 5년이면 충분	○ 전 세계적인 기술적인 발전(기술격차)과 진보속도, 국내 타분야 개발 경험 등을 고려할 때 장기적인 개발보다는, 중기적인 차원의 기술 개발 필요, 최소 5년 이상의 기술 개발기간 필요

6. 개발 기술 개요

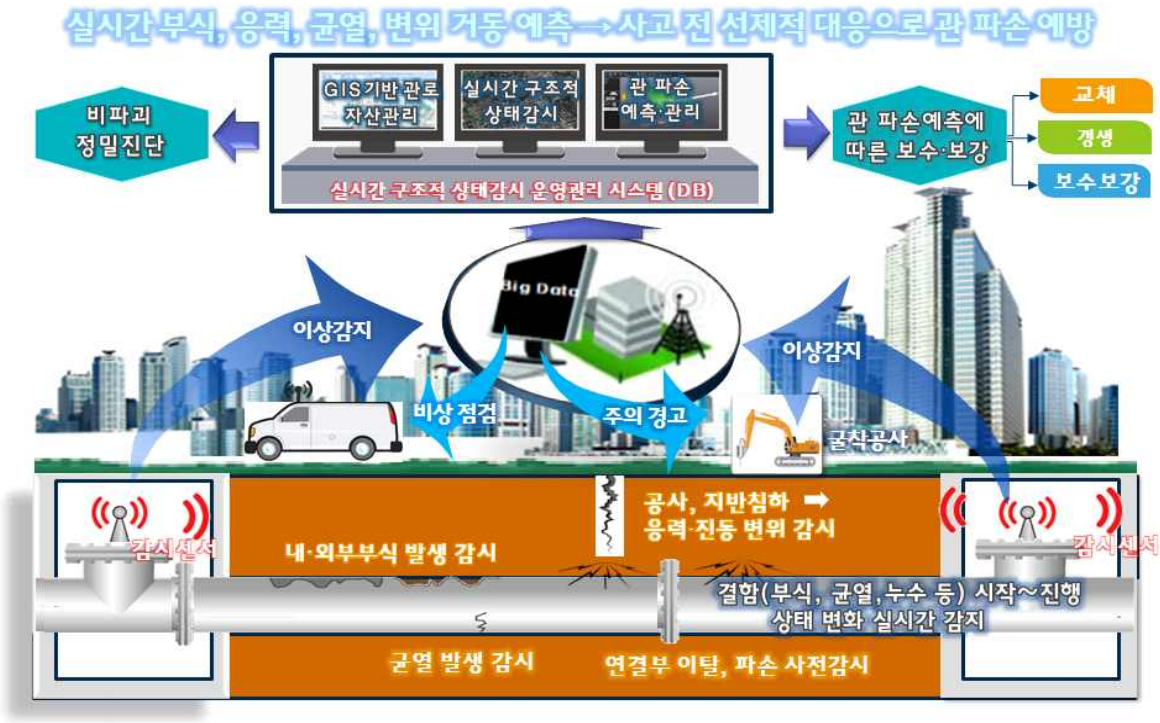
□ 용수공급관로 관로 비파괴 정밀진단·성능평가 및 운영감시 기술



□ 관로 내외면 비파괴 정밀진단기술



□ 관로 구조적 상태·감시 기술



제 5 절 중점분야별 주요 내용 및 추진전략

1. 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발

가. 연구개발 목표

□ 대규모 **용수공급관로 내부를 이동**하면서 **관의 구조적인 상태**(부식에 의한 두께변화, 결함, 균열 등)를 **정밀 탐상하여 정량화 할 수 있는 세계적 수준의 첨단지능형 ILI 기반의 비파괴 이동탐상 정밀진단기술 확보**

☞ (현재) 중환자에 대한 청진기 수준의 진단

☞ (미래) 전 구간 CT 촬영을 통한 관 상태 파악과 처방

나. 연구개발 필요성

□ 최근 대규모 용수공급관로 **노후화로 시설 유직관리 비용과 사고발생 가능성 증가**

□ 첨단 내면 장거리 비파괴 탐상기술 확보로 **전 구간 구조적 상태 파악을 통한 경제적인 개량 추진과 중단 없는 용수공급으로 국민 물 복지 실현 필요**

- 기존에는 인력에 의한 직접조사로 단수수반, 고비용, 장시간 소요, 점적인 표본 조사 수준으로 오진위험성에 따른 과도한 개량비용 발생과 관 수명단축 초래

다. 연구주요 내용

세부과제(안)	과제 개념과 범위	주요 연구내용
1-1 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	센서를 관 내면에 배치하여 면적 scanning 을 통하여 관의 상태(관 두께변화(손실), 균열, 결함 등)를 진단할 수 있는 multi-sensor, 각종 모듈 개발, 신호처리, 해석 등 요소기술 개발	▪ 관내면 고감도 상태 진단용 Multi -sensor 개발 ▪ 자기위치 측정 장치(시스템) 개발 ▪ 센서 신호처리, 해석, 분석기술 개발 ▪ 센서 기반 면적 scanning 기술 개발 ▪ 내압 안전성(파손방지) 확보 기술 개발 ▪ 표면 전처리 최소화를 위한 측정기술 개발 ▪ 센서모듈 이동체 탑재 방안

1-2 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	관 내부에 배치하여 유체흐름에 따라 관로를 유영, 이동(유동저항과 수질영향 최소화)하면서 관로 내부를 탐상하거나 또는 자율주행 형태로 무인 원격조정에 의해 이동하면서 관로 내부를 탐상할 수 있는 이동체 개발	▪ 관 내부 ILI 이동체 플랫폼 개발 ▪ 유체 유동저항과 수질영향 최소화 기술 개발 ▪ 이동체 고성능 저전력 전원공급(배터리 등) 기술 개발 ▪ 센서 데이터 수집 저장, 송수신(통신) 기술(시스템) 개발 ▪ 기능별 단위장치 통합 ILI 이동체 제작
1-3 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발	단수시 또는 무단수 시 관 내부 비파괴 탐상을 위해 이동체를 관로 내부에 투입하고, 배치하고, 탐상 후 이동체를 회수하는데 필요한 방안, 각종 장치 등 요소기술 개발	▪ 관로 설치환경을 고려한 투입·회수 방안 개발 ▪ 이동체 플랫폼에 따른 투입·회수 장치(부속류 포함) 개발 ▪ 이동체 투입·회수 장치 운영기술 개발
1-4 이동체 관제기술 개발	대규모 용수공급관로에 대한 장거리 성능평가용 테스트베드를 구축하여 관 내부에 이동체 투입, 이동 정밀탐상, 회수, 그리고 비상대응 등 전 과정에 대한 관리하고, 제어, 효과, 성능, 신뢰성 등을 검증	▪ 대표관경에 대한 장거리 성능평가용 테스트-베드(Performace Evaluation Test-bed) 구축 ▪ 이동체 운영·제어 Integrated control system (ICS) 구축 ▪ 관 내부 정밀진단을 위한 이동체 운영·제어기술 개발 ▪ 이동체 비상시 대응 기술(장치 등) 개발

라. 연차별 주요 연구내용

세부과제(안)	연차	주요 연구내용
1-1 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	1	○ 관내면 고감도 구조적 상태진단용 개별센서 설계, 제작, 성능시험 - 관내면 array 적합한 센서, wall loss, crack, defect 등 정량적 test ○ 관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 설계, 세부 구성요소 설계 ○ 관내면 비파괴 개별센서(진단용, 위치측정 등) 등 신호특성, 처리, 분석, 해석 기술 개발
	2	○ 관내면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 설계, 제작, 성능시험 - ILI 이동체 유형에 따른 multi-sensor 설계, 면적 scanning에 따른 wall loss, crack, defect 등 손상유형별 정량적 성능시험 ○ 관내면 고정밀 자기위치 측정 각 구성장치 성능시험 ○ 관내면 비파괴 multi-sensor (진단용, 위치측정 등)의 면적 scanning에 따른 신호특성, 처리, 분석, 해석 기술 개발
	3	○ 관내면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 설계 시제품 제작·성능평가 ○ 관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 시작품 제작·성능평가
	4	○ 관내면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 시제품 신뢰성 평가 ○ 관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 시제품 신뢰성 평가
	5	○ 관내면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 시제품 신뢰성 검증 ○ 관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 시제품 신뢰성 검증
1-2 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	1	○ 첨단지능형 ILI 이동체 설계 ○ 첨단지능형 ILI 유체 유동저항과 수질영향 최소화 기술 개발 ○ 센서 데이터 수집·저장·송수신(통신) 장치 설계, 탑재방안 수립 ○ 고성능 저전력 전원공급 장치 설계, 탑재방안 수립
	2	○ 첨단지능형 ILI 이동체 플랫폼 개발 ○ 센서 데이터 수집·저장·송수신(통신) 장치 제작, 성능 test ○ 고성능 저전력 전원공급 장치 제작, 성능 test
	3	○ 기능별 단위장치 통합 ILI 이동체 시작품 제작, 각 단위장치별 연계 성능평가, 운영기술 개발
	4	○ 첨단지능형 ILI 이동체 시제품 신뢰성 평가
	5	○ 첨단지능형 ILI 이동체 시제품 신뢰성 검증
1-3 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발	1	○ 관로 설치환경을 고려한 ILI 이동체 투입·회수방안, 장치 설계
	2	○ ILI 이동체 투입·회수방안, 투입회수 장치 시작품 제작
	3	○ ILI 이동체 투입·회수 장치 시작품 제작, 성능시험, 운영기술 개발 - 대규모 용수공급 상시진단 인프라 설계 가이드라인
	4	○ ILI 이동체 투입·회수 장치 시제품 신뢰성 평가
	5	○ ILI 이동체 투입·회수 장치 시제품 신뢰성 검증

1-4 이동체 관제기술 개발	1	○ 대규모 용수공급관로 ILI-PET(ILI Performance Evaluation Test-Bed) 설계 - ILI-PET 설치지점 선정 - ILI 이동체 유형, 투입·회수 방안, 국제적 모의손상 조건 등 반영 * 관외면 자동화 장비 성능평가를 위한 모의조건 반영
	2	○ 대규모 용수공급관로 ILI-PET 구축
	3	○ ILI 이동체 운영제어 ICS(Integrated control system) 구축 - 센서신호 전달, 3D 이미지 영상화, 운영제어 등 개발 프로그램 ○ ILI 비상시 시나리오 별 대응기술 개발
	4	○ ILI 이동체 등 관제운영 기술 신뢰성 평가
	5	○ ILI 이동체 등 관제운영 기술 신뢰성 검증

마. 최종성과물

세부과제(안)	목표설정	최종성과물
1-1 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	▪ 관내면 Multi-sensor기반 면적 scanning 기술 확보 ○ 적용수압, 1 MPa(무단수시) ○ 탐지능력 - 결함 깊이 추정 정확도 +/- 20 %	▪ 관내 측정용 multi-sensor scanning 시스템 ▪ 각 센서 신호처리 및 분석 프로그램
	▪ 고정밀 자기위치 측정기술 확보 ○ 적용수압, 1 MPa(무단수시) ○ 정밀도 : 수평 & 수직 나누어서 오차 설정	▪ 고정밀 자기위치 측정 장치 ▪ Mapping 프로그램
1-2 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	▪ 첨단 지능형 ILI 이동체 설계 제작 기술 확보 ○ 탐상거리, 1 km 이상(제수밸브, 관경변화 등 제약) ○ 최소 탐상속도, 0.1~1.0 m/sec. (유속영향) ○ 적용관경, 500~1,500 mm	▪ 첨단 지능형 ILI 이동체
	▪ 관내면 고성능 비파괴 신호송수신 장치 확보 ○ 적용수압, 1 Mpa (무단수시) ○ 송수신 거리, 1 km (무선), 100 Mbps	▪ 고성능 송수신 장치 ▪ 고성능 통신 디바이스
	▪ 이동체 저전력 고성능 전원공급 장치 확보 ○ 공급능력, 8시간 탐상/일	▪ 고성능 저전력 고성능 전원공급 장치
1-3 이동체 투입회수 기술(장치 등) 개발	▪ 이동체 투입회수 장치와 상시 진단을 위한 용수공급 인프라 구축 설계 가이드라인 확보	▪ 이동체 투입회수 장치 ▪ 기존 시설 이동체 투입회수 설치 가이드라인
1-4 이동체 관제기술 개발	▪ 장거리 비파괴 평가 테스트-베드 확보 ▪ 관내부 비파괴 ILI 탐상 관제기술 확보 ▪ 이동체 비상시 시나리오별 대응기술 확보	▪ 관제 스테이션/프로그램 (Integrated control system, ICS) ▪ 비상시 대응 가이드라인

바. 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	비고
과학 기술적 성과	학술적 성과	학술지 게재	게재 건수	건	20	0.1	
		국내외 학술발표	발표 건수	건	40	0.05	
	산업재산권 확보	프로그램 등록	등록 건수	건	5	0.1	
		특허 출원·등록	출원 등록 건수	건	13	0.2	
사회 경제적 파급 효과	연구개발 관련 홍보건수		홍보 건수	건	25	0.025	
	연구개발 관련 교육건수		교육 건수	건	25	0.025	
	전문인력 양성 (고유지표)		채용 건수	명	10	0.1	
	기술이전		이전 건수	건	5	0.2	
법·제도적 개선효과	법/제도/정책 제안		제안 건수	건	2	0.1	
	설계기준, 지침, 매뉴얼 등		제안 건수	건	5	0.1	

2. 관외면 정밀진단 자동화 기술 개발

가. 연구개발 목표

□ 대규모 용수공급관로의 **관내면 정밀탐상 취약구간 대응을 위한 관외면 비파괴 자동화 정밀진단 기술 확보**

나. 연구개발 필요성

□ 대부분 관로는 지하에 매설되어 있으나, **취수장, 가압장, 정수장, 관로 상에 각종 밸브실들이 존재하고, 관로 설치 환경에 따라서 관 내부 장거리 비파괴 탐상이 불가한 구간**이 존재

- 관외면 비파괴 **자동화 정밀진단을 통한 종합적 성능평가를 위한 연속적인 관 상태 정보 확보** 필요

□ 또한, 관 내부 비파괴 탐상 시에 따른 조사위치에 따른 **탐상 신뢰성에 대한 검증** 체계 필요

- 해외 선진국에서는 관 외면에 탐상 장비들은 장거리 관 내부탐상에 따른 조사지점 위치파악을 위한 기준점과 연속탐상 결과를 검증하는 수단으로 활용

다. 연구주요 내용

세부과제(안)	과제 개념과 범위	주요 연구내용
2-1 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	센서를 관 외면에 배치하여 특정 지역에 대해 관 두께변화(손실), 균열, 결함 등을 국부적으로 탐상하기 위한 multi-sensor, 각종 모듈 개발, 신호처리(오측, 결측, 자동보정,) 해석, 분석(구조적 손상 유형별) 등 요소기술 개발	▪ 관외면 고감도 multi-sensor 개발 ▪ 센서 신호처리, 해석, 분석기술 개발 ▪ 센서 기반의 면적 scanning 기술 개발 ▪ 표면 전처리 최소화를 위한 측정기술 개발 ▪ 센서모듈 이동체 탑재 방안
2-2 관외면 자동화 탐상 장비 개발	관 외부에 배치하여 원주방향 또는 축방향으로 자동적으로 이동하면서 관로 외면을 탐상할 수 있는 이동체 개발	▪ 관 외부 자동화 탐상 장비 플랫폼 개발 ▪ 이동체 고성능 저전력 전원공급(배터리 등) 기술 개발 ▪ 센서 데이터 수집 저장, 송수신(통신) 기술(시스템) 개발 ▪ 기능별 단위장치 통합 자동화 탐상 장비 제작 ▪ 자동화 탐상장비 성능평가·검증

라. 연차별 주요 연구내용

세부과제(안)	연차	주요 연구내용
2-1 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	1	○ 관외면 고감도 구조적 상태진단용 개별센서 설계, 제작, 성능시험 - 관외면 특성에 적합한 진단용 센서, wall loss, crack, defect 등 정량적 시험 ○ 관외면 비파괴 개별 센서(진단용, 위치측정 등) 등 신호특성, 처리, 분석, 해석 기술 개발
	2	○ 관외면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 설계, 제작, 성능시험 - 관외면 특성에 적합한 자동화 장비유형에 따른 multi-sensor 설계, wall loss, crack, defect 등 손상유형별 정량적 성능시험 ○ 관외면 비파괴 multi-sensor 면적 scanning 신호특성, 처리, 분석, 해석 기술 개발
	3	○ 관외면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 설계 시제품 제작·성능평가
	4	○ 관외면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 시제품 신뢰성 평가
	5	○ 관외면 고감도 구조적 상태진단용 multi-sensor 시제품 신뢰성 검증
2-2 관외면 자동화 정밀진단 장비 개발	1	○ 관외면 자동화 정밀진단 장비 설계 ○ 센서 데이터 수집·저장·송수신(통신) 장치 설계, 탑재방안 수립 ○ 고성능 저전력 전원공급 장치 설계, 탑재방안 수립
	2	○ 관외면 자동화 정밀진단 장비 플랫폼 개발 ○ 센서 데이터 수집·저장·송수신(통신) 장치 제작, 성능 test ○ 고성능 저전력 전원공급 장치 제작, 성능 test
	3	○ 기능별 단위장치 통합 자동화 장비 시작품 제작, 각 단위장치별 연계 성능평가, 운영기술 개발
	4	○ 관외면 자동화 정밀진단 장비 시제품 신뢰성 평가
	5	○ 관외면 자동화 정밀진단 장비 시제품 신뢰성 검증

마. 최종성과물

세세부과제(안)	목표설정	최종성과물
2-1 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	▪ 관외면 multi-sensor기반 면적 scanning 기술 확보 ○ 탐지능력 - 결함 깊이 추정 정확도 +/- 20 %	▪ 관 외면 측정용 multi-sensor scanning 시스템 ▪ 각 센서 신호처리 분석 프로그램
2-2 관외면 자동화 탐상 장비 개발	▪ 관 외면 자동화 이동체 설계 제작 기술 확보 ○ 탐상거리, 수 m(관 노출거리에 따라 좌우) ○ 최소 탐상속도, 0.1 m/sec.	▪ 관 외면 자동화 이동체 장치 ▪ 이동체 운영제어 기술

바. 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	비고
과학 기술적 성과	학술적 성과	학술지 게재	게재 건수	건	5	0.1	
		국내외 학술발표	발표 건수	건	10	0.05	
	산업재산권 확보	프로그램 등록	등록 건수	건	2	0.1	
		특허 출원·등록	출원 등록 건수	건	7	0.2	
사회 경제적 파급 효과	연구개발 관련 홍보건수		홍보 건수	건	5	0.025	
	연구개발 관련 교육건수		교육 건수	건	5	0.025	
	전문인력 양성 (고유지표)		채용 건수	명	2	0.1	
	기술이전		이전 건수	건	2	0.2	
법·제도적 개선효과	법/제도/정책 제안		제안 건수	건	1	0.1	
	설계기준, 지침, 매뉴얼 등		제안 건수	건	2	0.1	
합계							

3. 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발

가. 연구개발 목표

□ 대규모 용수공급관로의 구조적 상태를 전반적으로 파악할 수 있는 다양한 첨단 지능형 비파괴 **요소기술이 통합된 신개념의 비파괴 종합적 성능평가 기술 확보**

나. 연구개발 필요성

□ 대규모 용수공급관로 **동일계통의 인접한 관로도 상태가 상이**하여, 예측 또는 점적인 조사에 의한 **종합적인 개량계획 마련 곤란**

- IT, 비파괴, 로봇기술을 융합, 전체구간에 대해, 장거리 면적 스캐닝을 통해, 관의 구조적인 상태를 파악하고, 수명을 예측하여 종합적으로 그 성능을 평가하여 개량계획 수립 필요

□ 대규모 용수공급관로 **전 구간에 대한 비파괴 종합적인 성능평가를 통한 과학적이고 높은 신뢰도 구현**으로 **관의 구조적인 상태에 따른 종합적 "total solution"을 제공**할 수 있는 기술 확보 필요

다. 연구주요 내용

세부과제(안)	세부과제의 개념과 범위	주요 연구내용
3-1 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발	관 내면 또는 외면 비파괴 탐상에 따른 상태진단 결과를 3차원으로 영상화하여 관 모체(pipe wall)의 상태를 정량화하여 구조해석을 통해 안전성을 평가 할 수 있는 기술 개발	▪ 관내외면 비파괴 신호 데이터 추출, 합성, 필터링 기술 개발 ▪ 관내외면 비파괴 신호 데이터 3D 구조해석 모델링 기술 개발 ▪ 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 프로그램 개발
3-2 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발	관외면 또는 관내면 장거리 탐상 절차, 방법, 기준, 데이터 처리 등 표준화하고, 3차원 영상화 기반으로 구조해석을 통한 안전성과 잔존수명, 운영매설 환경 등을 종합하여 개량방안을 결정할 수 있는 기술 개발	▪ 비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발 ▪ 물리적인 상태변화 예측 기반의 잔존수명 예측 기술 개발 ▪ 비파괴 정밀진단에 따른 경제성 평가기술 개발 ▪ 종합적 개량의사결정 기술 개발
3-3 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발	각종 개발된 기술을 적용하여 수집되고, 발생된 데이터 등을 GIS와 연동하여 GIS상에 표출(인터페이스)하고 그 정보를 통합 관리할 수 있는 프로그램, 운영관리 시스템 개발	▪ 비파괴 탐상 정보통합관리 플랫폼 개발 ▪ 비파괴 탐상 정보 상수도 GIS 연계 운영 프로그램 개발 ▪ 비파괴 탐상 정보 Integrated information management system(IIMS) 개발

라. 연차별 주요 연구내용

세부과제(안)	연차	주요 연구내용
3-1 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발	1	○ 관내외면 비파괴 신호데이터 3D 이미지화 데이터 추출, 합성, 필터링 기술 개발
	2	○ 관내외면 비파괴 신호 데이터 3D 구조해석 알고리즘, 세부모델 개발
	3	○ 관외면 비파괴 신호 데이터 구조해석 연동 3D 영상화 기술 개발
	4	○ 3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 프로그램 개발
	5	○ 3차원 영상화 기반 안전성 평가 기술 신뢰성 평가와 검증
3-2 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발	1	○ 비파괴 정밀진단(내면 & 외면 등) 등 데이터 수집, 처리, 분석 기준 ○ 운영 매설 환경적 물리적 파손영향 평가
	2	○ 비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발 ○ 물리적 상태변화 예측 기반의 잔존수명 예측 모델 개발
	3	○ 종합적 개량의사결정 알고리즘, 모델 통합 프로그램 시작품 제작 - 안전성, 잔존수명, 파손예측 등 프로그램 통합 패키지
	4	○ 종합적 개량의사결정 프로그램 시제품 신뢰성 평가
	5	○ 종합적 개량의사결정 프로그램 시제품 신뢰성 검증
3-3 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발	1	○ 비파괴 탐상정보 통합관리 알고리즘, sub-system 설계
	2	○ 비파괴 탐상정보 통합관리 플랫폼 개발
	3	○ 비파괴 탐상정보 GIS 연계 운영 프로그램 개발 - 기존 수도 또는 지하매설물 운영관리 시스템 연계, 고도화 기술 개발
	4	○ 비파괴 탐상정보 Information Integrated Management System 개발
	5	○ 비파괴 탐상정보 IIMS 신뢰성 평가와 검증

마. 최종성과물

세부과제(안)	목표설정	최종성과물
3-1 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발	▪ 관내외면 비파괴 탐상 DB의 고해상도 3차원 이미지 기술 확보 ▪ 비파괴 탐상 DB 연계 구조해석 기반 안전성 평가 기술 확보	▪ 관내외면 3D 이미지 분석 프로그램 ▪ 구조해석 안전성 평가 프로그램
3-2 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발	▪ 비파괴 탐상 표준 가이드라인 확보	▪ 비파괴 탐상 표준 가이드라인 (수행, 평가)
	▪ 물리적인 상태변화 예측 기반의 잔존수명 예측 기술 확보 (RCM 기법 활용)	▪ 잔존수명 예측 프로그램
	▪ 비파괴 종합적 개량의사결정 시스템 확보	▪ 종합의사결정 프로그램
3-3 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발	▪ GIS 기반 비파괴 탐상정보 통합 운영관리 시스템 확보	▪ 비파괴 탐상 정보통합운영관리 프로그램 ▪ Integrated information management system(IIMS)

바. 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	비고
과학 기술적 성과	학술적 성과	학술지 게재	게재 건수	건	15	0.1	
		국내외 학술발표	발표 건수	건	30	0.05	
	산업재산권 확보	프로그램 등록	등록 건수	건	5	0.1	
		특허 출원·등록	출원 등록 건수	건	5	0.2	
사회 경제적 파급 효과	연구개발 관련 홍보건수		홍보 건수	건	10	0.025	
	연구개발 관련 교육건수		교육 건수	건	10	0.025	
	전문인력 양성 (고유지표)		채용 건수	명	10	0.1	
	기술이전		이전 건수	건	1	0.2	
법·제도적 개선효과	법/제도/정책 제안		제안 건수	건	2	0.1	
	설계기준, 지침, 매뉴얼 등		제안 건수	건	2	0.1	
합계							

4. 구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발

가. 연구개발 목표

□ 구조적 상태를 실시간으로 감시, **사고 전에 파손에 대한 위험성을 예측하여 선제적으로 대응**해서 **사고를 미연에 방지할 수 있는 구조적 상태감시.예측을 고도화**할 수 있는 기술 확보

☞ (현재) 사고 후 발생·위치 탐지시간의 단축 ☞ (미래) 사고를 사전에 감지하여 선제적 대응

나. 연구개발 필요성

□ 대규모 용수공급관로는 국가 주요시설물(SOC)로서, 사고가 발생시 용수공급 중단으로 사회적, 산업적 재해가 발생할 수 있으므로 **실시간 구조적 상태감시를 통한 시설물 리**

스크 관리 강화 필요

□ 실시간 사고를 사전에 예측할 수 있는 Smart SCM(Structural Condition Monitoring) 첨단 기술 확보로 **선제적 대응을 통한 재난재해 방지 필요**

- 기존에는 사고 예방적 차원의 구조적 상태감시 보다 사고 후 신속한 긴급복구(조기에 사고발생 시간·위치 확인) 대응 위주의 기술개발 치중

다. 연구주요 내용

세부과제(안)	과제 개념과 범위	주요 연구내용
4-1 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발	대규모 용수공급관로의 다양한 매설환경에 따른 구조적인 상태(부식 두께변화, 균열 initiation, 응력, 변위 등)를 상시감시할 수 있는 센서, 네트워킹 등 요소기술을 개발	▪ 실시간 구조적 상태감시 고감도 Sensor 개발 ▪ 센서 결함, 오측, 결측 등 신호이상 신뢰성 확보기술 개발 ▪ 센서특성별 global & local 감시기술개발 ▪ 센서네트워크 기반 온라인 감시기술 개발(중/장거리 송신. 동기화, 무선데이터 전송 등) ▪ 센서 기반 감시 위치선정, 우선순위 결정 기법 개발
4-2 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발	실시간 구조적 상태감시(부식, 응력, 변위, 균열 등)를 통해 수집된 빅테이터를 수집, 관리, 분석하여 구조적인 파손을 예측할 수 있는 프로그램 등을 개발	▪ 실시간 구조감시 빅테이터 수집, 분석 기술 개발 ▪ 실시간 구조적 상태감시 구조해석 ▪ 실시간 구조적 상태변화 예측 프로그램 개발
4-3 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	실시간 구조적 상태감시(H/W) 및 예측(S/W) 통합 시스템을 구축하고 GIS 기반의 운영과 관리를 위한 기술을 개발	▪ 구조적 상태감시 테스트베드 구축 ▪ 구조적 상태감시 정보관리 플랫폼 개발 ▪ 구조적 상태감시 정보 GIS 연계 프로그램 개발 ▪ GIS기반의 실시간 구조적 상태감시 Integrated Information Management System(IIMS) 개발 ▪ 실시간 구조적 상태감시·예측에 따른 대응 운영기술 개발

라. 연차별 주요 연구내용

세세부과제(안)	연차	주요 연구내용
4-1 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발	1	○ 고감도 구조적 상태감시(감시 목적 별) 센서 설계, 성능시험 ○ 센서결함, 오측, 결측 등 신호이상 성능시험 ○ 감시위치, 우선순위 결정 기법 개발
	2	○ 고감도 구조적 상태 global & local 기술 개발 ○ 센서결함, 오측, 결측 등 신호이상 신뢰성 확보기술 개발
	3	○ 센서네트워크 기반의 온라인 감시 요소기술, 신뢰성 기술 개발 (중장거리, 송신, 무선, 데이터 전송 등)
	4	○ 실시간 구조적 상태감시 시스템 신뢰성 평가 - 현장 대상지역 test-bed 활용
	5	○ 실시간 구조적 상태감시 시스템 신뢰성 검증 - 현장 대상지역 test-bed 활용
4-2 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발	1	○ 실시간 구조적 상태감시 빅데이터 수집, 분석 알고리즘, 세부모델 개발 - 데이터 수집, 저장, 관리, 운영, 분석 등 ○ 실시간 구조적 상태감시 구조해석 알고리즘, 세부모델 개발
	2	○ 실시간 구조적 상태감시 빅데이터 수집, 분석 프로그램 개발 ○ 실시간 구조적 상태감시 구조해석 프로그램 개발
	3	○ 실시간 구조적 상태감시 파손예측 알고리즘, 세부모델 개발 ○ 실시간 구조적 상태감시 3차원 이미지 영상화 요소기술 개발
	4	○ 실시간 구조적 상태감시 파손예측 통합 패키지 신뢰성 평가
	5	○ 실시간 구조적 상태감시 파손예측 통합 패키지 신뢰성 검증
4-3 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	1	○ 구조적 상태감시 정보관리 sub-system 설계 ○ 구조적 상태 파손예측에 따른 대응(방안)기술 개발
	2	○ 구조적 상태감시 GIS 연계 프로그램 개발 - 기존 수도 또는 지하매설물 운영관리 시스템 연계, 고도화 기술 개발 ○ 현장 test-bed 선정, 구축 설계 ○ 구조적 상태감시 정보관리 플랫폼 개발
	3	○ GIS 기반의 실시간 구조적 상태감시 IIMS 구축, 운영기술 개발 - 현장 test-bed 개발 프로그램을 통합한 Information Integrated management system 구축
	4	○ 실시간 구조적 상태감시 IIMS 신뢰성 평가
	5	○ 실시간 구조적 상태감시 IIMS 신뢰성 검증

마. 최종성과물

세세부과제(안)	목표설정	최종성과물
4-1 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발	▪ 사고예방적 실시간 구조적 상태감시 센싱기술 확보 ○ 균열/두께변화 · 균열크기 2×10 mm^2 (예, EMAT) · 두께변화 1 mm 이하 (예, EMAR) * 기타 비파괴 센서 성능에 따름 (초음파, 와전류, 유도초음파 등) ○ 변형율 : 광섬유 센서(거리 1 m / 온도 1 도 / 10 마이크론 정확도) ▪ 구조적 상태감시 온라인 감시기술 확보	▪ 실시간 상태감시 시스템 - 이상 상태 감시 Sensor (+ IoT) ▪ 유무선 송수신 네트워킹 기술
4-2 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발	▪ 구조적 감시를 통한 파손 예측·대응 기술 확보	▪ 구조해석 기반 파손 예측 프로그램 ▪ 구조적 파손 대응 가이드라인
4-3 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	▪ 구조적 상태감시·예측 테스트-베드 확보	▪ SCM Performance Program 수행 프로그램
	▪ 실시간 구조적 상태감시 정보통합 운영관리 기술 확보	▪ 실시간 상태감시 정보통합운영관리 시스템 (Integrated Information Management System)

바. 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	비고
과학 기술적 성과	학술적 성과	학술지 게재	게재 건수	건	10	0.1	
		국내외 학술발표	발표 건수	건	20	0.05	
	산업재산권 확보	프로그램 등록	등록 건수	건	3	0.1	
		특허 출원·등록	출원 등록 건수	건	5	0.2	
사회 경제적 파급 효과	연구개발 관련 홍보건수		홍보 건수	건	10	0.025	
	연구개발 관련 교육건수		교육 건수	건	10	0.025	
	전문인력 양성 (고유지표)		채용 건수	명	5	0.1	
	기술이전		이전 건수	건	2	0.2	
법·제도적 개선효과	법/제도/정책 제안		제안 건수	건	1	0.1	
	설계기준, 지침, 매뉴얼 등		제안 건수	건	2	0.1	
합계							

5. 추진전략

□ 국내·외에서 **기존 개발된 유사 기술**(원자력, 가스, 송유, 수도배관 등)에 대한 **분석과 타당성 검토를 통해 기술 개발의 시행착오를 최소화**

□ 연관분야(센서, 통신, Robotics, 감시 등)의 개발 기술에 대한 면밀한 분석을 통해 **활용 가능한 기술에 대해서는 기술개발에 적극 도입·활용**함으로서 기술 개발의 **중복투자를 방지하고, 기술 개발비용 절감**

- 각 개발기술 분야별로 국내 최고의 수준을 갖춘 참여기관으로 기술개발 추진

□ 국내 **산·학·연 학제간 연구 체계 강화**를 통해, 각 분야별 요소기술에 대한 기술개발을 추진하여 **각 분야별 연구성과를 극대화**화고, **기술 융합을 통하여 기술개발 목표 달성**

