# 최종보고서

| 보안등급 |
|---|
| 일반[ √ ], 보안[ ] |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 중앙행정기관명 | 국토교통부 | 사업명 | 사업명 | 국토교통연구기획사업 |
| 전문기관명(해당 시 작성) | 국토교통과학기술진흥원 | | 내역사업명 (해당 시 작성) | - |
| 공고번호 | 재공고-제30호 | | 총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성) | - |
| | | | 연구개발과제번호 | 21RDPP-C164412-01 |

| 기술분류 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 국가과학기술 표준분류 | EI0402 | 50% | EI0411 | 30% | EI0408 | 20% |
| | 부처기술분류 (해당 시 작성) | | % | | % | | % |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 총괄연구개발명 (해당 시 작성) | 국문 | | | | |
| | 영문 | | | | |
| 연구개발과제명 | 국문 | 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술 개발 기획 | | | |
| | 영문 | Advancement of building dismantling technology and development of construction waste resource recovery technology | | | |
| 주관연구개발기관 | 기관명 | 한국건설기술연구원 | 사업자등록번호 | 229-82-01135 | |
| | 주소 | (10223) 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 | 법인등록번호 | 111241-0002284 | |
| 연구책임자 | 성명 | 송태협 | 직위 | 선임연구위원 | |
| | 연락처 직장전화 | 031-910-0352 | 휴대전화 | 010-3663-0352 | |
| | 연락처 전자우편 | thsong@kict.re.kr | 국가연구자번호 | 1089-5000 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 연구개발기간 | 전체 | | 2021.04.01 - 2022.03.31 (12개월) |
| | 단계 (해당 시 작성) | 1단계 | 2021.04.01 - 2022.03.31 (12개월) |
| | | n단계 | |

| 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | 기관부담 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 | | | | 합계 | | | 연구개발비 외 지원금 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 지방자치단체 | | 기타( ) | | | | | |
| | | 현금 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 합계 | |
| 총계 | | 150,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150,000 | 0 | 150,000 | 0 |
| 1단계 | 1년차 | 150,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150,000 | 0 | 150,000 | 0 |
| | n년차 | | | | | | | | | | | |
| n단계 | 1년차 | | | | | | | | | | | |
| | n년차 | | | | | | | | | | | |

| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 역할 | 기관유형 |
| 공동연구개발기관 | 태성에스엔아이 | 박남규 | 연구소장 | 010-9101-7796 | nkpark@tssni.com | 공동 | 중소기업 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| 연구개발담당자 실무담당자 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 성명 | 장경필 | 직위 | 박사후연구원 | |
| 연락처 직장전화 | 031-910-0438 | 휴대전화 | 010-4132-6851 | |
| 연락처 전자우편 | kyongpiljang@kict.re.kr | 국가연구자번호 | 1125-1817 | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 3 월 31 일

연구책임자: 송태협 (인)

주관연구개발기관의 장: 김 병 석 (직인)

공동연구개발기관의 장: 김 성 훈 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

# < 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통연구기획사업</td><td>총괄연구개발 식별번호<br>(해당 시 작성)</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명<br>(해당 시 작성)</td><td colspan="3">-</td><td>연구개발과제번호</td><td colspan="3">21RDPP-C164412-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술분류</td><td>국가과학기술 표준분류</td><td>EI0402</td><td>50%</td><td>EI0411</td><td>30%</td><td>EI0408</td><td>20%</td></tr>
<tr><td>부처기술분류<br>(해당 시 작성)</td><td></td><td>%</td><td></td><td>%</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명<br>(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술 개발 기획</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2021. 04. 01 - 2022. 03. 31 (12개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 150,000 천원<br>(정부지원연구개발비: 150,000 천원, 기관부담연구개발비: 0 천원,<br>지방자치단체: 0 천원, 그 외 지원금: 0 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[ √ ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도<br>(해당 시 기재)</td><td colspan="2">착수시점 기준(3단계)<br>종료시점 목표(8단계)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형<br>(해당 시 작성)</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성<br>(해당 시 작성)</td><td colspan="6">기획 과제</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연구개발<br>목표 및<br>내용</td><td>최종<br>목표</td><td colspan="6">안전한 해체공사와 건설폐기물 자원화를 위한 분별해체 및 폐기물 자원화기술 기획</td></tr>
<tr><td>전체<br>내용</td><td colspan="6">▪ 건축물 해체기술 고도화를 위한 해체설계 기획<br>▪ 안전 해체 및 해체산업 패러다임 전환을 위한 해체 시공 기술 개발 기획<br>▪ 건축 폐기물 자원화를 위한 분별해체 및 순환체계 구축 반안 기획</td></tr>
<tr><td>전체<br>내용</td><td colspan="6">본 기획과제는 건축물 해체건설 고도화를 통하여 안전한 해체현장 구현과 건설폐기물 자원화를 위한 분별해체 공정 적용에 필요한 기반 기술 도출을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 다음과 같은 기술개발 기획 목표를 설정하였다.<br><br>▪ 해체 설계 사각지대에 있는 건축물 대상으로 경제성이 있는 해체설계 기반 해체 계획서 작성 자동화 기술 지원과 위험/장애 공정 사전 분석을 통한 안전해체 설계 기술 기획.<br>- 소규모 건축물의 유형 분류 및 유형별 위험도 분석<br>- 사양설계를 위한 건축물 유형별 대표 사양 기본 도면 디지털화 및 데이터 확보 방안 기획<br>- 위험/장애 공정의 사전 위험도 분석을 위한 가상해체설계 프로그램 개발 기획<br><br>▪ 건축물 해체산업 재해율 낮추고, 중대 재해 발생 비율을 저가함기 위한 해체산업 패러다임 변화를 이룰 수 있는 해체 시공방법의 개선 방안 기획.<br>- 해체 사고 주요 원인인 압쇄· 전도에 의한 시공 개선 방안 기획<br>- 재개발 재건축 증가에 따른 친환경 해체 시공 기술의 개발<br>- 안전한 리모델링 부분해체 공사 기술개발 기획<br><br>▪ 건축폐기물 자원화와 고효율 재활용 제품의 재사용 촉진을 위한 순환 시스템 구축 기획<br>- 5대 건축 내장재 분별해체 및 현장 감량화와 분리 배출 기술개발 기획<br>- 지자체를 중심으로 한 순환체계 및 재활용 시스템 구축 기획</td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| | | **[연구개발 내용]**<br>▪ 1단계: 대내·외 환경 분석<br>- 국토해양 분야 정책/산업/기술 분석, Steep 분석, 미래 니즈 도출<br>▪ 2단계: R&D 역량 및 현황 분석<br>- R&D 투자동향, 기술역량 분석, 선행연구, 중복성 분석, 기술이슈 및 니즈 파악<br>▪ 3단계: 사업추진전략 수립<br>- SWOT 분석, 중점추진과제도출, 성과지표 및 목표, 추진전략 수립<br>▪ 4단계: 기술개발 실행계획 수립<br>- 기술 구성 체계 및 세부 추진과제, 로드맵, 성능목표, 소요예산, 필요인력 수립<br>▪ 5단계: 사업 운영계획 수립<br>- 사업 추진체계, 사업관리 및 성과 관리 방안, 단계/진도 평가, 성과물 실용화<br>▪ 6단계: 사전타당성 검토<br>- 기술성/정책성/경제성 측면 검토, 종합분석 및 결론<br><br>**[연구개발 범위]**<br>▪ **건축물 해체설계의 디지털화 및 가상해체 기술 개발 기획**<br>- 해체공사 고도화를 위한 BIM · VR 기반 가상해체 기술개발을 위한 기획<br>- BIM 설계 기반 폐기물 배출 정확도 향상 방안 기획<br>- 해체설계 및 사전 모의 해체를 위한 가상해체/원격제어 해체기술 개발<br>- 도심지 고밀집/고밀도 지역의 건축물 친환경 해체를 위한 해체 기술 수립 방안<br>▪ **건축물 용도 및 구조 형식별 분별해체 기술개발 기획**<br>- 건축물 분별해체 공사 적용 기술개발 및 분별해체 체계화 방향 설정<br>- 건설폐기물의 순환성 향상을 위한 효율적 인프라 구축 방안 기획<br>- 도심지 밀집 지역 친환경 해체를 위한 현장 관리 방향 설정<br>- 분별해체의 무인화 · 자동화 기술개발 방향<br>▪ **건설폐기물 활용 고품질 순환자원 생산 기술 및 인프라 구축 방안 기획**<br>- 순환골재 품질 고도화 기술개발 방안 기획<br>- 목재 · PVC · 합성수지 · 유리 · 유리섬유 · 보드류의 효율적 재활용 방안 기획<br>- 폐기물 재활용 효율성 향상을 위한 인프라 구축 방안 기획<br>- 배출 · 수집 · 자원화 · 재활용 전과정 연계한 순환 시스템 구축 기술 개발 |

| | |
|---|---|
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 | **[연구개발 성과]**<br>▪ 기획연구보고서(과제제안요구서 포함)<br><br>**[연구개발 성과 수요처]**<br>▪ 성과 수요는 기획연구 결과 수요와, 본 연구의 결과 수요로 구분<br>**- <u>기획연구 수요처</u>**<br>• 국토교통부 : 해체공사 안전관리 및 기술향상 정책 수립과 기획 방향 설정<br>• 환경부 : 분별해체 공사 확산 및 기술정립, 건설폐기물 완전 재활용 방향 설정<br>• 중 · 대형 연구개발 과제 기획 : 연구방향, 내용, 성과 목표 제시<br>**- <u>기획과제 기반 본 연구 수요처</u>**<br>• 해체업체 : 가상해체를 통한 해체현장 기술 고도화, 안전관리<br>• 해체설계업체 : BIM, VR 활용 해체공사 디지털 설계<br>• 국토부 : 해체설계 · 안전기준 수립, 폐기물 단위 배출량 산출기준, 원단위 수립 |

| | |
|---|---|
| | • 환경부 및 지자체 : 건설자원 순환성 체계화 구축<br><br>**[연구개발 성과 활용내용]**<br>▪ 연구사업의 기본 방향 설정<br>- 과제의 필요성, 수요 예측에 활용<br>- 과제 후보과제 연구개발 대상 및 범위 도출에 활용<br>- 과제의 적정 예산 검토에 활용<br>▪ 연구사업의 공모 및 수행<br>- RFP 도출 및 제안 평가에 활용<br>- 연구진행 과정의 성과 측정에 활용<br>▪ 국가정책 연계<br>- 건설산업 고도화 및 순환경제 구축을 위한 각종 국가정책 수립 기초자료 활용<br>- 탄소중립을 위한 국토교통 2050 기여<br><br>**[연구개발 성과 경제적 파급효과]**<br>▪ 건축물 해체공사 고도화를 통한 새로운 건설산업 분야의 정립<br>- 안전한 해체공사 기반구축을 통한 건설 재해의 감소<br>- 디지털화를 통한 해체공사의 이미지 개선<br>▪ 건설폐기물 완전 재활용을 통한 건설자원의 확보<br>- 천연자원 대체, 매립 및 소각 폐기물 감소를 통한 국토의 보전(간접효과)<br>- 신규 자원 확보(골재, 목재, 합성수지, 유리 등)<br>- 자원 순환체계 구축을 통한 순환경제 사회 구축 |
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 | 공개 |

| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술요약정보 | 소프트 웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화합물 | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명정보 | 생물자원 | | 정보 | 실물 |
| | | | | | | | | | | | | |

| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 | 구입기관 | 연구시설·장비명 | 규격(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격(천원) | 구입처(전화) | 비고(설치장소) | ZEUS 등록번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

| 국문핵심어 (5개 이내) | 분별해체 | 해체설계 | 자원순환 | 가상해체 | 고품질 재활용 |
|---|---|---|---|---|---|
| 영문핵심어 (5개 이내) | Classification dismantling | Dismantling design | Resource circulation | Virtual dismantling | High-quality recycling |