□ 기술개발의 목표 달성을 위하여 **해외 전문연구기관 또는 업체와의 적극적인 공동연구 추진을 통한 국내외적으로 선도**할 수 있는 기술 개발 추진

□ 개발기술의 **최초 설계단계에서부터 기술개발에 대한 시뮬레이션**을 통하여, **불필요한 시간과 예산투자를 방지**하고, 조기에 목표를 달성할 수 있도록 추진

□ 실제 대규모 용수공급관로을 축소한 형태의 **실증실험용 테스트-베드 구축**을 통하여, **각 단계별로 개발기술의 성능을 검증하여 개발 기술의 안정성과 신뢰성을 강화**

□ 단계별 연구 추진은 1~2차년도에 각 세부과제별 요소기술 개발, 3~4차년도에 기술별 시스템 통합 및 테스트베드 성능 검증평가 실시, 5차년도에는 실증검증을 통한 상용화 기술 확립 및 사업화 전략 추진



▌그림 4.5.1 단계별 연구 목표 및 추진 내용▐

□ 각 연차별 개발기술 연계, 통합 등의 조정을 통한 효율적 사업 추진 및 성과 극대화 (연구단장 총괄)

- 연차평가(계획 및 실적) 및 진도관리 등을 통한 개발 기술별 연계·통합 등 조정

□ 개발기술의 성과 활용 극대화 및 기술 확산을 위해 관련 **제도 개선 방안** 및 **사업화 전략** 연구 수행 필요

- 진단제도 개선 및 각 세부 기술별, 시스템 통합적 비즈니스 모델 구축 등 사업화 방안 제시

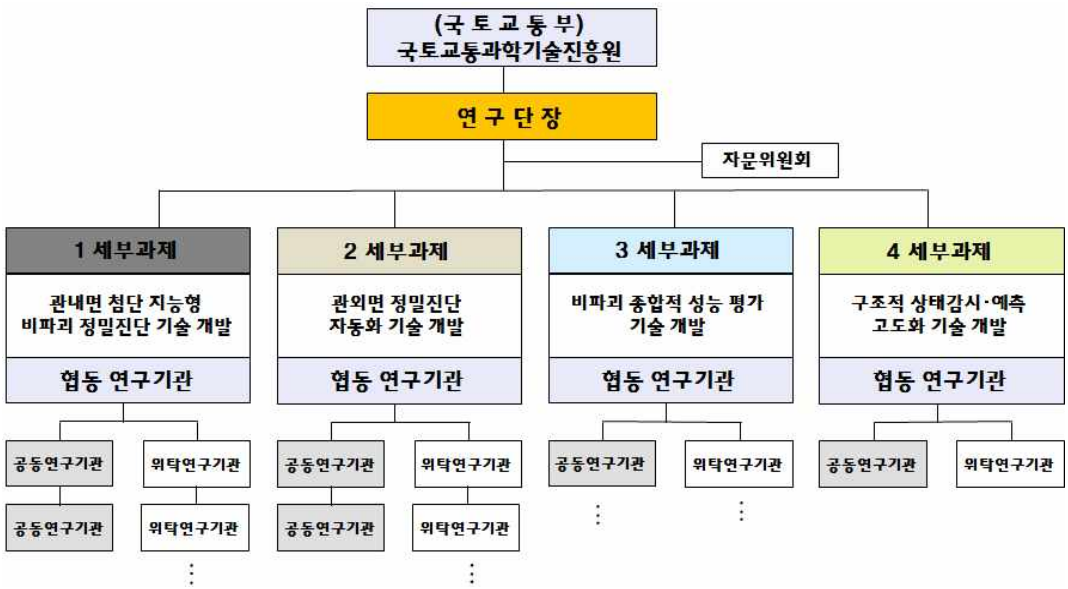
6. 추진체계

□ 「대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단성능평가와 운영감시시스템 개발」은 **국가 용수공급의 주요 인프라 시설**로서, 관 노후상태에 따른 **사고예방을 위한 적시적소 개량과 구조적인 감시를 통한 파손예측을 통하여 선제적으로 대응할 수 있는 시스템을 구축**하는 것이므로,

□ 대규모 용수공급관로의 **공급 안정화를 구축하기 위해 각 개발 단위 요소기술들이 하나로 통합**되고 **패키지화되어야 하므로 "연구단" 규모의 구성을 통한 추진이 바람직**함

▌표 4.5.1 국토교통부 연구개발사업 운영규정의 과제분류 체계▐

과제구분	과제성격	비고
사업단 과제	기술별 총괄시스템의 개발과 연구개발결과의 시범적 적용을 포함한 사업단이 수행하는 과제	
연구단 과제	단위·요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제	
일반 과제	단위·요소기술을 개발하는 연구과제	



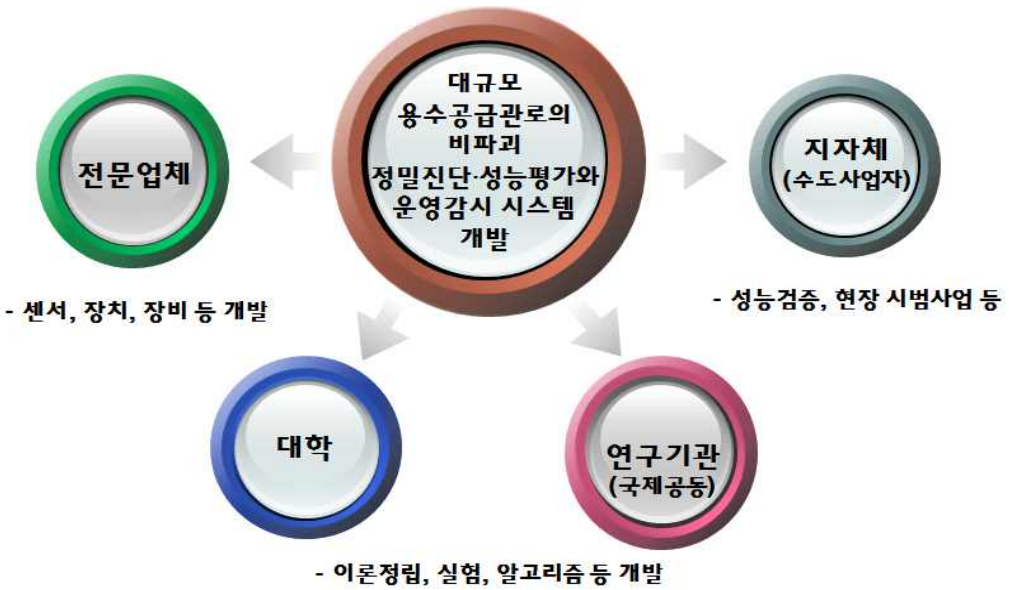
▌그림 4.5.2 연구단 구성 체계▐

□ 본 기술 개발은 국내 기술개발 동향과 인프라 현황, 그리고 본 과제의 목표와 성격(실용화 등) 를 고려할 때, 각 **단위·요소기술을 개발, 통합하고, 실용화를 위해서는 산·학·연 간의 유기적인 협력**을 **유도**하고, **현장시범 적용을 통한 성능 검증** 수행, 실**용화 추진이 가능하며, 각 기관을 주도할 수 있는 연구기관 및 연구단장**(총괄 연구책임자)가 **필요**

□ 기술개발 과정에서 필요한 비파괴 정밀진단, 성능평가, 구조적인 운영감시 관련하여 **이론적인 정립, 필요한 실험, 알고리즘 등 개발은 대학 또는 전문 연구기관**에서 주도하는 것이 바람직하며,

□ 하드웨어적인 다양한 **비파괴 센서**를 통하여 **관내부 또는 외부를 탐상하는 이동체 개발**, 그리고 **구조적인 상태를 감시하기 위한 센서 또는 네트워 기술 등 전반**에 대해서는 **관련 전문기업이 주도**하고, 현장의 성능평가를 통하여 실용화를 추진하는 것이 필요

□ 각 단위·요소기술을 개발함에 있어, **국내 기술수준이 낙후된 부분에 대해서는 기술개발 목표를 달성하기 위하여 국외 인프라(학계, 연구기관, 업체 등)를 활용**한 공동연구 체계도 고려 필요



▌그림 4.5.3 연구추진체계▐

7. 정부지원(국토교통부) 필요성

□ **국토교통부 관할 주요 SOC 인프라 시설**

- 대규모 용수공급관로는 국민에게 안전하고 안정적인 생활용수 공급 및 산업 활동에 수반되는 도수·송수·공업용수 등을 공급하는 국가의 중요한 SOC 인프라로서 국민 생활, 경제개발, 그리고 산업적 발전에 없어서는 안 될 필수적인 시설로서 정부 주요부서 중 국토교통부가 정책적으로 지원·관할하는 주요 시설물임

- 따라서 현재 국토교통부는 국가 중요 SOC 인프라로서 대규모 용수공급관로(광역, 공업용수관로 등)에 대해 안정적인 용수공급을 위한 신규 산업시설로의 광역상수도(도수·송수 등) 및 공업용수도 건설 확대뿐 만 아니라, 기존 노후시설에 대한 안정화를 위한 개량사업 추진 등을 주요 정책으로 추진 중

* 2015년 국토교통부 일반정책 등

* 2014.12. 국토교통부, 「광역상수도 및 공업용수관로 안정화사업 투자평가편람」 등

- 특히 대규모 용수공급관로는 시특법 제7조에 해당하는 시설물로서 이들 **노후관 개량에는 수조원에 이르는 막대한 예산**이 필요한 만큼, **개량방안과 계획 수립에 있어 정확하고 과학적인 진단**은 매우 중요하므로 이와 관련된 지속적인 연구개발 투자 필요

* (K-water) ‘30년까지 노후 수도시설 개량에 3조 9천 억원 투자 필요

□ 비파괴 진단·성능·감시기술은 국토교통부가 **산업·공공시설 안전을 위해 투자**해야 할 주요 R&D에 해당

- 대규모 용수공급관로 등 국민의 안전과 연결된 시설에 대한 국민의 안전 욕구 증대로, 산업·공공시설에 대한 비파괴 기술을 활용한 관리진단은 국토교통부를 포함한 범정부적 차원으로 공공 안전성과 신뢰성 향상을 위해 과거부터 현재까지 지속적으로 추진중인 정책에 해당

- ‘05년 03월 정부는 이러한 비파괴 진단에 대한 선진기술력 확보와 활용 촉진을 위해 「비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률」을 제정하고, (구) 건설교통부를 포함한 5개 부서 합동(과학기술부, 행정자치부, 산업자원부, 건설교통부, 노동부 등)으로 「비파괴 검사기술 진흥계획」을 수립·추진 중(’06.12 비파괴검사기술 진흥계획)

* 본 진흥계획에서는 비파괴 검사기술의 R&D 촉진, 관련 산업 진흥, 인력, 인프라 지원 육성, 국제

협력, 해외진출 지원 등을 통해 연구개발을 촉진하고 성과의 효율적 활용 촉진하는 것을 주요 내용으로 하고 있음

- 따라서 국토교통부에서도 산업·공공시설 등에 대해 R&D를 통해서 비파괴 관리진단 분야에 대해 지속적으로 육성·진흥해야 할 기술개발 영역에 해당하며, 현재 추진중인 2015년 물관리 분야 기획으로 추진중인「대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시 시스템 개발 기획」과제도 이러한 국토교통부가 과거부터 지속적으로 추진해야할 주요 정책의 하나에 해당

- 특히 국내 비파괴 진단, 감시 등 기술낙후, **외국 기업의 수행비중이 확대될 가능성이 높아** 산업과 국가 주요 SOC 인프라 시설물 검사결과에 대한 해외유출이 우려되므로, 조속한 투자 개발 필요

- **독자적인 기술 확보 시급**, 투자 및 활용 증대, 인력 양성, 신규 고용창출 필요

□ **대부분 수도시설(관로분야 포함)**은 **국토교통부 소관 시특법의 정밀안전진단을 받아야 하는 시설물**에 해당

- 현재 정밀안전진단은「시특법 제7조 시행령 제9조)」, 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토부)/세부지침(국토부, 시안공)에 의거하여 수행되며, 현재 수도시설(관로분야) 중 정밀안전진단에 포함된 시설물은 생산규모 30,000 m^3/일로서, 광역을 포함한 대부분 지자체 수도시설(관로 포함)이 대부분 포함

- 시특법은 국토교통부 소관으로 K-water의 광역·공업용수관로 시설만 해당하는 것이 아니라, 대부분의 지자체 수도시설(환경부 소관)을 포함하여 시행하도록 되어 있으므로, 정부 부서 중에서도 국토교통부가 주관이 되어 정밀진단이 가능한 기술 개발에 투자가 하는 것이 타당

□ **선진국은 국가적 지원확대 지원 중**

- **미국, 유럽 등 선진국**들은 NDT 개념에 입각한 R&D 계획·투자 및 전문 연구소를 설립하는 등 **국가적 차원의 지원을 확대**하고 있으므로 국내에서도 **관련 부서의 범 정부적인 지원이 필요**

- 미국 CNDE (아이오와 주립대), CQEFP (노스웨스턴대), Advanced NDE and SHM

Center (펜실베니아 주립대), 독일(프라운호퍼연구소), 영국 RCNDE (임페리얼 컬리지) 등

- USEPA에서는 2009년부터 다양한 첨단 비파괴기술(12개 기술)의 시범사업 추진을 통해 검증.확대 지원 추진

□ **미래 물시장 주도권 확보 필요**

- 미래 물 시장 '블루골드'인 물산업의 시장의 핵심적 선제적 기술 개발로 해외시장 견인과 활성화 주도 필요

- **미래 블루골드 물산업 분야에 있어서 대부분 시설 유지관리 시장이 확대될 예정**임에 따라 본 기술개발을 통한 국내 기업의 해외 진출을 통해 물 산업 견인 및 해외진출 활성화 가능하며,

- 자료(SAM 보고서(2007))에 따르면, 전 세계적으로 상수도관의 유지관리와 신설에 약 65 조원이 사용되고 있으며, 운영비는 100 조원 규모로 추산하고 있으며, 2016년도에는 약 2배에 이들 것으로 추정

- 세계 NDT 진단장비 시장은 '10년 미국이 30억달러 정도로 세계시장 규모는 50억달러 이상의 규모로 추정되며, 연평균 6% 성장을 보이고 있음

8. 기대효과 및 파급효과

가. 정성적 효과

□ 세계적 수준의 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 구조적 감시기술 첨단고도화 기술 확보와 **국가적 주요 용수공급망의 중단없는 용수공급 안정화 체계 구축**

□ 대규모 용수공급관로의 구조적 상태 해석을 통한 위험구간 선제적 대응으로 **관로사고 예방과 대규모 재해재난 방지**를 통한 국민 물 복지 실현

□ 대규모 용수공급관로 전 구간 위험구간 선별과 관리를 통한 수도사업자 리스크 관리 역량 강화

□ 대규모 용수공급관로 **사고예방을 통한 사회적 피해 예방과 안정적인 산업·생산 활동**

도모 가능

□ 관망 관리 효율성을 제고하여 관리 비용의 절감, 효과적인 자산관리 시스템 구축의 근간을 마련 합리적인 용수공급관로 중장기 자산관리 계획 수립

□ 잔존수명 예측에 따른 관로 개량 우선순위 도출로 개량시 전략적 예산투자와 합리적인 정책수립 수립 기대

□ **해외기술도입에 따른 수입대체효과 및 원천기술의 확보를 통해 해외수출라이선스 시장 확보**

□ 관련 산업 활성화, 신규수요 창출 시장 확대, 일자리 창출 등 창조경제 기여

나. 정량적 효과

□ **기술적 기대효과**

- **진단신뢰도 향상)** 기존의 점적인 면적조사(0.6%/km)에 비하여 면적조사량 증가로 진단신뢰도가 100%향상 관 상태에 따른 정확한 방안도출로 사고예방과 경제적 개량추진 가능
- **조사효율성 향상)** 인력이 면적으로 조사할 경우, 동일한 수준의 결과를 확보하기 위해서는 단수, 도장재 제거 후 표면처리 등이 필요하고(외면측정은 불가능), 장기간의 조사(52일/km)가 필요, 개발된 기술이 적용될 경우 단수없이 관내외면 측정에 약 8시간 소요(405시간 단축)
- **기술수준 향상)** 기술개발에 따라 기존 선진국 대비 63.9~65.4% 기술수준이 개발후에는 90%까지 확보 가능할 것으로 기대(기획위원회 의견), 약 25.6% 기술력 향상

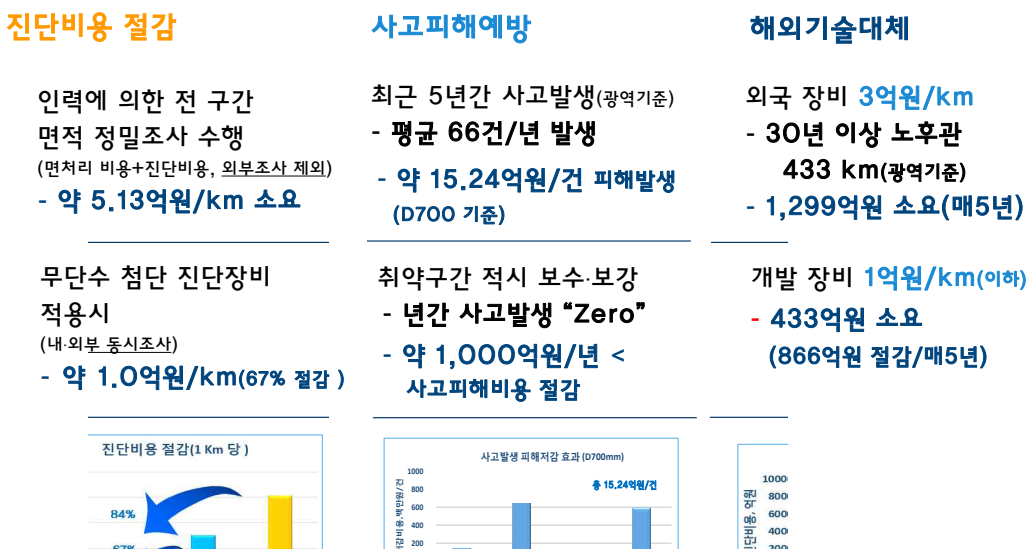


▌그림 4.5.4 기술개발에 따른 기술적 기대효과▐

□ 경제적 기대효과

- **진단비용 절감)** 인력에 의한 전구간 면적 정밀조사 수행시 약 5.12억원/km 소요(외부조사 제외), 기술개발 후 내외부 동시조사가 가능하면서 약 1.0억원/km 소요될 것으로 추정(약 67% 절감 기대)
- **사고피해예방)** 현재 광역상수관로 기준으로 년간 평균 사고율이 66건이며, 이로 인한 사고피해 추정금액은 약 15.24억원/건(관경 700 mm 기준), 진단과 감시를 통해 사고를 예방할 경우, 약 1,000억원/년 < 절감 가능

  * 광역상수도관로 기준으로 전 사업장 공업용수만 24시간 단수시 약 2조원 피해금액 발생
- **해외기술대체)** 외국장비 활용시 약 3억원/km 소요, 광역상수관로 기준으로 30년 노후관(433km)에 적용시 약 1,299억원 필요(매 5년마다), 기술이 개발되어 적용될 경우 매년 866억원 절감 가능



▌그림 4.5.5 기술개발에 따른 경제적 기대효과▐

9. 사업화 방안 검토

가. 국내외 동향

□ 산업내 위치

- 관로의 성능 유지, 수명연장 및 사고 방지를 위해 용수, 가스, 송유관 시설의 건전성 평가에 필수적인 기술로 자리매김
- 관로의 건설, 운영(풍부한 양과 고품질의 중단없는 공급, 에너지 효율화, 자원 저감 운전), 유지관리(진단, 보수보강), 교체 등 관로시설 전반에 걸쳐 광범위하게 활용됨
- 시설물의 정밀 안전진단 및 품질관리를 위한 첨단 NDT 장비 수요가 급증하고 있음

□ (국내) 용수공급 노후관 개량 수요 증가로 진단 및 엔지니어링 관련 시장 활성화 예상

- 국내 노후관 개량비용 : (광역)'30년까지 3조 3천억원, (지방)'27년까지 2조3천억원

  * 노후관 정비 사업시기 지연에 따라 개량 사업비 증가(환경부, 2015)

  · '16년 20조(59천㎞) → ' 20년 26.2조(68천㎞) → '30년 51.8조(2.6배↑) 108㎞(1.8배↑)

□ (국외) 용수공급 관로의 노후화로 소요 예산 급증, 진단·개량 등 유지관리 시장 확대, 제2의 건설시장으로 인식 확산 중

- 미국 노후관 개량비용 : 2035년까지 1200조원 (48조원/년) (AWWA, 2014)

* 교체비용 18억원/㎞ ⇨ 정밀진단 후 취약부 상태에 맞는 선택적 보수·개량시 1억원 소요 가능 (최대 95%까지 절감)

□ (국외) 비파괴(센서), ICT+Robot 융복합기술 개발(2014, 일본정부, 인프라유지관리·갱신·매니지먼트기술연구), 북미(미국, 캐나다) 업체 세계시장 선도, 정부 지원 강화 추세 (EPA 비파괴 진단기술 시범사업 통해 검증·확대 지원)

나. 사업화 전략 검토

□ 세계 최고 수준의 용수공급 관로 첨단 진단·감시 기술 개발(목표) 추진

- 중점추진분야별로 개발목표 spec. 및 최종성과물을 제시하고, 기술적 타당성 및 사회/경제적 비용 절감 및 수입대체 효과 등 경제적 타당성을 고려한 기술 개발
- 요소기술 개발부터 통합시스템 개발까지 단계별 목표를 명확히하고 테스트베드 및 실제 관로 현장에서의 기술검증을 통한 기술 개발 추진
- 가스관, 송유관, 수도관 등의 진단기술 비교 검토하고, 수도관 환경을 고려하여 기술개발 방향 설정 추진
- 대규모 용수공급 관로를 대상으로 하나, 지방상수도 및 기타 배관 적용 가능하고, 해외시장 진출을 위한 시장 맞춤형 기술 개발
- 국내외 최신 동향 분석을 통한 차별성 확보 기술 개발

□ 시장 창출형 전략 수립 필요

- 지방상수도 배·급수관로(중소구경) 및 기타 배관 적용 확대 방안, 해외시장 진출전략 수립(Target 시장 맞춤형 기술 개발)
- 관로 비파괴 정밀진단 및 감시의 원천기술부터, 운영·유지관리기술, 사업화 모델, 교육프로그램까지 패키지화된 종합기술 개발로 차별화된 전략을 통한 기술경쟁력 확보

□ 예상 수요처

- 시설물의안전관리에관한특별법 및 수도법에 의한 관로시설 대상(10년경과 시설 정밀안전진단 및 매5년 관망진단) 상태 진단 및 과학적 시설물 상시 유지관리 분야
- (국내)광역상수도(K-water) 및 지방상수도(지자체) 수도사업자, 진단 전문기관, 엔지니어링사, 시공사, 보수/보강 업체, 유지관리업체, 자격/교육 관련기관,
  (국외)중국 및 동아시아지역

□ 선제적 관로 진단·감시 융복합 기술개발로 산업경쟁력 강화, 국내외 시장 활성화 및 물산업 경쟁력 확보를 위한 정부 지원 강화 필요

- 선진국의 정부지원 강화 통한 물시장 주도에 대응하고, 물시장이 급성장 추세인 중국 등 동아시아 지역 진출 기반 확보위한 융·복합기술 개발 필요

* 진단전문기관, 엔지니어링, 장비제작, ICT+Robot, 센서, 개량(보수, 보강), 유지관리 등 연관분야 중소·중견기업 육성·산업경쟁력 강화 및 시장 창출형 전략 추진

□ 기술 상용화·사업화 촉진·활성화 기반 조성을 위해 진단 제도 강화, 자격·교육 제도화 추진

- 진단·감시 융복합 기술 + 교육프로그램 패키지 기술 개발
- 교육 프로그램 운영 및 기술자격제도 운영으로 기술 인력양성·확보

다. 정부 지원 강화 (제도개선 및 지원방안)

□ 수도시설 관리상태 점검을 위해 정수장, 상수도 관망 등 수도시설에 대한 정밀안전진단, 기술진단을 실시하고 종합개선계획을 수립하도록 의무화(시특법, 수도법)하고 있으나, 이행 강제력이 약한 실정

□ 수도시설 정밀안전진담 및 기술진단 관련 **제도 개선**, 강화로 국내 상수도 진단 기술개발 및 시장 활성화

- 정부차원의 진단제도 관리 강화(진단 시행·개선 계획 보고 및 평가 체계, 벌칙, 지원방안 등)
- 진단 대가 제정, 정밀진단 매뉴얼 작성, 진단 전문기관 기준 강화
- 개발기술(진단장비, 통합운영시스템, 감시시스템 등) 활용시 제도적 인센티브 방안 등 검토

□ **신기술**의 적극적 **보급·활용 방안** 추진

- 정부가 신기술을 적극적으로 활용·평가하는 체계 도입을 강하게 추진

* 국내의 경우도 **정부**에서 개발 기술에 대한 **현장 시범사업**을 적극 **지원**하여, 현장 적용을 통해 도출된 문제점과 한계를 극복할 수 있는 기술 개발을 지속적으로 추진 할 수 있도록 하여 선진국과의 기술격차를 해소하고 세계 물시장에서 기술경쟁력을 확보 할 수 있도록 주도적인 역할 필요

- 실적을 근거로 신기술의 유용성을 지자체, 그 외 인프라 시설 관리자에게 널리 주지해, 전국적으로 신기술을 전개하는 동시에 인프라 유지 관리 관련 신규 비즈니스 시

장의 창출을 촉진

- 지방상수도사업자(지자체)에 대해서는 예산 지원을 포함한 유지관리 체계를 구축하는 동시에 실무 업무 수행 할 인재 육성 지원 실시

□ 해외시장 진출 전략 및 지원 강화

- 아시아를 중심으로 한 해외 시장 진출을 위해, 국외 기술 인프라 보유기관과 기술 교류 협력 체계 구축하여 시장 진출 발판 마련

□ 세계화를 위한 표준화 추진

- 첨단 관로 진단 감시기술을 기반으로 예방적 유지관리 실현으로, 세계적인 공통 이슈인 용수공급 관로 인프라의 노후화 대책의 성공 사례를 만들어 세계시장 진출 도모
- 세계시장 진출 실현과 유효한 수출 산업화를 위해, 국내에서의 활용 실적과 그 평가로부터 기술의 국제 표준화, 또는 조건에 따라서는 대상국에 대한 현지화까지를 실시하는 체제 정비 구축

라. 연관산업 활성화 영향 검토

□ 용수공급 관로의 비파괴 정밀진단, 성능평가 및 구조적 상태 모니터링 기술 개발을 통하여 진단, 개량, 장치 관련 분야 산업 및 시장 확대

- 설계 및 컨설팅, 건설 및 시공, 운영 유지관리, 부품 및 재료 등 물산업 분야 4개 대분류 관련 기술 확대
- 정밀안전진단 활성화, 엔지니어링 및 시공 분야 역량 강화 및 시장 확대
- 용수공급 관로 뿐 만 아니라 상하수도시설 운영 및 유지관리 관련 검사, 보수, 갱생, 교체, 설계, 설비 분야 기술 발전

□ 관로의 비파괴 정밀진단, 모니터링 등 과학적 유지관리 분야 시장 창출

- 수도시설 정밀안전진단, 기술진단, 갱생 및 교체 등 개량사업, 점검정비 수선 유지보수 등 유지관리 전문 분야의 기술자격 제도화, 교육 프로그램 운영, 인력 양성

□ 비파괴기술(NDT) 분야 시장 규모 적으나 인프라 진단 및 안전관리 분야 융복합 미래 수요 창출

- 비파괴 기술 검사 시장 확대로 정부 비파괴기술 진흥계획에 기여
- 비파괴기술(NDT) 적용 미래 기술 분야인 SOC 시설물 안전관리 분야의 적용 확대로 비파괴 센서, 장치, 비파괴검사서비스 분야 수요 창출로 장비 응용 기술, 일자리 창출, 인력 양성 등 시장 확대 효과
- 국내 기술력 확보 및 건전한 시장 형성으로 외국 장비 및 기술 수입으로 인한 외화 및 정보 유출 저감 및 대체 가능

□ ICT 및 로봇 기계장치 분야 융복합 시장 창출

- 국내 서비스 로봇, 지능로봇, 검사 및 탐사 로봇 분야 응용 확대
- 기계 장치 플랫폼, 자율주행 구동장치, 조향기술
- 위치정보, mapping, 실시간 통신, 고성능 배터리, DB구축, 소프트웨어, 데이터 저장, 처리, 3-D 디스플레이 등 기계, 전자, 통신, 제어 분야 복합기술 발전
- 장비 제작, 판매, 부품 및 유지관리 서비스 시장 확대

마. 해외시장 진출 방안

□ 기술 및 가격 경쟁력 확보 및 target 국가 진출 전략 수립 필요

- 필리핀, 인도네시아, 베트남, 태국 등 급속한 산업화, 인구증가 및 경제발전에 따른 용수수요 증가 등으로 급성장 중인 아시아 지역 시장 target 국가의 노후된 용수공급 인프라 시장 진출 전략 수립 필요
- 중국, 인도 등 신규 건설 수요 많고 기존시설 노후 및 누수율 높은 국가 대상 검토
- 성장잠재력이 높고, 성장속도가 빠른 중국, 동아시아 물시장의 진입은 해외사업에 필수적
- 선진국 관로 진단, 개량, 유지관리 주요 기업들의 해외시장 진출 사례 분석
- 설계, 건설, O&M, 장치 등 관련 분야 연계 진출 검토

□ 기존 조사 보고서 및 사례 분석을 철저히 뿐 만 아니라 대상 국가(지역)의 직접 조사 필요

- 선진기업 진출사례를 토대로 제반위험의 회피 필요
- 국내 물산업 기업 경쟁력 분석 필요(기술, 가격 경쟁력 및 정보, 금융 등 지원 부분 포함)

바. 국산화 전략 검토

□ 관로 비파괴 정밀진단·감시 기술 국산화 기술개발 방향

- 국내 비파괴 검사장비의 90% 이상 수입에 의존하고 일부 부속 및 단순 장비만 국산화 되어있어, 고가이며 수입의존도 높은 센서, 탐상기 등의 NDT 관련 기술 개발은 정부 주도로 전문기관에서 개발 추진 필요
- 수요가 큰 관로(배관) 비파괴 진단 장비의 국산화로 장비 및 기술의 새로운 수출 품목화 지원 체계 구축 필요
- 기획연구 기술수준·예측 조사에서 성능평가 분야가 일부 해외 협력이 필요한 것으로 조사됨

* 성능평가 분야(구조해석, 수명예측 등)가 기술격차 가장 크며 국제협력 필요

- 세계 최고수준과 비교 검토, 개발비용, 기간, 기술 및 시장 경쟁력 등을 고려하여 국산화 목표 설정 필요

* 센서, 장비, S/W, H/W 등 분야별 세부적 검토 후 연구개발 계획 수립
* 기수행 및 수행 중인 관련 기술 및 최신 기술(성능, 가격 등) 파악

□ 국내외 전문기관 연계로 선택과 집중을 통한 경쟁력 있는 기술 개발 전략 추진

- 국내외 최신 기술동향을 분석하여 가스배관(가스공사), 송유관, 원자력 분야 등 국내외 전문기관과의 연계·공동연구 추진으로 기술 국산화 조기 달성

* 기술동향, 기술수준, 기술예측, 국내 기술개발 인프라 분석 결과 기술 개발 가능 수준
* 특히 국내 가스·송유·원자력 배관에 대한 비파괴, 로봇, 센서, 프로그램 등은 이미 선진국 수준에 가까이 도달한 부분이 있으므로, 이들 타 배관과 융합연구를 추진할 경우 개발 성공 가능성은 더 높아질 것으로 판단

- 상하수도 및 관로, ICT+Robot기술, 비파괴기술, IoT, 빅데이터 등 다학제간 융복합 연구를 통한 관로 유지관리 고도화 및 신사업 모델 창출형 기술 개발
- 정밀진단 장비 제작, 안전진단 엔지니어링 및 컨설팅, 상시적 유지관리 업무, 자격교육 등 중소·중견기업 육성, 인력 양성, 일거리 창출 및 산업경쟁력 강화 등의 기대효과 달성 가능 기술 개발

□ 기술 국산화를 위한 단계(연차)별 기술개발 추진

- (1차년도) (설계) 관로 내·외면 진단센서·장비, 감시센서시스템 설계
- (2차년도) (시제품제작) 진단센서모듈·이동장비, 감시센서 및 통합관리시스템 시제품 제작
- (3차년도) (성능평가) 정밀진단 장비, 종합성능평가 프로그램, 감시시스템 시제품 성

능평가

- (4차년도) (신뢰성검증) 진단·감시 기술 통합시스템 신뢰성 검증평가(테스트베드)·보완
- (5차년도) (상용화) 진단·감시 상용화시스템 현장적용·검증, 기술표준화, 비즈니스 모델, 사업화 전략

제 6 절 핵심기술요소 및 TRL 목표

1. 핵심기술 요소(CTE) 선정

□ CTE 정의

- CTE(Critical technology elements)는 **과제의 성패를 좌우하는 중요한 기술**로서 개발 기술이 완성되기 위하여 충족되어야 할 필수기술로서

- CTE는 기술개발 최종 목표의 성공여부를 결정짓는 **소재나 부품, 시스템으로 그 자체로 시연이 가능하여 시험평가 항목에 대한 측정이 가능**하여야 함

□ CTE 선정 조건

- 기획시 핵심기술요소 후보군에 대하여 **선정조건(6개의 질의)을 활용하여 최종 핵심기술요소를 선정**하되, 1.은 반드시 충족 되어야 하고, 2~6.에 대하여 하나 이상 충족이 되어야 함

1. 이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?
2. 해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?
3. 해당기술이 새롭거나 독창적인가
4. 기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?
5. 해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?
6. 이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가? 등

핵심요소기술 (CTE) 후보과제		CTE 선정조건						CTE 선정여부
		1	2	3	4	5	6	
1. 세부 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발	▪ 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	○		○		○	○	○
	▪ 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	○		○		○	○	○
	▪ 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발	○		○		○		
	▪ 이동체 관제기술 개발	○		○		○	○	○
2. 세부 관외면 정밀진단 자동화 기술개발	▪ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	○		○		○	○	○
	▪ 자동화 정밀탐상 장비 개발	○		○		○	○	○
3. 세부 비파괴 종합적 성능평가 기술개발	▪ 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발	○			○	○		
	▪ 비파괴 종합적 개량의사 결정 기술 개발	○		○		○	○	○
	▪ 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발	○			○	○		
4. 세부 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발	▪ 실시간 구조적 상태감시 기술 개발	○		○		○	○	○
	▪ 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발	○		○			○	
	▪ 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	○		○		○	○	○

2. TRL 목표

□ TRL(Technology Readiness Level)은 **개발기술의 성숙도 또는 이행단계를 평가하기 위한 정량화된 측정지표**로서 **미국**의 경우 **국방부 무기체계개발에 적용**하고 있으며 기술개발 착수 전 기술성숙여부를 판단하여 **기술적 위험을 저감**

- 현재, 미국의 NASA, DoD, 영국의 MoD 등에서 활용 중이며, NASA에서 우주산업의 기술투자 위험도 관리의 목적으로 1989년 TRL 도입

□ 국내에서는 방위사업청은 무기체계개발 사업의 주요시점마다 기술적 구성요소 및 **성숙도를 평가하도록 규정**(방위사업청 예규)

- 산업통상자원부 R&D의 경우 산업기술별로 핵심부품소재를 선정, **기술성숙도 평가 적용**

□ 본 기획에서 TRL은 국토교통 R&D 사업의 TRL 단계를 준용하여, 최소 해외 선진국 수준의 TRL 수준까지 기술개발의 TRL로 설정

- TRL유형은 국토교통 R&D 성과 특성을 고려한 5 가지 유형을 준용

□ TRL 단계는 국토교통 R&D 사업의 TRL 단계를 준용

- **연구개발환경**(실험실, 유사환경, 실제환경), **연구개발결과물**(시제품, 완제품), **기술수준**(개념, 시현, 성능검증)에 따라 기술성숙도 분류

- 기초연구, 실험, 시작품, 실용화, 양산의 R&D 5단계와 **9개 세부단계**로 분류

R&D 유형	정의	사례
시스템	다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 운영되는 R&D	철도, 공조시스템 등
공법·기법	기존과 차별화되는 제작 및 시공 방법 등을 제시하는 R&D	시공방법, 설계기법 등
재료·자재	기존 원료 및 재료를 대체할 수 있는 R&D	FRP, 강화 콘크리트 등
소프트웨어	특화된 요구를 충족시키는 소프트웨어 R&D	설계 프로그램, D/B등
장비·장치	기존과 달리 대체 또는 개선된 장비/장치 R&D	기계, 부품, 측정 장치 등

TRL 단계			단계별 정의
기초연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
	2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 • 개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계 등
	4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발	• 시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 • 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하는 단계 • 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계
시작품	5	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 • 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제품 샘플은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
	6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일롯 규모(복수 개 ~ 양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 • 파일롯 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 수율, 불량률 등 제시 • 파일롯 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장 테스트를 실시하여 목표성능을 만족시킨 단계 • 성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보
실용화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모	• 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 • 장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파일롯 시제품을 현장 평가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가) • 가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
	8	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계
양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계

□ 핵심요소기술에 대하여 현 TRL 수준과 기술개발에 따른 목표 설정

핵심요소기술 (CTE)		유형	현 TRL	목표 TRL
1. 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발	▪ 관내면 비파괴 상태 진단 multi-sensor 기술 개발	장비·장치	4	8
	▪ 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	장비·장치	4	8
	▪ 이동체 관제기술 개발	시스템	4	8
2. 관외면 정밀진단 자동화 기술개발	▪ 관외면 비파괴 상태 진단 multi-sensor 기술 개발	장비·장치	4	8
	▪ 자동화 정밀탐상 장비 개발	장비·장치	4	8
3. 비파괴 종합적 성능평가 기술개발	▪ 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발	소프트웨어	4	8
4. 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발	▪ 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발	장비·장치	4	8
	▪ 실시간 구조적 상태 감시 통합관리 시스템 개발	시스템	4	8

□ 핵심요소기술에 대하여 TRL 연차별 개발목표

- 타 분야(가스, 송유, 원자력, 기타 배관 등)에 대한 TRL 수준은 높으나, 대규모 용수공급관로에 대한 기술 개발시 새로운 형태의 기술 또는 용수공급관로 환경에서의 실험적 검증단계는 필수

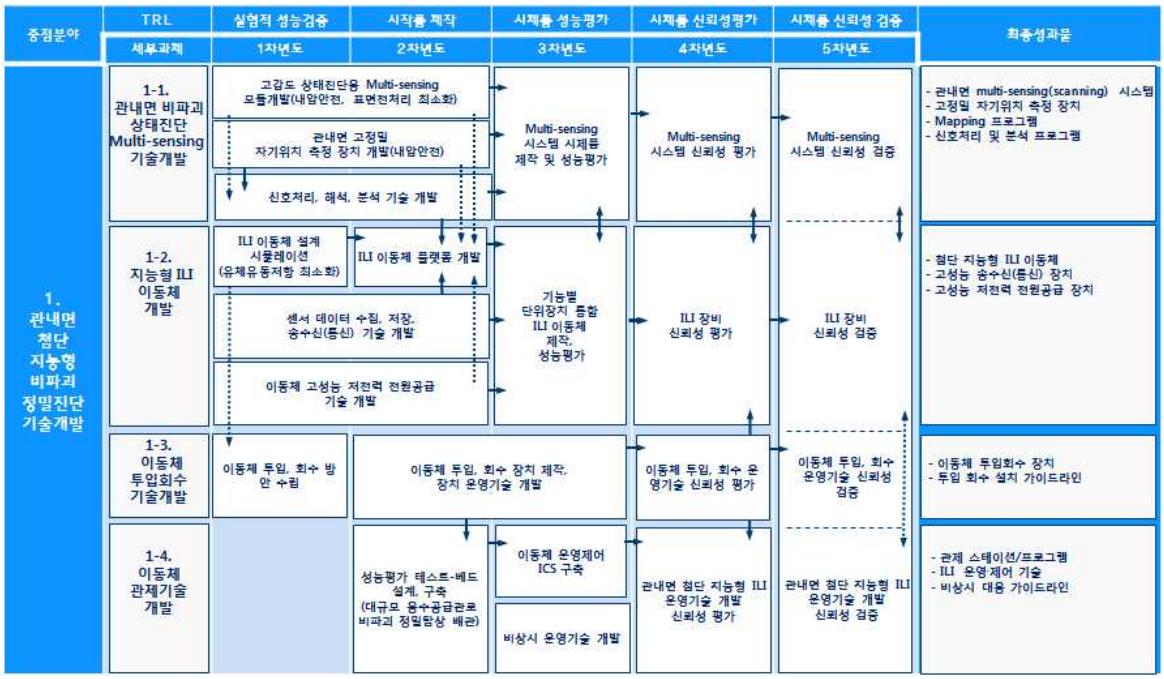
핵심요소기술 (CTE)	TRL 유형					
프레임워크	기본 성능 검증	실험적 성능검증	시제품 제작	시제품 성능평가	시제품 신뢰성 검증	시제품 인증
마일스톤	현재 TRL	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
기술명						
▪ 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 이동체 관제기술 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 자동화 정밀탐상 장비 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 비파괴 종합적 개량의사 결정 기술 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 실시간 구조적 상태감시 기술 개발	4	4	5	6	7	8
▪ 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발	4	4	5	6	7	8

제 7 절 세부과제 간 연계관계

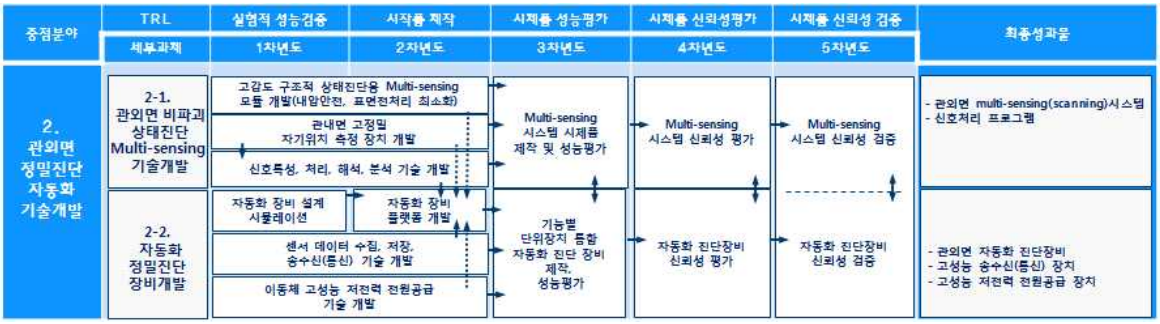
● 상호보완 관계, ○ 연계관계

종점 / 시점	중점추진분야 1 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발	중점추진분야 2 관외면 정밀진단 자동화 기술개발	중점추진분야 3 비파괴 종합적 성능평가 기술개발	중점추진분야 4 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발
중점추진분야1 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발		● 관외면 Multi-sensor ● 관외면 신호처리, 해석, 분석기술 ● 관외면 면적 scanning ● 관외면 데이터 수집, 저장 ● 관외면 데이터 추출, 합성, 필터링	○ 가이드라인 ○ 3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 ○ 잔존수명 안전성 평가 ○ 종합의사결정 기술	● 비파괴 감시센서 ● 신호 신뢰성확보기술
중점추진분야2 관외면 정밀진단 자동화 기술개발	● 관내면 Multi-sensor ● 관내면 신호처리, 해석, 분석기술 ● 관내면 면적 scanning ● 관내면 데이터 수집, 저장 ● 관내면 데이터 추출, 합성, 필터링		○ 가이드라인 ○ 3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 ○ 잔존수명 안전성 평가 ○ 종합의사결정 기술	● 비파괴 감시센서 ● 신호 신뢰성확보기술
중점추진분야3 비파괴 종합적 성능평가 기술개발	● 관내면 데이터 수집, 저장 ● ICS 구축	● 관외면 데이터 수집, 저장		○ 신호 신뢰성 확보 기술 ○ 3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 ○ GIS 연계 프로그램
중점추진분야4 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발	● 신호처리, 해석, 분석기술 ● 관내면 비파괴 데이터 수집, 저장	● 신호처리, 해석, 분석기술 ● 관외면 비파괴 데이터 수집, 저장	● 3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 ● 잔존수명 안전성 평가 ● GIS 연계 프로그램	

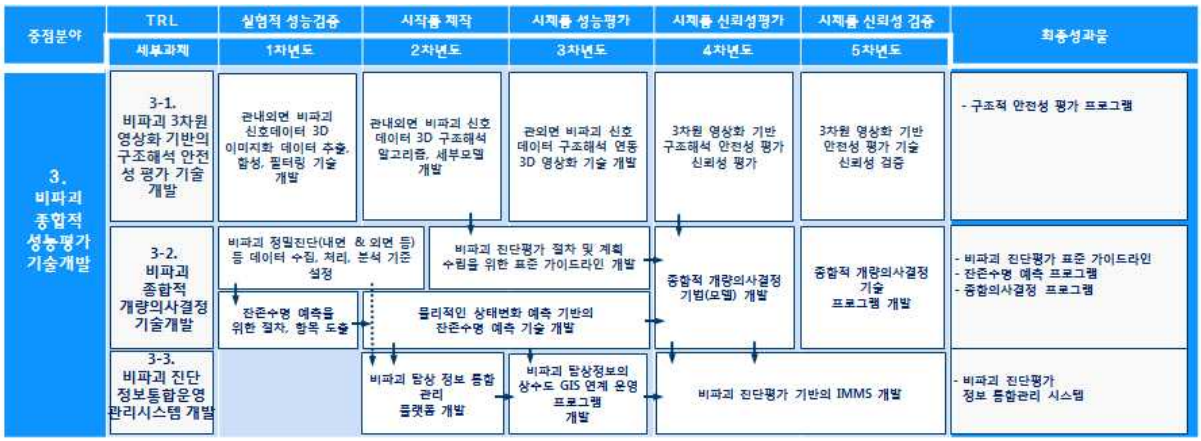
제 8 절 과제별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵



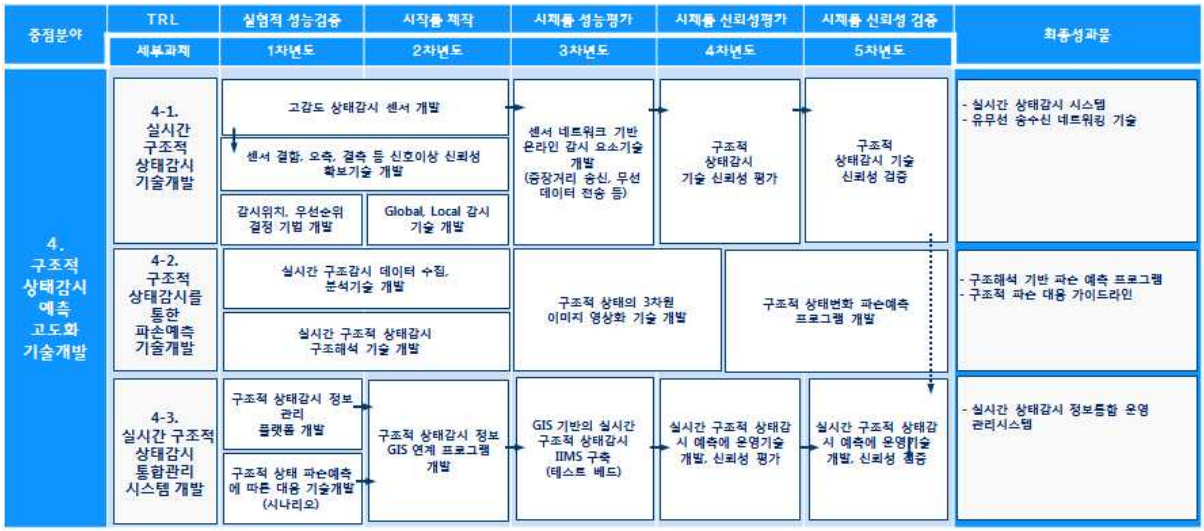
▌그림 4.8.1 관내면 첨단지능형 비파괴 정밀진단기술 개발 TRM▐



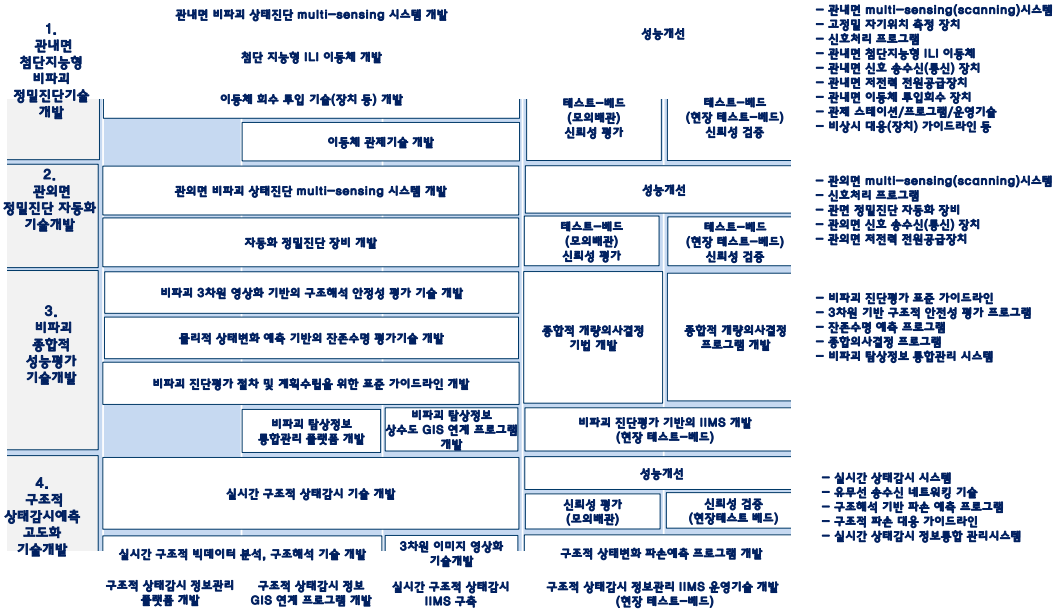
▌그림 4.8.2 관외면 비파괴 정밀진단 자동화 기술 개발 TRM▐



▌그림 4.8.3 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발 TRM▐



▌그림 4.8.4 구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발 TRM▐



▌그림 4.8.5 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단성능평가와 운영감시시스템 개발 TRM▐

제 5 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

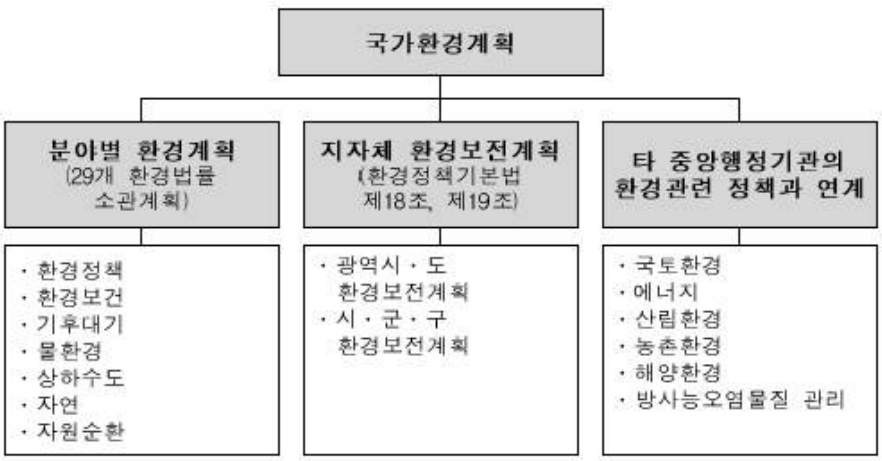
가. 국가차원의 계획과의 부합성

(1) 제4차 국가환경종합계획 (2016~2035, 20년)

□ **(비전)** "자연과 더불어, 안전하게, 모두가 누리는 환경행복"이라는 비전으로「환경정책기본법」제14조에 근거한 제4차 국가환경종합계획은 환경분야의 범정부 최상위 계획으로 분야별 환경계획, 타 중앙 행정기관 ·지자체 환경계획에 대한 기본원칙 및 방향을 제시함

□ **(전략)** 계획기간은 2016년부터 2035년까지로, 향후 20년간 국가 환경정책의 비전과 장기 전략을 제시하는 법정계획임

< 국가환경종합계획과 타 환경계획간 관계 >



▌그림 5.1.1 국가환경종합계획과 타 환경계획간 관계 ▐

□ **(3차 계획 중점목표)** 제3차 국가환경종합계획 (2006~2015)은 '지속가능한 선진국가 조

성’을 목표로 ‘한반도 환경용량’, ‘세대간·세대내 환경형평’, ‘지속가능한 자연자원’, ‘생태원리를 존중하는 안정적 경제’를 내용으로 수행되었는데, 분야별 성과분석을 통해 향후 보완되어야 할 점을 살펴볼 수 있음

□ 제3차 국가환경종합계획에서는 물환경과 관련하여 다음과 같은 시사점을 나타내고 있음

- **기후변화 대응과 노후시설 정비 강화 필요)** 자원이용 분야에서 절수기기 보급, 중수도 시설설치, 공업용수 활용 등으로 하수처리수 재이용율을 증가시켜 (‘05년 6.9 → ‘13년 12.6%) 물재이용체계를 강화하였으나 재생가능성에 기초한 자원이용은 OECD 국가 평균 수준에 미달하는 수준이고, 시설 노후화로 물이용 효율 제고가 미흡하여 기후변화 등으로 인한 가뭄과 집중강우 등에 취약하다는 한계를 보였음. 이에 상하수도 요금 현실화, 노후시설 정비 등으로 물수요관리 및 순환체계 강화가 필요함

- **위험 대응기술 확충 노력 필요)** 생활환경 분야에서 상·하수도 시설 확충 및 먹는 물 관리를 강화하였고, 쾌적하고 깨끗한 물환경 기반을 구축하였으나 농어촌 보급률은 개선의 여지를 보였고 (2013년 기준 면단위 지역 상수도보급률 : 65.9%), 기후변화로 인한 침수피해, 시설 노후화에 따른 싱크홀 발생 등 물환경 여건변화에 따른 위험이 증가하여 상·하수도 인프라 구축의 내실이 미흡하다는 한계가 있었음. 이에 상·하수도 인프라의 지역 격차 해소 및 질적 고도화가 필요함

- **시장진출형 환경 R&D 기술 확대 필요)** 환경경제 분야에서 환경기술 개발사업에 지속적으로 투자를 하여 환경기술 R&D 비중은 점진적으로 증가하고 있으나 2015년 목표 (6.0%)에 미달 (‘03년 4. 5→‘15년 5.0%) 하였고, 공법 위주 R&D로 제품화로 연결되는 사례가 부족하여 향후에는 지속적인 신규 환경기술 발굴, 환경 R&D와 산업간 연계 강화, 환경산업 해외진출 지원 전략 등 육성방안 마련이 필요함

□ **(4차 계획 핵심 전력별 추진계획)** 제4차 국가환경종합계획의 핵심 전략별 추진계획 중 ‘미래 환경위험 대응능력을 강화’하는 정책 방향은 현재의 ‘환경위험요소에 대한 사후관리’방향에서 ‘미래 환경위험에 대한 사전 예측 및 위험 최소화’하는 방향으로 전환하여 기후변화 적응 산업을 신성장동력으로 활용할 수 있음

□ 제4차 국가환경종합계획에서 미래사회 변화는 다음과 같이 전망하고 있음.

- **ICT·빅데이터·기술융합 기술 R&D 투자확대)** 환경스캐닝을 활용하여 전망한 미래사회 주요 메가 트렌드는 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 5개 분야로 구분하여 전망하고 있음. 기술분야에서는 ICT를 활용한 에너지·자원이용, 환경서비스 제공, 오염저감 등 효율화가 이슈가 될 것이고, 빅데이터 분석에 의한 환경정책 수요 도출 등 분석기술

개발에 대한 정책 수요 및 기술융합형 환경신기술 확보를 위한 R&D 투자에 대한 수요가 있을 것으로 전망함

- **사회적 기반시설 안전관리 강화)** 경제분야에서는 도시지역 및 기반시설 노후화에 따른 환경친화적 도시재생에 대한 요구가 증대할 것으로 예측하고 있음. 특히, 상하수도 등 노후 기반시설 리모델링을 요구하고, 지하공간 개발확대에 따른 싱크홀 등 사고위험, 지반·지하수 교란, 지하공간 실내 공기질 등 환경 및 안전관리 수요가 증대할 것으로 보이기 때문에 상하수도 등 노후 환경기초시설 관리와 지하공간 환경 및 안전관리에 대한 정책 수요가 있을 것으로 예상하고 있음

□ **(기획연구의 타당성 측면)** 노후 인프라 정비와 예상치 못한 기후변화로 인한 재해 대응시 필요한 '대규모 용수공급 관로 비파괴 진단기술 개발'은 제3차 국가환경종합계획의 성과분석 후 예상되는 정책수요와 제4차 국가환경종합계획의 전략 및 추진계획에 부합되는 것으로 판단됨. 특히, ICT를 활용한 관로의 정밀진단을 통해 환경정보 모니터링을 확산하여 스마트 상수도 구축한다면 향후 상수도 자산관리체계 구축에도 기여할 것임

▌표 5.1.1 27개 기후변화 적응 유망산업 ▐

분야	산업	분야	산업
건강	식품안전 진단키트	산림·생태	외래병해충 예방·방제
	아열대성 질환 백신		산불 예방 및 진화
농업	내재해성 재배시설		산림복구기술
	적응형 축사시설		산림자원 개발·이용
	적응형 신품종		산악기상 및 산림생태 모니터링
	병해충 및 잡초 방제		외래종 판별 및 모니터링
수산	아열대성 질병 제어	기상	맞춤형 기상정보 제공 및 컨설팅
	수산자원 어장 탐색		기상관측 장비
	내재해성 양식시설		
물	대체수자원 개발	도시·연안·건축	그린인프라(GI) 및 LID 융합
	상하수도 시설관리		기후 친화형 건축물
	수질 유해물질·생물 관리		기후변화에 안전한 기반시설 관리
자연재해	도시배수 통합관리 시스템	보험·컨설팅	기후변화에 위험 저감을 위한 보험
	산사태 위험감시 및 대응		기후변화 리스크 컨설팅

(2) 제3차 과학기술기본계획 (2013~2017, 5년)

□ **(ICT 접목을 통한 새로운 사업시장 창출)** 「과학기술기본법」 제7조에 따라 정부가 5년마다 의무적으로 수립·시행해야하는 법정 계획으로 창조경제 실현을 위한 과학기술 역할과 정책방향을 제시함. 창조경제는 국민의 상상력과 창의성을 과학기술과 ICT에 접목하여 새로운 산업과 시장을 창출하고 기존 산업을 강화함으로써 좋은 일자리를 만드는 새로운 경제 전략임

□ **(융합형 미래성장동력 기술 확보 필요)** 현재 우리나라 연구개발 역량은 새로운 원천기술과 미래성장동력 창출이 미흡하고, 기술과 산업, 산업 간 융합이 미흡하며 사회문제 대응 및 삶의 질 향상을 위한 과학기술적 해법이 미흡함

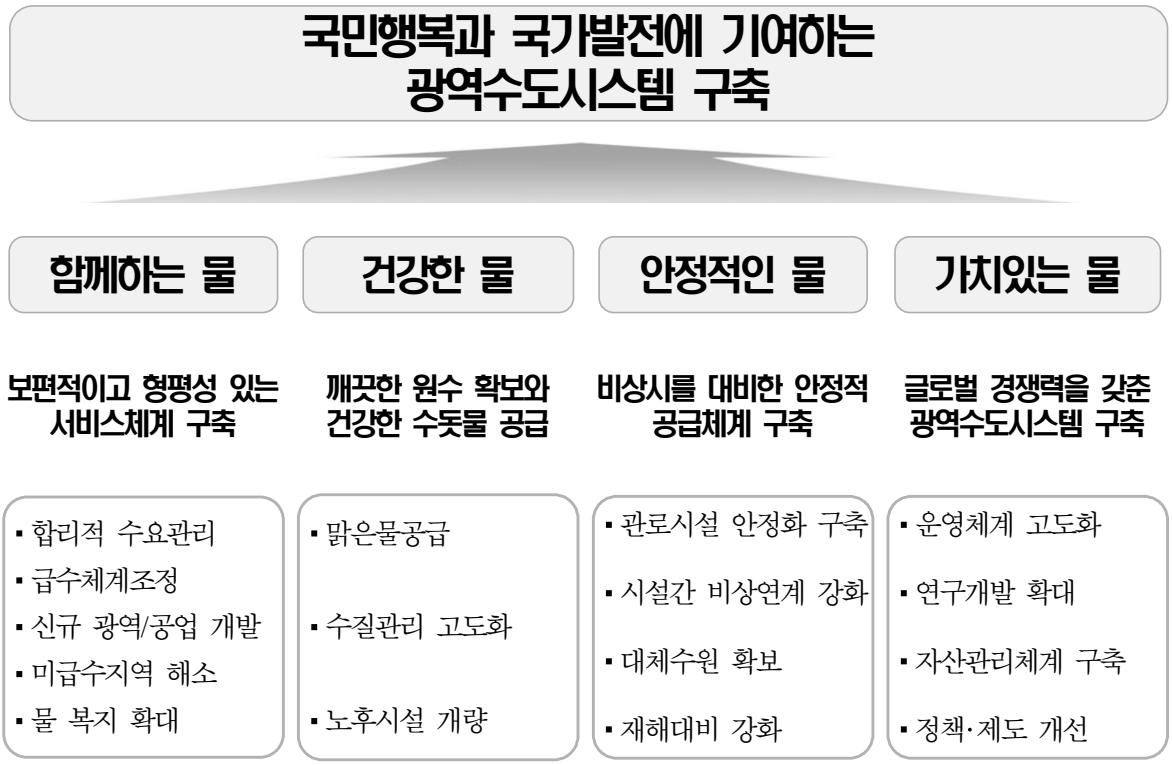
□ **(국민안전과 삶의 질 향상을 위한 R&D 확대)** 향후 연구개발 정책방향은 미래성장동력을 지속적으로 발굴하고, 과학기술과 ICT를 전 산업에 접목하여 고부가가치화, 기술-산업-사회 대융합을 통해 국가경쟁력을 제고하며 건강, 안전, 기후변화 등 삶의 질 향상을 위한 연구개발을 확대할 것임

□ **(기획연구의 타당성 측면)** 제3차 과학기술기본계획의 5개 추진분야는 1) ICT 융합 신산업 창출, 2) 미래성장동력 확충, 3) 깨끗하고 편리한 환경 조성, 4) 건강장수시대 구현, 5) 걱정없는 안전사회 구축임. 이 중 3) 깨끗하고 편리한 환경 조성 분야에서 국가중점과학기술로 '환경 통합모니터링 및 관리기술', '수자원 통합관리시스템 기술', '복합 지하 대공간 활용 기술'에 본 연구과제 결과물이 **부합**될 수 있다고 판단됨

나. 부처 고유 업무 및 자체 계획과의 일관성

(1) 2025 수도정비기본계획 (광역 및 공업용수) 변경 - 관로시설 안정화

□ **(추진배경)** 수도정비기본계획은 전국적인 용수수급 현황을 분석하고, 기후변화로 인한 홍수, 이상 가뭄 등 기상이변을 고려한 광역상수도 및 공업용수도의 합리적인 설치·운영에 관한 계획을 수립함으로써, 한정된 수자원의 효율적 이용과 지역간 용수수급 불균형을 해소하고 용수공급의 안정성을 확보하고자 「2025 수도정비기본계획(광역상수도 및 공업용수도)」을 수립·고시하였음. 2012년도를 기준으로 2015년~2025년까지 전국 161개 지자체를 대상으로 하는데 2015년 8월에 변경 고시함



▌그림 5.1.2 수도의 정비에 관한 기본방향 ▐

□ **(기본방향)** 상기 기본방향 중 안정적인 물을 공급하기 위한 관로시설 안정화 구축은 30년 이상 노후된 관로시설 개량 및 단선관로 복선화를 통한 용수공급 중단 방지를 목적으로 노후관로 개량을 추진하는 내용임. 또한 관로 진단을 통해 자산관리체계 구축하여 광역수도시스템 구축에 기여할 수 있음

□ **(사업계획)** 수도정비기본계획의 사업계획은 크게 '시설확충', 개량 및 안정화', '유지관리'로 구분되는데 그 중 '개량 및 안정화'에 총 사업비의 73.9% (73,519 억원)가 편성되어있음

▌표 5.1.2 사업계획 총괄▐

구 분	주요 사업내용	사업비 (억원)
▪ 시설확충	급수체계조정, 신규 광역/공업 개발, 미급수지역 해소	23,470
▪ 개량 및 안정화	취수장·정수장·관로·설비 등 수도시설 개량, 관로복선화, 비상연계, 고도처리, 예비능력도입 등	73,519
▪ 유지관리	운영 및 정보관리 계획, 수질관리계획, 수요관리계획, 연구개발(R&D), 재해대책	2,456
합 계		99,445

- **중단없는 용수공급 체계 강화 필요)** 노후화된 수도시설은 국민생활의 안전을 위협하고, 국가 경제발전을 저해하는 원인으로 작용할 수 있기 때문에 적기 개량이 필요하고 수도사고 발생시에도 중단없는 용수공급을 위해 관로 복선화, 노후관 개량사업, 수도시설간 비상연계 등이 필요함

□ **(기획연구의 타당성 측면)** 현재 국내여건은 SOC 사업에 대한 투자를 축소하고 있는 실정으로 관로시설 안정화 사업을 적기에 추진하기 위해서는 보다 합리적인 사업추진 타당성 확보가 필요함. 본 연구 과제를 통해 관로의 상태를 정밀 진단한 결과는 관로의 교체시기 및 투자 우선시기를 정하는 근거가 될 수 있음

2. 사업추진의지 및 관련기관 협조체계(국토교통부 및 환경부)

□ **(국토교통부)** 국토교통부의 수자원 관련 예산편성은 하천관리 및 홍수예보, 댐건설 및 치수능력, 용수공급 및 개발, 수자원정책으로 구분되며 이 중 관로 비파괴 관로 진단기술은 용수공급 및 개발 항목에 포함된다고 볼 수 있음. 2016회계연도 국토교통부의 예산 및 기금운용계획안 (2016.1)을 살펴보면, 용수공급 및 개발 부분에서 전년대비 425억원 (61.5%) 증가한 예산을 편성하였고 안정적인 용수공급을 위한 광역상수도 및 공업용수도 건설 예산을 확대 (311 → 785 억원) 하였으며 수자원정책 부분에서는 지하수에 대한 체계적 관리를 위한 투자를 확대하였음 (129 → 136억원). 특히, 노후관 교체·복선화사업에 전년도 본예산 대비 61억원 증가한 162억원을 편성하였음. 이는 노후관 교체에 적극적인 정부의 자세를 보여준다고 판단됨