# 〈 목 차 〉


## 제1장 기획 연구과제의 개요

**1절. 기술의 정의 ····· 1**

1. 건축물 해체안전 확보를 위한 계획·설계 기술 개발 ····· 1
2. 건축물 해체기술 고도화를 위한 시공 기술개발 ····· 2
3. 분별해체 및 자원화 기술개발 ····· 3

**2절. 기획추진 배경 및 필요성 ····· 4**

1. 기획 추진 배경 ····· 4
   1.1 노후 건축물 및 정비사업 증가에 따른 해체 대상 건축물 증가 ····· 4
   1.2 건축물 해체 안전·사고의 증가 및 인프라(기술/인력) 낙후 ····· 5
   1.3. 건설폐기물 배출량 증가 및 자원화 미진 ····· 6
2. 기획 추진 필요성 ····· 7
   2.1. 해체 기술 고도화를 통한 안전해체 기반 구축 필요 ····· 7
   2.2. 해체공사 설계의 디지털화 전환 필요 ····· 8
   2.3. 다양한 해체 유형에 대비한 해체 기술 고도화 필요 ····· 9
   2.4 건축물 해체 시 배출되는 폐기물의 관리 필요 ····· 10
   2.5 분별해체를 통한 건설폐기물 자원화 기반 구축 필요 ····· 11
   2.6 고품질 순환자원 생산을 통한 자원순환경제 구축의 필요 ····· 12

**3절. 정부 지원의 필요성 ····· 13**

1. 정책적 측면 ····· 13
2. 경제·사회적 측면 ····· 13
3. 기술적 측면 ····· 13

**4절. 기획추진 체계 및 절차 ····· 14**

1. 기획연구 추진체계 ····· 14
   1.1 사업기획 추진전략 및 목표 ····· 14
   1.2 기획 중점 추진 사항 ····· 14
   1.3 기획 추진 조직체계 ····· 15
2. 사업기획 추진 절차 ····· 16

## 제 2장 국내·외 동향 및 환경 분석

**1절. 메가트렌드(STEEP) 분석 ····· 17**

1. 분석 개요 ····· 17
   1.1. 분석 목적 ····· 17
   1.2. 분석 범위 ····· 17
   1.3. 분석 방법 ····· 17

2. 분석 결과 ····· 19
3. 시사점 ····· 24
**2절. 국내·외 동향 조사 ····· 25**
1. 국내·외 정책 동향 ····· 25
1.1. 국내 정책 동향 ····· 25
1.2. 국외 정책 동향 ····· 40
2. 국내·외 시장 동향 ····· 50
2.1. 국내 시장 동향 ····· 50
2.2. 국외 시장 동향 ····· 63
3. 국내·외 사회 동향 ····· 70
3.1. 국내 사회 동향 ····· 70
3.2. 국외 사회 동향 ····· 80
4. 국내·외 기술 동향 ····· 85
4.1. 국내 기술 동향 ····· 85
4.2. 국외 기술 동향 ····· 94
5. 시사점 ····· 103

**제 3장 국내 역량 분석**

**1절. R&D 투자동향 ····· 104**
1. 국가연구개발 사업과 국토교통/환경 R&D 동향 ····· 104
2. 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 기술개발 투자 동향 ····· 105
2.1. 분석 개요 ····· 105
2.2. 분석 결과 ····· 106
**2절. 기술역량 분석 ····· 110**
1. 특허 분석 ····· 110
1.1. 분석 개요 ····· 110
1.2. 분석 범위 및 방법 ····· 110
1.3. 특허분석 결과 ····· 113
2. 논문 분석 ····· 124
2.1. 논문검색 분류 및 키워드 ····· 124
2.2. 국내외 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 논문 게재 현황 ····· 124

**제 4장 종합분석**

**1절. SWOT 분석 ····· 128**
1. 종합분석을 통한 전략 방향 도출 ····· 128
2. 내부 환경 요인에 의한 강점과 약점 ····· 129

2.1. 강점요인 분석 ····· 129
2.2. 약점요인 분석 ····· 130
3. 외부 환경 요인에 의한 기회와 위협 ····· 131
3.1. 기회요인 분석 ····· 131
3.2. 위협요인 분석 ····· 132
4. 종합분석 및 전략방향 도출 ····· 133
**2절. 이슈/문제 정의 ····· 135**
1. 이슈/문제 식별·평가 및 선택 ····· 135
2. 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 이슈/문제 도출 ····· 136
2.1. 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 분야 4대 이슈 ····· 136
2.2. [이슈/문제 1] 건축물 해체공사 급증 및 사각지대 확산 ····· 137
2.3. [이슈/문제 2] 해체공사의 안전사고 및 폐기물 배출량 증가 ····· 139
2.4. [이슈/문제 3] 경험적 해체설계 및 시공관리 및 폐기물관리 ····· 143
2.5. [이슈/문제 4] 리모델링 부분해체 및 소규모 배출 등 관리 사각 ····· 148
**3절. 문제 해결 방안 검토 ····· 151**
1. 검토 개요 ····· 151
2. 법·제도 개선을 통한 대안 검토 ····· 151
2.1. 법·제도 개선 대안 ····· 151
2.2. 법·제도 개선 대안의 검토 결과 ····· 153
3. 재정 투입을 통한 대안 검토 ····· 154
3.1. 재정 투입계획 ····· 154
3.2. 재정 투입 대안의 검토 결과 ····· 155
4. 법/제도 개선 및 재정 투입 대안과 R&D의 시너지 효과 ····· 156
**4절. 중점분야 도출 ····· 157**
1. 기술적 문제 해결을 위한 중점분야 도출 ····· 157
2. 문제, 추진전략 및 핵심 기술 연계성 ····· 160

**제 5장 구성기술 도출**

**1절. 기획수행 체계 ····· 161**
**2절. 기술수요 조사 및 중점 연구 분야 도출 ····· 164**
1. 조사 목적 및 방법 ····· 164
2. 기술수요 조사 ····· 164
3. 기술수요 조사 결과 ····· 165
4. 연구 분야 세분화 ····· 168
**3절. 기술수준 및 예측조사 ····· 169**
1. 개요 ····· 169

1.1. 기술수준 및 예측조사 목적 ····· 169
1.2. 기술수준 및 예측조사 절차 ····· 169
1.3. 기술수준 및 예측조사 항목 설정 ····· 170
2. 기술수준 및 예측 조사 결과 ····· 174
2.1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술 ····· 174
2.2. 건축물 해체 고도화 기술 ····· 175
2.3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 ····· 176
3. 기술수준 및 예측 분석 결과 ····· 177
3.1. 기술수준 및 기술격차 ····· 177
3.2. 국내·외 기술 실현시기 ····· 180
3.3. 기술기반 성숙도 ····· 184
3.4. 기술획득 방식 ····· 185
3.5. 정부우선 시행방안 ····· 188
3.6. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 ····· 192
3.7. 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 ····· 196
**4절. 건축물 해체기술 관련 분야 종사자 설문조사 ····· 200**
1. 설문조사 목적 및 방법 ····· 200
2. 설문조사 기간 및 방법 ····· 200
3. 설문조사 결과 ····· 202
3.1. 일반사항 ····· 202
3.2. 해체공사 현황 ····· 203
3.3. 해체공사 위험도 조사 ····· 206
3.4. 해체 공정별 위험도 조사 ····· 208
3.5. 해체공사 기술 개발 필요성 ····· 210
**5절. 구성 기술 도출 ····· 212**
**6절. 기술 중복성 검토 ····· 214**
1. 기술 현황 ····· 214
2. 유사기술 조사 및 중복성 검토 결과 ····· 214
2.1 조사 방법 ····· 214
2.2 중복성 검토 결과 ····· 215

## 제 6장 기술개발 계획

**1절. (구성기술 1) 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발 ····· 221**
1. 개념 ····· 221
2. 기술개발 내용 ····· 222
2.1 상세기술 개발 내용 ····· 222
2.2 성능지표 및 목표 성능 ····· 233

2.3 연차별 연구내용 및 로드맵 ····· 243
3. 기술 개발 전략 ····· 246
3.1 기술 확보 전략 ····· 246
3.2 추진체계 및 협력 방안 ····· 246
3.3 실용화 전략 ····· 247
**2절. (구성기술 2) 건축물 해체 고도화 기술 개발 ····· 248**
1. 개념 ····· 248
2. 기술개발 내용 ····· 249
2.1 상세기술 개발 내용 ····· 249
2.2 성능지표 및 목표 성능 ····· 259
2.3 연차별 연구내용 및 로드맵 ····· 271
3. 기술 개발 전략 ····· 274
3.1 기술 확보 전략 ····· 274
3.2 추진체계 및 협력 방안 ····· 274
3.3 실용화 전략 ····· 275
**3절. (구성기술 3) 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발 ····· 276**
1. 개념 ····· 276
2. 기술개발 내용 ····· 277
2.1 상세기술 개발 내용 ····· 277
2.2 성능지표 및 목표 성능 ····· 289
2.3 연차별 연구내용 및 로드맵 ····· 299
3. 기술 개발 전략 ····· 303
3.1 기술 확보 전략 ····· 303
3.2 추진체계 및 협력 방안 ····· 304
3.3 실용화 전략 ····· 304

**제 7장 사업운영 및 예산투입 계획**

**1절. 사업목표 체계 및 추진 전략 ····· 305**
1. 목표 체계 ····· 305
2. 전략 목표 ····· 306
3. 성과 목표 및 지표 ····· 307
4. 종합 추진전략 ····· 319
**2절. 예산 및 인력 투입 계획 ····· 321**
1. 연도별 예산 투자계획 ····· 321
2. 인력 투입계획 ····· 322

## 제 8장 타당성 분석 및 기대효과


**1절. 과학기술적 타당성 분석 ····· 324**

1. 이슈/문제 도출의 적정성 ····· 324

1.1. 사업 기획 배경 ····· 324

2. 중점분야 도출의 적절성 ····· 325

3. 성과 목표의 적절성 ····· 326

3.1. 사업 목표의 구체성 및 목표간 연계성 ····· 326

3.2. 과학 기술적 대응 시기의 적절성 ····· 326

3.3. 해체공사의 패러다임 전환과 자원화 기반 구축 필요 ····· 328

4. 수혜자 표적화의 적절성 ····· 328

**2절. 정책적 타당성 분석 ····· 330**

1. 상위 계획과의 부합성 ····· 330

1.1. 사업 기획 배경 ····· 330

2. 추진 체계 및 추진 의지 ····· 331

# 〈 그림목차 〉

그림 1.1 국내 노후 건축물 현황 분석 ····· 4
그림 1.2 광주 학동 재개발 구역 붕괴 건축물 및 붕괴당시 이미지 ····· 5
그림 1.3 건설공사 수주 현황 및 건설폐기물 배출량 변화 ····· 6
그림 1.4 해체기술 고도화 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 7
그림 1.5 해체설계 디지털화 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 8
그림 1.6 해체설계 디지털화 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 9
그림 1.7 건설폐기물 배출 원단위 산출 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 10
그림 1.8 분별해체와 일반해체의 처리 공정 비교 ····· 11
그림 1.9 분별해체 공사 도입 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 11
그림 1.10 건설폐기물 재활용 고도화 이슈와 대응, 한계점 분석 ····· 12
그림 1.11 기획 연구의 비전 및 목표 ····· 14
그림 1.12 해체공사 디지털화 및 자원순환 고도화를 위한 체계 ····· 15
그림 1.13 문제 해결을 위한 기획과제 연구 도출과정 ····· 16
그림 2.1 세계와 한국의 인구 피라미드 비교 ····· 20
그림 2.2 2020년 전 세계 이상기후 발생 분포도 ····· 22
그림 2.3 2022년 국토교통부 주요 업무 추진계획 ····· 25
그림 2.4 건설현장 안전 확보 및 시설물 관리 강화 계획 ····· 26
그림 2.5 2021년 3대 분야 10대 중점투자방향 ····· 27
그림 2.6 건축물 해체과정 중 건축물 붕괴(나산백화점, 잠원동 상가 건물) ····· 28
그림 2.7 도시재생 뉴딜 개념도 ····· 30
그림 2.8 그린리모델링 사업추진 및 예산 확보방안 ····· 31
그림 2.9 그린리모델링 사업자 현황(2018.4. 기준) ····· 31
그림 2.10 건축물 안전강화 종합대책 ····· 32
그림 2.11 ‘사회이슈 해결형 기술 개발’ 과제의 기술전략 트리 ····· 33
그림 2.12 주택자재 산업환경의 패러다임 전환 ····· 34
그림 2.13 주택자재 산업육성 기본방향 ····· 34
그림 2.14 분별해체 공사 의무화 ····· 36
그림 2.15 GDP 대비 R&D 투자 현황 ····· 37
그림 2.16 미세먼지 국가 재난 규정(2021.02.13) ····· 38
그림 2.17 자원순환기본법 하위법령 입법예고 ····· 39
그림 2.18 일본의 i-Construction 적용 결과 ····· 40
그림 2.19 2018년 BIM 프로젝트 효과검증 도큐건설 제안 ····· 41
그림 2.20 일본 건설폐기물 배출 및 최종처리 현황 ····· 42
그림 2.21 미 조달청(GSA) BIM 가이드 ····· 45
그림 2.22 유럽 폐기물 코드(EWC) 및 폐기물 양도 메모 ····· 47
그림 2.23 Construction Industry Trnasformation Map ····· 48
그림 2.24 싱가포르 Top-down 방식의 해체 공정 ····· 49
그림 2.25 비계・구조물해체공사업 연도별 계약실적 ····· 51
그림 2.26 리모델링 공사 추이 ····· 52
그림 2.27 건설공사 현장 환경민원 빈도 현황 ····· 52