▌표 5.1.3 국토교통부 소관 부문별 세출예산 중 수자원 부문▐

(단위 : 억원)

구 분	'15예산		'16예산 (B)	증 감	
	본예산(A)	추경(증액)		(B-A)	%
계	**22,731**	**1,924**	**21,496**	**△1,235**	**△5.4**
1 하천관리및홍수예보	18,014	450	16,999	△1,015	△5.6
○국가하천정비	4,338	-	3,900	△438	△10.1
○치수연구개발	323	-	323	0	0.0
○댐직하류정비	100	-	150	50	50.0
○수자원공사지원	3,090	-	3,400	310	10.0
○국가하천유지보수	1,622	-	1,558	△64	△3.9
○경인아라뱃길사업지원	800	-	670	△130	△16.3
○하천편입토지 보상	500	-	300	△200	△40.0
○홍수예보및수문조사	120	-	121	1	0.8
○수문조사시설설치및개선	367	-	194	△173	△47.1
○지방하천정비	6,754	450	6,383	△371	△5.5
2 댐건설및치수능력증대	3,752	1,084	3,176	△576	△15.4
○댐건설	2,158	488	2,081	△58	△2.7
○치수능력증대	1,222	586	714	△508	△41.6
○댐유지관리 등	372	10	381	△11	△3.0
3 용수공급 및 개발	691	390	1,116	425	61.5
○광역상수도건설	165	150	346	181	109.7
○공업용수도건설	146	50	439	293	200.7

○급수체계조정사업	279	50	169	△110	△39.4
○노후관교체·복선화사업	101	140	162	61	60.4
4 수자원정책	274	-	206	△68	△24.8
○지하수관리	129	-	136	7	5.6
○수자원정책알리기및국제협력	71	-	18	△53	△74.6
○전국유역조사	13	-	16	3	23.1
○세계물포럼 분담금 지원	15	-	-	△15	△100.0
○수자원시설조사 및 연구	45	-	36	△9	△20.0

□ **(환경부)** 환경부의 수도사업 지원은 환경개선특별회계 및 지역발전특별회계로 구분함. 이 중 지역발전특별회계에서 상하수도시설 확충 및 관리 등 사업에 2014년 대비 3,067백만원 증가한 458,375백만원을 편성하였음. 2015년 환경개선특별회계는 2014년 대비 예산이 감소한 먹는 물 관리 (상수도시설 기술진단 등) 와 상수도정보화시스템 구축 (상수도정보화시스템 운영관리) 사업이 있었고, 2014년 대비 예산이 확대된 노후정수장 실태조사 사업 (지방상수도 노후도 실태평가 등)이 있었음. 2015년도 환경부의 상수도 예산은 2014년도 4,741억원 대비 75억원 증가한 4,816억 원이었음

▌표 5.1.4 환경부 2015년도 상수도분야 예산현황▐

(단위 : 백만원)

회 계 명	14예산 (A)	15예산 (B)	증 감 (B-A)	사업 내용
[합계]	474,129	481,659	7,530	
환경개선특별회계	18,821	23,284	4,463	먹는물 관리 등 10개 세부사업
지역발전특별회계	455,308	458,375	3,067	상하수도시설 확충 및 관리 등 5개 세부사업

▌표 5.1.5 환경부 2015년도 상수도분야 환경개선 특별회계 ▐

(단위 : 백만원)

사 업 명	14예산 (A)	15예산 (B)	증 감 (B-A)	사업 내용
[합계]	18,821	23,284	4,463	10개 세부사업
중소도시지방상수도개발	3,114	3,114	-	계속사업 1개소(거제시)
평창동계올림픽 급수체계 구축	6,000	8,100	2,100	안정적인 용수공급을 위한 식수전용저수지 개발 및 상수도시설 확충
물산업기반구축	1,761	3,693	1,932	물산업 클러스터 구축 사업 등
먹는물관리	804	374	△430	상수도시설 기술진단, 상수도통계 발간 등
노후정수장 실태조사		**2,000**	**2,000**	**지방상수도 노후도 실태평가 및 정비사업 타당성 조사사업**
상수도연구관리	585	527	△58	수도사업자 평가 및 정수시설운영관리사 관리 등
물절약정책추진	570	513	△57	물사랑·물절약 홍보, 소셜미디어를 활용한 온라인홍보 등
상수원보호구역주민지원	2,340	2,223	△117	소득증대사업 지원 등 123개 사업
저소득층 옥내급수관 개량지원	2,112	1,410	△702	차상위 계층 등 저소득층 옥내급수관 개량비용 지원
상수도정보화시스템구축	1,535	1,330	△205	상수도정보화시스템 운영관리

- 2016년도 수도시설 확충·개량사업에 대한 환경부의 예산편성을 살펴보면, 국고지원 대상사업으로 '상수관로 및 노후 정수장 정비사업'을 신규사업으로 편성하였는데, 이는 상수관망 노후화로 유수율 개선이 필요한 지자체의 상수관로를 정비하여 유수율을 개선하기 위함임

▌표 5.1.6 국고지원 대상사업 및 국고보조(융자)율▐

사 업 명	형태	보조율(%)	비 고
<환경개선특별회계>			
○ 중소도시 지방상수도 개발			*가뭄지역 10% 가산
- 시지역	융자	50	
- 군지역		60	
○ 저소득층 옥내급수관 개량지원	보조	50	
○ 상수원보호구역 주민지원사업	보조	30	* 평택시 50%
○ 평창동계올림픽급수체계 구축	보조	60	
○ 취약계층 급수분기관 설치(신규)	보조	50	
○ 상수관로 및 노후 정수장 정비사업(신규)	보조	70(50)	
<지역발전특별회계 경제발전계정>			
○ 고도정수처리시설설치	보조	30	
	(융자)	(50)	
<지역발전특별회계 생활기반계정>			
○ 강변여과수 개발사업	보조	70(50)	
○ 도서지역 식수원 개발사업	보조	70	* 계속사업은 종전의
○ 농어촌생활용수 개발사업	보조	70(80)	보조율 적용, ( )안
○ 고도정수처리시설	보조	70(50)	은 종전 보조율임
○ 소규모수도시설 개량사업	보조	70	
○ 친환경대체취수원 개발사업(제주)	보조	70	
○ 식수전용 저수지 확충사업(제주)	보조	70	
○ 상수원보호구역주민지원(제주)	보조	30	

□ **(기획연구의 타당성 측면)** 본 연구과제는 관로의 상태를 진단하는 비파괴 기술개발로 노후관로의 상태를 정밀진단을 통한 적시개량을 통한 중단없는 용수공급 체계를 강화하고자 하는 국토교통부의 의지, 그리고 유수율을 개선하려는 환경부의 의지에 모두 부합한다고 판단

3. 정책적 측면의 기획연구 타당성

□ **(사고증가에 따른 리스크 관리 강화 가능)** 2014년 기준, 매설연도가 30년 이상된 노후관은 7.5%이나, 2030년에는 50.9%까지 증가할 전망이며, 최근 5년간 관로사고는 총 366건 발생하였으며 2011년부터 완만히 감소하는 추세를 보였는데 이는 2010년 이후부터 추진하고 있는 안정화 사업에 따른 것으로 분석됨. 관로사고 중 시설노후로 인한

사고가 109건 (29.8%)로 가장 큰 원인으로 조사됨

□ **(합리적인 재정투자와 근거마련 가능)** 현재 국내의 관로진단은 특광역시를 제외하고, 대부분 단수 후 육안점검을 하는 수준이지만, 본 연구과제와 같이 용수공급 중단 없이 정기적인 관로 정밀 진단이 가능하다면 합리적인 노후관 교체와 실질적인 재정계획 수립이 가능하여 국민생활의 안전과 기후변화 대응을 위한 정부의 계획과 일치할 것임

□ **(ICT 기반의 진단·감시기술은 미래성장동력)** 정부는 「제4차 국가환경종합계획」에서 상하수도 노후기반시설에 대한 리모델링을 계획하고 있고, 「제3차 과학기술기본계획」에서는 미래성장동력 산업으로 ICT 융합 신산업 창출을 선택하였음. 따라서, 정부의 향후 종합계획은 ICT기술을 이용하여 상수도관망을 최적으로 유지관리가 가능한 본 연구사업과 부합되는 것으로 판단됨

□ **(국가 주요 인프라 시설로서 정부 투자지원 필요)** 국토교통부 및 환경부는 광역상수도 및 지방상수도에 대한 노후관 개선사업 및 정보화사업에 국고를 지속적으로 계획 및 지원하고 있음

□ **(물산업 육성과 국가 경쟁력 향상 동력원 역할 가능)** 향후 노후관 교체 및 상·하수도 자산관리체계를 구축하고, 예상치 못한 재해에 대응 혹은 사전에 방지하기 위해 관로 진단기술 이용의 빈도수가 급격하게 증가할 것으로 예상되기 때문에 해외장비 도입을 검토 중이나 국내 기술을 개발한다면 국내 뿐 아니라 물산업 해외진출도 가능할 것으로 판단되어, 국가 경쟁력 향상에 도움이 될 것으로 판단됨

제 2 절 기술적 타당성

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 구체성

(1) 사업목표

□ 본 기획연구에서 비전과 목표는 **국내외 기술동향, 기술수준, 기술예측, SWOT, Issue tree를 통해 R&D Needs를 반영**하여 **수립**

- 국내외 기술동향은 정책, 시장, 기술동향, 인프라 현황 등을 면밀히 조사하여 반영
- 기술수준과 예측은 해당 분야 전문가를 대상으로 폭 넓은 조사를 통해 도출
- SWOT는 내.외부 환경요인에 대한 전략수립을 수립
- Issue Tree는 대내외 환경 분석(STEEP)은 사회적(Social), 기술적(Technological), 경제적(Economic), 환경적(Ecological), 정치적(Political) 특성에 따라 각 외부 요인을 파악하고 서로의 인과관계 분석을 통해 도출

□ 특히 목표는 **상기 비전 달성을 위해 도달해야 할 성과를 목표로 제시**하였고, 세계 수준의 대규모 용수공급관로 진단·감시 시스템 **기술경쟁력 확보를 위한 필요 기술 개발을 세부 목표로 구체적으로 선정**



▌그림 5.1.3 기획연구 비전과 목표▐

(2) 내용의 구체성

□ 목표달성을 위한 중점추진 과제는 후보과제 Pool 목록을 작성하고, 기존 국가 R&D 중복성, 최근 수행 또는 수행예정 국가 R&D에 대해 **기술개발 분야, 목적, 대상, 수준 등을 명확**히 하여, 기술개발 **중복성으로 인한 예산낭비를 예방**하고, 동시에 **기술의 중복성을 회피**하고, 해당기술을 **고도화·첨단화할 수 있는 대안과 R&D 추진전략을 수립**하여 반영

□ 목표 달성을 위한 핵심기술 여부, 기간내 기술개발 성공 가능성 여부, 기술이전·상용화·사업화 가능성, 정부(국토부) 지원 필요성, 독창성 및 우월성(기 추진과제와 중복성 낮은 정도) 등에 대하여 평가를 실시하여 중점추진 과제와 내용을 수립하여 구체적으로 제시함

- 목표달성을 위한 총 4개의 중점 세부추진 분야와 12개의 세세부과제로 구성

□ 각 중점과제에 대한 연구목표, 연구내용과 연차별 추진계획 등을 구체적으로 작성하여 제시

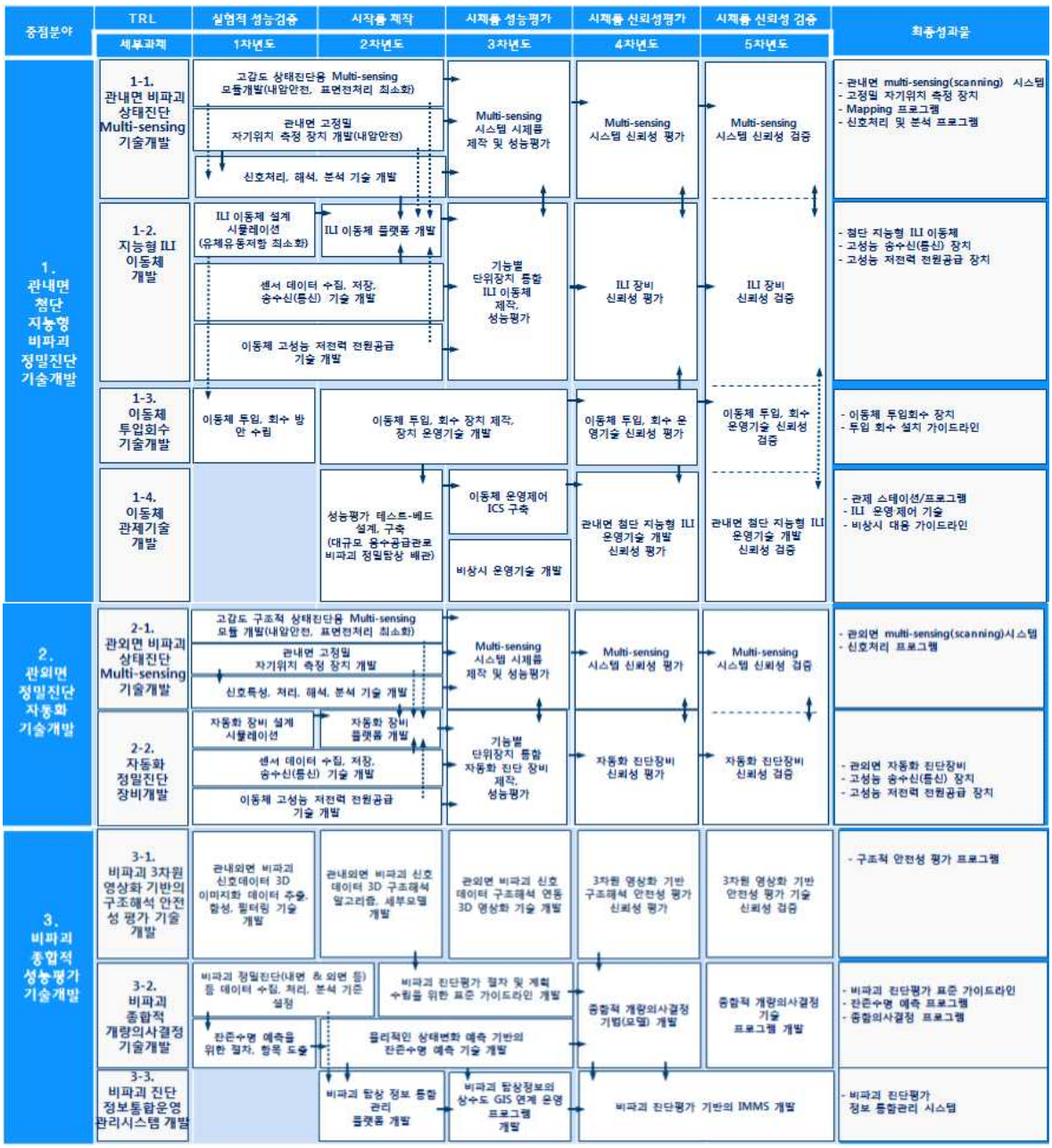
- 최종성과물에 대한 목표설정과 성과물을 구체적으로 제시하고, 성과지표를 명확히 함

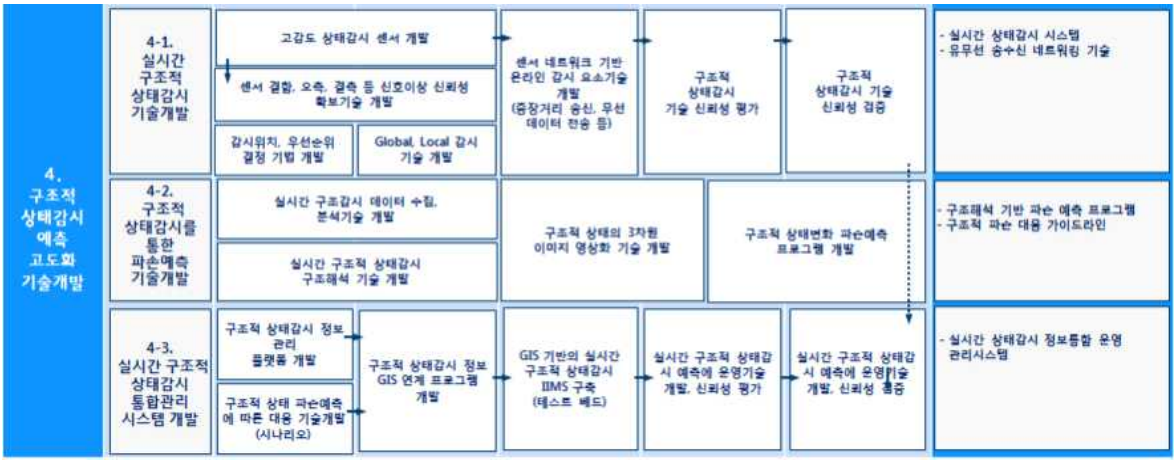


▌그림 5.1.4 본 기획의 목표달성을 위한 중점추진 분야▐

나. 기술개발 로드맵의 우수성

□ 기술개발 로드맵은 각 세부과제별로 작성하였고, 각 **세부과제별 주요 연구내용 간 선후관계(→)와 연계성(↔)을 구체적으로 표현**하였고, 각 과제의 수행을 통해 얻게 될 **최종 성과물과의 관계를 명확**히 함


중점분야
TRL
세부과제
실험적 성능검증
1차년도
시작품 제작
2차년도
시제품 성능평가
3차년도
시제품 신뢰성평가
4차년도
시제품 신뢰성 검증
5차년도
최종성과물
1. 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단 기술개발
1-1. 관내면 비파괴 상태진단 Multi-sensing 기술개발
고감도 상태진단용 Multi-sensing 모듈개발(내압안전, 표면전처리 최소화)
관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 개발(내압안전)
신호처리, 해석, 분석 기술 개발
Multi-sensing 시스템 시제품 제작 및 성능평가
Multi-sensing 시스템 신뢰성 평가
Multi-sensing 시스템 신뢰성 검증
- 관내면 multi-sensing(scanning) 시스템
- 고정밀 자기위치 측정 장치
- Mapping 프로그램
- 신호처리 및 분석 프로그램
1-2. 지능형 ILI 이동체 개발
ILI 이동체 설계 시뮬레이션 (유체유동저항 최소화)
ILI 이동체 플랫폼 개발
센서 데이터 수집, 저장, 송수신(통신) 기술 개발
이동체 고성능 저전력 전원공급 기술 개발
기능별 단위장치 통합 ILI 이동체 제작, 성능평가
ILI 장비 신뢰성 평가
ILI 장비 신뢰성 검증
- 첨단 지능형 ILI 이동체
- 고성능 송수신(통신) 장치
- 고성능 저전력 전원공급 장치
1-3. 이동체 투입회수 기술개발
이동체 투입, 회수 방안 수립
이동체 투입, 회수 장치 제작, 장치 운영기술 개발
이동체 투입, 회수 운영기술 신뢰성 평가
이동체 투입, 회수 운영기술 신뢰성 검증
- 이동체 투입회수 장치
- 투입 회수 설치 가이드라인
1-4. 이동체 관제기술 개발
성능평가 테스트-베드 설계, 구축 (대규모 용수공급관로 비파괴 정밀탐상 배관)
이동체 운영제어 ICS 구축
비상시 운영기술 개발
관내면 첨단 지능형 ILI 운영기술 개발 신뢰성 평가
관내면 첨단 지능형 ILI 운영기술 개발 신뢰성 검증
- 관제 스테이션/프로그램
- ILI 운영제어 기술
- 비상시 대응 가이드라인
2. 관외면 정밀진단 자동화 기술개발
2-1. 관외면 비파괴 상태진단 Multi-sensing 기술개발
고감도 구조적 상태진단용 Multi-sensing 모듈 개발(내압안전, 표면전처리 최소화)
관내면 고정밀 자기위치 측정 장치 개발
신호특성, 처리, 해석, 분석 기술 개발
Multi-sensing 시스템 시제품 제작 및 성능평가
Multi-sensing 시스템 신뢰성 평가
Multi-sensing 시스템 신뢰성 검증
- 관외면 multi-sensing(scanning)시스템
- 신호처리 프로그램
2-2. 자동화 정밀진단 장비개발
자동화 장비 설계 시뮬레이션
자동화 장비 플랫폼 개발
센서 데이터 수집, 저장, 송수신(통신) 기술 개발
이동체 고성능 저전력 전원공급 기술 개발
기능별 단위장치 통합 자동화 진단 장비 제작, 성능평가
자동화 진단장비 신뢰성 평가
자동화 진단장비 신뢰성 검증
- 관외면 자동화 진단장비
- 고성능 송수신(통신) 장치
- 고성능 저전력 전원공급 장치
3. 비파괴 종합적 성능평가 기술개발
3-1. 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발
관내외면 비파괴 신호데이터 3D 이미지화 데이터 추출, 합성, 필터링 기술 개발
관내외면 비파괴 신호 데이터 3D 구조해석 알고리즘, 세부모델 개발
관외면 비파괴 신호 데이터 구조해석 연동 3D 영상화 기술 개발
3차원 영상화 기반 구조해석 안전성 평가 신뢰성 평가
3차원 영상화 기반 안전성 평가 기술 신뢰성 검증
- 구조적 안전성 평가 프로그램
3-2. 비파괴 종합적 개량의사결정 기술개발
비파괴 정밀진단(내면 & 외면 등) 등 데이터 수집, 처리, 분석 기준 설정
비파괴 진단평가 절차 및 계획 수립을 위한 표준 가이드라인 개발
잔존수명 예측을 위한 절차, 항목 도출
물리적인 상태변화 예측 기반의 잔존수명 예측 기술 개발
종합적 개량의사결정 기법(모델) 개발
종합적 개량의사결정 기술 프로그램 개발
- 비파괴 진단평가 표준 가이드라인
- 잔존수명 예측 프로그램
- 종합의사결정 프로그램
3-3. 비파괴 진단 정보통합운영 관리시스템 개발
비파괴 탐상 정보 통합 관리 플랫폼 개발
비파괴 탐상정보의 상수도 GIS 연계 운영 프로그램 개발
비파괴 진단평가 기반의 IMMS 개발
- 비파괴 진단평가 정보 통합관리 시스템



▌그림 5.1.5 본 기획의 중점추진 분야 TRM▐

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 보유기술 수준 및 기술개발의 기대수준

□ 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단.성능평가와 운영감시 시스템에 대한 전반적인 기술 수준 파악을 위해, 국내외 기술동향, 인프라 현황, 논문, R&D, 전문가를 통한 기술수준 조사를 수행한 결과, 선진국 대비 **국내 보유 기술수준은 64.8%**로 나타났으며, **그 기술 격차는 평균적으로 5.28 년**간으로 나타남

- 또한 대부분 이러한 기술은 가스·송유·원자력 배관분야에 집중되어 있으며, 대규모 용수공급관로 분야는 더 취약할 것으로 평가
- 최고기술 보유국으로는 미국, 캐나다, 독일, 프랑스, 일본 등으로 대부분 조사

□ TRL(Technology Readiness Level, 기술개발 성숙도) 조사결과, 핵심요소기술에 대해서 타 분야(가스, 송유, 원자력, 기타 배관 등)에 대한 TRL 수준은 높으나, 대규모 용수공급관로에 대한 기술 개발시 새로운 형태의 기술 또는 용수공급관로 환경에서의 실험적 검증단계는 필수

- 대부분 핵심요소기술이 TRL 4단계(부품/시스템 성능검증 단계)에 위치하고 있으며, **기술개발 완료시에는 TRL 8단계(시제품 신뢰성 검증을 통한 인증단계)까지 선진국 수준의 기술 보유 가능**
- 다만 선진국과의 기술 Gap을 극복하기 위해서는 국가주도의 R&D 투자 필요

나. 기술개발 성공가능성

□ 본 기획에서 추진하고 있는 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시 시스템 개발은 국내 기술동향, 기술수준, 기술예측, SWOT, Issue-tree 분석 결과, **기술개발에 대한 개발환경 인프라가 충분**하고, 국내외적인 여건을 고려할 때 **개발이 시급하며, 기술적 성숙도도 측면에서도 집중투자를 위한 핵심기술 확보가 가능**

- 국가 정책적으로도 국가 주요 SOC 시설의 노후화에 대한 대응을 통한 안전을 통한 국민의 삶의 질 향상을 목표로 하고 있는 바, 사고발생으로 재난 재해가 유발될 수 있는 대규모 용수공급관로에 대한 진단·감시 첨단고도화를 통한 선제적 기술 확보는 매우 필수

□ 또한 **비전과 목표 설정이 명확**하며, **기술개발에 대한 추진전략이 구체화**되어 있어 기술개발에 따른 **성공가능성이 매우 높음**

- 특히 국내 가스·송유·원자력 배관에 대한 비파괴, 로봇, 센서, 프로그램 등은 이미 선진국 수준에 가까이 도달한 부분이 많아, 이들 타 배관과 융합연구를 추진할 경우 성공가능성은 더 높아질 것으로 판단

제 3 절 경제적 타당성

1. 분석 개요 및 기본가정

가. 분석 개요

□ **경제성 분석**은 예비 대상사업의 **비용과 편익을 분석하여 투자의 최적화**를 기하고 **우선순위를 정할 객관적인 기준을 검토**하는 것이며 이를 바탕으로 정책을 결정하게 됨. 이러한 경제성 분석에서 구체적으로 사업을 실시할 필요가 있는지, 투자에 따라 얼마의 순후생이 증가할 것인지, 투자의 적정규모는 얼마인지를 평가하게 됨. 여러 대안에서 투자의 우선순위 등을 평가하는 이론적 분석기술로는 **비용·편익 분석**(benefit cost analysis: BCA 또는 CBA)과 **비용·효과 분석**(cost effectiveness analysis)이 있음. **비용·효과 분석은 재원이 한정되어 있을 때 다양한 투자계획들 가운데서 어떤 것을 수행할 것인지를 선택**할 수 있도록 도와주는 실무적인 방법이라고 할 수 있음

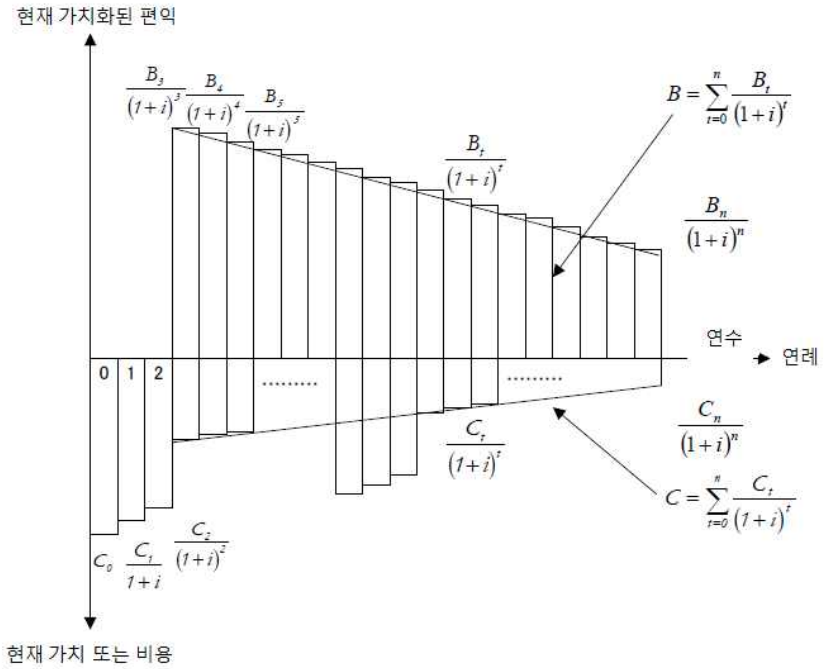
□ 경제적 타당성을 평가하기 위해서는 우선 편익/비용 비율(Benefit Cost Ratio: B/C)을 구해야 함. 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것이다. 일반적으로 '**편익/비용 비율≥1'이면 경제성이 있다고 판단**함.

□ 수자원 관련 사업에서 최적 규모는 순편익이 가장 큰 경우를 뜻하여 비용.편익 곡선상에서 최종추가분에 대한 편익과 비용의 증분이 동일해지는 규모를 말함. 그러나 계획 입안 시 유의할 점은 순편익이 최대가 되거나 편익.비용비가 가장 큰 사업이 최적 규모가 아닐 수도 있다는 점임. 따라서 최적 규모로 결정된 시설규모에 대한 세밀한 계획을 기준으로 사업 전체에 대한 경제성 검토가 이루어져야 하며, 이와 같은 검토는 주로 순현재가치(net present value: NPV) 분석, 편익·비용비(benefit-cost ratio: B/C), 내부수익률(internal rate of return: IRR) 분석을 통해 이루어지고, 각각의 특징은 다음 표와 같음.

▌표 5.3.1 경제성 평가지표의 특징▐

지표	정의	특징
순현재가치 (NPV: Net Present Value)	$\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$	• 사업 실시에 의한 순 편익의 크기를 비교할 수 있음 • 사회적인 할인율에 따라 값이 변화함
비용편익비율 (CBR: Cost Benefit Ratio)	$\frac{\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}}$	• 단위 투자 당 편익의 크기에 따라 사업의 투자 효율을 비교할 수 있음 • 사회적인 할인율에 따라 값이 변화함. • 사업 간의 비교에 이용하는 경우 각 비목(영업비용, 유지관리비용 등)을 편익 측면에 계산하거나 비용측면에서 계산할 때 주의가 필요함
내부수익률 (IRR: Internal Rate of Return)	$\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t - C_t}{(1+r_0)^t}=0$이 되는 r_o	• 사회적인 할인율과 비교하여 사업의 투자 효율성을 판단할 수 있음 • 사회적인 할인율의 영향을 받지 않음

□ 순현재가치법은 편익의 총현재가치와 비용의 총현재가치와의 차에 의해 산출되고, **산출된 순현재가치가 정(正)의 값일 경우 사회경제적 측면에서 효율적인 정책사업으로 평가**함



B_t : t년도에 발생하는 편익(B1은 1번째 해에 발생하는 편익)
C_t : t년도에 발생하는 비용(C1은 1번째 해에 발생하는 비용)

▌그림 5.3.1 순현재가치법의 기본개념▐

□ B/C 비율법은 미래 편익(Benefit)흐름의 현재가치의 합계가 미래 비용(Cost)흐름의 현재가치의 합계보다 크거나 같은 경우 사업시행의 타당성을 확보하는 것으로, B/C비율이 1보다 크면 클수록 사업의 비용 한 단위 당 편익의 발생이 크므로 경제적 효과가 큰 사업이라고 볼 수 있음. B/C비율은 사업의 순편익 규모를 제시하지 않는 대신 비용 대비 편익의 비율만 보고하기 때문에, 수익성이 가장 높은 사업이 채택되는 것을 권고하는 방식임. 순편익의 절대규모가 상대적으로 크지만 B/C비율은 낮은 사업보다는 사회적 파급효과는 낮지만 B/C비율이 큰 사업이 선정될 가능성이 높음

□ 경제적 내부수익률은 순편익의 현재가치의 합, 즉 순현재가치가 0으로 만들어주는 할인율을 내부수익률이라 함. 따라서 이 내부수익률이 사회적 할인율보다 클 경우 사업이나 정책이 시행되어야 하고, 반대로 작다면 사업이 시행되지 않아야 함

□ 경제성 판단의 지표는 편익 또는 수익과 비용을 동일한 비교기준으로 환산하여 적용하는데, 사업 분석기간의 총편익과 총비용을 현재가치화 할 수 있음. 그러나 부속 구조물이나 시설물의 내용연한이 다르므로 연간균등비용과 연간균등편익을 기준으로 하는 것이 보다 일반적임. 연간균등비용과 연간균등편익은 총사업기간에 발생하는 일련의 비

용과 편익을 각각 기준연도의 현재가치로 할인하고 이를 합산하여 전 기간 동안 균등하게 발생하도록 구한 연간 균등액을 뜻함. 개략적인 총사업비를 추정하기 위해서는 건설비, 보상비 등 시설구축을 위한 초기 투자비용과 유지관리비, 시설개량비 등 시설운영에 따르는 비용을 추정할 수 있어야 함. 필요한 경우 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 수요, 비용단가, 할인율 등 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석도 수행하게 됨

나. 경제적 타당성 분석항목

□ 본 연구기획 단계에서는 개발 기술에 대한 구체적인 연구결과를 예측하기 어려우므로 실제 사업에 대한 현실적인 경제적 타당성 분석이 이루어지기는 어려움. 그러나 **연구사업을 통한 기술개발 성과 예측을 통해 개략적인 경제적 타당성 분석을 실시**함으로써 **연구사업 추진의 타당성을 검증**하고자 하였음.