그림 2.28 국내 폐기물 시장 규모 및 전망 ····· 54
그림 2.29 국내 폐기물 종류별 발생 추이 ····· 55
그림 2.30 상위 10개사 매출대비 투자비율(%) 추이 ····· 57
그림 2.31 10대 건설사 연구개발(R&D) 투자현황 <출처 : 팍스넷뉴스(2021.11.08.)> ····· 57
그림 2.32 BIM 활용 ····· 58
그림 2.33 건설 인공지능의 도입이 건설공정에 미치는 영향도 ····· 58
그림 2.34 (좌) 현대엔지니어링, AI를 활용한 플랜트 철골구조물 자동설계시스템 ····· 58
그림 2.35 현대건설 드론플랫폼 적용사례(싱가포르 Tuas 매립공사 현장) ····· 59
그림 2.36 포스코사 POS- Mapper의 개념도 및 활용분야 ····· 59
그림 2.37 대우건설 건설드론 관제시스템(DW-CDS) 활용 ····· 60
그림 2.38 건설산업 가상현실 기술 사용 예시 ····· 60
그림 2.39 국내 3D 스캐너 점유 제조사 특징 비교 ····· 61
그림 2.40 한국인 숙련인력(반장, 기능공 수급상황 : 근로자응답) ····· 62
그림 2.41 한국인 숙련인력(반장, 기능공 수급상황 : 사업자응답) ····· 62
그림 2.42 DDC 플랫폼 개발 방법론 ····· 63
그림 2.43 글로벌 폐기물 시장 규모 및 전망 각국 폐기물 발생량 ····· 64
그림 2.44 글로벌 평균 산업 폐기물 발생 수치 ····· 64
그림 2.45 폐기물 재활용 처리 흐름 및 수준별 구분 (EU) ····· 65
그림 2.46 G to G 계획에서 석고보드 밸류체인 ····· 67
그림 2.47 2020년 12월 기준 국내 건축물 현황 ····· 71
그림 2.48 1기 신도시 노후주택 비율 ····· 71
그림 2.49 재난의 발생 현황과 경제적 손실 ····· 72
그림 2.50 국내 재난의 발생 현황과 경제적 손실 ····· 72
그림 2.51 지진으로 인한 피해 사례 ····· 73
그림 2.52 선형경제에서 순환경제로의 전환 ····· 75
그림 2.53 건설산업에서의 비즈니스 모델 비교 (상) 선형모델, (하) 순환모델 ····· 75
그림 2.54 EU 순환경제 패키지 개념 및 수도권 매립지 운영종료 관련 보도 ····· 76
그림 2.55 국내 건설산업과 건설폐기물 배출현황 비교 ····· 76
그림 2.56 건설현장 인력살수 작업 중 사망 재해 사건 ····· 77
그림 2.57 국가 대기오염물질 배출량(PM 10 및 PM 2.5) 분석 ····· 77
그림 2.58 가림막 너머의 불편한 진실 ····· 78
그림 2.59 건축물 해체 적합 새로운 무인 비산먼지 저감 기술 요구 ····· 79
그림 2.60 세계 인구의 장기적인 추이 ····· 80
그림 2.61 글로벌 도시인구 전망 ····· 81
그림 2.62 전체 산업 사망자수 대비, 건설산업 사망자수 통계 ····· 82
그림 2.63 건설산업 생산성 추이 ····· 83
그림 2.64 발파해체 붕괴거동 사전예측 시뮬레이션 ····· 88
그림 2.65 BIM 기반 폐기물 예측 과제 연구개발 목표 ····· 89
그림 2.66 현장 구조변경을 위한 3D 스캐닝 및 역설계 예시 ····· 89
그림 2.67 Slip Stream Effects ····· 90
그림 2.68 전형적인 비산먼지 발생 건설 현장 ····· 91
그림 2.69 국내 및 해외 비산먼지 저감 기술 비교 ····· 91

그림 2.70 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템 <출처 : (주)케이씨티이엔씨> ····· 91
그림 2.71 건설현장 미세먼지 저감을 위한 스마트 가설 울타리 기술(삼육대학교) ····· 92
그림 2.72 세륜 시설 상단 안개식 스프링클러 설치 기술 ····· 93
그림 2.73 유럽의 해체 및 폐기를 고려한 해체공사 종합시스템 ····· 94
그림 2.74 3D 디지털 트윈 가상작업현장 네비게이션 ····· 96
그림 2.75 ELS의 대표 활용 기능 ····· 97
그림 2.76 ELS의 철거 시나리오와 실제 철거와 비교 ····· 97
그림 2.77 초고층 해체 공법 TO-ZERO 시스템 (Toda 건설) ····· 98
그림 2.78 차세대 매니퓰레이터에 의한 폐기물 분리·선별 시스템 ····· 99
그림 2.79 긴급 석면 삭감 실용화 기반 기술 개발 ····· 99
그림 2.80 감소현실(DR) 시스템 개요 ····· 100
그림 2.81 감소 현실 시스템 이미지 ····· 100
그림 2.82 Interreg North West Europe 프로젝트 파일럿 기술 활용( ‘19 ~ ’ 23) ····· 101
그림 2.83 The Conceptual framework of DRIM ····· 102
그림 3.1 연차별 정부 및 국토교통 R&D 투자 규모 ····· 104
그림 3.2 연도별 정부투자 연구비 및 과제 수 현황 ····· 106
그림 3.3 연구수행주체별 R&D 투자 규모 ····· 109
그림 3.4 연구수행주체별 수행과제 수 ····· 109
그림 3.5 연도별 전체 특허출원 추이 ····· 115
그림 3.6 국가별 특허출원 비율 - 1 ····· 116
그림 3.7 국가별 특허출원 비율 - 2 ····· 116
그림 3.8 한국의 연도별 특허출원 동향 ····· 117
그림 3.9 일본의 연도별 특허출원 동향 ····· 118
그림 3.10 미국의 연도별 특허출원 동향 ····· 118
그림 3.11 분류기호 A, B, C, D 기술 각각의 특허출원 비율 ····· 119
그림 3.12 분류기호 A, B, C, D 기술의 연도별 특허출원 동향 - 1 ····· 120
그림 3.13 분류기호 A, B, C, D 기술의 연도별 특허출원 동향 - 2 ····· 120
그림 3.14 포트폴리오 분석 개념도 ····· 121
그림 3.15 전체 유효특허 기반 통합 기술시장 성장 단계 ····· 122
그림 3.16 한국의 통합 기술시장 성장 동향 ····· 123
그림 3.17 일본의 통합 기술시장 성장 동향 ····· 123
그림 3.18 미국의 통합 기술시장 성장 동향 ····· 123
그림 3.19 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 논문 국가별 게재 현황 (2012년 ~ 2021년) 124
그림 3.20 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술 분야 연도별 논문 현황 ····· 125
그림 3.21 분야별 논문 게재 현황 (2012년 ~ 2021년) ····· 125
그림 3.22 분야별 논문 수 및 비율 현황 ····· 126
그림 3.23 주요 논문 게재 연구기관 ····· 126
그림 3.24 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술 분야 논문 게재 학술지 현황 ····· 127
그림 4.1 SWOT 분석을 통한 사업 추진 전략 방향 도출 방법 ····· 128
그림 4.2 안전한 건축물 해체를 위한 해체설계 시스템 ····· 129
그림 4.3 해체공사 흐름도 ····· 130

그림 4.4 SWOT 분석 결과 ····· 133
그림 4.5 SWOT 분석을 통한 전략 방향 도출 ····· 134
그림 4.6 국내 노후 건축물 현황 분석 ····· 137
그림 4.7 국내 해체공사 증가 추세 및 공사 금액 현황 ····· 138
그림 4.8 해체공사 허가/신고 수행현황 및 규모별 수행기간 ····· 139
그림 4.9 해체·철거 공사 재해 현황 ····· 140
그림 4.10 일본 동경도 건설 폐기물 재활용 순환체계 시스템 ····· 141
그림 4.11 건축물관리법에 따른 건축물 해체공사 허가절차 ····· 142
그림 4.12 해체공사 연간 매출 규모 및 중간처리업체 지역별 분포 현황 ····· 143
그림 4.13 지하구조물 해체공사 현황 ····· 144
그림 4.14 원격/무인 해체 장비 사례 ····· 145
그림 4.15 건축물 천장재와 바닥재 분별해체 ····· 147
그림 4.16 분별해체 자동화 장비 예 ····· 147
그림 4.17 천장 보온 단열재의 분별해체 - 재사용 전 과정의 예 ····· 147
그림 4.18 리모델링 공사 추이 및 건설공사 현장 한경 민원 빈도 현황 ····· 148
그림 4.19 < 수평 증축에 의한 공동주택 리모델링 단면 변화 > ····· 149
그림 4.20 리모델링 공사 기술 난제 및 기존 보강근 할용 해체 방안 ····· 149
그림 4.21 지상층 해체공사 적용 유형 ····· 150
그림 4.22 법·제도 개선, 재정 투입 및 R&D 추진의 시너지 효과 ····· 156
그림 4.23 문제/이슈, 추진전략 및 핵심기술 간 연계성 ····· 160
그림 5.1 기획수행 체계 ····· 161
그림 5.2 기술수요 조사서 양식 - 1 ····· 164
그림 5.3 기술수요 조사서 양식 - 2 ····· 165
그림 5.4 기술수준/예측조사 프로세스 ····· 170
그림 5.5 해체 및 자원화 기술 전체에 대한 기술수준 및 기술격차 ····· 177
그림 5.6 건축물 안전 해체계획·설계 기술에 대한 기술수준 및 기술격차 ····· 178
그림 5.7 건축물 해체 고도화 기술에 대한 기술수준 및 기술격차 ····· 178
그림 5.8 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술에 대한 기술수준 및 기술격차 ····· 179
그림 5.9 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서 기술적 실현시기 예측 결과 ····· 180
그림 5.10 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 180
그림 5.11 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과 ····· 181
그림 5.12 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 181
그림 5.13 건축물 해체 고도화 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과 ····· 182
그림 5.14 건축물 해체 고도화 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 182
그림 5.15 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과 ····· 183
그림 5.16 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과 ····· 183
그림 5.17 해체 및 자원화 기술 중분류 기준 기술기반(인프라) 성숙도 ····· 184
그림 5.18 해체 및 자원화 기술 소분류 기준 기술기반(인프라) 성숙도 ····· 184
그림 5.19 해체 및 자원화 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 185
그림 5.20 건축물 안전 해체계획·설계 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 185
그림 5.21 건축물 해체 고도화 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 186
그림 5.22 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술의 기술획득 방식 비중 ····· 187