□ 편익의 추정

- 수자원사업으로 인하여 발생되는 편익 역시 크게 직접편익과 간접편익으로 구분 할 수 있음. 사업유형별로 명확하게 구분하는 것은 어려우나, 예를 들면 다목적댐의 경우 직접편익으로는 홍수조절, 용수공급, 수력발전, 내륙주운 및 하류 수질개선, 레크리에이션 기능 제공 편익 등을 들 수 있다. 한편, 간접편익으로는 발전용 유류대체효과, 연관사업의 파급효과, 토지이용 증가, 토사유입량 감소 편익 등을 들 수 있음

- 한국개발연구원의 「수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)」에 따르면, 수자원부문의 편익항목 및 산출방식은 다음 표와 같음

▌표 5.3.2 예비타당성조사 수자원부문 편익항목 및 산출방식▐

구분	예타 편익 반영	산출방식
수자원	용수공급 편익	생활용수, 공업용수, 농업용수, 발전용수별 가치를 측정
	홍수조절 편익	홍수발생확률과 피해액 자료로 산출
	관개 편익	관개로 인한 농업소득 증가와 시설유지관리 감소액을 반영
	발전 편익	시장가격, 행정적 결정가격(한전의 구매가격), 대체시설비용 기준(동일 용량 화력발전의 고정비와 변동비) 중 선택하여 적용

- 한편, 편익항목을 추정하는 방법론은 매우 다양함. 공공재 및 환경재의 경우 경제이론에 기반을 두고 환경개선에 대한 지불의사를 도출하는 방법은 크게 시장적 방법(market methods), 현시선호방법(revealed preference methods), 진술선호방법(stated preference methods), 모의시장분석법(simulated market approach), 편익이전(benefit transfer)등으로 구분할 수 있음. 시장적 방법은 환경이 제공하는 재화나 서비스의 시장이 직접 존재하는 경우 사용될 수 있음. 하지만, 환경이 제공하는 재화나 서비스의 시장이 존재하는 경우는 드물고, 따라서 시장접근법이 사용될 수 있는 경우도 매우 제한되어 있는 한계가 있음

- 시장적 방법을 사용할 수 있을 정도의 시장자료가 갖추어지지 않았다면, 비시장적 접근법인 현시선호방법, 진술선호방법, 모의시장분석법등의 방법론을 선택해야 함

- 현시선호방법은 환경재의 시장자료가 존재하지 않기 때문에 대신 환경개선시 환경재와 관련된(related) 시장에서 발생하는 변화를 분석하여 환경개선에 대한 지불의사를 도출하는 방식임. 이 방식이 현시선호방법이라 불리는 이유는 각 개인이 관련시장에서의 행위를 통해 환경재에 대해 부여하는 가치나 선호를 현시(revealed)하였다고 볼 수 있기 때문임. 예를 들어 같은 아파트라 하더라도 한강 전망이 보이는 아파트의 가격과 그렇지 않은 아파트의 가격의 차이는 결국 한강이라는 환경재의 가치를 나타낸다고 볼 수 있음

- 이에 반해 진술선호법은 각 개인이 자신의 선호를 직접 말하게 하는 것임. 즉, 가상적인 시장을 만든 후 설문조사를 통하여 응답자들이 어떻게 반응하는지를 관찰하는 것임. 모의시장법은 실제 모의시장을 만들어 참가자들이 모의시장에 참여하여 실제로 거래행위를 하도록 하는 것이고, 편익이전이란 현재 존재하는 정보나 지식을 새로운 상황 또는 환경에 이전, 사용하는 것을 총체적으로 일컫는 용어임. 즉, 기존 편익관련 연구를 이용하여 새로운 site에 적용하는 방법론이다. 각각의 편익추정법에 대한 분류는 다음 표와 같음

▌표 5.3.3 편익추정법의 분류▐

추정법	주요 분석모형	적용대상
시장적방법	피해함수(damage function) 생산함수(production function) 비용함수(cost function)	식량, 연료, 목재, 섬유 등 생태계가 제공하는 시장적 편익
현시선호법	휴양수요모형 recreational demand models	휴양가치, 경관가치
	특성임금모형(hedonic wage model)	사망위험성 감소, 질병위함성 감소
	특성가격모형(hedonic price model)	쾌적함, 휴양가치, 경관가치
	회피행위모형(averting behavior model)	사망 및 질병위험성, 쾌적함, 휴양 및 경관, 생태계 보존, 시설물 보존
진술선호법	가상가치평가법 (contingent valuation method, CVM)	모든 종류의 편익
	가상순위결정법 (contingent ranking method, CRM)	
	선택실험법(choice experiment, CE)	
혼합모형	현시선호법과 진술선호법의 혼합	현시선호법이 적용될 수 있는 모든 종류의 편익
모의시장 분석	실험경매법(experiment auction)	모든 종류의 편익
편익이전	가치이전, 함수이전, 메타분석	모든 종류의 편익

출처 :「환경경제학」(권오상, 2007)

□ 비용의 추정

- 비용은 사업의 실시로 발생하는 일체의 자원비용을 말함. 각 사업의 비용은 총 사업비와 유지관리비로 크게 구분되며, 총사업비는 다시 공사비와 부대비, 예비비, 용지보상비로 구분됨. 공사비는 사업의 성격에 따라 공종별로 나누어지며, 용지보상비는 사업지역의 토지 매입 및 지장물의 보상비를 말함

- 유지관리비는 사업의 초기 투자비용뿐만 아니라 생애주기비용(life cycle cost)까지 고려하기 위해 추가되는 운영비 등을 말함. 사업비 추정의 불확실성을 고려하여 공사비, 부대비, 용지보상비의 10%를 예비비로 산정하도록 함

□ 비용·편익 분석

- 편익·비용비는 현시점으로 할인된 총편익과 총비용의 비율을 나타내며 이 비율이 높은 사업일수록 경제적 타당성이 높은 것으로 평가하는 기준임. 비용.편익 분석은 공

공사업의 투자타당성을 평가하는데 일반적으로 가장 널리 사용됨. 산정된 투자비용과 편익을 가장 높은 회수율(rate of return)을 얻을 것으로 판단되는 지표로써 평가하게 되는데, 여기에는 순현재가치(NPV), 편익·비용비(B/C ratio), 내부수익률(IRR) 등이 많이 사용되며 이들의 장단점을 비교하여 이용함. 만약 그 사업이 국가경제에 크게 관련되어 있지 않고 비용과 편익의 정량화가 가능하다면, 비용.편익 분석은 타당한 경제적 결정의 기초를 제공하게 됨. Sassone and Schaffer(1978)의 정의에 따르면, 비용.편익 분석이란 국가적인 차원에서 정해진 공공목표를 달성하기 위하여 예상되는 대안들(alternatives) 각각의 비용과 편익을 측정하고 비교.평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이라고 규정할 수 있음. 따라서 비용.편익 분석은 민간기업 차원의 재무성 분석(financial analysis)과는 달리 사회적 관점 또는 국민경제 전체의 관점에서 비용과 편익을 파악하게 됨

- 공공사업의 비용.편익 분석은 민간 기업이 실제의 금전적 비용과 수입을 추정하고 이에 따른 재무적 수익률을 계산하여 타당성을 검토하는 것과 비교해 볼 때, 접근방식이 비슷하기는 하지만 비용과 편익을 추정하는 기본 개념에서 근본적인 차이점이 있음. 즉, 국민경제적 관점에서의 편익이란 특정 사업의 국민생산에 대한 공헌을 뜻하며, 비용이란 국가자원의 낭비(즉, 자원의 기회비용)를 뜻하게 된다. 비용.편익 분석의 몇 가지 중요한 특징을 소개하면 다음과 같음(김동건, 1997)

  첫째, 개별 정부투자사업을 평가하는 경제성 분석의 한 분야임.
  둘째, 사회적 관점이나 국민경제 전체의 관점에서 비용과 편익을 파악함.
  셋째, 기대되는 모든 비용과 편익을 장기적 시각에서 종합적으로 평가함.
  넷째, 현실적인 측면을 고려한 실무적인 분석방법임.

- 편익·비용비는 아래 식과 같이 계산할 수 있음.

$$B/C = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} \Big/ \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

이 때, n = 계획의 시계
T = 사업의 기대수명
Bt = t기간 말의 편익
Ct = t기간 말의 비용
r = 할인율

□ 민감도 분석

- 경제성 분석에서 비용과 편익은 조건에 따라 달라지므로, 이러한 변화 경향을 미리 파악하여 편익과 비용에 대한 신뢰성을 검토하여야 함. 이 경우 사업의 내부수익률을 평가하는 것이 그 방법 가운데 하나임

- 이 내부수익률의 오차 정도를 평가하기 위하여 민감도 분석을 하며 정책 결정자에게 유용한 자료로 활용됨. 내부수익률에 영향을 미치는 주요 인자는 투자비, 운영비, 산출량 등이며 이들 요소들을 독립적으로 변화시켜서 내부수익률의 변화 영향을 조사하게 됨. 이 변화 경향은 민감도지표(sensitivity index: SI)를 통해 알 수 있음. 민감도지표는 다음의 식과 같으며, 민감도지표를 계산하여 그 결과가 1보다 크면 해당 주요 인자는 민감도가 크다고 판단하여 이에 대한 투자비 증가요인의 발생을 억제토록 하며, 민감도지표가 1보다 적은 경우에는 해당 주요 인자의 민감도가 낮으므로 경제성에 미치는 영향이 적다고 판단함

민감도지표(SI) = 내부수익률의 변화율 (%) / 개별 주요 인자의 변화율 (%)

□ 재무성 분석 및 민자투자 추진 가능성 검토

- 재무성 분석 및 민자투자 추진 가능성 검토를 예비타당성조사에 있어서 모든 사업에 의무적으로 실시할 필요는 없으나, 편익-비용 비율이 1 이상으로 경제적 타당성이 있고, 사업성이 높아 민간이 스스로 참여할 가능성이 있는 사업 등에 대해서는 재무적 타당성 평가를 수행할 수 있음

- 그러나 민간투자사업 추진의 적합성을 판단하는 데 있어 수익성 이외에 서비스 질 향상, 관리의 용이성, 위험분담 효과, 파급효과 등 정성적 요소를 종합적으로 고려하지 못하고 있어 민간투자사업 추진 가능성을 판단하기에 한계가 있음

□ 경제적 타당성 종합 평가

- 계량화된 비용과 편익을 기준으로 비용-편익 비율(B/C), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 등을 산정하여 종합적으로 경제적 타당성을 평가함

- 경제성 분석을 위한 분석기간은 일반적으로 45년으로 하고, 사회적 할인율은 일반지침 에 따라 운영 30년 동안은 5.5%, 그리고 향후 15년은 4.5%를 적용함

2. 대규모 용수공급관로 비파괴 진단기술 경제성분석

가. 개요

□ 대규모 용수공급관로에 대한 비파괴 정밀진단·성능평가 및 운영감시시스템을 개발에 따른 비용 및 편익은 다음과 같이 나타낼 수 있음

□ 비용항목은 우선 정밀진단장비 및 성능평가와 운영감시시스템을 개발하는 개발비용(연구비용)과 이를 실제 설치할 때 발생하는 비용으로 구분할 수 있음. 이외에 운영감시 시스템을 실제 작동함에 있어 유지관리비용이 발생할 수 있음.

□ 편익항목은 직접편익과 간접편익으로 구분할 수 있음

- 현재 관로진단기술을 발전시킨 비파괴 정밀진단 및 운영감시시스템 개발로 인한 **직접적인 편익**은 다음과 같음

가) 관로진단비용 절감액

・기존 관로진단(누수탐사)비용(인건비, 장비 등)과 본 과업에서의 진단비용을 비교하여 관로의 관리비용의 절감편익

나) 수명연장에 따른 관로교체 절감편익

・기존 매년 노후관로 교체비용대비 과업을 통한 노후관로의 갱생 및 연장을 통한 교체비용 절감편익

다) 유수율 향상에 따른 생산비 절감편익

・유수율 향상에 따른 생산비용(동력비, 약품비, 원정수구입비등) 절감 편익

라) 단수저감 편익

・단수저감에 따른 일반시민의 편익 증대

마) 관로사고 복구비용 절감편익

・선제적 대응에 따른 관로사고 예방에 따른 관로 복구비용 절감액 추정



▌그림 5.3.2 본 개발기술의 개발 편익 구성▐

- **간접편익은 누수탐사, 관로교체 및 사고발생시 복구공사로 인한 교통혼잡비용저감 편익이 발생**할 것으로 예상됨.

□ 경제성분석의 **기본가정**은 다음과 같음

- 경제성 분석 기간은 「댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률 시행령」제27조에서 상수도사업의 경제성 분석을 완공 후 45년을 기준으로 적용하고 있으므로, 이를 적용하여 본 조사에서도 완공후 45년을 기준으로 함

- 할인율은 KDI의 「예비타당성 조사 수행을 위한 일반지침(제5판)」에 의거하여 시설운영 후 30년까지는 5.5%, 30년 이후부터는 4.5%를 적용

- 운영시스템의 설치는 3년 동안 설치비가 투자된다고 가정

- 편익산정 중 단수저감편익은 편익이전방법으로 기존 연구에서 적용한 편익을 이전하여 적용

나. 비용분석

□ 비용 산출은 본 연구과제인 관로 비파괴 진단기술 연구개발비와 운영비용 (시스템 구축비 및 관로진단 비용)을 포함한 비용임

• 연구개발비

- 비파괴 진단기술과 운영시스템 개발을 위한 **연구개발비는 총 200억원**이고, 이 중 현금은 140억원, 현물은 60억원으로 예상. 적용 금액은 현금과 현물을 포함한 200억원을 연구개발비로 적용[1)]

- 사업기간은 2017년부터 2021년까지 5개년도로 가정하였고, 연차별 연구개발비는 다음과 같음

▌표 5.3.4 연차별 연구개발비▐

단위 : 백만원

구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
연구개발비	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	20,000

• 운영시스템 구축비

- 비파괴 진단기술 및 운영시스템 개발을 완료한 후 실제 운영시스템 구축비는 ㎞당 약 40백만원으로 추정되고, 전국 **도송수관로(14,256㎞)**를 운영감시한다는 가정하에 총 5,702억원의 운영시스템 설치비가 소요될 것으로 추정됨

- 운영시스템 설치기간은 약 3년으로 가정하였으며, 따라서 2022년부터 운영시스템을 설치한다는 가정하에 연간 약 1900억원이 소요될 것으로 추정됨

▌표 5.3.5 연차별 운영시스템 설치비▐

단위 : 백만원

구분	2022	2023	2024	합계
운영시스템 설치비	190,080	190,080	190,080	570,240

1) 한국과학기술평가원(KISTEP)의 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구」에 따르면, "R&D 사업의 총사업비는 연구·개발등에 소요되는 모든 경비로서, 인건비, 직접연구비(위탁연구비 포함), 간접비, 장비비등으로 구성된다" 라고 적시하고 있음. 따라서, 본 연구사업의 연구개발비는 현금과 현물 모두를 적용하여 총 연구개발비로 적용함.

• 관로진단 비용

- 관로진단 비용은 현재로서는 연구개발을 통해 실제 생산되는 비용을 추정해야 하나, 아직 정확한 비용을 추정할 수 없기 때문에 해외 유사한 진단기술비용을 추정하여 ㎞당 3억원(국외 A 업체)을 적용

• 총비용 추정

구 분		백만원
총비용		34,812,023
	연구개발비	20,000
	운영시스템 설치비	570,240
	운영시스템 운영비	7,383
	관로진단비용	34,214,400
순비용(현재가치)		9,073,648

다. 편익분석

□ 공공투자사업의 편익은 시장에서 거래되는 재화나 서비스만으로 구성되어 있지 않는 한 정확하게 측정하기는 쉽지 않고, 간접적인 방법으로 측정이 가능하다고 할지라도 그 방법이 한가지만으로 한정되어 있지 않음

□ 대체적으로 편익의 측정방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있음

- 시장가격에 의한 평가방법 : 시장가격을 이용하여 편익을 직·간접으로 평가할 수 있는 방법으로서 시장가격 방법, 기회비용방법, 생산비용방법, 비용절감방법 등이 있음

- 대용가격에 의한 평가방법 : 시장가격이 없는 경우 간접적으로 평가하는 경우로서 대체가격방법, 재산평가방법, 임금격차방법, 보상가격방법, 여행비용방법 등이 있음

- 조사에 의한 평가방법 : 산업의 산출물에 대해 소비자들의 지불의사(WTP)를 조사하여 추정하는 경우로 설문조사방법, 입찰게임방법, 델파이 방법 등이 있음

□ **비파괴 진단기술에 따른 편익은 크게 직접편익과 간접편익**으로 **구분**할 수 있음. 직접편익에는 누수탐사비용 절감 편익, 수명연장에 따른 관로교체 절감편익, 단수저감에 따른 사회적 편익, 관로사고 복구비용 절감에 따른 편익 등이 있고, 간접편익으로는 사고발생시 복구공사로 인한 교통혼잡비용 저감 편익으로 구분할 수 있음

□ 직접편익

• 누수탐사비용 절감 편익

- 누수탐사비용 절감 편익은 현재 누수탐사시 발생하는 비용을 말함. 즉, 현재「시설물 안전관리에 관한 특별법 시행령」별표1의2에 따라 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하도록 법적인 규정이 있어, 관로 관리주체는 이를 위해 **안전등급에 따라 최소 4년에서 6년정도의 간격으로 진단을 실시**하고 있음

▌표 5.3.6 정밀점검 및 정밀안전진단의 실시 주기▐

안전등급	정밀점검		정밀안전진단
	건축물	그 외 시설물	
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상
B·C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상
D·E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상

출처 : 「시설물 안전관리에 관한 특별법 시행령」[별표1]의2

- 비파괴 진단기술개발은 이러한 정밀안전진단과 비교하여 한층 진일보한 기술개발이기 때문에 정밀안전진단을 대체할 수 있는 비용이라 판단됨
- 따라서, 현재 실제로 정밀안전진단을 실시하고 있는 업체의 용역원가를 기준으로 ㎞당 정밀진단비용을 산출하여 본 용역에 적용하고자 함

▌표 5.3.7 누수탐사절감비용 산정▐

단위 : 백만원

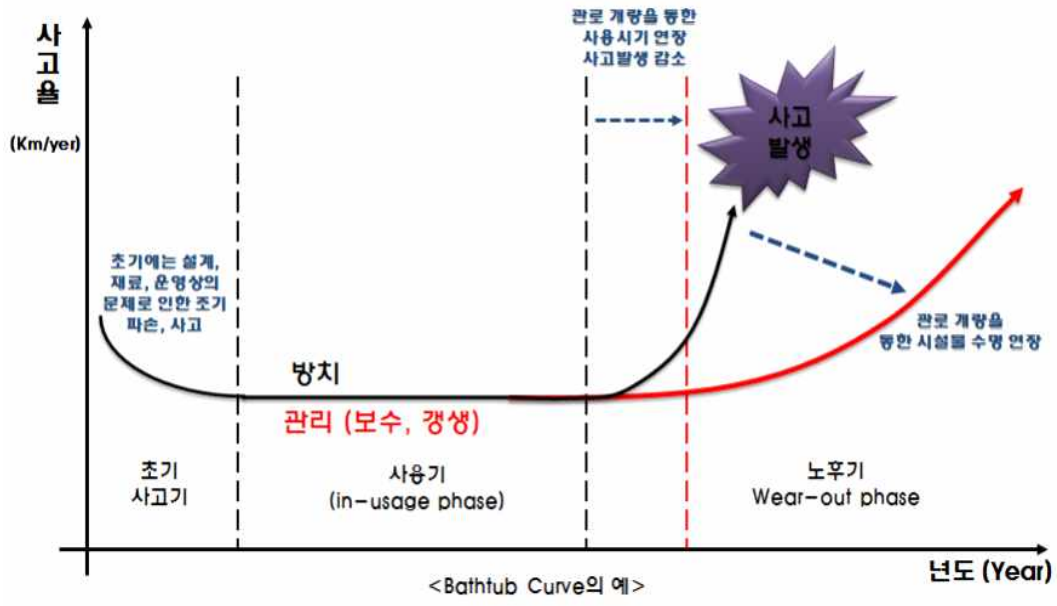
구 분	oo지역 용역산출비	본 과업 적용	비고
연장 (km)	30	14,256	
직접인건비	125	59,280	oo지역 ㎞당 인건비 4.1백만원 적용
제경비	137	78,250	인건비의 1.2배
기술료	25	55,012	인건비의 0.4배
소계	287	192,542	㎞당 진단비용 13.5백만원

- 현재 누수탐사를 포함한 정밀안전진단의 실제 용역산출내역서를 적용한 전체 도송수관에 대한 1회 누수탐사절감비용은 약 1,925억원으로 산정되었음

- 누수탐사절감비용은 「시설물 안전관리에 관한 특별법 시행령」에 따른 5년주기로 가정했을 경우 총 내용연수(45년동안)동안 진단비용절감 횟수는 9회이고 이를 적용하면 전체 기간 동안의 절감액은 약 17,325억원으로 추정됨

• 수명연장에 따른 관로교체 절감 편익

- 비파괴 진단기술 및 운영시스템 개발은 관로의 상태를 상시 파악하여 최적의 조건에서 관로교체를 실시할 수 있다는 장점이 있음. 따라서, 현재 관로의 노후화에 따른 개량사업을 정밀한 진단을 통한 관로의 갱생은 수명을 연장시켜 실제 노후관 개량사업의 비용을 절감할 수 있음



▌그림 5.3.3 노후관 개량시 잔존 수명 연장 기대에 대한 개념도▐

- 이러한 개량사업의 편익은 다음과 같이 산정함. 우선 2014년도 환경부 상수도 통계에 따르면, 전국의 도송수관의 관로교체연장은 약 4.2㎞임.

▌표 5.3.8 도송수관 관로교체연장(2014년)▐

구분	교체 연장 길이(m)
도수관	283
송수관	4,001
합계	4,284

출처 : 「2014년도 상수도통계」, 환경부

- 한편, 실제 관로(강관 1,000mm일 경우)부설 평균단가는 m당 약 1.52백만원으로 추정됨

▌표 5.3.9 관로부설단가(강관 1,000mm일 경우) ▐

구분	관로부설단가
토사구간	1,364,000원
도로구간	1,670,000원
평균	1,517,000원

출처 : ㅇㅇ엔지니어링 상수도 용량별, 관종별 개략공사비(2015)

- 따라서, 기존 관로교체연장의 약 30%를 갱생하여 수명을 연장시킬 경우 발생하는 관로교체 절감 편익은 매년 약 1,950백만원으로 추정함

• 단수저감편익

- 단수저감의 경제적 편익은 용수공급에 따른 사용가치 편익과 유사한 방식으로 직접 대상지역의 주민들에게 설문을 통한 조건부 가치추정법(Contingent Valuation Method)을 통해서 산출됨. 통상적인 재화라면 시장에서 거래되는 가격을 기준으로 관찰을 통해 가치를 산정하지만 단수상황을 회피하기 위한 지불의사는 시장 내에서 관찰되지 않기 때문에 경제적 가치를 추정하는데 어려움이 있기 때문

- 따라서, 기존 국책사업의 예비타당성 자료를 토대로 유사지역의 단수상황 회피에 따른 지불의사를 추정한 자료를 토대로 부산시의 소득과 물가수준을 보정하고 편익이전(Benefit Transfer)방식으로 단수상황회피에 따른 지불의사를 추정하고자 함

- 단수저감편익을 추정한 사례가 매우 드무나, 「한강하류권 2차급수체계조정사업 예타보고서」상에서 단수저감편익을 추정한 바 있어 이를 토대로 단수저감편익을 산정하였음

- 편익이전 방식은 유사연구를 모두 조사하고 관련 독립변수를 모두 고려하여 적정 종속변수를 추정하는 메타회귀분석을 적용할 필요성이 있으나 단수상황에 대한 연구는 위 연구를 제외하고 전무한 상황이기 때문에 소득과 물가수준만을 보정하여 단수저감편익을 산정하였음

- 「한강하류권 2차 급수체계 조정사업의 예타보고서」에서는 주로 경기도 평택, 오산, 안성, 화성지역의 2015 ~ 2059년(45년)간 급수체계 조정사업으로 인하여 증가되는 생활용수에 지불의사를 곱하여 생활용수편익을 추정하고 있음. 다만 단수편익은 보고서에 포함되어 있지 않은데 이는 기존 생활용수 공급편익만으로도 편익-비용 비율

(B/C ratio)이 1.4에 이르고 있기 때문

- 설문문항은 세부적으로 다음과 같음.

> 최근 안성시, 오산시, 평택시, 화성시의 인구는 빠른 속도로 증가하고 있으며, 각종 개발계획으로 인해 앞으로도 인구가 계속해서 증가할 것으로 예상됩니다. 이에 따라 수돗물에 대한 수요도 증가할 것이므로, 상수도 공급시설이 제때 확충되지 못한다면 물 부족 상황을 겪을 수 있습니다.
> 귀하가 거주하시는 지역의 수도요금은 대략 ⓐ원/㎥입니다. 본 조사에서는 수돗물 공급시설이 제대로 확충되지 못해 수돗물이 제대로 공급되지 않는 상황을 막기 위해 귀하의 가구가 현재의 수도요금 외에 추가적으로 부담하시고자 하는 금액에 대해 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 감안하여 응답해 주십시오.
> ---
> 지자체 Ⓐ : 화성시 749원/㎥, 오산시 518원/㎥, 안성시 769원/㎥, 평택시 582원/㎥

- WTP 모형에 대한 모수 추정결과 단수상황 회피에 대한 물 1톤(1,000ℓ)당 소비에 따른 소비자의 지불액은 약 175.4원이나 이를 소비자물가지수로 보정한 값인 196.4원을 적용 함

소득 보정	구분	2014년 소비자물가지수(A)	2009년 소비자물가지수(B)	물가지수 보정값 (A/B)
	단위	109.0	97.1	1.12
지불의사 금액보정	(단수저감 지불의사 × 물가지수 보정) (175.4원 ×1.12) = 196.4원			

- 한편, 전국 도송수관(14,256㎞)에 대해 비파괴 진단기술 및 운영시스템 설치 기술을 적용하는 것이기 때문에, 전국 급수인구를 대상을 적용하였고, 이에 따라 매년 단수저감편익은 약 1,010,167백만원으로 산정됨
- 즉, 전국 도송수관의 사고로 인해 발생하는 피해를 회피하고자 전 국민이 지불할 수 있는 지불의사금액(WTP)이 매년 1,010,167백만원이 발생한다는 것임

• 유수율 향상에 따른 생산비 절감 편익

- 유수율 향상에 따른 생산비 절감 편익은 대형관로(도송수관)의 누수를 사전에 예방함에 따라 손실되는 수량이 줄어들게 되고, 따라서 취수량 또는 정수량을 그만큼 줄여서 생산이 가능해 짐
- 결국, 이러한 취수와 정수시 발생하는 변동비(동력비, 약품비, 원정수구입비등)의 감

소로 인해 발생하는 편익을 의미

- 하지만, 대형관로(도·송수관)은 거의 현재 누수가 없는 것으로 가정하여 생산비 절감 편익은 적용하지 않기로 함

• 관로사고 복구비용 절감 편익

- 관로사고 복구비용 절감 편익은 대형관(도·송수관)의 사고발생률을 감소시켜 사고시 발생하는 복구비용의 절감액을 말함
- 이를 추정하기 위해서는 먼저 노후관에 대한 파손율 예측을 해야 함. 파손예측율은 국토교통부의 「관로안정화사업 투자평가편람」에서 적용한 모델을 적용하였음
- 「관로안정화사업 투자평가편람」에 따르면, 파손율 예측 모델 중 선형모델, 거듭제곱 모델, 지수모델, 코호트모델을 분석하여 각각의 모형을 개발하였음

관종	모델	상관계수	결정계수
강관	선형모델	0.6406	0.4104
	거듭제곱모델	0.8385	0.7032
	지수모델	0.9039	0.8171
	코호트모델	0.9592	0.9201
덕타일주철관	선형모델	0.6616	0.4378
	거듭제곱모델	0.8028	0.6446
	지수모델	0.8462	0.7161
	코호트모델	0.8499	0.7223

- 위 모델 중 코호트모델이 결정계수가 가장 높아 이를 적용하여 파손예측율을 구하였음. 관로의 파손확률은 시스템 구축이 완료되는 2024년에서 내용연수를 45년을 고려한 2068년까지 약 0~0.4까지 확률을 나타내고 있음
- 이를 전국 도송수관(14,256㎞)을 적용하여, 사고건수를 예측하였고, 복구공사비[2]를 적용한 편익은 연간 약 33백만원 ~ 5,626백만원으로 산출되었음

2) 복구공사비 25,341천원/건(도로구간, 강관, D 800mm기준) 출처 :「관로안정화사업 투자평가편람」, 국토교통부

• 총편익 추정

구분		백만원
총편익		45,345,982
	기존 진단비용	114,048
	단수저감편익	44,952,428
	관로교체절감비용	87,734
	관로복구비용 절감 편익	191,772
순편익(현재가치)		11,981,783

라. 비용-편익 분석

▌표 5.3.10 비용–편익 비율 도출▐

(단위:백만원)

구분	총비용의 현재가치 (A)	총편익의 현재가치 (B)	B/C ratio (B/A)	순현재가치 (NPV)
비파괴 진단기술 개발	9,073,648	11,981,783	1.32	2,908,135

제 4 절 경제사회적 파급효과

□ R&D 투자의 경제사회적 파급효과 중 생산유발효과 및 고용촉진효과는 한국은행의 산업연관표를 활용하여 분석을 실시함.

□ 본 조사에서 활용한 산업연관표는 국내 산업에 미치는 영향만을 구분하기 위해 수입을 제외한 순수 국내 산업간 거래관계를 나타내는 국산 거래표를 활용함.

1. 생산유발의 정의와 효과추정

□ 생산유발계수표는 최종수요가 한 단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 산출액 단위를 말함. 생산유발계수는 최종수요로부터 파생되는 파급효과를 나타내는 승수의 성질을 가지고 있음

□ 본 보고서에서 적용한 생산유발계수는 한국은행의 2005년 산업연관표의 생산유발계수표 중 산업별 평균 생산유발계수표를 근거로 하였으며, 최종수요, 즉 R&D 투자지출액 200억원이 지출되었을 때 이를 토대로 직간접적으로 파급되는 금액을 산출하였음. 계산방식은 생산유발계수에 투자액을 곱하여 산정함

□ 분석결과 200억원의 연구개발비용이 발생한다면, 약 378억원의 생산유발효과가 발생할 것으로 추정됨

▌표 5.3.11 생산유발효과 산출 값▐

(단위 : 백만원)

산업분류	생산유발계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산품	0.032036	128	128	128	128	128	641
광산품	0.002213	9	9	9	9	9	44
음식료품	0.057290	229	229	229	229	229	1,146
섬유 및 가죽제품	0.030871	123	123	123	123	123	617
목재 및 종이제품	0.016907	68	68	68	68	68	338
인쇄 및 복제	0.005083	20	20	20	20	20	102
석유 및 석탄제품	0.082534	330	330	330	330	330	1,651
화학제품	0.135536	542	542	542	542	542	2,711
비금속광물제품	0.020740	83	83	83	83	83	415
제1차 금속제품	0.132615	530	530	530	530	530	2,652
금속제품	0.044497	178	178	178	178	178	890
일반기계	0.068996	276	276	276	276	276	1,380
전기 및 전자기기	0.206202	825	825	825	825	825	4,124
정밀기기	0.010754	43	43	43	43	43	215
수송장비	0.127923	512	512	512	512	512	2,558
기타 제조업 제품	0.010988	44	44	44	44	44	220
전력, 가스 및 수도	0.046658	187	187	187	187	187	933
건설	0.114089	456	456	456	456	456	2,282
도소매	0.096856	387	387	387	387	387	1,937
음식점 및 숙박	0.048613	194	194	194	194	194	972
운수	0.070605	282	282	282	282	282	1,412
통신 및 방송	0.035972	144	144	144	144	144	719
금융 및 보험	0.080561	322	322	322	322	322	1,611
부동산 및 사업서비스	0.166791	667	667	667	667	667	3,336
공공행정 및 국방	0.057719	231	231	231	231	231	1,154
교육 및 보건	0.107975	432	432	432	432	432	2,160
사회 및 기타서비스	0.048117	192	192	192	192	192	962
기타	0.033322	133	133	133	133	133	666
계	1.892	7,570	7,570	7,570	7,570	7,570	37,849

2. 부가가치유발액 정의와 효과추정

□ 부가가치유발액은 투자가 발생했을 경우 생산이 유발되고 생산활동을 통해 부가가치가 창출되는 관계를 화폐가치로 나타낸 것임

□ 분석 결과 연구기간 5년동안 약 140억원의 총부가가치 유발액이 발생할 것으로 추정됨

▌표 5.3.12 부가가치유발액 산출 값▐

(단위 : 백만원)

산업분류	부가가치 유발계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산품	0.016865	67	67	67	67	67	337
광산품	0.001343	5	5	5	5	5	27
음식료품	0.014616	58	58	58	58	58	292
섬유 및 가죽제품	0.009116	36	36	36	36	36	182
목재 및 종이제품	0.004376	18	18	18	18	18	88
인쇄 및 복제	0.001965	8	8	8	8	8	39
석유 및 석탄제품	0.017045	68	68	68	68	68	341
화학제품	0.027223	109	109	109	109	109	544
비금속광물제품	0.006323	25	25	25	25	25	126
제1차 금속제품	0.021493	86	86	86	86	86	430
금속제품	0.012895	52	52	52	52	52	258
일반기계	0.017602	70	70	70	70	70	352
전기 및 전자기기	0.044392	178	178	178	178	178	888
정밀기기	0.002822	11	11	11	11	11	56
수송장비	0.031132	125	125	125	125	125	623
기타 제조업 제품	0.003035	12	12	12	12	12	61
전력,가스 및 수도	0.014012	56	56	56	56	56	280
건설	0.045628	183	183	183	183	183	913
도소매	0.054393	218	218	218	218	218	1,088
음식점 및 숙박	0.018664	75	75	75	75	75	373
운수	0.025511	102	102	102	102	102	510
통신 및 방송	0.015931	64	64	64	64	64	319
금융 및 보험	0.046007	184	184	184	184	184	920
부동산 및 사업서비스	0.111753	447	447	447	447	447	2,235
공공행정 및 국방	0.038853	155	155	155	155	155	777
교육 및 보건	0.071168	285	285	285	285	285	1,423
사회 및 기타서비스	0.024043	96	96	96	96	96	481
계	0.698205	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793	13,964

3. 고용유발효과의 정의와 효과

□ 고용유발효과는 사업비가 투자됨에 따라 전 업종에 미치는 고용될 수 있는 인원을 추정한 것임

□ 고용유발계수는 특정산업 부문에 대한 최종 수요 10억원 발생시 해당 산업을 포함한 모든 산업에서 직·간접적으로 유발되는 고용자 수를 의미

□ 분석결과 고용유발효과는 5년 연구기간동안 약 180명으로 산출되었음

▌표 5.3.13 고용유발효과 산출 값▐

(단위 : 명)

산업분류	부가가치 유발계수	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
농림수산품	0.1152	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.3
광산품	0.0086	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
음식료품	0.1259	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2.5
섬유 및 가죽제품	0.1590	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	3.2
목재 및 종이제품	0.0555	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.1
인쇄 및 복제	0.0319	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6
석유 및 석탄제품	0.0113	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
화학제품	0.2305	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	4.6
비금속광물제품	0.0589	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2
제1차 금속제품	0.0916	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.8
금속제품	0.2071	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	4.1
일반기계	0.2375	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.8
전기 및 전자기기	0.3808	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	7.6
정밀기기	0.0499	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0
수송장비	0.2655	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.3
기타 제조업 제품	0.0519	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0
전력, 가스 및 수도	0.0416	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8
건설	0.9431	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	18.9
도소매	0.9197	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	18.4
음식점 및 숙박	0.4934	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	9.9
운수	0.4277	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	8.6
통신 및 방송	0.0939	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.9
금융 및 보험	0.4083	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	8.2
부동산 및 사업서비스	1.1996	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	24.0
공공행정 및 국방	0.5122	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	10.2
교육 및 보건	1.4201	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	28.4
사회 및 기타서비스	0.4434	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	8.9
기타	0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
계	11.0000	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9	179.7

4. 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단 성능평가와 운영감시 시스템 개발 계획의 파급효과

□ 대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단 성능평가와 운영감시시스템 개발계획을 연구개발시 발생하는 생산유발가치효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과는 다음과 같음

▌표 5.3.14 파급효과▐

단위 : 백만원, 명

구분	생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
백만원, 명	37,849	13,964	180

제 6 장 인력투입계획 및 소요예산 산정

제 1 절 연구비 산정기준

□ 중점분야 수행에 따른 소요 적정비용을 산정하고, 각 중점분야의 세부과제 연구비를 산정하여 총 사업예산 규모를 확정

□ 인건비는 “2015년 학술연구용역 인건비 기준단가”를 기준으로 작성

□ 항목별 예산은 “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정”의 별표 2 “연구개발비 비목별 계상기준”을 작성기준으로 활용

□ 또한 본 연구개발 과제의 최종목표를 달성하기 위해 필요한 각 중점분야와 세부과제별 연구개발 예산을 추정하여 전체 연구개발 기간 내에서 연도별로 산정

제 2 절 연구일정에 따른 인력계획

1. 전체사업 인력투입 계획

가. 연차별 투입 연구인력

(Man-Year)

분야	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
중점분야1	9.0	21.1	36.2	36.2	18.1	120.6
중점분야2	2.3	5.3	9.0	9.0	4.5	30.1
중점분야3	2.6	6.1	10.5	10.5	5.3	35.1
중점분야4	3.6	8.4	14.4	14.4	7.2	48.0
합계	17.5	40.9	70.1	70.1	35.1	233.7

나. 상세 투입연구인력

(Man-Year)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
책임연구원	3.7	9.1	15.6	15.6	7.1	51.1
연구원	5.2	11.7	19.9	20.0	10.5	67.3
연구보조원	5.0	11.3	19.4	19.4	10.5	65.5
보조원	3.6	8.9	15.1	15.2	6.9	49.7
합계	17.5	40.9	70.1	70.1	35.1	233.7

2. 중점분야별 인력투입계획

가. 중점분야 1 : 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단기술 개발

(Man-Year)

중점 분야 1	분류	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1-1 세부	책임연구원	0.6	1.4	2.4	2.4	1.0	7.8
	연구원	0.8	1.8	3.0	3.0	1.5	10.1
	연구보조원	0.8	1.8	3.0	3.0	1.5	10.1
	보조원	0.5	1.2	2.1	2.1	0.8	6.7
1-2 세부	책임연구원	0.6	1.4	2.4	2.4	1.1	8.0
	연구원	0.8	1.8	3.0	3.0	1.5	10.1
	연구보조원	0.6	1.8	3.0	3.0	1.5	9.9
	보조원	0.6	1.4	2.4	2.4	1.1	8.0
1-3 세부	책임연구원	0.4	0.9	1.5	1.5	0.8	5.0
	연구원	0.5	1.1	1.8	1.8	1.1	6.3
	연구보조원	0.5	1.1	1.8	1.8	1.1	6.3
	보조원	0.4	1.1	1.8	1.8	0.8	5.8
1-4 세부	책임연구원	0.5	1.1	1.8	1.8	1.0	6.1
	연구원	0.6	1.2	2.1	2.1	1.1	7.2
	연구보조원	0.6	1.2	2.1	2.1	1.1	7.2
	보조원	0.5	1.1	1.8	1.8	1.0	6.1
합계		9.3	21.4	36	36	18	120.7

나. 중점과제 2 : 관외면 정밀진단 자동화 기술개발

(Man-Year)

중점 분야 2	분류	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
2-1 세부	책임연구원	0.2	0.5	0.9	0.9	0.4	2.9
	연구원	0.4	0.8	1.3	1.3	0.7	4.5
	연구보조원	0.4	0.8	1.3	1.3	0.7	4.5
	보조원	0.2	0.5	0.9	0.9	0.4	2.9
2-2 세부	책임연구원	0.2	0.6	1.0	1.0	0.4	3.2
	연구원	0.4	0.8	1.3	1.3	0.7	4.5
	연구보조원	0.4	0.8	1.3	1.3	0.7	4.5
	보조원	0.2	0.5	0.9	0.9	0.4	2.9
합계		2.3	5.3	9.0	9.0	4.5	30.1

다. 중점분야 3 : 비파괴 종합적 성능평가 기술개발

(Man-Year)

중점 분야 3	분류	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
3-1 세부	책임연구원	0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	2.5
	연구원	0.3	0.7	1.2	1.3	0.5	4.1
	연구보조원	0.2	0.4	0.7	0.6	0.5	2.5
	보조원	0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	2.5
3-2 세부	책임연구원	0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	2.5
	연구원	0.3	0.6	1.0	1.0	0.5	3.4
	연구보조원	0.3	0.6	1.0	1.0	0.5	3.4
	보조원	0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	2.5
3-3 세부	책임연구원	0.2	0.4	0.9	0.8	0.4	2.6
	연구원	0.2	0.6	1.0	1.0	0.5	3.4
	연구보조원	0.2	0.6	1.0	1.0	0.5	3.4
	보조원	0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	2.5
합계		2.6	6.1	10.5	10.5	5.3	35.1

다. 중점분야 4 : 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발

(Man-Year)

중점 분야 4	분류	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
4-1 세부	책임연구원	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	3.5
	연구원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.9	4.8
	연구보조원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.9	4.8
	보조원	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	3.5
4-2 세부	책임연구원	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	3.5
	연구원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.6	4.5
	연구보조원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.6	4.5
	보조원	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	3.5
4-3 세부	책임연구원	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	3.5
	연구원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.6	4.5
	연구보조원	0.3	0.8	1.4	1.4	0.6	4.5
	보조원	0.3	0.5	0.8	0.8	0.5	2.8
합계		3.6	8.4	14.4	14.4	7.2	48.0

제 3 절 소요예산 산정

1. 총괄 소요예산

□ 본 연구개발 과제의 총 개발비용은 200억원 규모로 확정

(단위:천원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1세부	800,000	2,000,000	3,400,000	3,300,000	1,500,000	11,000,000
2세부	200,000	450,000	600,000	650,000	500,000	2,400,000
3세부	250,000	500,000	750,000	800,000	500,000	2,800,000
4세부	250,000	550,000	1,250,000	1,250,000	500,000	3,800,000
합계	1,500,000	3,500,000	6,000,000	6,000,000	3,000,000	20,000,000

나. 예산 항목별 소요예산

(단위:천원)

구분		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	구성비 (%)
인건비	책임 연구원	36,696	136,157	333,332	573,998	571,427	261,024	1,875,938	9.4
	연구원	28,138	147,281	328,091	560,261	562,442	295,680	1,893,754	9.5
	연구 보조원	18,809	93,441	212,366	365,206	364,057	197,652	1,232,723	6.2
	보조원	14,108	50,980	124,995	213,520	214,277	97,663	701,435	3.5
	소계	97,752	427,859	998,785	1,712,985	1,712,202	852,018	5,703,849	28.5
직접비	연구장비/재료비		665,920	1,848,035	3,301,135	3,301,918	1,547,543	10,664,551	53.3
	연구활동비		130,000	240,000	360,000	360,000	200,000	1,290,000	6.5
	연구과제추진비		70,000	110,000	170,000	170,000	98,000	618,000	3.1
	연구수당		41,220	68,180	120,880	120,880	67,440	418,600	2.1
	위탁연구개발비		125,000	195,000	295,000	295,000	195,000	1,105,000	5.5
	소계		1,032,140	2,461,215	4,247,015	4,247,798	2,107,983	14,096,151	70.5
간접비			40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	200,000	1.0
합계			1,500,000	3,500,000	6,000,000	6,000,000	3,000,000	20,000,000	100.0

2. 중점분야 별 소요예산

가. 중점분야 1 : 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단기술 개발

(단위:천원)

구분		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	구성비 (%)
인건비	책임 연구원	36,696	74,525	174,202	298,632	298,632	139,711	985,702	9.0
	연구원	28,138	73,472	163,259	279,873	279,873	149,980	946,457	8.6
	연구 보조원	18,809	46,385	109,133	187,086	187,086	100,256	629,946	5.7
	보조원	14,108	27,286	66,970	114,807	114,807	51,025	374,895	3.4
	소계	97,752	221,668	513,565	880,397	880,397	440,972	2,937,000	26.7
직접비	연구장비/재료비		406,332	1,184,435	2,017,603	1,917,603	787,028	6,313,000	57.4
	연구활동비		50,000	100,000	150,000	150,000	80,000	530,000	4.8
	연구과제추진비		30,000	50,000	80,000	80,000	40,000	280,000	2.5
	연구수당		20,000	30,000	50,000	50,000	30,000	180,000	1.6
	위탁연구개발비		50,000	100,000	200,000	200,000	100,000	650,000	5.9
	소계		556,332	1,464,435	2,497,603	2,397,603	1,037,028	7,953,000	72.3
간접비			22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	110,000	1.0
합계			800,000	2,000,000	3,400,000	3,300,000	1,500,000	11,000,000	100.0

나. 중점과제 2 : 관외면 정밀진단 자동화 기술개발

(단위:천원)

구분		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	구성비 (%)
인건비	책임 연구원	36,696	15,523	40,543	69,503	69,503	31,046	226,118	9.4
	연구원	28,138	19,838	43,889	75,238	75,238	39,676	253,880	10.6
	연구 보조원	18,809	13,261	29,338	50,294	50,294	26,522	169,710	7.1
	보조원	14,108	5,968	14,670	25,148	25,148	11,935	82,869	3.5
	소계	97,752	54,590	128,441	220,183	220,183	109,180	732,577	30.5
직접비	연구장비/재료비		85,390	224,579	259,137	309,137	295,580	1,173,823	48.9
	연구활동비		20,000	40,000	50,000	50,000	40,000	200,000	8.3
	연구과제추진비		10,000	20,000	25,000	25,000	20,000	100,000	4.2
	연구수당		5,220	12,180	20,880	20,880	10,440	69,600	2.9
	위탁연구개발비		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	100,000	4.2
	소계		140,610	316,759	375,017	425,017	386,020	1,643,423	68.5
간접비			4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	24,000	1.0
합계			200,000	450,000	600,000	650,000	500,000	2,400,000	100.0

다. 중점분야 3 : 비파괴 종합적 성능평가 기술개발

(단위:천원)

구분		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	구성비 (%)
인건비	책임 연구원	36,696	17,813	48,824	86,269	83,698	38,594	275,199	9.8
	연구원	28,138	25,041	54,076	90,521	92,703	44,390	306,731	11.0
	연구 보조원	18,809	14,456	29,197	51,201	50,052	29,673	174,579	6.2
	보조원	14,108	6,848	18,770	31,420	32,177	14,837	104,052	3.7
	소계	97,752	64,158	150,867	259,412	258,629	127,495	860,561	30.7
직접비	연구장비/재료비		90,242	211,533	299,988	350,771	241,905	1,194,439	42.7
	연구활동비		30,000	50,000	80,000	80,000	40,000	280,000	10.0
	연구과제추진비		20,000	20,000	30,000	30,000	20,000	120,000	4.3
	연구수당		10,000	12,000	25,000	25,000	15,000	87,000	3.1
	위탁연구개발비		30,000	50,000	50,000	50,000	50,000	230,000	8.2
	소계		180,242	343,533	484,988	535,771	366,905	1,911,439	68.3
간접비			5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	28,000	1.0
합계			250,000	500,000	750,000	800,000	500,000	2,800,000	100.0

다. 중점분야 4 : 구조적 상태감시·예측 고도화기술 개발

(단위:천원)

구분		단가 (연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	구성비 (%)
인건비	책임 연구원	36,696	28,297	69,763	119,594	119,594	51,672	388,919	10.2
	연구원	28,138	28,930	66,867	114,628	114,628	61,634	386,687	10.2
	연구 보조원	18,809	19,339	44,698	76,625	76,625	41,200	258,487	6.8
	보조원	14,108	10,878	24,585	42,145	42,145	19,865	139,619	3.7
	소계	97,752	87,444	205,912	352,992	352,992	174,370	1,173,711	30.9
직접비	연구장비/재료비		83,956	227,488	724,408	724,408	223,030	1,983,289	52.2
	연구활동비		30,000	50,000	80,000	80,000	40,000	280,000	7.4
	연구과제추진비		10,000	20,000	35,000	35,000	18,000	118,000	3.1
	연구수당		6,000	14,000	25,000	25,000	12,000	82,000	2.2
	위탁연구개발비		25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	125,000	3.3
	소계		154,956	336,488	889,408	889,408	318,030	2,588,289	68.1
간접비			7,600	7,600	7,600	7,600	7,600	38,000	1.0
합계			250,000	550,000	1,250,000	1,250,000	500,000	3,800,000	100.0

제 4 절 소요예산 적정성 검토

1. 소요예산 개요

가. 총괄예산

(단위:천원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
총액	1,500,000	3,500,000	6,000,000	6,000,000	3,000,000	20,000,000

나. 중점분야 별 예산

(단위:천원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
중점분야 1	800,000	2,000,000	3,400,000	3,300,000	1,500,000	11,000,000
중점분야 2	200,000	450,000	600,000	650,000	500,000	2,400,000
중점분야 3	250,000	500,000	750,000	800,000	500,000	2,800,000
중점분야 4	250,000	550,000	1,250,000	1,250,000	500,000	3,800,000
합계	1,500,000	3,500,000	6,000,000	6,000,000	3,000,000	20,000,000

다. 연차별 투입 연구인력(중점분야 별)

(단위:천원)

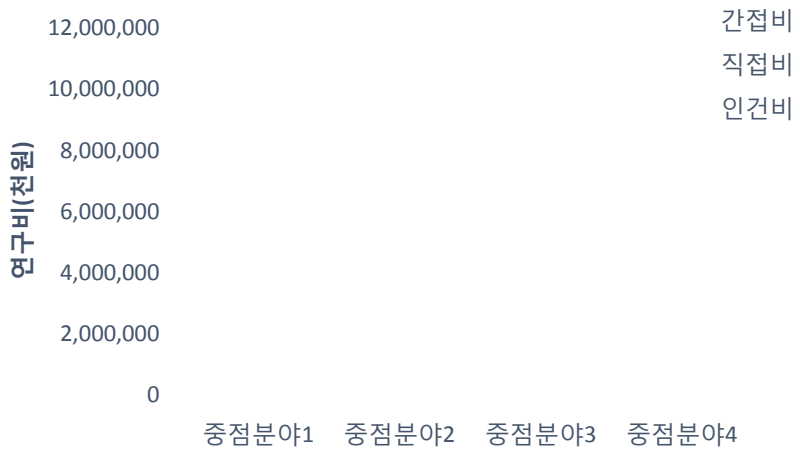
구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
중점분야 1	9.0	21.1	36.2	36.2	18.1	120.6
중점분야 2	2.3	5.3	9.0	9.0	4.5	30.1
중점분야 3	2.6	6.1	10.5	10.5	5.3	35.1
중점분야 4	3.6	8.4	14.4	14.4	7.2	48.0
합계	17.5	40.9	70.1	70.1	35.1	233.7

2. 연구비 검토결과

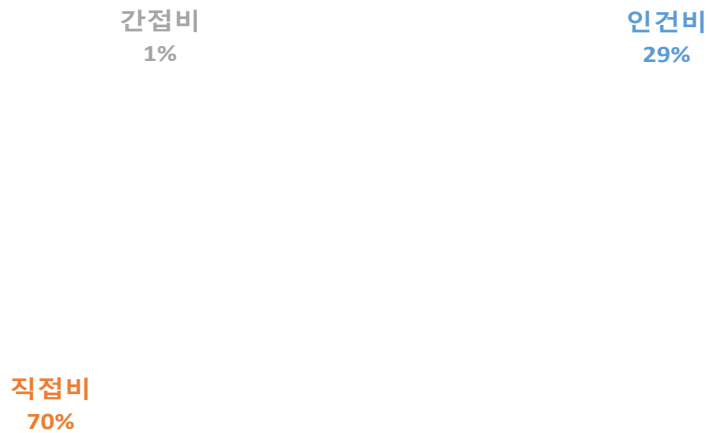
가. 총괄예산

□ 중점분야별로 연구개발비는 중점분야 1이 110억원, 중점분야 2는 24억원, 중점분야 3은 28억원, 중점분야 4는 38억원 으로 편성

□ 전체 연구기간 중 인건비는 약 29%, 직접비 약 70%, 간접비 1 %로 구성됨



▌그림 6.3.1 중점분야별 연구개발비▐



▌그림 6.3.2 비목별 예산 구성비▐

나. 중점분야 별 예산

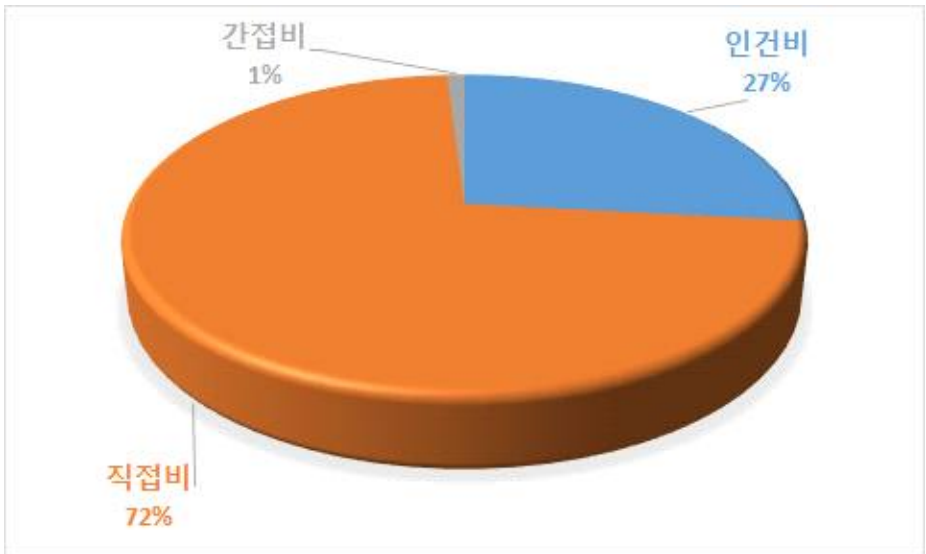
(1) 중점분야 1 예산

□ 중점분야 1의 연구개발비는 110억원 이며, 전체 연구비 중 55%를 차지

□ 전체 연구기간 중 인건비는 약 27%, 직접비 약 72%, 간접비 1 %로 구성됨



▌그림 6.3.3 중점분야 1의 연차별 소요예산▐

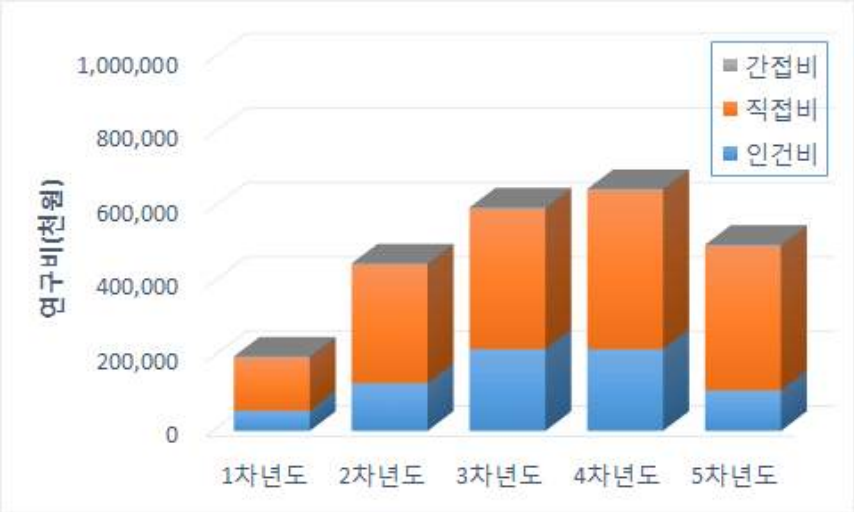


▌그림 6.3.4 중점분야 1의 비목별 소요예산▐

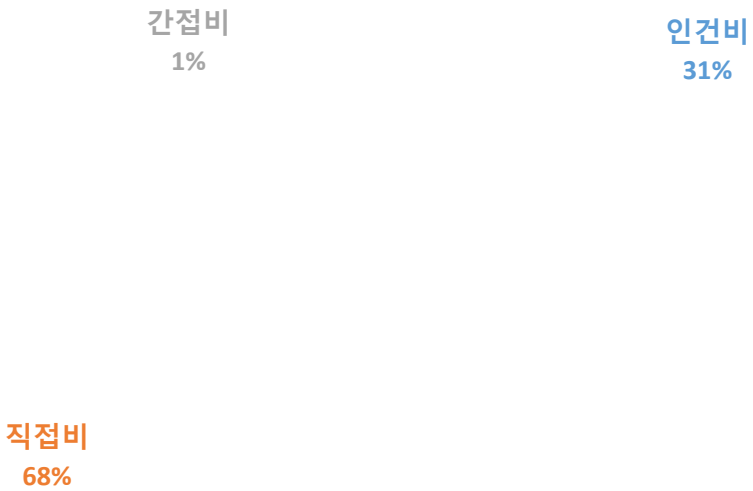
(2) 중점분야 2 예산

□ 중점분야 2의 연구개발비는 총 24억원 이며, 전체 연구비 중 12%를 차지

□ 전체 연구기간 중 인건비는 약 31%, 직접비 약 68%, 간접비 1%로 구성됨



▌그림 6.3.5 중점분야 2의 연차별 소요예산▐

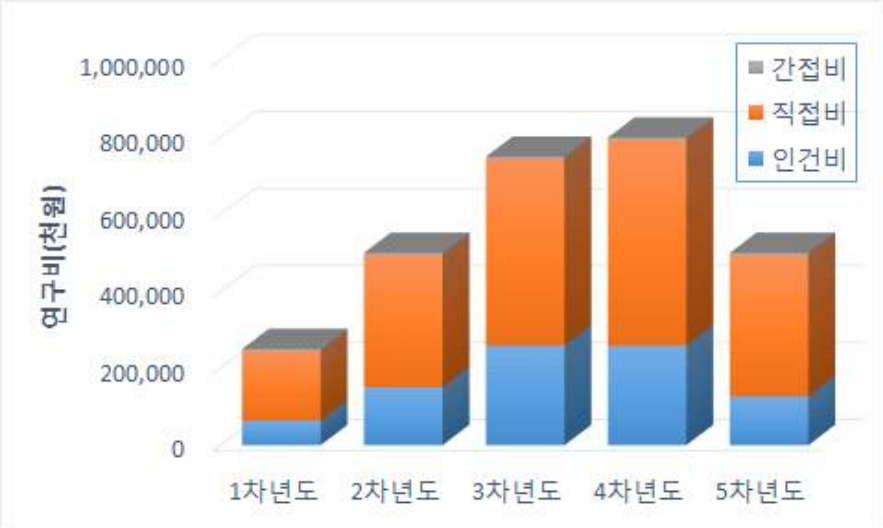


▌그림 6.3.6 중점분야 2의 비목별 소요예산▐

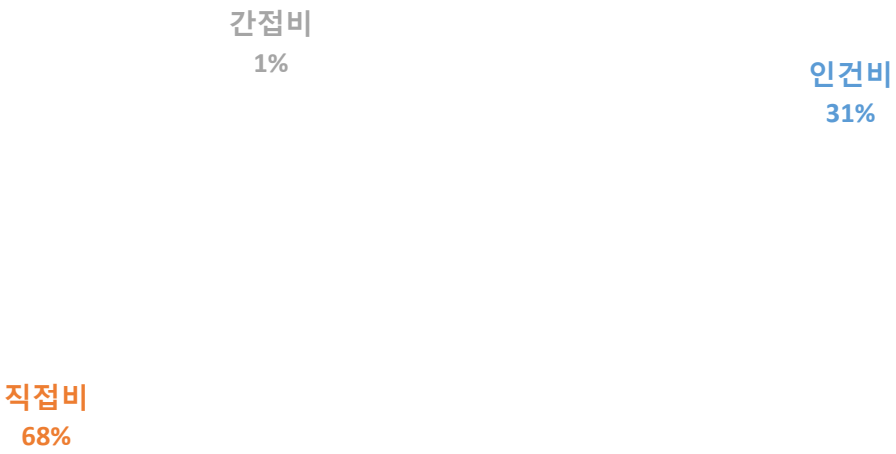
(3) 중점분야 3 예산

□ 중점분야 3의 연구개발비는 총 28억원 이며, 전체 연구비 중 14%를 차지

□ 전체 연구기간 중 인건비는 약 31%, 직접비 약 68%, 간접비 1 %로 구성됨



▌그림 6.3.7 중점분야 3의 연차별 소요예산▐

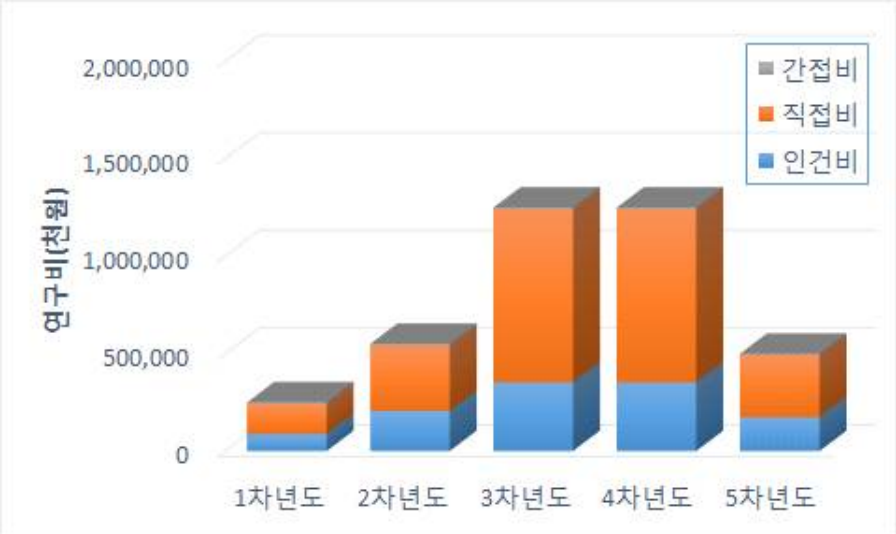


▌그림 6.3.8 중점분야 3의 비목별 소요예산▐

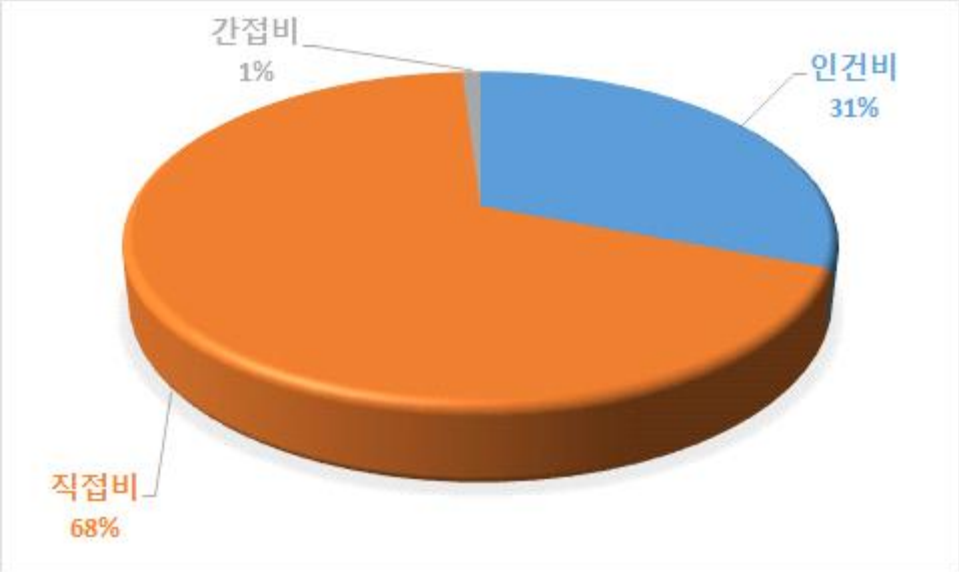
(4) 중점분야 4 예산

□ 중점분야 4의 연구개발비는 총 38억원 이며, 전체 연구비 중 19%를 차지

□ 전체 연구기간 중 인건비는 약 31%, 직접비 약 68%, 간접비 1%로 구성됨



▌그림 6.3.9 중점분야 4의 연차별 소요예산▐



▌그림 6.3.10 중점분야 4의 비목별 소요예산▐

3. 예산의 적정성 검토결과

가. 종합검토 결과

(1) 예산계획 수립체계 및 산정과정의 적절성

□ 중점분야 별 기획위원회를 통하여 최소 연구단위인 세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고, 상향식 방법으로 예산을 산출하여 체계적으로 예산 계획이 수립된 것으로 판단

- 인건비는 2015년 학술연구용역 인건비 기준단가를 기준으로 적용
- 항목별 예산은 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정의 별표2 연구개발비 비목별 계상기준을 작성기준으로 활용

(2) 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

□ 각 중점과제의 구성기술별 예산을 연차별로 구분하고, 인건비, 직접비, 간접비를 세부적으로 구분하고, 각 항목에 소요되는 예산이 비교적 명확하게 도출된 것으로 판단

- 인건비는 총 연구비의 30% 이하이며, 참여연구원을 4단계로 구분, 참여율을 고려하여 산정
- 직접비는 연구장비/재료비, 연구활동비, 연구과제추진비, 연구수당, 위탁연구개발비로 구분하여 산정

(3) 인력투입 및 확보계획의 적절성

□ 5년간 연구개발과제의 총 소요인력은 약 233.7 Man-5-Year으로, 각 중점분야별 투입 연구인력을 연구일정에 맞도록 도출

제 7 장 과제공모 방안

제 1 절 연구단 과제 제안요구서 (RFP)

연구개발과제명 (연구단)	대규모 용수공급관로의 비파괴 정밀진단·성능평가와 운영감시시스템 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 대규모 용수공급관로에 대한 과학적, 경제적 개량의사결정과 선제적 사고 대응이 가능한 세계적 수준의 비파괴 첨단 지능형 정밀 진단·성능평가기술 및 실시간 구조적 상태 감시·예측 고도화 기술 개발을 통한 중단없는 용수공급 안정화 체계 기반 구축
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ **(노후관의 급격한 증가)** 취·도·송수관로, 공업용수관로 등 대규모 용수공급관로의 노후화로 인해 시설유지관리 비용 급증 및 수도사고의 위험성 증가 - 국민 생활 및 국가 경제에 영향이 큰 국가 인프라 시설의 유지관리 비용 증가에 따른 전략적·경제적 대처, 사고 피해 저감 등 사회 안전 대책 필요 - 범정부적인 시설 안전 및 유지관리 체계의 고도화를 통해 사고로부터 안전한 생활환경 조성 및 중단 없는 물공급 안정화 시스템 구축을 통한 국민 물복지 실현 - 지하에 매설되어 조사와 접근이 어려운 용수공급관로의 상태를 정밀 진단하여 노후관의 과학적, 경제적 개량을 통한 효율적 국가 자산관리 및 예산 활용 필요 ○ **(기존 진단기술의 한계)** 기존 진단·평가 방법은 제한적인 샘플 조사로 인해 실제 관상태를 대표하기에는 미흡하여, 개량 의사결정 판단에 한계가 있어, 정량적인 관 상태파악 기술 개발을 통한 경