그림 5.23 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서의 정부우선 시행방안 비중 ····· 188
그림 5.24 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중 ····· 188
그림 5.25 건축물 해체 고도화 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중 ····· 189
그림 5.26 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중 ····· 190
그림 5.27 기술수준-중요도 포트폴리오 영역 구분 ····· 192
그림 5.28 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 ····· 193
그림 5.29 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 ····· 194
그림 5.30 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 ·· 195
그림 5.31 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 영역 구분 ····· 196
그림 5.32 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 ··· 197
그림 5.33 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 ····· 198
그림 5.34 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 · 199
그림 5.35 설문조사서 질문 항목 - 1 ····· 200
그림 5.36 설문조사서 질문 항목 - 2 ····· 201
그림 5.37 설문조사서 질문 항목 - 3 ····· 201
그림 5.38 일반사항 항목에 대한 설문조사 결과 ····· 202
그림 5.39 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 1 ····· 203
그림 5.40 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 2 ····· 204
그림 5.41 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 3 ····· 205
그림 5.42 해체공사 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1 ····· 206
그림 5.43 해체공사 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2 ····· 207
그림 5.44 해체 공정별 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1 ····· 208
그림 5.45 해체 공정별 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2 ····· 209
그림 5.46 해체공사 기술 개발 필요성 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1 ····· 210
그림 5.47 해체공사 기술 개발 필요성 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2 ····· 211
그림 6.1 구성 기술 1 - 연구개발 전·후 환경 변화 ····· 221
그림 6.2 건축재료 열화의 시간별 진전 ····· 234
그림 6.3 다중 사케일 모델을 이용한 콘크리트 구조물 성능평가 개념 ····· 235
그림 6.4 2019년 해체공사 발주 금액 분류 및 지역별 공사 수행 현황 ····· 235
그림 6.5 오토데스크 BIM 360 ····· 236
그림 6.6 건축물 층수별 점유 현황 ····· 238
그림 6.7 해체계획서상의 인접건축물 안정성 검토 ····· 239
그림 6.8 Bridge Model기반의 FEM 해석 연계 ····· 239
그림 6.9 실측데이터 기반 건축물 형상 정보 구현 및 붕괴 예측 SW 개발 ····· 240
그림 6.10 발파해체 붕괴거동 사전예측 시뮬레이션 ····· 241
그림 6.11 ELS의 철거 시나리오와 실제 철거와 비교 ····· 241
그림 6.12 3D 기반 가상 해체 시뮬레이터 예시 ····· 241
그림 6.13 BIM 기반 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 기술 ····· 242
그림 6.14 재난대응 통합훈련 시뮬레이터 ····· 243
그림 6.15 구성기술 1 - 기술개발 로드맵 ····· 245
그림 4.16 구성기술 1 - 성과 로드맵 ····· 245
그림 6.17 구성기술 1 - 추진 체계 및 협력 방안 ····· 247

그림 6.18 구성 기술 2 - 연구개발 전·후 환경 변화 ····· 248
그림 6.19 양방향 무선통신 시스템 개념도 ····· 260
그림 6.20 쌍방향 몰입형 Haptic 제어 기술 ····· 261
그림 6.21 블루투스 통신을 이용한 서포트 하중모니터링 시스템 개념도 ····· 262
그림 6.22 Komatsu사의 Komtrax System ····· 262
그림 6.23 건식 wire saw 공법 ····· 263
그림 6.24 초고층 해체 To-Zero 공법 ····· 264
그림 6.25 국내의 인력 살수 방식 ····· 265
그림 6.26 Fog Cannon을 이용한 분진 저감 기술 ····· 266
그림 6.27 Foretec 자동 wire saw 장비 ····· 267
그림 6.28 리모델링 공사 기술 난제 및 기존 보강근 활용 해체 방안 ····· 268
그림 6.29 워터젯을 이용한 콘크리트 면 부분 블록 아웃 기술 ····· 268
그림 6.30 바닥, 상부, 벽면 절단이 가능한 워터젯 장비 ····· 269
그림 6.31 습식 절단 공사 폐수처리 시스템 ····· 270
그림 6.32 슬러지 혼합 폐수 이동식 처리장치 ····· 270
그림 6.33 구성기술 2 - 기술개발 로드맵 ····· 273
그림 6.34 구성기술 2 - 성과 로드맵 ····· 273
그림 6.35 구성기술 2 - 추진 체계 및 협력 방안 ····· 275
그림 6.36 구성 기술 3 - 연구개발 전·후 환경 변화 ····· 276
그림 6.37 순환골재 생산 과정 ····· 290
그림 6.38 석면 건축자재 해체 후 현장 포장 후 배출 ····· 291
그림 6.39 순환골재에 포함된 이물질 및 부착모르타르 ····· 292
그림 6.40 순환골재 생산설비 전경 ····· 292
그림 6.41 순환골재 품질인증 현황(2017년 12월 기준) ····· 293
그림 6.42 폐목재 재활용 처리과정 ····· 294
그림 6.43 폐MDF 재활용 과정 ····· 295
그림 6.44 기존 유·무기 단열소재의 특성 ····· 295
그림 6.45 발포유리 단열재 생산 과정 ····· 296
그림 6.46 건축물 관리법에 따른 건축물 해체공사 허가 절차 ····· 297
그림 6.47 유럽에서의 건설폐기물 재활용 정책 ····· 299
그림 6.48 구성기술 3 - 기술개발 로드맵 ····· 302
그림 6.49 구성기술 3 - 성과 로드맵 ····· 302
그림 6.50 구성기술 3 - 추진 체계 및 협력 방안 ····· 304
그림 7.1 사업 목표 및 체계도 ····· 305
그림 8.1 건축물 관리법 시행 및 관리의 범위 ····· 331

# 〈 표목차 〉


<표 1.1> 콘크리트용 순환골재 사용 비율 ····· 12
<표 2.1> 국내외 글로벌 메가트렌드 전망 및 STEEP 분류 ····· 18
<표 2.2> 글로벌 도시인구 전망 ····· 19
<표 2.3> 신정부 공약 중 해체공사 및 자원화 관련 내용 ····· 29
<표 2.4> BIM 도입 효과 ····· 36
<표 2.5> 폐기물 정책 패러다임의 변화 ····· 39
<표 2.6> 건축물 해체폐기물의 리사이클 및 적정처리를 위한 조사 계획절차 ····· 42
<표 2.7> 일본 건설리싸이클링법 추진 결과 분석 ····· 43
<표 2.8> 영국의 건설 폐기물의 회수율 ····· 46
<표 2.9> 국내 건설투자의 중장기 변화 추이 전망 ····· 50
<표 2.10> 해체공사 업종별 업무내용 및 시공자격 ····· 51
<표 2.11> 2013년 ~ 2019년 국내 비계·구조물해체공사업 계약실적 ····· 51
<표 2.12> 국내 리모델링 시장 전망 ····· 52
<표 2.13> 대기오염에 따른 사회적 피해 비용 추정 ····· 53
<표 2.14> 국내 폐기물 처리업체 현황 (2019년 기준) ····· 54
<표 2.15> 건설폐기물의 성상 변화 ····· 56
<표 2.16> EU 국가의 폐콘크리트 재활용 추진현황 ····· 66
<표 2.17> 순환골재 콘크리트 사용에 따른 CO2 저감량 ····· 66
<표 2.18> 미국의 건설업 및 전문해체업의 시장규모(1997년) ····· 68
<표 2.19> 미국의 해체시장 변동현황 ····· 68
<표 2.20> 영국 민간도급부문 해체산업 시장규모 및 종사자 수 ····· 69
<표 2.21> 영국 유지·보수 부문 시장규모 및 추이(단위: 백만 파운드) ····· 69
<표 2.22> 국내 건축물 현황 ····· 70
<표 2.23> 분류별 비산먼지 배출량 조사표 ····· 78
<표 2.24> 글로벌 도시인구 전망50) ····· 80
<표 2.25> 우리나라 해체공사 현장의 안전사고발생 유형 ····· 85
<표 2.26> 리모델링 공사 중 붕괴사고 발생 사례 ····· 86
<표 2.27> 부분해체 선진기술과 국내현황 및 기술도입 방안 분석3) ····· 87
<표 2.28> 원전시설 해체 시뮬레이션 관련 선행 기술 개발사례의 주요내용 ····· 88
<표 2.29> 해체단계에서 BIM을 적용한 연구사례 ····· 95
<표 2.30> 세계 주요 해체장비 제조사의 최신 개발 장비 ····· 95
<표 3.1> 연도별 정부 R&D 예산 규모> ····· 104
<표 3.2> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 유사 R&D 과제 키워드 ····· 105
<표 3.3> 연도별 정부투자 연구비 및 과제 수 현황 ····· 106
<표 3.4> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 주요 부처별 R&D 투자현황 ····· 107
<표 3.5> 연도별 연구단계에 따른 R&D 투자현황 ····· 107
<표 3.6> 연구단계별 주요 유관부처 R&D 투자현황 ····· 108
<표 3.7> 연구수행주체별 R&D 투자동향 및 수행과제 수 ····· 108
<표 3.8> 연구단계별 주요 유관부처 R&D 투자현황 ····· 109
<표 3.9> 분석대상 기술 분류 ····· 110

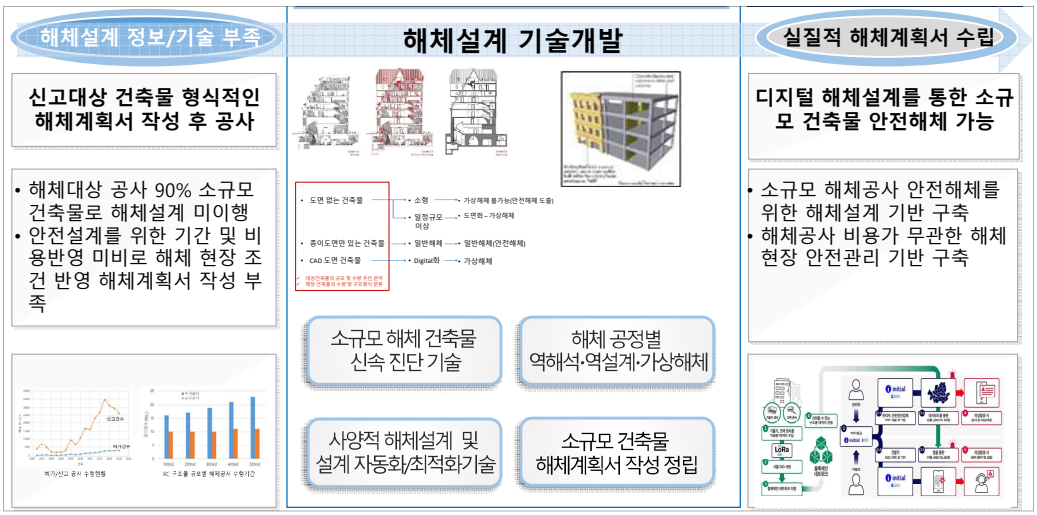
<표 3.10> 특허 검색 DB 및 검색 범위 ····· 111
<표 3.11> 특허 검색식 ····· 112
<표 3.12> RAW DATA 및 유효특허 검색 수 ····· 113
<표 3.13> 중분류에 따른 유효특허 검색 수 ····· 114
<표 3.14> 검색 유효특허 건수 ····· 115
<표 3.15> 분류기호에 따른 기술 내용 ····· 119
<표 3.16> 유효특허 포트폴리오 분석을 위한 구간 구분 ····· 121
<표 3.17> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 논문검색 키워드 ····· 124
<표 4.1> 해체기술 및 폐기물 자원화 분야 4대 이슈/문제 ····· 136
<표 4.2> 2014 ~ 2018년 해체공사의 구조형식 분석 ····· 139
<표 4.3> 국내 유지보수 및 리모델링 시장 전망 예측 ····· 148
<표 4.4> 법·제도 대안의 한계점 및 R&C 지원 필요성 검토 ····· 153
<표 4.5> 재정 투입 대안희 한계점 및 R&D 지원 필요성 검토 ····· 155
<표 4.6> 기술적 난제 및 해결방안 검토 ····· 157
<표 5.1> 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 총괄기획위원회 ····· 161
<표 5.2> 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 기획위원회 ····· 162
<표 5.3> 기술수요 조사 수집 결과 ····· 165
<표 5.4> 연구 분야 분류 ····· 168
<표 5.5> 기술수준 평가 기준 ····· 170
<표 5.6> 기술기반 성숙도 평가 기준 ····· 171
<표 5.7> 기술 핵심성 평가 기준 ····· 171
<표 5.8> 시급성 평가 기준 ····· 172
<표 5.9> 과학기술적 파급효과 평가 기준 ····· 172
<표 5.10> 기술획득 방식 조사 항목 ····· 172
<표 5.11> 정부우선 시행방안 조사 항목 ····· 173
<표 5.12> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 ····· 186
<표 5.13> 건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 ····· 186
<표 5.14> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 ····· 187
<표 5.15> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과 ····· 189
<표 5.16> 건축물 해체 고도화 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과 ····· 190
<표 5.17> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과 ···· 191
<표 5.18> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과 ····· 193
<표 5.19> 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과 ····· 194
<표 5.20> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과 ····· 195
<표 5.21> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과 ····· 197
<표 5.22> 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과 ····· 198
<표 5.23> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과 199
<표 5.24> 기술수요 조사 수집 결과 ····· 212
<표 5.25> 유사과제 도출 키워드 ····· 214
<표 5.26> 타 연구과제의 한계점 및 개발 기술과의 차별성·연계 방안 ····· 215
<표 6.1> 구성기술 1 - 개발 기술 및 개발내용 체계 ····· 221
<표 6.2> 구성 기술 1 - 성능지표 및 목표성능 ····· 233