제적인 노후관로 개·대체 의사결정 및 과학적인 유지관리 필요

- 점수평가방법에 의해 취약구간 선정 → 굴착 → 관체절단(또는 대구경인 경우 공기밸브 또는 점검구 등 활용) → 인력 관내부 진입 → 육안 및 휴대용 측정 장비에 의한 조사
- 현재의 진단·평가 방법은 점(Point)적이고 조사시 단수가 수반되어 장기적인 조사가 어렵고, 또 정밀조사 보다는 육안조사로 대부분 수행됨에 따라 관의 구조적인 상태를 제대로 파악하기 어려워 이를 이용한 개량방안 수립시 신뢰성이 낮음

  ※ (현재) 시편분석, 육안·CCTV, 휴대용장비 일부지점 국부적 평가

  ※ (미래) 장거리 전 구간 면적 스캐닝을 통한 관 상태 파악과 처방

- 최근, 장거리 구간(2 km)에 대하여 관 내부 CCTV를 통한 내면 상태와 누수탐사가 가능한 장비(캐나다 Sahara) 등을 도입하여 광역상수관로 등을 대상으로 적용 중이나, 부식에 의한 구조적인 손상이나 결함, 누수이전 균열의 탐상은 불가능하여 정확한 개량의사결정 곤란
- 그 외 구조적인 상태를 측정할 수 있는 장비는 판매 및 기술이전이 불가할 뿐만 아니라 국내 현장에서 측정된 데이터의 분석 조차도 해외에서 장기간에 걸쳐 수행되고 있음

○ **(예방적 관리체계 필요)** 시설노후, 싱크홀, 기후변화, 지진 등 관로사고 위험의 증가로 사전 예방적인 구조적 감시체계 및 개량계획 수립의 중요성 증가

※ (현재) 사고 후 발생·위치 탐지시간의 단축 위주

※ (미래) 사고를 사전에 감지하여 선제적 대응

○ **(해외시장 기술경쟁력 확보위한 미래기술 개발)** 해외 물 시장 진출, 국내시장 및 연관산업 활성화를 위한 선제적 융복합 기술 개발·확보 필요

- 선진국과 기술격차 5~6년 차이, 90%이상 수입으로 해외 의존도 높음, 선진기업 국내 진출로 외화 및 인프라 정보 유출

	- 기술격차 해소, 수입대체 국산화 기술 개발 및 기술경쟁력 확보와 비파괴, ICT, 로봇 등 융복합 기술 개발로 국내 기업 동반성장, 연관 산업 활성화, 산업경쟁력 강화를 통한 시장 확대, 해외시장 진출 기반 확보 시급
□ 기술동향	○ (국내) 대규모 용수공급관로 비파괴 진단·성능평가 기술 - 원자력, 가스관, 송유관 등 타 배관 분야에서는 비파괴를 이용한 면적 Scanning 기술들이 개발되어 적용 중이나, 대부분 대규모 용수공급관로에 비하여 상대적으로 관경이 작은 소형관 위주로 개발 (한국가스공사 경우 200~400mm) ○ (국외) 대규모 용수공급관로 비파괴 진단·성능평가 기술 - 노후도 평가모델은 데이터가 부족하거나 있더라도 신뢰성이 부족하여 한계가 명확하며, 동일계통의 인접한 관로도 상태가 서로 달라 점적인 조사로는 정확한 처방이 어렵다는 사실을 인지하여 전체 관로에 대한 관상태 평가 기술 개발 - IT, 비파괴, 로봇기술(Robotics), S/W를 융합, 전체구간에 대해, 장거리 면적 스캐닝을 통해, 관의 상태를 한눈에 파악하고, 처방할 수 있는 기술에 집중 - 다양한 배관 재질, 운영과 매설환경에 적용 가능하며, 1회 진단으로 관 내외면 상태에 대한 다양한 정보를 취득하고 3차원으로 손상을 정확히 확인할 수 있는 첨단 기술들이 개발되고 있음 - 관 내부에서 이동하면서 적용되는 탐상장비 (ILI, In-line Inspection tool)는 가스, 송유, 수도 각각의 배관 환경에 적용 가능하도록 단수 또는 무단수시, 유인 또는 무인형태의 다양한 방식으로 발전하고 있음 - 내부탐상에 비해 외부탐상이 용이한 취수장, 정수장, 가압장, 밸브실 등의 노출관로 또는 내부탐상 결과의 검증을 위한 관 외면 비파괴 탐상장비들도 다양한 형태로 개발되고 있음 ○ (국내) 구조적 상태감시 예측 기술

- 용수공급관로 상태 감시를 위한 기존 기술들은 신관 매설시 광섬유 등을 관 주변에 설치하여 운영하는 형태로 개발되어 왔으며, 대부분 사고 발생 후 나타나는 징후를 통해 판단하므로 사고예방적 차원보다는 사고 후 신속한 복구 위주

○ (국외) 구조적 상태감시 예측 기술

- 전통적인 비파괴 정밀 검사/예측/진단/평가 방법을 벗어나 운영중인 관로에 대하여 실시간으로 그 변화를 관측하고, 파괴를 예측하여 대응하는 SHM(Structural Health Monitoring) 개념의 관리 기술로 패러다임이 변화
- 구조적인 상태를 감시하는 기술은 크게 Global과 Local 감시방법으로 구분될 수 있으며, Global 감시기술은 구조물 전체를 대상으로 상태를 감시하는 방법이며, Local 감시기술은 일부 영역에서 발생하는 상태변화를 감시하는 기술
- Global 감시 기술로는 하중조건 기반의 손상감지기술과 진동기반 손상감지기술이 사용되며, Local 감시기술로는 파동전파 기반의 손상 감지기술들이 적용되고 있으며, 대표적인 방법으로는 광섬유센서 또는 압전센서 등이 있음
- 정유, 화학플랜트, 발전소 등에서는 비파괴 기술로서 음향방출(Acoustic Emission)을 이용하여 결함의 위치를 추정하고, 결함의 상태를 평가할 수 있는 음향방출 기반의 진단기술 부각
- 다양한 형태의 센서네트워크 기술들이 개발되고 있으며, 센서네트워크 기술의 범주는 실시간 고속 데이터 취득을 위한 하드웨어와 소프트웨어, 취득된 데이터의 정확한 송·수신, 수집된 데이터의 신호처리 S/W, 다양하고 많은 센서로 부터 얻어지는 빅데이터의 관리 및 분석 등을 포함

3. 연구개발내용

□ 세부과제별 연구내용 **[1세부과제]**

○ 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단 기술 개발

- 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
- 지능형 ILI(In-line Inspection) 이동체 개발
- 이동체 투입·회수 기술 (장치 등) 개발
- 이동체 관제기술 개발

[2세부과제]

○ 관외면 정밀진단 자동화 기술 개발

- 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발
- 관외면 자동화 탐상 장비 개발

[3세부과제]

○ 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발

- 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 및 안전성 평가 기술 개발
- 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발
- 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발

[4세부과제]

○ 구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발

- 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발
- 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발
- 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 기술개발 범위 설정(대규모 용수공급관로의 범위)

- 용수공급관로는 다양하나, 단선 관로이면서 사고발생시 면적, 공간적인 피해 규모가 막대한 도·송수·공업용수 관로로 제한
- 용수공급관로의 관종은 매우 다양하나, 도·송수·공업용수관로로 사용되는 주요 관종은 내외면 도복장강관(45%)과 주철관종(46%)이므로 금속관종을 대상으로 선정

○ 국내·외에서 축적된 비파괴 관로 탐상 기술과 연구역량, 인프라 등을 최대한 활용하여 관로 비파괴 정밀진단 및 감시기술을 개발하여 기술경쟁력 확보

- 비파괴, ICT, 장비(로봇)기술 등 융·복합기술 개발
- 국내외 가스배관 등 타 배관 진단기술 연계, 활용으로 시행착오 최소화 및 성과 극대화

○ 기존 가스·송유관 등의 비파괴 정밀진단·성능평가·감시기술 간 유사점과 차이점이 무엇인가에 대한 구체적인 비교 분석을 통하여, 대규모 용수공급관로 특성에 맞도록 어떠한 기술을 개발해야 하는가에 대한 개발기술을 도출하여, 연구개발과제 구성과 추진전략 수립에 활용

○ 다양한 수요자와의 협의를 통한 니즈 파악과 이를 실현하기 위한 기술개발을 추진하여 시장진출이 가능한 기술수준 확보

- 주요 수요자 : 광역·지방상수도 사업자, 진단·엔지니어링 업체, 건설·유지관리 업체 등

○ 글로벌 기업 선진사례 조사 및 차별화를 통한 기술적 우수성 확보로 시장 경쟁력 제고 추진

○ 국제 네트워크 구축 및 인적 교류를 통한 물 시장 진출 가능성 제고를 위해 관련 기술 해외 선진 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 국내·외 용수공급 관로 진단·유지관리, 개량이 필요한 대상을 타겟으로 실증시설(Test-Bed)의 설치 및 운영을 통한 기술검증 계획을 구체적으로 제시하고, 사업기간 내에 현장 적용 및 검증을 완료할 수 있도록 관련 기관과의 사전 협의 필요

○ 개발기술의 성과 활용 및 확산을 위해 관련 제도 개선 방안과 각 세부기술별 및 통합기술에 대한 사업화 방안 연구 추진 필요

○ 국민 생활에 필수적인 용수공급 관련 기술 분야로서 실제 활용시 안전하고 안정적인 기술 확보에 주력

□ 추진체계

○ 국내외 관로 현장에 직접 활용 가능한 기술 개발을 목표로 정부·

지자체·연구기관·학계·산업계의 공조체제에 의한 연구개발 추진 필요

- “관 내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단기술” 과제는 비파괴 검사용 배관 로봇 분야의 노하우를 가지고 있는 전문가(기관)와 긴밀한 연구협력 및 참여 추진
- “관 외면 정밀진단 자동화 기술” 과제는 비파괴 검사 분야 전문가(기관), 기업이 공조하여 추진
- “비파괴 종합적 성능평가 기술” 과제는 수도사업자, 진단 관련 전문기관이 주도적으로 참여하는 연구조직을 구성하여 수행
- “구조적 상태감시·예측 고도화 기술” 과제는 감시 센서 및 네트워크 기술 분야, IT 분야 전문가 등 연구기관, 기업, 학계, 수도사업자와 긴밀한 공조체계 구성 필요

○ 실증시설(Test-Bed)의 설치·운영을 통한 기술검증과 제도개선, 사업화 방안 등 상용화, 사업화 관련은 연구단장이 총괄 관리

- 각 세부과제(기술)별 성능평가 및 통합시스템 신뢰성 평가 등 테스트베드 및 현장적용 관련 총괄 조정
- 기술 상용화 및 활용 극대화를 위해 각 세부과제(기술)별 사업화 및 통합시스템 사업화 방안 총괄 조정

○ 기업이 활용 가능한 연구에 대해서는 기업 참여계획을 수립하고 기업체의 적극적인 참여 유도

○ 본 과제를 통해 개발된 성과는 용수공급관로 현장에 즉각적으로 실용화 될 수 있도록 관계기관과의 협조체계 구축 필요

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물 **[1세부과제]**

○ 관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단 기술 개발

- 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 모듈
- 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체

- 이동체 투입·회수 및 운용 기술 (장치 등)
- 이동체 관제 시스템

[2세부과제]

○ 관외면 정밀진단 자동화 기술 개발

- 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 모듈
- 관외면 자동화 탐상 장비

[3세부과제]

○ 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발

- 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 프로그램
- 비파괴 종합적 개량 의사 결정 프로그램
- 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템

[4세부과제]

○ 구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발

- 실시간 구조적 상태감시 기술(센서시스템) 개발
- 실시간 구조적 상태감시를 통한 파손예측 프로그램
- 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템

6. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구비 : 200억원 (정부 130억원, 민간 70억원)

※ 정부출연금은 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

7. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “연구단 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ TRL 설정 및 근거

- 연구개발 기술 수준을 제시하고 이에 합당한 근거를 제시하여야 함
- 주어진 연구개발 기간 내 성공적인 성과도출 가능성을 높이기 위해서 관련된 원천기술개발 현황을 제시하여야 함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검・관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발 계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

1. 1세부과제 제안요구서

연구개발과제명	관내면 첨단 지능형 비파괴 정밀진단 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 대규모 용수공급관로 내부를 이동하면서 관의 구조적인 상태(부식에 의한 두께변화, 결함, 균열 등)를 탐상 할 수 있는 세계적 수준의 첨단지능형 ILI(In-Line Inspection) 비파괴 정밀진단 기술 개발 - 금속관종(도복장강관 및 주철관종) 관로 내부를 거리 1㎞ 이상 탐상 가능한 정밀 진단 멀티센서, 스캐닝 및 이동장비 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 지하에 매설되어 상태를 파악하기 어려운 용수공급 관로를 정밀진단하여 관의 노후상태를 정확히 판단하고 사용수명의 예측을 통한 경제적인 개량 및 수명연장 방안 제시 등 효율적인 국가 자산관리 및 예산 활용 대책 필요 ○ 대규모 용수공급 관로의 노후화 가속으로 사고 위험이 급증함에 따라 전 구간 구조적 상태 파악을 통한 진단·감시 첨단화를 통한 국가인프라 안전 확보 필요 - 현 노후관 조사·평가방법으로는 제약이 존재하여 노후관 개량대상 결정시 실제 관상태 반영 미흡, 개량여부 의사결정 판단 한계 * 광역상수도 사고 대부분은 관로 사고로서 시설노후, 품질불량으로 인한 파손 및 누수가 대부분을 차지(최근 5년간 367건 중 91%가 관로사고) ** 간접평가(경과년수 등)와 직접평가(샘플조사) 수행으로 전체적인 관 상태 반영 미흡 *** 기존 단수 후 인력에 의한 점(point)적인 조사를 탈피하는 전체적인 조사를 위한 장거리 비파괴 진단기술 확보 필요 ○ 첨단 관 내면 장거리 비파괴 정밀탐상기술 확보로 경제적인 개량 추진과 중단 없는 용수공급으로 국민 물 복지 실현 필요

	- 기존에는 간접조사 및 인력에 의한 국부적 직접조사로 단수수반, 고비용, 장시간 소요, 점적인 표본 조사 수준으로 오진 우려에 따른 과도한 개량비용 발생과 관 수명단축 초래 ※ (현재) 중환자에 대한 청진기 수준의 진단 ※ (미래) 전 구간 CT 촬영을 통한 관 상태 파악과 처방 ○ 선진국 대비 기술격차 및 높은 해외 의존도 해소 위한 기술 필요, 창조경제 실현을 위해 우리나라가 기술경쟁력을 보유한 ICT 기술 기반으로 로봇, 비파괴 기술과의 융·복합을 통한 선진국 수준의 첨단 진단 기술 확보 필요
□ 기술동향	○ (국내) 관내부 상태평가에 육안조사(CCTV, 인력), 휴대용 측정장비 등을 활용하고 있으나, 국부적 표본 조사로 신뢰도 낮음 ※ 선진국과 기술 격차(5~6년) 및 의존도 높아(90%이상 수입) 외화 및 정보 유출 - 원자력, 가스관, 송유관 등 타 배관 분야에서는 주로 관경 400㎜이하의 소형관을 대상으로 비파괴기술을 이용한 면적 scanning 기술들이 개발·적용 중이며, 용수공급 배관 대상 정밀진단 기술 개발 필요 ○ (국외) 다양한 관 상태 평가 및 진단장비 개발 및 활용 - 관 내·외부 정밀진단(Scanning)을 통한 관 잔존두께, 균열측정, 강도평가 등 자동화 장비 활용, 잔존수명 예측으로 개량결정 - 관로 상태의 정밀진단을 위한 ICT, 비파괴, 로봇기술 등의 융복합 및 빅데이터 활용, IoT 기술과의 연계 등 신기술 개발 확대 ※ 비파괴(센서), ICT+Robot 융복합기술 개발, 인프라 유지관리 고도화 및 시장주도 - 무단수시 카메라로 관 내부 조사, 소나(sonar) 이용 관 형태 및 침전물 탐지, 단수시 자기누설(MFL) 이용 관 두께, 결함 탐상 진단 장비 개발·활용
3. 연구개발내용	

□ 세세부 과제별 연구내용

[1세세부과제]

○ 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발

- 관내면 고감도 상태 진단용 Multi -sensor 개발
- 자기위치 측정 장치(시스템) 개발
- 센서 신호처리, 해석·분석기술, 비파괴 센서 기반 면적 Scanning 기술 개발
- 내압 안전성(파손방지) 확보 기술 개발
- 표면 전처리 최소화를 위한 측정기술 개발
- 센서모듈 이동체 탑재 방안

[2세세부과제]

○ 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발

- 관 내부 ILI 이동체 플랫폼 개발
- 관로내 환경 영향(유체 유동저항과 수질영향) 최소화 기술 개발
- 이동체 고성능 저전력 전원공급(배터리 등) 기술 개발
- 센서 데이터 수집 저장, 송수신(통신) 기술(시스템) 개발
- 기능별 단위장치 통합 ILI 이동체 제작

[3세세부과제]

○ 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발

- 관로 설치환경을 고려한 투입·회수 방안 개발
- 이동체 플랫폼에 따른 투입·회수 장치 (부속류 포함) 개발
- 이동체 투입·회수 장치 운영기술 개발

[4세세부과제]

○ 이동체 관제기술 개발

- 대표관경에 대한 장거리 성능평가용 테스트-베드(Performance

Evaluation Test-bed) 구축

- 이동체 운영·제어 Integrated control system (ICS) 구축
- 관 내부 정밀진단을 위한 이동체 운영·제어기술 개발
- 이동체 비상시 대응 기술(장치 등) 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 국내·외에서 축적된 비파괴 배관 탐상 기술과 연구역량, 인프라 등을 최대한 활용하여 용수공급관로 비파괴 정밀진단기술 개발

- 비파괴, ICT, 장비(로봇)기술 등 융복합기술 개발
- 국내외 타 배관(가스배관 등) 진단기술 연계, 활용으로 시행착오 최소화 및 성과 극대화
- 기 수행 및 현재 수행중인 유사 과제와의 구체적인 연계·활용방안을 연구 내용에 포함

○ 가스·송유관 등은 관 내부가 건전하거나 유류슬러지가 존재하는 경우가 있으나, 용수공급관로는 관 내부상태가 완전히 다르므로 관로 내부상태 여건에 맞는 비파괴 정밀탐상 장비와 비파괴 기술 개발 필요

- 용수공급관로는 관 표면에는 내부부식으로 결절(녹) 등이 면적으로 존재하고, 일부 관 표면에는 내부 도장재가 잔존하고 있으며, 그 상부에는 내부 도장재 조각, 슬라임, 이토퇴적/민물담치(도수관로) 등 축적되어 있음

※ 관 내부 환경을 극복할 수 있는 새로운 방식의 비파괴와 이동탐상 기술 개발 필요

- 가스·송유관 등은 외부부식으로 인한 두께 손실측정이 중요하나, 용수공급관로는 외면과 내면부식(물에 의한 부식)에 의한 두께 손실 모두 측정 필요하므로, 내외면 동시에 부식으로 인한 두께 손실을 측정할 수 있는 비파괴 기술 개발 필요

※ 외부부식은 주로 점적인 형태로 부식이 발생하나, 내면부식은 면적인 부식으로 진행, 내외면 부식의 양상이 달라 이를 구별해 낼 수 있는 비파괴 기술 필요

○ 단계별 추진전략

- 1단계(1~3차년도, 3년): 핵심 요소 기술 개발
  : 센서모듈, 이동체 플랫폼, 신호처리 기술 개발
  : 시작품 제작 성능평가
- 2단계(4~5차년도, 2년): 실증연구 및 실용화
  : ILI장비 및 시스템 신뢰성 검증
  : 실규모 및 현장 적용을 통한 개발기술의 실용화

○ 관련분야 전문가 자문

- 연구 수행 내실화 및 연구성과 극대화를 위한 국내외 관·산·학·연 전문가 자문위원회(한국, 미국 등) 운영

○ 테스트 베드 운영, 현장적용 등 실제 성능 검증 방법 제시

□ 추진체계

○ 국내외 관로 현장에 직접 활용 가능한 기술 개발을 목표로 정부·지자체·연구기관·학계·산업계의 공조체제에 의한 연구개발 추진 필요

- 비파괴 검사용 배관 로봇 분야의 노하우를 가지고 있는 전문가(기관)의 주도적 참여 및 긴밀한 연구협력 추진
- 국내외 전문가 연계 통한 첨단기술의 융·복합 및 실용화 달성

○ 관내면 상태진단 multi-sensor 개발은 비파괴 전문가(기관) 주도로 개발, 지능형 ILI(In-line inspection) 이동체 개발은 기계(로봇) 관련 전문가 참여, 이동체 투입회수 기술 개발은 관로 전문가의 의견(자문) 수렴 필요, 이동체 관제기술 개발은 대표관경에 대해 테스트베드 또는 현장 성능검증 수행 가능 기관 참여

○ 테스트베드 운영, 현장 적용 등을 통해 충분한 검증 실시

○ 기업이 활용 가능한 연구에 대해서는 기업 참여계획을 수립하고 기업체의 적극적인 참여 유도

○ 본 과제를 통해 개발된 성과는 용수공급관로 현장에 즉각적으로 실용화 될 수 있도록 관계기관과의 협조체계 구축 필요

5.최종성과물

□ 주요 최종성과물

[1세세부과제]

○ 관내면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발

- 관내 측정용 multi-sensor scanning 시스템
- 각 센서 신호처리 및 분석 프로그램
- 고정밀 자기위치 측정 장치
- Mapping 프로그램

[2세세부과제]

○ 지능형 ILI(In-line Inspection) 이동체 개발

- 첨단 지능형 ILI 이동체(장비)
- 고성능 송수신 장치 및 고성능 통신 디바이스
- 고성능 저전력 전원공급 장치

[3세세부과제]

○ 이동체 투입회수 기술 (장치 등) 개발

- 이동체 투입회수 장치
- 이동체 투입회수 설치 및 운영 가이드라인

[4세세부과제]

○ 이동체 관제기술 개발

- 관제 스테이션/프로그램(Integrated Control System, ICS)
- 비상시 대응 가이드라인

6 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구비 : 110억원 (정부 73억원, 민간 37억원)

7 기 타

○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 “과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 기 수행되었거나(종료과제, 중단과제 등) 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·활용방안을 연구계획에 포함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평

가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

2. 2세부과제 제안요구서

연구개발과제명	관외면 정밀진단 자동화 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 대규모 용수공급관로의 취약구간 대응을 위한 관외면 비파괴 자동화 정밀진단기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 대부분의 관로는 지하에 매설되어 있으나, 취수장, 가압장, 정수장 등의 노출 배관 및 관로 상 각종 밸브실 존재 등 관로 설치 환경에 따라서 관 내부 장거리 비파괴 탐상이 불가한 구간이 존재 - 관외면 비파괴 자동화 정밀진단을 통한 종합적 성능평가를 위한 연속적인 관 상태 정보 확보 필요 ○ 관 내부 비파괴 탐상시 조사 위치에 따른 탐상 신뢰성에 대한 검증·보완 체계 필요 - 해외 선진국에서는 관 외면에 탐상 장비들은 장거리 관 내부 탐상 후 일부구간의 측정결과 검증 또는 조사지점 위치파악을 위한 기준점 확인 용도로 활용
□ 기술동향	○ (국내) 관외부 상태평가는 굴착 후 육안조사, 휴대용 측정 장비 등을 활용하여 국부적 표본 조사로 신뢰도 낮음 ※ 관 외면, 노출배관의 상태진단 실시 미흡 ○ (국외) 다양한 관 상태 평가 및 진단장비 개발 및 활용 - 관 내·외부 정밀진단(Scanning)을 통한 관 잔존두께, 균열측정, 강도평가 등 자동화 장비 활용, 잔존수명 예측으로 개량결정 - 관 외부에 배치하여 관의 상태를 원주방향 또는 축방향으로 이동하면서 탐상 할 수 있는 자동화장비 개발 - 관 외부에서 관의 두께변화, 균열, 결함 등을 Scanning하는

sensor 모듈, 신호처리·해석 기술 개발

- 인력에 의한 수동 탐상장치, 관 외부에 고정하여 원주방향으로 회전시키는 자동화 탐상장치, 로봇 이동체에 스케닝 장비를 장착하여 축방향으로 이동 탐상하는 장치, 센서를 외부에 장착하여 원주·축방향 전파 이동 탐상 고정설치 장치 등 개발

3. 연구개발내용

□ 세세부 과제별 연구내용

[1세세부과제]

○ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발

- 관외면 고감도 multi- sensor 개발
- 센서 신호처리, 해석, 분석기술 개발
- 센서 기반의 면적 scanning 기술 개발
- 표면 전처리 최소화를 위한 측정기술 개발
- 센서모듈 이동체 탑재 방안

[2세세부과제]

○ 관외면 자동화 탐상 장비 개발

- 관 외부 자동화 탐상 장비 플랫폼 개발
- 이동체 고성능 저전력 전원공급(배터리 등) 기술 개발
- 센서 데이터 수집 저장, 송수신(통신) 기술(시스템) 개발
- 기능별 단위장치 통합 자동화 탐상 장비 제작
- 자동화 탐상장비 성능평가·검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 국내외 비파괴 관 외면 탐상 기술을 면밀히 분석하고 연구역량, 인프라 등을 최대한 활용하여 관외면 비파괴 자동화 정밀진단기술 개발

- 국내외 기술동향·수준 분석을 통한 개발 방향 설정, 기술 보유

전문가(기관) 연계, 활용으로 시행착오 최소화 및 성과 극대화

- 연구 수행 내실화 및 연구성과 극대화를 위한 국내외 관·산·학·연 전문가 자문위원회 운영

○ 단계별 추진전략

- 1단계(1~3차년도, 3년): 핵심 요소 기술 개발
  : 센서 모듈 설계, 제작, 성능시험
  : 데이터처리 기술 및 자동화 장비 플랫폼 개발
- 2단계(4~5차년도, 2년): 신뢰성 평가 및 실용화
  : 멀티센서 탑재 자동화 장비 신뢰성 평가
  : 실규모 및 현장 적용을 통한 개발기술의 실용화

○ 테스트 베드 및 현장적용 등 실제 성능 검증 방법 제시

□ 추진체계

○ 국내외 관로 현장에 직접 활용 가능한 기술 개발을 목표로 정부·지자체·연구기관·학계·산업계의 공조체제에 의한 연구개발 추진 필요

- 관 외면 정밀진단 자동화 기술 과제는 비파괴 검사 분야 전문가(기관), 기업이 공조하여 추진
- 비파괴 검사용 배관 장치 분야의 노하우를 가지고 있는 전문가(기관)의 주도적 참여 및 긴밀한 연구협력 추진
- 국내외 전문가 연계 통한 첨단기술의 융·복합 및 실용화 달성

○ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 개발은 비파괴 전문가(기관)가 참여하고, 관 외면 특성에 적합한 자동화 장비는 관련 전문가 참여 및 의견 수렴 필요

○ 대표관경 범위에 대해 테스트베드 또는 현장 성능검증 수행을 통한 신뢰성 검증 반드시 필요

○ 기업이 활용 가능한 연구에 대해서는 기업 참여계획을 수립하고 기업체의 적극적인 참여 유도

○ 본 과제를 통해 개발된 성과는 관로 유지관리 시장에 즉각적으로 실용화 될 수 있도록 상용화·사업화 전략 필요

5 최종성과물

□ 주요 최종성과물

[1세세부과제]

○ 관외면 비파괴 상태진단 multi-sensor 기술 개발

- 관외면 측정용 multi-sensor scanning 시스템
- 각 센서 신호처리 및 분석 프로그램

[2세세부과제]

○ 관외면 자동화 탐상장비 개발

- 관외면 자동화 장치(이동체)
- 탐상장비(이동체) 운영제어 기술

6 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구비 : 24억원 (정부 15억원, 민간 9억원)

7.기 타

○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 “과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성

- 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부 연구내용을 일부 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

※ 총 정부출연금 및 연차별 정부출연금은 향후 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히

해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 기 수행되었거나(종료과제, 중단과제 등) 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·활용방안을 연구계획에 포함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검・관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용

하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

3. 3세부과제 제안요구서

연구개발과제명	비파괴 종합적 성능평가 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 대규모 용수공급관로의 구조적 상태를 전반적으로 파악할 수 있는 다양한 첨단 지능형 비파괴 요소기술이 통합된 신개념의 비파괴 종합적 성능평가 기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 대규모 용수공급관로 동일계통의 인접한 관로도 상태가 상이하여, 예측 또는 점적인 조사에 의한 종합적인 개량계획 마련 곤란 - IT, 비파괴, 로봇기술을 융합, 전체구간에 대해, 장거리 면적 스캐닝을 통해, 관의 구조적인 상태를 파악하고, 수명을 예측하여 종합적으로 그 성능을 평가하여 개량계획 수립 필요 ○ 대규모 용수공급관로 전 구간에 대한 비파괴 종합적인 성능평가를 통한 과학적이고 높은 신뢰도 구현으로 관의 구조적인 상태에 따른 종합적 “Total Solution”을 제공할 수 있는 기술 확보 필요 ○ 용수공급관로 노후화로 진단, 개량 등 유지관리 시장이 확대되면서 제2의 건설시장으로 인식 확산 중 ○ 미국 수도협회는 용수공급 관로 기반시설 재구축 시대가 도래했음을 공표, 관로 상태의 정밀진단평가를 통한 경제적 개량 및 사용수명 연장 등 국가 자산관리 효율화 도모
□ 기술동향	○ (국내) 간접평가 및 점적인 국부적 진단으로 데이터 신뢰성 부족 한계로 개량 의사결정 및 정확한 처방이 어렵기 때문에 정밀진단 정량화 기술, 종합적 성능평가 및 개량의사결정시스템 필요 - 관로 상태평가는 굴착 후 육안조사 및 시편 시험, 휴대용 측정장비 등을 활용하여 국부적 표본 조사로 신뢰도 낮음 ○ (국외) 관로 상태의 정밀진단평가 기술 및 개량의사결정기술 활용

- 관 내·외부 정밀진단(Scanning)을 통한 관 잔존두께, 균열측정, 강도평가 등 자동화 장비 활용으로 정량적 평가 결과를 활용하여 잔존수명 예측으로 개량의사결정
- 노후 관로의 정밀한 상태진단 결과를 분석하여 시설 성능을 제대로 평가하여 잔존수명을 예측하고 성능개선과 사용수명 연장 방안 등을 종합적으로 검토하여 보수, 보강, 교체 여부 등 개량 방안을 결정하고 합리적인 예산 투자 계획을 수립

3. 연구개발내용

□ 세세부 과제별 연구내용

[1세세부과제]

○ 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발

- 관내외면 비파괴 신호 데이터 추출, 합성, 필터링 기술 개발
- 관내외면 비파괴 신호 데이터 3D 구조해석 모델링 기술 개발
- 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 프로그램 개발

[2세세부과제]

○ 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발

- 비파괴 진단평가 표준 가이드라인 개발
- 물리적인 상태변화 예측 기반의 잔존수명 예측 기술 개발
- 비파괴 정밀진단에 따른 경제성 평가기술 개발
- 종합적 개량의사결정 기술 개발
- 진단 관련 제도개선 및 기술 사업화 방안

[3세세부과제]

○ 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발

- 비파괴 탐상 정보통합관리 플랫폼 개발
- 비파괴 탐상 정보 상수도 GIS 연계 운영 프로그램 개발

- 비파괴 탐상 정보 Integrated Information Management System(IIMS) 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 국내·외에서 축적된 비파괴 관로 탐상 기술과 연구역량, 인프라 등을 최대한 활용하여 관로 비파괴 정밀진단 및 감시기술을 개발하여 기술경쟁력 확보

- 비파괴, ICT, 장비(로봇)기술 등 융복합기술 개발
- 국내외 가스배관 등 타 배관 진단기술 연계, 활용으로 시행착오 최소화 및 성과 극대화

○ 용수공급관로는 가스·송유관 등과 부식에 의한 손상위치(내외면 모두 고려) 유형(면적인 부식) 등이 다름. 따라서 가스·송유관과 달리, 비파괴 면적탐상을 통해서 수집한 내외부 부식손상을 고려한 성능평가 체계 구축 필요

○ 면적탐상을 통한 내외면 부식으로 인한 두께손실에 대한 Big 데이터가 수집되므로, 이를 토대로 구조해석을 하고, 안전성을 평가하기 위한 새로운 절차, 기준, 방법, 알고리즘, 모델, S/W 등이 필요

- 가스배관은 주로 관 외면부식에 의한 두께 손실 등으로 인한 안전성 평가 위주로서, 현재 용수공급관로의 안전성을 평가하는 수식(하중, 응력(관종마다 다름), 안전성 등) 자체가 상이

○ 다양한 수요자와의 협의를 통한 니즈 파악과 이를 실현하기 위한 기술개발을 추진하여 시장진출이 가능한 기술수준 확보

- 주요 수요자 : 광역·지방상수도 사업자, 진단·엔지니어링 업체, 건설·유지관리 업체 등

○ 연구성과 활용성 및 기술 확산 제고를 위한 관련 제도개선 및 사업화 방안 연구 추진

- 개발 기술의 진단 활용시 제도적 인센티브 등 제도 개선 방안을 진단평가 가이드라인 개발과 병행하여 수행
- 각 세부과제(기술)별 및 통합시스템의 사업화 방안