<표 6.3> 내화설계법에 따른 장·단점 ····· 236
<표 6.4> 건축물 용도 기준 건축물 현황 ····· 237
<표 6.5> 유형별 재고 주택 현황(단위 : 천호) ····· 237
<표 6.6> 구성 기술 1 - 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 243
<표 6.7> 구성 기술 1 - 성능지표 및 목표성능 ····· 246
<표 6.8> 구성기술 2 - 개발 기술 및 개발내용 체계 ····· 248
<표 6.9> 구성 기술 2 - 성능지표 및 목표성능 ····· 259
<표 6.10> 구성 기술 2 - 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 271
<표 6.11> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능 ····· 274
<표 6.12> 구성기술 2 - 개발 기술 및 개발내용 체계 ····· 276
<표 6.13> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능 ····· 289
<표 6.14> 재생골재H의 물리적 성질 ····· 293
<표 6.15> 구성 기술 3 - 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 299
<표 6.16> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능 ····· 303
<표 7.1> 성과목표 및 지표 총괄표 ····· 307
<표 7.2> 1단계 성과목표 ····· 308
<표 7.3> 1단계 성과지표 ····· 309
<표 7.4> 1단계 성과지표 설정방법 및 근거 ····· 310
<표 7.5> 2단계 성과목표 ····· 313
<표 7.6> 2단계 성과지표 ····· 314
<표 7.7> 2단계 성과지표 설정방법 및 근거 ····· 316
<표 7.8> 단계별 사업 추진 방향 및 내용 ····· 319
<표 7.9> 연차별 연구예산 투입 ····· 321
<표 7.10> (구성기술 1) 직급별 연간 소요인력(명) ····· 322
<표 7.11> (구성기술 2) 직급별 연간 소요인력(명) ····· 322
<표 7.12> (구성기술 3) 직급별 연간 소요인력(명) ····· 323
<표 8.1> 유관 법령 및 법정계획 주요 내용 ····· 330

# 제1장 기획 연구과제의 개요

## 1절. 기술의 정의

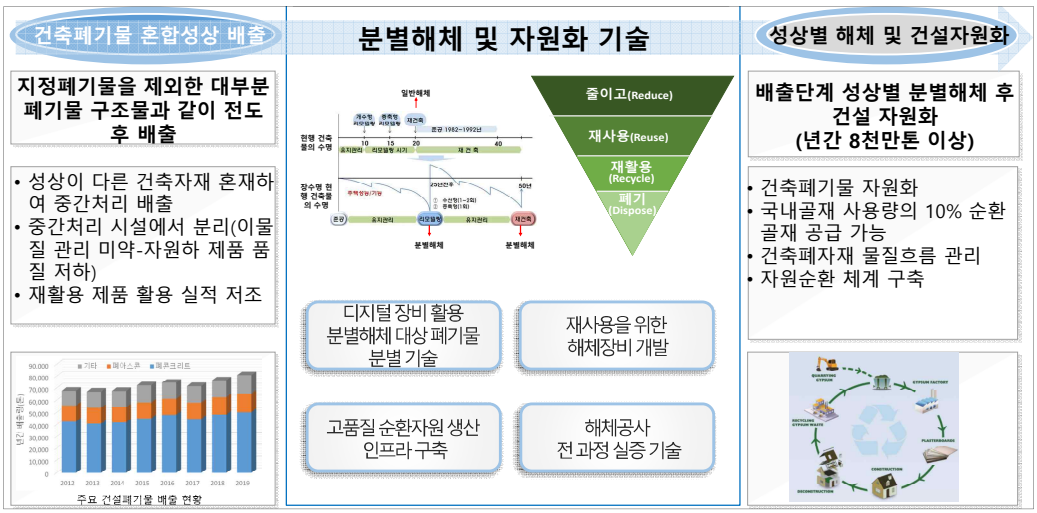
### 1. 건축물 해체안전 확보를 위한 계획·설계 기술 개발

| 1중점. 건축물 해체 안전 확보를 위한 해체계획·해체설계 기술개발 | |
|---|---|
| 정의 | ·건축물의 안전해체 계획·설계를 위한 해체 대상 건축물의 신속한 정보 획득 기술과 해체 위협의 사전 인지를 통한 안전해체 기반 구축 기술<br>·본 기술은 [1] 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계* 기술 개발 [2] 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발 [3] 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발 3개 기술로 구성 |
| 세부 기술 | **[1] 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발**<br>·건축물 기본 정보 기반 소규모 건축물 유형 분류 및 해체 건축물 신속 진단 기술<br>·중소 건축물 잔존 내하력 진단평가 정량화 및 구성 재료 신속 분류 기술<br>**[2] 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발**<br>·도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 개발 및 위험도 유형 분류<br>·BIM 기반 해체계획서 자동화 작성을 위한 폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술 개발<br>**[3] 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발**<br>·3D·Virtual 시뮬레이션을 통한 위험/장애 공정 가상 해체 기술 개발<br>·해채 공사 위험도 등급 지정을 위한 공정 개발 |
| 개념도 |  |

# 2. 건축물 해체기술 고도화를 위한 시공 기술개발

| 2중점. 건축물 해체 기술고도화를 위한 시공 기술개발 | |
|---|---|
| 정의 | ・건축물 안전 해체 및 구조물 재사용 기반 리모델링 건축물의 수평・수직 증축 해체 기술 개발<br>・본 기술은 [1] 안전 해체시공을 위한 무인・원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발 [2] 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발 [3] 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발로 구성 |
| 세부 기술 | **[1] 안전 해체시공을 위한 무인・원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발**<br>・위험/장애 공정 해체 시공을 위한 무인・원격 장비 개발<br>・센서・영상 기반 안전 모니터링 기술 및 해체현장 개방형 모니터링 시스템<br>**[2] 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발**<br>・RC 구조물 모듈식 해체공법 및 모듈화 장비 기술 개발<br>・RC 구조물 절단에 따른 소음・분진・폐수 관리 기술 및 외부 가시설 기술 개발<br>**[3] 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발**<br>・RC 구조물 부분 해체 기술 및 기존 구조물 전단근 활용 기술 개발<br>・대규모 공동주택 수평 증측을 위한 구조물 부분 해체 및 소형 건축물 공간 확장을 위한 해체 기술개발 |
| 개념도 | |

# 3. 분별해체 및 자원화 기술개발

| 3중점. 분별해체 및 자원화 기술 개발 | |
|---|---|
| 정의 | ・건축물 안전 해체 및 구조물 재사용 기반 리모델링 건축물의 수평・수직 증축 해체 기술 개발<br>・본 기술은 [1] 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발 [2] 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발 [3] 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 |
| 세부 기술 | **[1] 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>・건식/습식 공법으로 구성된 건축자재의 성상별 분별해체를 위한 전용 해체 장비 및 공법 개발<br>・건축 내・외장재 및 구조체의 안전 분별해체 기술 및 지침<br>**[2] 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>・해체 폐기물의 성상별 현장 분리・감량화 기술개발<br>・주요 건축폐기물 고품질 자원화를 위한 기술개발 및 인프라 개선 기술<br>**[3] 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>・건축폐기물의 전과정 분석을 통하여 100% 자원 재활용을 위한 순환체계 구축 방안<br>・지자체 단위 시범 사업을 통한 실용화 기반 마련 |
| 개념도 |  |

# 2절. 기획추진 배경 및 필요성

## 1. 기획 추진 배경

### 1.1 노후 건축물 및 정비사업 증가에 따른 해체 대상 건축물 증가

■ 2019년 12월 기준 국내 건축물은 총 724만 여동에 이르고 있으며, 2009년에 비하여 약 62만동이 증가하였고, 노후건축물은 지속적인 증가 추세를 보이고 있음

- 우리나라 노후건축물의 범위는 일반적으로 건축물 사용 승인 후 30년 정도가 지난 건축물을 대상으로 하고 있으며, 이런 노후건축물은 전체 건축물 중 2005년 29.0%, 2012년 33.8%, 2018년 37.1%, 2020년 38.8%로 점차 증가하고 있음[1)]

- 노후건축물 증가에 따른 멸실 건축물도 증가하고 있으며, 2012년 멸실 건축물 중 노후 건축물의 비율은 40.5%였으나, 2020년에는 47.8%로 증가하였음

■ 1970년대 이후 급격한 산업화·도시화 과정에서 형성된 상업 밀집구역, 주거 밀집구역, 공장 밀집 구역 등 교통/환경/생활 편의 시설 등의 부족으로 이를 보완하여 개발하는 도심재생 사업이 증가하고 있음

- 재개발 재건축과 함께, 수평·수직 증축을 통한 공동주택 단지별 건축물 전면 리모델링 공사, 단독주택·사무용·공업용·교육 문화 시설 등의 시설 개보수를 통한 성능 개선 사업이 활발하게 진행되고 있음

- 건축물 리모델링 시장은 2002년 7.8조원에서 2019년 17.1조원으로 성장하였으며, 전체 건축물 착공면적 중 리모델링 면적 2002년 13.3%에서 2019년 18.5% 증가[2)]

- 이와 같은 리모델링 증가는 기존 건축물의 높은 용적률, 재건축 초과이익 환수, 강화된 안전진단, 준공 연한 등으로 재건축에서 리모델링 사업으로의 전환이 주요 원인으로 판단됨

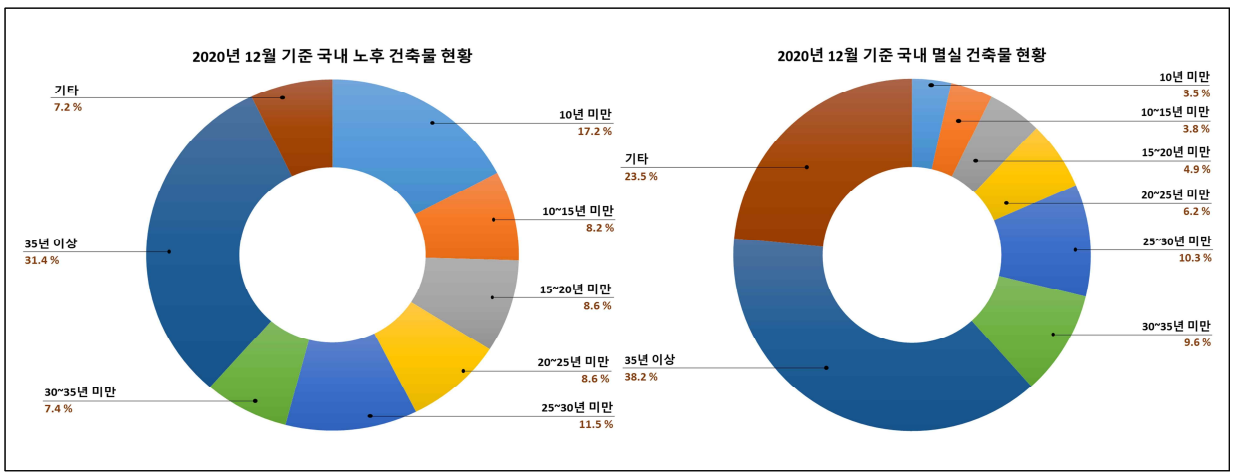



그림 1.1 국내 노후 건축물 현황 분석

<출처 : 국토교통부 건축물 생애이력관리 시스템>

1) 국토교통부 건축물 생애이력관리 시스템
2) CERIK, 건축물 리모델링 시장의 전망과 정책과제, 2020.9

## 1.2 건축물 해체 안전·사고의 증가 및 인프라(기술/인력) 낙후

■ 건축물 전면철거·부분해체 과정에서 안전사고 발생이 지속적으로 발생하고 있으며, 사망사고와 같은 중대재해 사고 비율도 타 산업에 비하여 절대적으로 높게 나타남

- 건축물 유지관리 및 해체 과정에서의 안전관리 강화를 통한 사고예방을 위하여 2020년 5월부터 건축물관리법을 제정하여 운영하고 있으며, 해체 대상 모든 건축물의 해체 계획서 작성 의무화와 일정규모 이상 건축물 해체 시 허가를 받도록 규정
- 특히, 해체사고 위험성이 높은 도심지 밀집지역의 해체, 지하구조물의 해체, 장비 탑재형(Top-down) 해체 등은 전문가의 검토를 통한 해체 허가를 실시하여 안전사고를 방지하고자 노력 함
- 그러나 법 제도 시행 이후에도 지속적인 건축물 해체 과정에서의 사고 발생이 있었으며, 2021년 6월 광주 학동 재개발 구역 내 도로에 인접한 5층 건축물 해체사고로 17명의 사상자가 발생
- 사고 이후, 건축물관리법의 일부 개정을 통하여 감리원 배치 기준을 강화하고, 해체 착공신고 의무화를 통한 관리 강화 방안이 시행되고 있음

■ 전국적으로 약 3,883개의 해체공사 업체가 전문건설협회에 등록되어 있으며, 이외에 소규모 건축물 해체 철거 공사는 실내건축으로 분류된 업종 참여비율도 높은 상황임

- 2019년 수행된 해체공사 중 해체공사비가 1천만 원 미만인 공사가 34.1%를 점유하고 있음.[3] 이는 2017년 서울시에서 발간한 서울시 해체공사비 책정 가이드라인[4]에서 규정한 단위면적당 평균해체공사비 71,100원/$m^2$을 적용할 경우 1천만 원 해체철거 공사 면적 규모는 140$m^2$ 에 불과함. 소규모 해체 공사 비율이 높은 상태임
- 해체업체의 규모를 연간 수주 실적으로 비교할 경우, 2019년 1억 원 미만 실적업체 27%, 5억 미만 72% 점유, 5억 원 이상 실적업체는 512개사로 28%, 50억 원 이상 매출실적 업체는 51개사로 상위 3%에 그치고 있음
- 해체공사와 관련한 별도의 전문교육과정 및 자격 기준은 없음. 참고로 일본의 경우 기술자격으로 해체기사 및 기술사 자격 운영 중

그림 1.2 광주 학동 재개발 구역 붕괴 건축물 및 붕괴당시 이미지
<출처: 국토교통부 중앙건축물사고조사위원회 자료 2021.8>

3) 대한전문건설협회 2019년 해체공사 실적자료 분석
4) 서울시, 공공건축물 건립 공사비 책정 가이드라인, 2017. p21 3.3 철거비 및 설계비 책정기준

## 1.3. 건설폐기물 배출량 증가 및 자원화 미진

■ 건설폐기물 배출량은 연간 8천만 톤을 초과하고 있으며, 이는 국가 전체 폐기물 배출량의 45%를 점유하는 배출 성상 중 가장 높은 비율을 점유하는 폐기물임

- 자원의 효율적 이용과 폐기물 발생을 최대한 억제하고 발생된 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진하여 천연자원과 에너지의 소비를 줄임으로써 환경을 보전하고 지속가능한 자원순환사회 구축을 위하여 2018년 자원순환기본법 제정한 바 있음
- 유럽은 자원이 채굴·생산과 소비를 거쳐 버려지는 단선형 경제(linear economy)에서 벗어나 제품의 높은 내구성 · 효율성과 재활용을 통해 자원이 경제시스템 내에 오래 머물도록 하는 순환경제로 전환해 환경에 주는 부담도 덜고 EU의 경쟁력도 강화하고자 하고 있음

■ 순환골재 사용 의무 공사규정, 환경표지·GR 인증을 통한 자원화 재료의 사용 인센티브 강화, 순환골재 시범사업 시행 등을 통한 건축폐기물 재활용 확대 노력을 정부에서 시행하고 있으나 건설현장 고품질 재활용 효율은 매우 낮음

- 2019년 생산된 순환골재 중 콘크리트용 골재로 사용된 양은 전체 생산량 5천만 톤 중 0.7%인 35만 톤에 불과함.[5] 대부분의 순환골재는 성·복토용이나 일부 도로공사 보조 기층 재료로 활용되어 왔음
- 국토교통부와 환경부는 순환골재의 안정적 활용과 고품질 재활용을 위하여 「순환골재 등 의무사용 건설공사의 순환골재 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시」를 제정하고, 전국의 6개 현장의 순환골재 100% 사용 시범 공사를 실시한바 있음
- 건설폐기물 배출단계 이물질 혼합 최소화를 통한 건설폐기물 자원화의 경제성 향상 및 품질 확보를 위하여 분별해체 공사 의무화를 공공발주 대상 500m$^2$ 이상 건축물에 한하여 2021년 5월부터 시행하고 있음
- 서울시 정비사업 및 건축물 공사 시 자원 재활용 제품 사용 의무화 조례 제정 및 시행을 예정하고 있으나, 재활용 제품의 안정적 공급과 품질 확보의 어려움으로 제도 정착 난항 예상

그림 1.3 건설공사 수주 현황 및 건설폐기물 배출량 변화
<출처: 환경부, 분별해체공사 도입 방안 연구 2019.>

5) 한국환경공단, 2019 전국 폐기물 배출현황, 2021.

# 2. 기획 추진 필요성

## 2.1. 해체 기술 고도화를 통한 안전해체 기반 구축 필요

■ **(이슈, 문제점) 해체대상 건축물 지속적으로 증가하고 있으나 기술진보 미진**

- 2019년 기준 멸실된 건축물은 73,653동으로 면적으로는 16,231천$m^2$이며, 전년대비 4.8% 증가한 것으로 해체공사의 수요는 지속적으로 증가. 또한 도시화 과정에서 형성된 건축물의 비중이 높아짐에 따라 도심지 밀집 건축물 비율도 증가하고 있음
- 구조체의 해체는 압쇄/절단 방법이 주를 이루고 있으며, 내장재는 대부분 인력에 의한 해체를 실시하고 있음. 이러한 해체공정은 건축물의 규모에 따라 다소 차이가 있으나 전체적인 해체 방식은 동일한 형태를 취하고 있음
- 해체과정에서 발생하는 대규모 안전사고로 인하여 해체현장 관리감독 강화를 위한 제도 등이 새로이 시행되고 있음. 그러나 관리 방안 이외에 안전관리를 위한 기술적 대안의 제시는 부족한 상태임

■ **(대응현황) 유해 건축폐기물의 분별해체 수행, 발파 해체 기술 적용, 건식 해체 공법의 적용**

- 대규모 건축물의 신속 해체 공법인 발파 해체공법은 구조물의 붕괴는 빠르게 진행할 수 있으나 이 과정에서 분진, 소음, 대기오염 등의 문제로 인하여 특수 구조물을 제외하고 도심지 등의 구조물 해체에 적용하지 못하는 환경으로 전환되었음
- 환경/안전 측면 해체계획부터 해체완료까지 체계적인 관리 및 각 요소별 기술의 진보는 미진한 상태임
- 감리원 배치기준 강화, 해체공사 시작 신고 의무화 등 관리기준의 강화가 시행되고 있으나 기술적 지원 기반이 미약함.

■ **(한계점)** 단순 해체 신고를 통한 해체공사의 진행, 건축물 내부에서 이루어지는 벽체 등의 전도에 따른 안전사고, 리모델링 부분 해체 공사 등 관리 사각지대 및 새로운 해체공사를 위한 기술적 대안 제시의 한계.

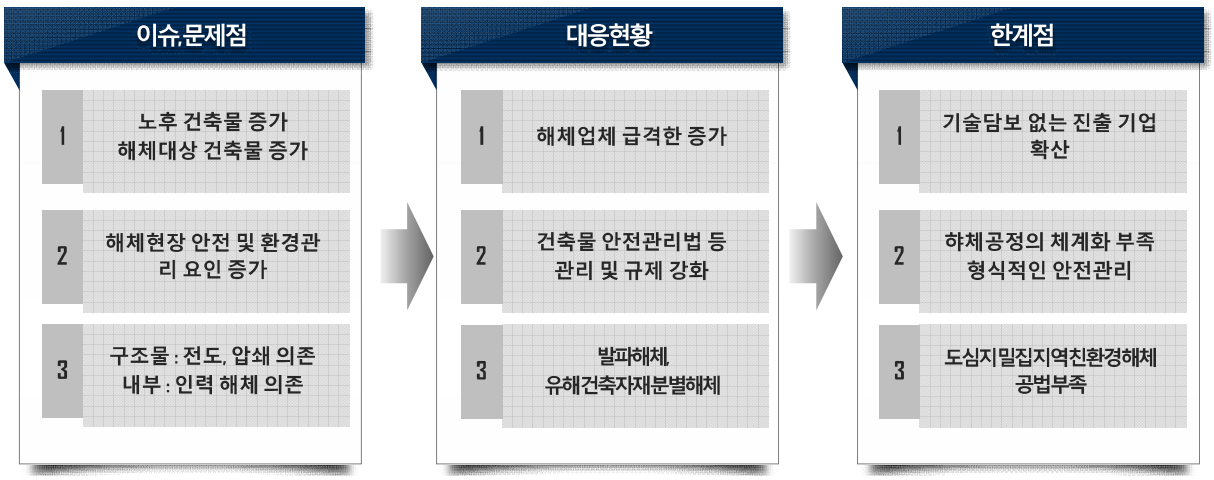



그림 1.4 해체기술 고도화 이슈와 대응, 한계점 분석

## 2.2. 해체공사 설계의 디지털화 전환 필요

■ **(이슈, 문제점) 해체 건축물 디지털 도면 기반 해체설계 및 해체 계획서 작성 수립 구축 필요**

- 국토교통부는 건설산업을 국가 신성장 동력으로 재도약하기 위해 디지털 기반 건설산업 선진화 정책을 추진하고 있으며, 2020년 12월 건설산업 BIM 기본지침과 2030년까지의 로드맵을 수립
- 노후 건축물의 디지털 정보 확보를 위하여 "광역단위 노후건축물 디지털 안전워치 기술개발"을 새롭게 추진하며, 건축물의 유지관리 및 해체 시 활용
- 건축물의 안전 확보 및 사용가치를 유지·향상시키기 위하여 건축물의 전 생애주기에 걸친 효과적인 유지관리 필요성이 증대됨에 따라 BIM을 활용하여 계획, 설계, 시공, 유지관리, 건축물 정보관리 등 전 생애주기의 체계적인 관리를 위한 제도를 마련하고 있음
- 3층 미만의 소규모 건축물의 디지털 정보 구축은 현재 제로에 가깝기 때문에 광역단위 디지털 워치, BIM 설계를 기반으로 유형별 대표 사양 설계 구축과 접목이 필요함