	○ 글로벌 기업 선진사례 조사 및 차별화를 통한 기술적 우수성 확보로 시장 경쟁력 제고 추진 ○ 국제 네트워크 구축 및 인적 교류를 통한 물 시장 진출 가능성 제고를 위해 관련 기술 해외 선진 기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함 ○ 국내·외 용수공급 관로 진단·유지관리, 개량이 필요한 대상을 Target으로 기술검증 계획 제시
□ 추진체계	○ 국내외 관로 현장에 직접 활용 가능한 기술 개발을 목표로 관련 전문가(기관) 및 정부·지자체·산업계의 공조체제에 의한 연구개발 추진 필요 - 수도사업자, 진단 관련 전문기관이 주도적으로 참여하는 연구조직을 구성하여 수행 - 3차원 영상화 기반의 구조해석 안정성평가 기술 개발 과제는 3D 및 구조해석 전문가(기관) 공조하여 추진 - 종합적 개량의사결정 기술 개발 과제는 비파괴 진단평가 표준 가이드라인 작성 및 의사결정프로그램 개발 분야는 국내외 전문가 연계·협력 추진 ○ 비파괴 탐상정보 통합운영관리시스템 개발 과제는 개발 기술을 적용한 데이터를 활용한 프로그램의 시연을 통한 신뢰성 검증 필요 ○ 기업이 활용 가능한 연구에 대해서는 기업 참여계획을 수립하고 기업체의 적극적인 참여 유도 ○ 본 과제를 통해 개발된 성과는 관로 유지관리 시장에 즉각적으로 실용화 될 수 있도록 상용화·사업화 전략 필요
5.최종성과물	
□ 주요 최종성과물	**[1세세부과제]** ○ 비파괴 3차원 영상화 기반의 구조해석 안전성 평가 기술 개발 - 관내외면 3D 이미지 분석 프로그램

- 구조해석 안전성 평가 프로그램

[2세세부과제]

○ 비파괴 종합적 개량 의사 결정 기술 개발

- 비파괴 탐상 표준 가이드라인
- 잔존수명 예측 프로그램
- 종합의사결정 프로그램
- 제도개선 및 기술사업화 방안

[3세세부과제]

○ 비파괴 탐상정보 통합운영관리 시스템 개발

- 비파괴 탐상 정보통합운영관리 프로그램
- Integrated Information Management System(IIMS)

6. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구비 : 28억원 (정부 18억원, 민간 10억원)

7. 기 타

○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 “과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진

때에는 협약을 해약할 수 있음

- 기 수행되었거나(종료과제, 중단과제 등) 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·활용방안을 연구계획에 포함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검・관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

4. 4세부과제 제안요구서

연구개발과제명	구조적 상태감시·예측 고도화 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 구조적 상태를 실시간으로 감시, 사고 전 관로 파손에 대한 위험성을 예측하여 선제적으로 대응해서 사고를 미연에 방지할 수 있는 실시간 구조적 상태감시·예측을 고도화할 수 있는 기술 개발 - (현재) 사고 후 발생·위치 탐지시간의 단축 - (미래) 사고를 사전에 감지하여 예방하는 선제적 대응
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 대규모 용수공급관로는 국가 주요시설물로서, 사고 발생시 용수공급 중단으로 사회적, 산업적 재해가 발생할 수 있으므로 실시간 구조적 상태감시를 통한 시설물 리스크 관리 강화 필요 ○ 정부에서 시설물 유지관리 체계 강화 및 생활공간 안전강화 정책을 추진 중으로, 지능형 안전 및 유지관리 기술 확보 필요 - 첨단기술을 활용한 사고예방 중심의 과학적 첨단진단·감시 기술 중요성 부각 ○ 실시간 사고를 사전에 예측할 수 있는 Smart SHM(Structural Health Monitoring) 첨단 기술 확보로 선제적 대응을 통한 재난재해 방지 필요 - 기존에는 사고 예방적 차원의 구조적 상태감시 보다 사고 후 신속한 긴급복구(조기에 사고발생 시간·위치 확인) 대응 위주의 기술개발 치중
□ 기술동향	○ 국내 경우 누수 및 파손사고 감지위한 관로 모니터링 일부 수행 ※ 광섬유, 시트 등을 이용하여 누수사고 발생 지점 파악, 주변 공사시 작업에 의한 사고 감지 등 주로 사고 발생 이후 감지

○ 현재의 사고 후 처리 및 복구 위주의 관리가 아닌 사고를 미연에 방지할 수 있는 예방 차원의 실시간 구조적 상태감시 기술 확대

○ 선진국에서는 주요 사회기반시설에 대해 많은 상태감시 및 센서 네트워크 기술을 개발 추진 중, 최근 구조물 내에서 구조물의 상태를 연속적으로 감시, 손상을 감지·예측하는 기술 주력

○ 국외는 운영 중인 관로에 대해 실시간 변화 관측, 파손 예측으로 구조적인 상태를 감시하는 신개념 SHM(Structural Health Monitoring) 기술로 패러다임 변화

- 가스, 송유, 상하수도 관로, 터널, 교량, 철도, 항공, 사면, 건축 구조물 등 다양한 사회기반시설 분야에 SHM 기술 적용 중, 임베디드 센서, IoT기반 센서네트워크, 에너지 Harvesting, 비파괴 기술 융합(상태감시) 등이 주요 관심사

3. 연구개발내용

□ 세세부 과제별 연구내용

[1세세부과제]

○ 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발

- 실시간 구조적 상태감시 고감도 Sensor 개발
- 센서 결함, 오측, 결측 등 신호이상 신뢰성 확보기술 개발
- 센서 특성별 Global 및 Local 감시기술개발
- 센서네트워크 기반 온라인 감시기술 개발(중/장거리 송신. 동기화, 무선데이터 전송 등)
- 센서 기반 감시 위치선정, 우선순위 결정 기법 개발

[2세세부과제]

○ 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발

- 실시간 구조감시 빅테이터 수집, 분석 기술 개발
- 실시간 구조적 상태감시 구조해석
- 실시간 구조적 상태변화 예측 프로그램 개발

[3세세부과제]

○ 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발

- 구조적 상태감시 테스트베드 구축
- 구조적 상태감시 정보관리 플랫폼 개발
- 구조적 상태감시 정보 GIS 연계 프로그램 개발
- GIS기반의 실시간 구조적 상태감시 Integrated Information Management System(IIMS) 개발
- 실시간 구조적 상태감시·예측에 따른 대응 운영기술 개발

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 국내·외 실시간 관로 상태 모니터링 기술과 연구역량, 인프라 등을 활용하여 구조적 상태 감시·예측 기술 개발 및 기술경쟁력 확보

○ 가스, 송유관 등 타 배관의 적용 사례 분석 및 연계·활용으로 시행착오 최소화 및 용수공급관로에 적합한 최적 기술 개발 필요

○ 주요 수요자(광역·지방상수도 사업자, 유지관리 업체 등)와의 협의를 통한 니즈 파악 및 실현 기술개발을 추진하여 현장 적용 및 시장진출이 가능한 기술수준 확보

○ 국제 네트워크 구축 및 인적 교류를 통한 물 시장 진출 가능성 제고를 위해 관련 기술 해외 선진 기관과의 연계 및 전문가 활용 방언을 연구계획에 포함

○ 국내·외 용수공급 관로 현황을 반영한 모의배관 또는 현장 실증시설(Test-Bed)을 통한 기술검증 계획을 구체적으로 제시하고, 사업기간 내에 현장 적용 및 검증을 완료할 수 있도록 관련 기관과의 사전 협의 필요

○ 국민 생활에 필수적인 용수공급 관련 기술 분야로서 실제 활용시 안전하고 안정적인 기술 확보에 주력

□ 추진체계

○ 국내외 관로 현장에 직접 활용 가능한 기술 개발을 목표로 관·산·학·연의 공조체제에 의한 연구개발 추진 필요

- 구조적 상태감시·예측 기술 분야는 감시 센서 및 네트워크 기술 분야, IT 분야 전문가, 데이터처리, 파손예측 등 연구기관, 기업, 학계와 긴밀한 협력체계 구성 필요
- 개발 기술의 현장 적용을 통한 검증을 위해 수도사업자와 협조체계 구축 필요

○ 기업이 활용 가능한 연구에 대해서는 기업 참여계획을 수립하고 기업체의 적극적인 참여 유도

○ 본 과제를 통해 개발된 성과는 관로 유지관리 시장 진출을 통해 성과가 즉각적으로 실용화 될 수 있도록 관계기관과의 협조체계 구축 필요

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

[1세세부과제]

○ 실시간 구조적 상태 감시 기술 개발

- 실시간 상태감시(센서) 시스템
- 유무선 송수신 네트워킹 기술

[2세세부과제]

○ 구조적 상태감시를 통한 파손예측 기술 개발

- 구조해석 기반 파손 예측 프로그램
- 구조적 파손 대응 가이드라인

[3세세부과제]

○ 실시간 구조적 상태감시 통합관리 시스템 개발

- SHM Performance Program 수행 프로그램
- 실시간 상태감시 정보통합운영관리 시스템(IIMS)

6. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 5년

○ 총 연구비 : 38억원 (정부 24억원, 민간 14억원)

7. 기 타

○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 “과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 기 수행되었거나(종료과제, 중단과제 등) 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·활용방안을 연구계획에 포함

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제 간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구

체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검・관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 세부과제(기술)별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발 계획에 제시해야 함

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

2절. 선정평가 방법

1. 선정평가 절차 및 기준

가. 평가절차

평가절차	평가방법 및 내용
신청서류 접수 및 사전검토・보완조치	○ 신청기관 : 연구개발계획서 등 신청서류 접수 ○ 진 흥 원 : RFP와의 부합성, 신청자격 및 신청서류 적합성 등 검토
평가위원회 평가 (발표평가)	○ 발표평가 : 연구제안의 충실도, 추진전략의 구체성 등에 대한 평가(100점 만점)
평가결과 통보 및 협약 체결	○ 신청기관에 선정평가 결과 통보 ○ 선정된 주관연구기관과 협약체결

나. 평가항목

○ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

○ 연구단과제

기준항목	세부평가항목	배점
연구개발 목표(20점)	최종 목표/성과목표의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계/연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 적절성, 구체성	10
연구개발 내용(20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	목표달성을 위한 연구내용·예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	세부과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획(20점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	5
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구단장의 연구수행역량 (20점)	해당 분야 연구 및 프로젝트 수행 실적 및 능력	5
	연구과제 기획 경험 및 능력	5
	연구과제 관리 경험 및 능력	5
	연구개발 우수성과 달성 능력 및 연구윤리 수준	5
소계		100

부합성 평가	평가위원 과반수가 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수가 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치
보안등급 분류 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성을 검토하고 그 결과를 반영하여 보안등급 결정 * 관련 : 공동규정 제24조의5 제2항, 운영규정 제23조제2항제4호

※ 선정평가시 기준항목(세부 평가항목) 및 배점 기준이 일부 달라질 수 있음

다. 평가점수 산정 방법

○ 평가위원회별 평가위원의 평가점수 중 최고점수와 최저점수를 부여한 각 1인의 점수를 제외한 나머지 평가점수의 합을 산술평균하여 평가점수 산정

○ 종합평가점수가 60점 미만인 과제는 단독신청일 경우도'탈락'처리

□ 국토교통 연구개발사업 관리지침 (개정 2015. 9. 9.) 발췌

제15조(선정평가)

① 평가위원회는 보완을 전제로 과제를 선정대상으로 평가할 수 없다.

② 전문기관의 장은 신청자와 평가위원간의 접촉 방지, 개별 평가위원의 과도한 영향력 방지 등을 위해 필요한 조치를 취할 수 있다

③ 전문기관의 장은 제12조제3항에 따라 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 들어맞는지 여부 및 중복성 조사내용 등 사전검토 자료를 평가위원회에 제공할 수 있다.

④ 평가는 서면평가, 온라인평가, 대면(발표)평가, 현장평가 중에서 하나 이상의 방법을 선택하여 수행하되, 대면(발표)평가를 우선적으로 고려하여야 한다. 단, 대면(발표)평가를 추진할 경우 국내에 거주하지 않는 평가위원에 대해서는 서면평가 또는 온라인평가로 대체할 수 있다.

⑤ 과제의 종합평가점수는 위원별 점수 중 최고점수와 최저점수 각 1개를 제외한 총점을 산술평균하여 정하는 것으로 한다. 이때, 소수점 셋째자리에서 반올림한다. 다만, 사업 및 과제의 특성을 고려하여 전문기관의 장이 정하는 바에 따라 평가결과 산출 방법을 달리 정하여 적용할 수 있다.

⑥ 서면, 대면(발표) 평가 등 여러 단계에 거쳐 선정평가를 실시하는 경우 각 단계별 평가결과에 가중치를 두어 종합평가점수를 산출할 수 있다.

⑦ 대면(발표)평가를 실시하는 경우 주관연구책임자가 발표하지 아니하면 탈락처리 하며, 평가 진행과정은 회의록, 녹취록, 녹음 또는 동영상 녹화 등의 방법 중 하나 이상의 방법으로 기록하는 것을 원칙으로 한다.

⑧ 평가위원회 종합평가점수가 60점미만인 과제는 탈락으로 처리한다.

⑨ 전문기관의 장은 선정평가결과 선정된 과제가 없는 경우 재공고하거나 그 밖에 필요한 조치를 취하여야 한다.

제16조(선정평가 기준)

① 전문기관의 장은 평가시 연구계획의 창의성과 우수성, 과제목표의 도전성과 적절성, 과제지표(실용화 성과지표 포함)의 적절성 등에 대하여 정성평가를 실시하여야 한다.

② 전문기관의 장은 제1항에 따라 사업 및 과제의 특성을 반영하여 운영규정 제23조제2항의 평가기준이 포함된 평가항목 및 배점기준을 마련하고 공고를 할 때에 이를 공지하여야 한다.

제17조(가점 및 감점 기준)

① 전문기관의 장은 연구개발과제 선정시 별표 1의 기준에 따라 선정평가시 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 줄 수 있다.

② 제1항에 따른 가점은 평가위원회 개최전까지 제출된 자료를 근거로 평가위원회의 종합평가점수에 주되, 60점 미만인 과제에 대하여는 주지 아니한다.

2. 가점 및 감점기준

○ 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조(가점 및 감점 기준)에 따라 과제 선정평가시 획득점수를 기준으로 ±5%를 넘지 않는 범위 내에서 가점 및 감점을 부여

※ 신청기관은 가감점 해당사항이 있는 경우, 해당사항 목록과 증빙서류 제출

○ 가점 및 감점은 평가위원회 개최전까지 제출된 자료를 근거로 평가위원회의 종합평가점수에 합산하되, 60점 미만인 기관에 대하여는 부여하지 않음

별표 1. 가점 및 감점 기준 (국토교통연구개발사업관리지침, 개정 2015. 9. 9.)

구분	내 용
평가결과 등에 따른 가·감점	○ 최종평가 결과, 최우수등급(상대평가시 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 2% 가점 ○ 최종평가결과 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후(연구개발참여제한에 해당되는 경우에는 참여제한 기간 만료 후) 2년간 선정평가점수의 2% 감점 ○ 최종평가결과 하위등급(상대평가 시 하위 30% 등급, 절대평가시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 1% 감점
	○ 추적평가 결과, 최우수등급(상대평가 시 만점의 80%이상으로서 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 추적평가 후 2년간 선정평가점수의 2% 가점
논문실적에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 국내외 과학기술논문색인지수(Science Citation Index) 논문에 기고한 실적이 있는 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
보안과제 수행에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
기술실적에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
연구성과 포상에 따른 가점	○ 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 미래창조과학부장관으로부터 우수한 연구성과로 포상을 받은 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
신기술 또는 녹색인증에 따른 가점	○ 최근 2년 이내에 건설·교통신기술을 받은 중소·중견기업이 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점 o 최근 2년 이내에 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 시행령」 제19조에 따른 녹색인증을 받은 실적이 있는 연구자 및 연구기관이 관련 녹색기술로 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
연구부정행위에 따른 감점	○ 최근 3년 이내에 공동관리규정 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 4% 감점
협약 또는 연구 포기에 따른 감점	○ 연구개발과제 선정 후 정당한 사유없이 협약을 포기하거나, 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업이 협약 또는 연구 포기 후 3년내 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 2% 감점
기업의 연구참여에 따른 가점	○ 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우로서 - 중소기업의 참여율이 1% 이상 ~ 20% 미만 : 선정평가점수의 2% - 중소기업의 참여율이 20% 이상 ~ 50% 미만 : 선정평가점수의 2.5% - 중소기업의 참여율이 50% 이상 : 선정평가점수의 3% *참여율 = $\frac{\text{해당 제안과제의 중소기업 배정 정부출연금 합계}}{\text{해당과제 총정부출연금}} \times 100\%$ ○ 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하지 않고, - 중견기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1.5% - 대기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
산업기술연구조합에 대한 가점	o 산업기술연구조합이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
기 타	○ 여성연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점 ○ 최근 3년 이내에 조기성공 실적이 있는 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 0.5% 가점 ○「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우 ,선정평가점수의 2% 감점

[별표 1의2] (국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정(2016. 3. 3))

연구개발과제 선정의 우대·감점의 기준 및 방법(제23조제9항 관련)

1. 가점 부여항목
 가. 최종평가 결과가 최우수등급인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 가점 부여
 나. 최근 3년 이내에 국내외 과학기술논문색인지수(Science Citation Index) 논문에 기고한 실적이 있는 연구책임자가 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 다. 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 라. 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 마. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 포상을 받은 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 바. 최근 2년 이내에 「건설기술 진흥법」 제14조에 따른 건설신기술 또는 「국가통합교통체계효율화법」 제102조에 따른 교통신기술을 받은 중소·중견기업이 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 사. 최근 2년 이내에 국토교통부장관으로부터 녹색인증 및 확인을 받은 실적이 있는 연구자 및 연구기관이 관련 녹색기술로 신규과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여
 아. 중소기업 또는 제4조제1항제10호에 의한 산업기술연구조합이 참여한 경우 선정 평가점수의 3%이내 가점 부여
 자. 최근 3년 이내에 과학기술 분야의 훈장, 포장, 대통령 표창 또는 대통령상을 수상한 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3퍼센트 이내 가점 부여
 차. 국제공동연구 중 외국의 정부·법인·단체 또는 개인이 연구개발비의 일부를 부담하는 경우, 선정 평가점수의 3퍼센트 이내 가점 부여
2. 감점 부여항목
 가. 최근 3년 이내에 공동관리규정 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 10% 이내 감점 부여
 나. 최종평가 결과가 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가 시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
 다. 연구개발과제 선정 후 정당한 사유 없이 협약을 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 협약 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여
 라. 연구개발과제의 연구수행 중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 연구 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여
 마. 최종평가 결과가 하위등급(상대평가 시 하위 30%등급, 절대평가 시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 전문기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 3% 이내 감점 부여
 바. 「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우, 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여
 사. 그 밖에 장관이 정하는 경우

[별표 1의3] <개정 2015.8.24.> (국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정)

연구개발과제 선정의 우대·감점의 기준 및 방법(제7조제10항 관련)

1. 가점 부여항목

가. 최종평가 결과가 최우수등급인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 중앙행정기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 가점 부여

나. 최근 3년 이내에 국내외 과학기술논문색인지수(Science Citation Index) 논문에 기고한 실적이 있는 연구책임자가 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여

다. 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여

라. 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3% 이내 가점 부여

마. 최근 3년 이내에 제17조제9항에 따라 포상을 받은 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정 평가점수의 3퍼센트 이내 가점 부여

바. 최근 3년 이내에 과학기술 분야의 훈장, 포장, 대통령 표창 또는 대통령상을 수상한 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 3퍼센트 이내 가점 부여

2. 감점 부여항목

가. 최근 3년 이내에 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 10% 이내 감점 부여

나. 최종평가 결과가 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가 시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 중앙행정기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여

다. 연구개발과제 선정 후 정당한 사유 없이 협약을 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 협약 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여

라. 연구개발과제의 연구수행 중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업의 경우에는 연구 포기 후 3년간 선정 평가점수의 5% 이내의 감점 부여

마. 최종평가 결과가 하위등급(상대평가 시 하위 30%등급, 절대평가 시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 연구책임자가 해당 평가를 실시한 중앙행정기관의 장에게 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 최종평가 후 2년간 선정 평가점수의 3% 이내 감점 부여

바. 「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우, 선정 평가점수의 5% 이내 감점 부여

사. 그 밖에 중앙행정기관의 장이 정하는 경우

3. 공모조건

가. 컨소시엄 구성 조건

○ 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단, 성능평가 및 감시시스템 개발은 첨단 융복합 기술 및 통합 패키지화 기술로써 성과극대화 및 시너지를 위해 연구단 과제로 추진

○ 용어정의

- 연구단이란 중대형 핵심기술을 개발하기 위하여 유사과제가 유기적으로 연계된 연구개발과제를 수행하는 연구조직
- 연구단장이란 연구단의 업무를 총괄하는 책임자
- 연구단 과제란 단위, 요소기술의 유기적 연계를 통하여 패키지화된 기술을 개발하는 과제
- 세부과제란 주관연구기관 또는 협동연구기관이 수행하는 최소단위의 과제

○ 필요에 따라 협동연구기관, 공동연구기관, 위탁연구기관 및 참여기업으로 편성된 컨소시엄으로 신청 가능

- 과제 성격에 따라 다학제(多學制, multi-disciplinary)간 연구진 구성

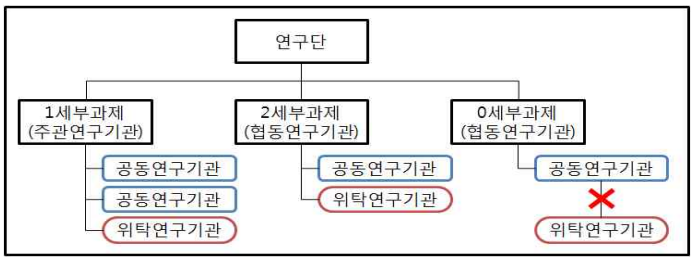
< 연구참여기관 용어정의 >

○ '협동연구기관'이란 연구개발과제가 2개 이상의 세부과제로 나누어질 경우, 협약으로 정하는 바에 따라 연구개발과제의 세부과제를 주관하여 수행함으로써 주관연구기관과 협동으로 연구개발과제를 수행하는 기관

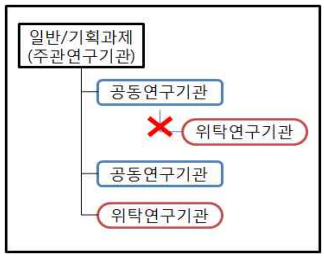
○ '공동연구기관'이란 협약으로 정하는 바에 따라 연구개발과제를 주관연구기관과 분담하거나 세부과제를 협동연구기관과 분담하여 공동으로 추진하는 기관을 말함

○ '위탁연구기관'이란 협약에서 정하는 바에 따라 주관연구기관으로부터 연구개발과제의 일부 또는 세부과제의 일부를 위탁받아 수행하는 기관을 말함

<연구단과제>



<일반과제>



※ 공동연구기관은 위탁연구기관을 둘 수 없음

※ 신청기관 중 위탁연구기관 및 참여기업은 임의 편성이 가능하나 과제관련성 여부에 따라 향후 협약에서 제척될 수 있음

※ 연구과제의 효율성 및 연구비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구원의 참여 배제

○ 연구단장의 선정

- 연구수행 및 관리 능력이 뛰어난 관련 분야 전문가를 연구단장으로 선정
- 정부정책, 수요자 니즈, 기술 동향, 용수공급 관로 현황에 대한 이해와 경험을 가지고 연구성과 실용화를 우선적으로 추진할 수 있는 전문가를 선정
- 기술개발, 검증, 실용화·사업화 등에 대한 전주기적 관리를 통한 연구사업의 책임과 자율성을 부여하는 책임운영 도모

○ 세부과제 구성 및 연구추진·관리 체계

- 각 세부과제는 분야별 전문성과 경험이 축적된 주관(협동)연구기관 및 책임자를 선정하여 추진 (기업 또는 전문연구기관의 주관이 타당함)
- 기술개발 성과의 실 수요기관 전문가를 계획, 수행, 평가 단계 등 사업 과정에 참여토록하여 성과의 활용성 향상, 정책 반영, 실용화·사업화를 효율적으로 추진
- 국내외 관련 전문가(기관)을 중심으로 기 수행 또는 수행중인 유사분야 사업과 연계 또는 차별화 가능토록 연구진 구성 및 연구 수행

- 연차별 연구계획 및 성과는 주기적 진도점검회의 및 1회/년 이상 자체평가 실시
- 분야별 최고전문가 및 수요자를 중심으로 자문 및 평가위원회를 구성하여 정기적인 세미나, 워크샵, 자문 및 평가위원회를 운영하여 효율적 연구수행 및 성과 달성 도모
- 국내외 동향(기술, 시장, 정책 등) 분석을 연차별로 수행하여, 환경 변화에 대응 할 수 있는 경쟁력 있는 기술 개발 추진

○ 개발기술의 현장 성능검증 또는 테스트베드 검증에는 K-water, 지자체 등 실 수요자인 수도사업자(광역 및 지방상수도)의 참여가 반드시 필요함

- 수요자의 니즈 반영 및 검증 평가를 통한 상용화, 성과 활용 극대화 가능
- 각 세부과제별 요소기술을 통합 패키지화 하여 현장에서 구현 및 검증 실시 필요

○ 선정평가시 우대 방안 필요

- 수도사업자(광역 및 지방상수도) 및 정밀안전진단(상수도관망진단) 전문기관 참여시

○ 필요시 관련 기술 해외 선도기관의 공동연구 등 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

나. 민간부담조건

○ 민간부담조건은 국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정에 준함

○ 위 규정 이상의 민간부담에 대한 가점을 고려할 필요가 있음

[별표 1의3] (국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정(2016. 3. 3))

중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연 · 부담 기준(제29조제3항 관련)

1. 중앙행정기관의 연구개발비 출연 기준	2. 참여기업이 부담하는 연구개발비 중 현금 부담 기준	3. 참여기업이 부담하는 연구개발비 중 현물 부담이 허용되는 비목 및 범위
가. 참여기업이 모두 대기업인 경우: 총연구개발비의 50퍼센트 이내 나. 참여기업이 모두 중견기업인 경우: 총연구개발비의 60퍼센트 이내 다. 참여기업이 모두 중소기업인 경우: 총연구개발비의 75퍼센트 이내 라. 참여기업이 복합적으로 구성되고, 그 중 대기업의 비율이 3분의 1이하인 경우: 총 연구개발비의 60퍼센트 이내. 다만, 참여기업 중 중소기업의 비율이 3분의 2 이상인 경우는 총연구개발비의 75퍼센트 이내로 한다. 마. 그 밖의 경개발비의 50퍼센트 이내우: 총연구	가. 참여기업이 대기업인 경우: 부담금액의 15퍼센트 이상 나. 참여기업이 중견기업인 경우: 부담금액의 13퍼센트 이상 다. 참여기업이 중소기업인 경우: 부담금액의 10퍼센트 이상	가. 참여기업 소속 연구원의 인건비(대기업의 경우에는 현물부담액의 50퍼센트 이내, 중견기업인 경우에는 70퍼센트 이내) 나. 직접경비 중 보유하고 있는 연구기자재 및 시설비, 재료비, 시작품 제작에 필요한 부품비(대기업이 보유하고 있는 연구기자재 및 시설비는 기업의 현물 부담액 중 인건비를 제외한 금액의 50퍼센트 이내, 중견기업인 경우에는 70퍼센트 이내)

※ 비고

1. “중소기업“이란 「중소기업기본법」 제2조에 따른 중소기업을 말한다.
2. “중견기업“이란 「중견기업 성장촉진 및 경쟁력 강화에 관한 특별법」 제2조제1호에 따른 중견기업을 말한다.
3. “대기업“이란 중소기업 및 중견기업이 아닌 기업을 말한다.
4. 연구개발과제가 둘 이상의 세부과제로 구성된 경우에는 세부과제 단위로 연구개발비 출연 · 부담 기준을 적용한다.
5. 중앙행정기관의 연구개발비 출연금 중 대기업에 지원되는 금액은 해당 대기업 연구개발비의 50퍼센트 이하로 한다.

제 8 장 참고문헌

- 건설교통부, 상수도 Lifeline의 통합 설계시스템 개발 보고서, (2005)
- 건설교통부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(상수도 편), (2003)
- 기술평가정보유통시스템(www.firstep.or.kr), 건설용로봇, (2009.2)
- 국민안전처, 재난 및 안전관리 기본법 시행령, (2015)
- 국토교통부, 국토교통 R&D 중장기 전략, (2014.7)
- 국토교통부, 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령, (2015)
- 국토교통부, KAIA, SOC시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서, (2014)
- 국토교통부, KAIA, 해외 지역별 건설엔지니어링 정보시스템 구축 기획보고서, (2013)
- 국토교통부, 2015 수도정비기본계획(광역상수도 및 공업용수도), (2015)
- 교육과학기술부, 원전기기 안전성 향상을 위한 자연결함 위치 및 크기 제어기술 개발에 관한 연구, (2009)
- 교육과학기술부, 제2차 비파괴검사기술 진흥계획(2012-2016)의 수립을 위한 연구, (2012)
- 과기부, 행자부, 건교부 등, 비파괴검사기술 진흥계획(2007~2011), (2006.12)
- 광주광역시, 광주테크노파크, 비파괴검사(NDT)산업 육성정책연구, (2010.6)
- 미래창조과학부, 비파괴검사 기술·육성을 위한 연구기반구축방안 연구, (2014)
- 미래창조과학부, 2013년도 원자력 정책연구 비파괴검사기술의 활용ㆍ촉진을 위한 제도개선방안 연구, (2013)
- 산업경제리서치, 2015 물산업 실태와 사업전망, (2015)
- 일본 국토교통성, 하수도에서의 ICT 활용에 관한 검토 보고서, (2014)
- 일본 내각부, 인프라 유지관리·갱신·매니지먼트 기술 연구 개발 계획, (2014.11)

- 원자력국제협력재단, 비파괴검사 국제시장 동향 및 경쟁력 분석, (2009)
- 한국상하수도협회, 장비활용에 의한 대형관로 내면상태 진단 및 누수 등의 진단 대가 제정, (2015)
- 환경부, 전국수도종합계획, (2015)
- 환경부, 2014 상수도통계, (2015)
- Ali M. Sadeghioon, et al., SmartPipes: Smart Wireless Sensor Networks for Leak Detection in Water Pipelines, Journal of Sensor and Actuator Networks, 3, 64-78, (2014)
- Argonne National Laboratory, R&D Roadmap for Non-Destructive Evaluation(NDE) of Fatigue Damage in Piping, (2012.9)
- ASCE, Failure To Act report, (2011)
- AWWARF, A Strategic Assessment of the Future of Water Utilities, (2006)
- AWWARF, An Assessment of Water Distribution Systems and Associated Research Needs, (1994)
- AWWARF, EPA, Asset Management Research Needs Roadmap, (2008)
- AWWARF, Asset Management Planning and Reporting Options for Water Utilities, (2006)
- AWWARF, Assessment and Renewal of Water Distribution Systems, (2004)
- AWWARF, Assessment of Existing and Developing Water Main Rehabilitation Practices, (1990)
- AWWA, Buried No Longer: Confronting America's Water Infrastructure Challenge, (2015)
- AWWARF, Condition Assessment Strategies and Protocols for Water and Wastewater Utility Assets, (2007)
- AWWARF, Demonstration of Innovative Water Main Renewal Techniques, (1999)
- AWWARF, Distribution System Performance Evaluation, (1995)
- AWWARF, Internal Corrosion of Water Distribution Systems, (1996)

- AWWARF, Main Break Prediction, Prevention, and Control, (2007)
- AWWARF, Nondestructive, Noninvasive Assessment of Underground Pipelines, (2002)
- AWWARF, Service Life Analysis of Water Main Epoxy Lining, (2006)
- AWWARF, Techniques for Monitoring Structural Behavior of Piping Systems, (2004)
- EPRI, Nondestructive Evaluation : Buried Pipe NDE Reference Guide-Revision 2, (2012)
- EPRI, Nondestructive Evaluation: Buried Pipe Direct Examinations Through Coatings. (2012)
- EPRI, Nondestructive Evaluation: Remote Field Technology Assessment for Piping Inspection Including Buried and Limited Access Components. (2010)
- EPRI, Buried Pipe Guided Wave Examination Reference Document. (2009)
- Fraunhofer-IZFP Dresden: Current practice report, EU project SAFE PIPES, (2006)
- IPC2014, Developement and Validation of a Combined UM/UC In-Line Inspection Tool for a 36/48” Pipeline System, (2014)
- John Tiratsoo, ed. Pipeline Pigging & Integrity Technology, Third Edition. Clarion Technical Publishers, Houston, TX. (2010)
- NEI 09-14. Guideline for the Management of Buried and Underground Piping Integrity. Nuclear Energy Institute, Washington, DC. (2009)
- USEPA, Condition Assessment Technologies for Water Transmission and Distribution Systems, (2012)
- USEPA, EPA Field Demonstration of Innovative Condition Assessment Technologies for Water Mains at Louisville, KY. (2012)
- WRF(Water Research Foundation), Non-Destructive Condition Assessment for Small Diameter Cast and Ductile Iron Pipe, (2014)
- WRF(Water Research Foundation), Smart Sensors for Buried Utility Location and Performance Monitoring, (2010)