■ **(대응현황) 해체분야의 경우 원전구조물 해체 과정에서 BIM 설계 기반 AR/VR 설계를 수행하고 있음**

- VR/AR은 기획설계·시공유지관리·재난재해·교육 등 여러 분야에서 다양하게 사용되고 있으며, 특히, 원전구조물 같은 고위험 시설물 해체를 위한 사전 위험인자 예측 등 가상해체 기술 개발이 이루어지고 있음
- 해외의 경우 도시설계(핀란드, VTT), 건물 디자인(미국, AECOM), 극한지 시공성 검토(미국, Marquette Univ), 현장 공정관리(일본, Kalloctech) 등이 진행되고 있음. 국내는 설계단계에서 VR/AR 기술을 활용한 홍보 및 용역 서비스만 제공하고 있는 수준

■ **(한계점)** 소규모 건축물 적용을 위한 인프라 부족, 광역단위 디지털 안전워치와의 연계는 현재 진행 중인 사업으로 한계. 따라서 시범사업을 통한 소규모 건축물의 유형 분류와 위험도 분석을 통한 설계 기반 구축이 필요한 시점임

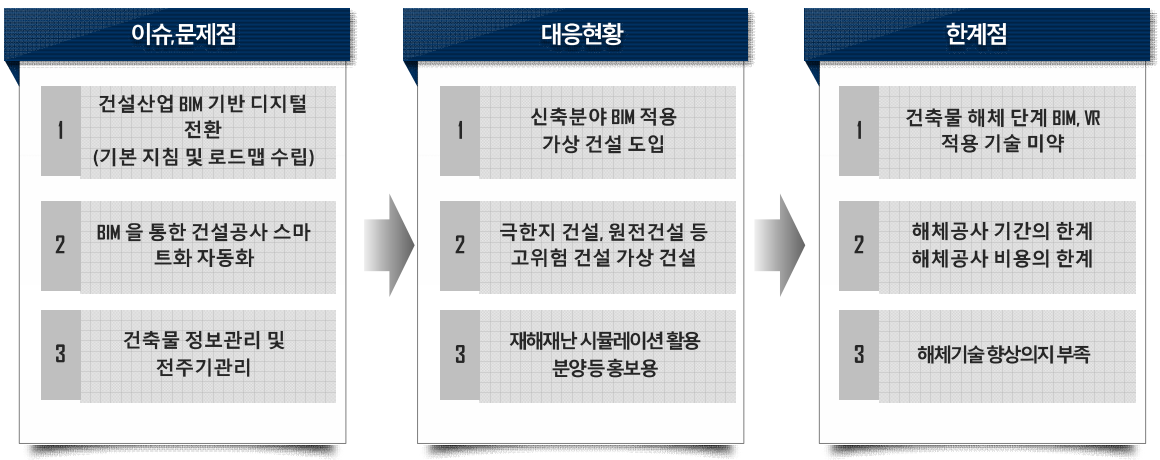



그림 1.5 해체설계 디지털화 이슈와 대응, 한계점 분석

## 2.3. 다양한 해체 유형에 대비한 해체 기술 고도화 필요

■ **(이슈, 문제점) 도심지 밀집 지역, 구조물 활용 증축 리모델링 부분 해체 공사 증가 대응 필요**

- 70~80년대 급격하게 진행된 도시화와 동시에 중산층 주거공급 방안으로 시작한 1기 신도시의 건설이 시작되었음. 한정된 토지 위에 대량 공급 시스템과 교통 역세권을 중심으로 한 사업 지구, 동종 업종 집합을 통한 산업 시너지 확보를 위한 도심지 공장 대단지 건설이 진행되었음
- 국내 주거용 건축물의 수명은 32년, 그 밖의 상업용 및 근린생활 시설 등은 25년 미만에 멸실이 이루어지고 있음. 이에 따라 도심지 해체 공사가 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 해체 공사 과정에서 많은 안전사고가 발생함
- 1기 신도시 및 대단지 공동 주택의 경우 전면 재건축에 의한 시공 이외에 기존 구조물을 활용한 수평 또는 수직 증축에 의한 리모델링이 진행되고 있으며, 이에 따라 발코니, 복도, 엘리베이터 코어 등의 부분 해체 후 증축 리모델링을 하고 있음
- 따라서 도심지 밀집 지역의 친환경/안전 해체를 위해서는 인접 건축물 영향 최소화, 부분 해체 기술을 활용한 리모델링 해체 등의 해체 기술의 제공이 필요함

■ **(대응현황) 경험에 의한 해체, 완전 절단 방식의 부분 해체 등으로 해체공사의 안전과 생산성 확보 미진**

- 도심지 밀집 소규모 건축물 해체공사의 안전 확보를 위한 건축물 관리법 시행. 그러나 소규모 건축물의 경우 도면의 부재, 정보의 부족 등으로 안전 산고 발생 빈도가 높음
- 수평 증축을 이용한 리모델링 공사는 전단철근의 완전 절단 후 신규 케미컬 앵커를 이용한 전단철근 확보 방식을 취하고 있음. 따라서 기존 전단철근 활용 부분 해체 기술 및 소음/분진 등을 감소할 수 있는 리모델링 해체공사 기법 필요

■ **(한계점)** 소규모 건축물 안전 확보를 이한 가시설 및 보강 시설의 부족, 환경관리가 어려우며, 콘크리트 부재의 전단근 존치 부분 해체 기술의 한계. 워터젯 등의 사용으로 인한 2차 환경오염 발생 등

그림 1.6 해체설계 디지털화 이슈와 대응, 한계점 분석

## 2.4 건축물 해체 시 배출되는 폐기물의 관리 필요

■ **(이슈, 문제점) 해체현장 건축폐기물 관리 기술 개선을 통한 자원화기반 구축**

- 건설폐기물의 95%는 해체공정에서 배출되고 있으며, 2010년 이후 건축물 해체 공사 비율이 점차 증가하고 있음. 따라서 해체공사 계획 수립단계부터 배출폐기물의 현장 관리, 분리보관, 자원화 방안 등을 고려한 계획 수립이 필요함
- 해체공사는 필수적으로 건설폐기물의 배출을 수반하고, 여기에서 배출되는 폐기물의 처리 계획을 수립하여야 함. 현재 건설공사 표준품셈에 규정된 발생 원단위를 기준으로 폐기물량을 산정하고 있으나 대상 건축물의 용도, 구조, 사용연한, 지역 등에 따라 배출되는 폐기물의 양에 많은 차이가 있음
- 이러한 문제로 인하여 발주단계에서 설계한 폐기물 배출량과 실제 해체공사에서 배출되는 폐기물 양에 차이가 발생하여 설계 변경 등의 요인으로 작용하고 있음
- 표준품셈에 규정된 발생원단위를 사용하지 않고, 기존 동일한 규모의 해체공사의 배출량을 기준으로 산정하는 방식이 있으나, 앞서 지적한 바와 같이 폐기물 발생에 대한 대상 건축물의 변수가 많기 때문에 정확도가 낮은 것은 동일한 수준임

■ **(대응현황) 건폐법 제정 및 폐기물 현장관리를 위한 관리감독의 강화, 건설현장 건설폐기물 배출 지침 제정 등**

- 배출 폐기물의 관리 강화를 위하여 건축물의 종류·용도별로 단위면적당 폐기물의 양을 건설공사 표준품셈으로 규정하여 해체계획 단계에서 산출량을 추정하고 이를 관리할 수 있도록 규정
- 건설현장 배출 폐기물 산정의 정확도 향상을 위하여 2019년 건설공사 표준품셈 발생원단위를 개정 고시하였으며, 국가 기준 이외에 주요 발주처인 LH 공사, SH 공사 등도 자체적인 배출 원단위를 수립하여 관리

■ **(한계점)** 해체 대상 건축물이 매우 다양함. 특히 소규모 건축물의 경우 품셈 적용이 어려움. 따라서 배출지 별 설계를 통한 배출량의 산정이 필요하며 현장 관리 계획을 수립할 수 있는 기술개발 필요

그림 1.7 건설폐기물 배출 원단위 산출 이슈와 대응, 한계점 분석

## 2.5 분별해체를 통한 건설폐기물 자원화 기반 구축 필요

■ **(이슈, 문제점) 건설폐기물 배출단계 성상별 배출의 중용성**

- 건설폐기물 중간 처리 공정 중 가장 애로 공정은 이물질 선별 공정임. 풍력, 자력, 인력, 스크린, 원심력 등 다양한 기술과 공법을 도입하여 유기 및 무기 이물질 선별을 실시하고 있으나, 품질과 경제성 확보에 어려움이 있음
- 일본의 경우 1990년대부터 건설리싸이클링법을 도입하여 80m$^2$ 이상의 모든 건축물의 해체공사에 분별해체 공법을 적용하고 있으며, 이에 따라 목재의 재활용률 향상, 최종매립 폐기물의 최소화 등의 효과 획득
- 건설폐기물의 고도화는 이물질 배출 없는 해체단계 성상별 분별해체부터가 시작임

■ **(대응현황) 건폐법 분리배출 선언 및 분별해체 공사요령 제정**

- 2003년 제정된 건폐법의 배출자 의무조항으로 성상별 분리배출 하도록 규정, 정부의 관리 감독과 이를 시행할 수 있는 환경, 즉, 비용의 산정, 기술개발 등을 지원하도록 규정
- 분별해체 공사요령 제정을 통한 분별해체 공법 확산을 실시하였으나, 세부적인 해체기술 적용한계. 21년 4월부터 공공발주공사에 한하여 바닥면적 500m$^2$ 이상의 건축물에 한하여 분별해체공사 의무화 적용, 모든 구조 및 용도의 18종 폐기물을 대상으로 함

■ **(한계점) 도심지 밀집 지역 해체공사는 폐기물 적치장 확보의 어려움, 분진 및 폐기물 등의 환경관리 어려움, 인력에 의존하는 분별해체공사 등으로 해체 생산성 확보가 어려운 상황임**

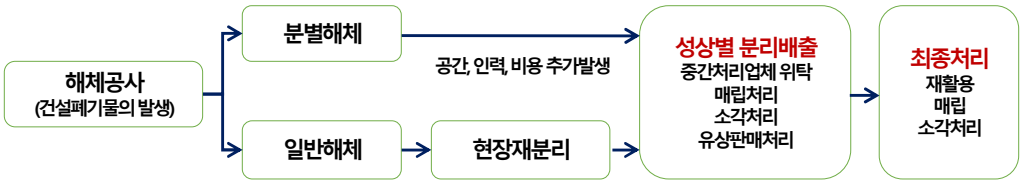



그림 1.8 분별해체와 일반해체의 처리 공정 비교

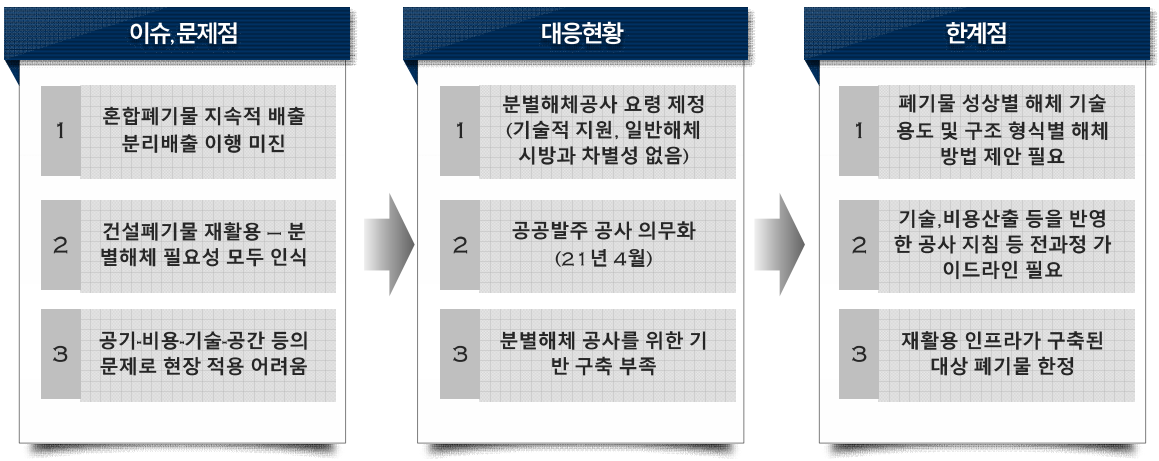



그림 1.9 분별해체 공사 도입 이슈와 대응, 한계점 분석

## 2.6 고품질 순환자원 생산을 통한 자원순환경제 구축의 필요

■ **(이슈, 문제점) 재활용 제품의 품질 저하에 따른 건축생산 단계 적용의 한계**

- 순환골재 품질인증 제도 및 건설폐기물재활용기본계획 추진에 따라 건설폐기물 자원 순환율 향상을 위한 많은 제도가 시행되어 왔음. 전국적으로 450여개 이상의 건설폐기물 중간처리 사업장에서 품질인증을 부여받았으며, 전국적 생산능력은 3,000만 톤을 상회 함
- 고품질 순환골재를 생산하기 위한 생산 비용, 공급, 품질확보 문제가 여전히 있음. 배출-반입-생산-재활용이 원활하게 이루어져야 하지만, 과도한 이물질 혼합폐기물의 처리에 따른 품질 저하로 재활용 효율성이 높지 않음

■ **(대응현황) 순환골재 품질기준 개정을 통한 품질관리 기준강화, 사용 촉진을 위한 의무화 및 인센티브**

- 건설폐기물을 재활용하여 생산 가능한 콘크리트용 골재는 연간 2,300만 $m^3$에 달함. 국토교통부의 연간 골재수급계획의 10%를 점유하는 막대한 양으로 순환골재가 적절하게 사용될 경우 현재의 골재 공급 문제를 어느 정도 해결할 수 있는 대안이 될 수 있음
- 사용률 촉진을 위하여 국토교통부와 환경부 공동 고시로 일정규모 이상의 공사에서 순환골재를 40% 이상 사용하도록 규정(국토교통부고시 제2017-648호, 2017.9.27., 환경부고시 제2017-175호, 2017.9.27.)

<표 1.1> 콘크리트용 순환골재 사용 비율

| 설계기준강도 (MPa) | 사용골재 | |
|---|---|---|
| | 굵은골재 | 잔골재 |
| 27 이하 | 굵은굴재 용적의 60% 이하 | 잔골재 용적의 30% 이하 |
| | 혼합사용 시 총 골재용적의 30% 이하 | |

■ **(한계점)** 건설폐기물 배출 단계에서의 이물질 혼입에 따른 관리의 실패 등으로 순환재의 대국민 이미지 악화, 사용회피 사유 제공을 통한 사용저조 등 악순환 반복

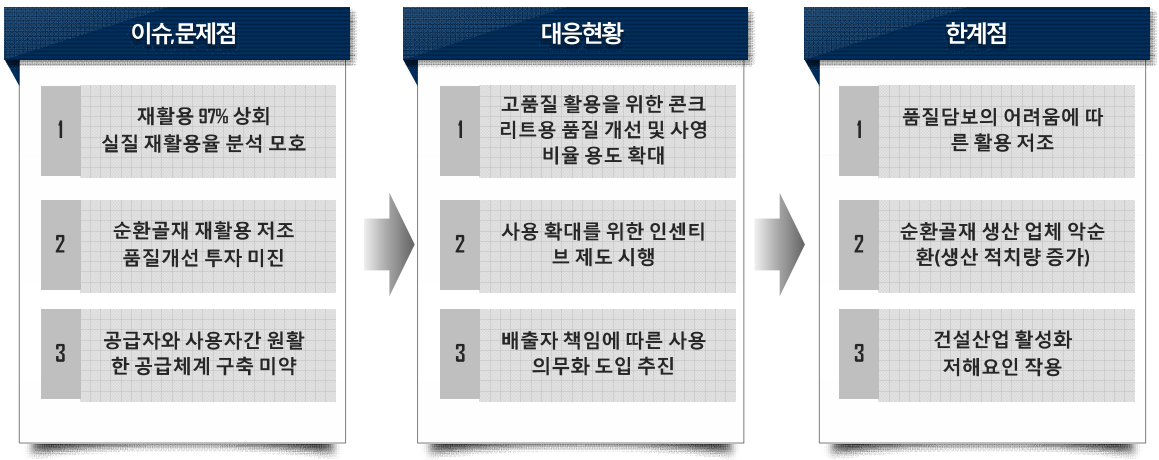



그림 1.10 건설폐기물 재활용 고도화 이슈와 대응, 한계점 분석

# 3절. 정부 지원의 필요성

## 1. 정책적 측면

■ 노후 건축물 및 구도심 재건축·재개발 활성화 정책 지원

- 신정부의 부동산 정상화 방안으로 “재개발·재건축·리모델링을 활성화”와 ”1기 신도시 재정비·양질의 주택공급“ 공약 제시
- ”부실시공 근절과 안전한 건설현장“ 구현을 통하여 광주 철거 사고와 같은 붕괴사고 방지 제시
  - 노후 건축물이 전체 건축물 중 40%에 육박하며, 1기 신도시를 비롯한 80~90년대 대규모 주택 공급에 따른 건축물의 30년 수명 도래
  - 대부분의 구조물이 RC 구조물로서 해체 과정에서 전도·붕괴 사고의 위험성이 상존하고 있으며, 이를 개선하기 위한 기술과 함께 제도적 개선이 필요함
- 건설폐기물의 급격한 증가 및 이에 따른 자원화 사회 구축 필요
  - 건설폐기물 ’20년 기준 8.6천만 톤 배출. 이는 국민 1인당 1.72톤 규모로 전 세계에서 가장 높은 수치임. 매립 및 소각에 의한 최종 처리의 한계에 도달하였으며, 최종 처리 시설 인프러 구축 또한 사회적 합의가 어려워 진행이 불가능함
  - 자원 재활용 정책 수립을 위한 정책 지원 기술 개발 필요

## 2. 경제·사회적 측면

■ 해체공사 안전 확보 및 폐기물 자원화를 통한 사회 통합

- 해체공사의 높은 재해율
  - 해체공사는 동일 건설공사에 비하여 중대 재해율과 사고 만인율이 높으며, 최근까지 해체공사는 항타공사와 같은 전문건설업 분류로 되어 있었음. 19년 비계구조물 해체공사업으로 분리되었음.
  - 일본의 경우 해체관련 전문 직종을 신설하고, 관련 자격제도를 부여하고 있으며, 매년 3천 명 이상의 전문가를 배출하고 있음
- 높은 매립 및 낮은 소각 비율
  - 우리나라는 일본 및 유럽에 비하여 소각 비율은 낮고 매립 비율은 높은 상황임. 자원순환기본법에 따라 매립 및 소각이 접차 어려워 지고 있음. 따라서, 많은 국가가 폐기물의 최종 처리 방법을 완전 재활용 방향으로 설정하고 4R 구현을 위한 정책을 추진하고 있음임

## 3. 기술적 측면

■ 제도 이행을 위한 기술적 뒷받침

- 압쇄·전도 방식에 의한 철거 공법은 안전사고 발생빈도가 높음
  - 광주 학동 재개발 현장 붕괴 사고가 대표적인 사례
- 건축물 내장재 해체 패러다임의 전환
  - 선분별, 후해체 방식으로 전환 필요

# 4절. 기획추진 체계 및 절차

## 1. 기획연구 추진체계

### 1.1 사업기획 추진전략 및 목표

■ 본 기획연구는 건축물의 수명 종료 또는 성능 향상을 위한 전면해체 또는 부분해체 과정에서 **[1] 해체 안전을 위한 설계 기술 확보, [2] 해체 시공 기술 고도화를 위한 해체공법 및 기술의 확보, [3] 해체 폐기물의 완전 자원화를 위한 기반 및 순환체계 시스템 구축 방안 도출을 최종 목표**로 하여, 관련 해체 기술의 고도화 및 자원 효율성 향상에 기여할 수 있는 기술도출을 목적으로 하였음

■ 특히, 건축물관리법 제정 및 관리 강화에도 불구하고 지속적으로 발생하는 해체 안전사고의 근본적 해결을 위하여 관리기준 강화를 통한 안전관리 향상이 아닌 기술개발을 통한 안전해체 및 자원화 향상 방안에 중점을 두고 있음

### 1.2 기획 중점 추진 사항

■ 상기 목표 달성을 위하여 본 기획연구는 **건축물 해체설계 기술 고도화, 건축물 해체 시공 기술의고도화, 건축폐기물 자원화 기술 고도화 3개 분야로 구분**하여 이슈 및 니즈분석을 실시하여 관련 개발기술 도출을 목적으로 하고 있음

| ① 해체설계 기술 | ② 해체시공 기술 | ③ 자원화 기술 |
|---|---|---|
| 소규모 건축물 안전해체 및 해체계획서 자동화를 위한 유형분류·위험도분석·사양설계 도면·위험장애공정 사전 분벗 기술 개발 | 무인·원격 해체 공법 및 장비 개발, RC 구조물 모듈화 해체 및 부분 해체 기술개발 | 분별해체 기술, 폐기물 관리 및 배출 기술, 순환 체계 구축 기술개발 |

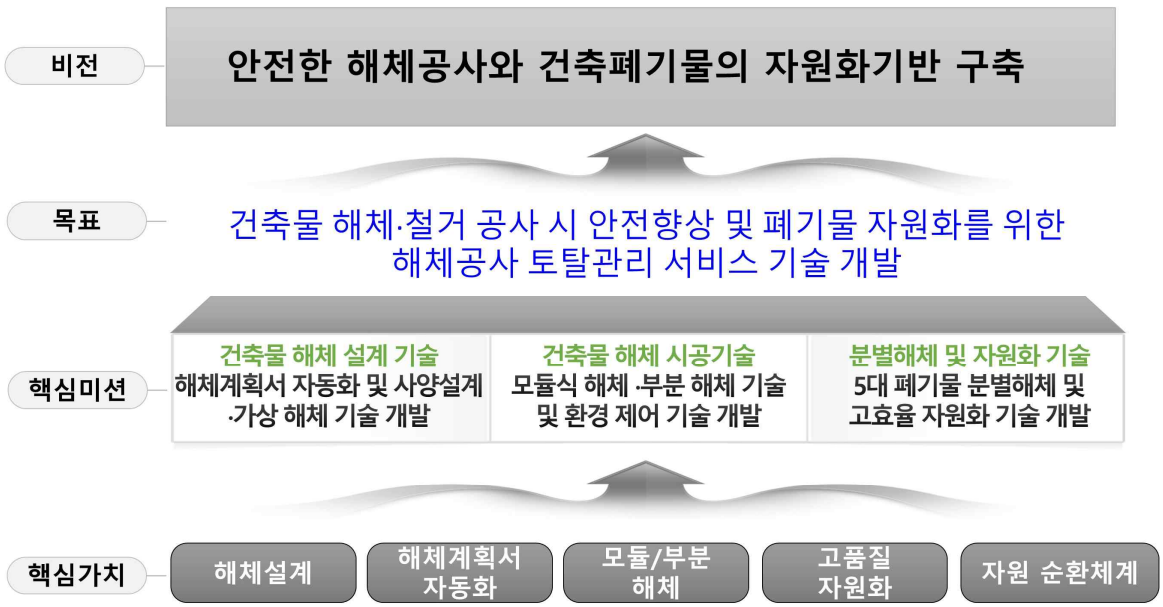



그림 1.11 기획 연구의 비전 및 목표

## 1.3 기획 추진 조직체계

■ 본 기획연구는 건축물 해체 및 자원화에 대한 동향 분석 반영, 건설산업의 디지털 전환과 로봇의 활용, 주요 해체 산업 현황 분석을 위하여 산·학·연의 전문가와 각 영역별 업계를 대표하는 조직이 참여하여 기획을 실시하였음

■ 주관기관인 한국건설기술연구원과 ㈜태성SNI 중심으로 주요 기획 분야를 나누고 영역별 전문가 참여를 실시하였음

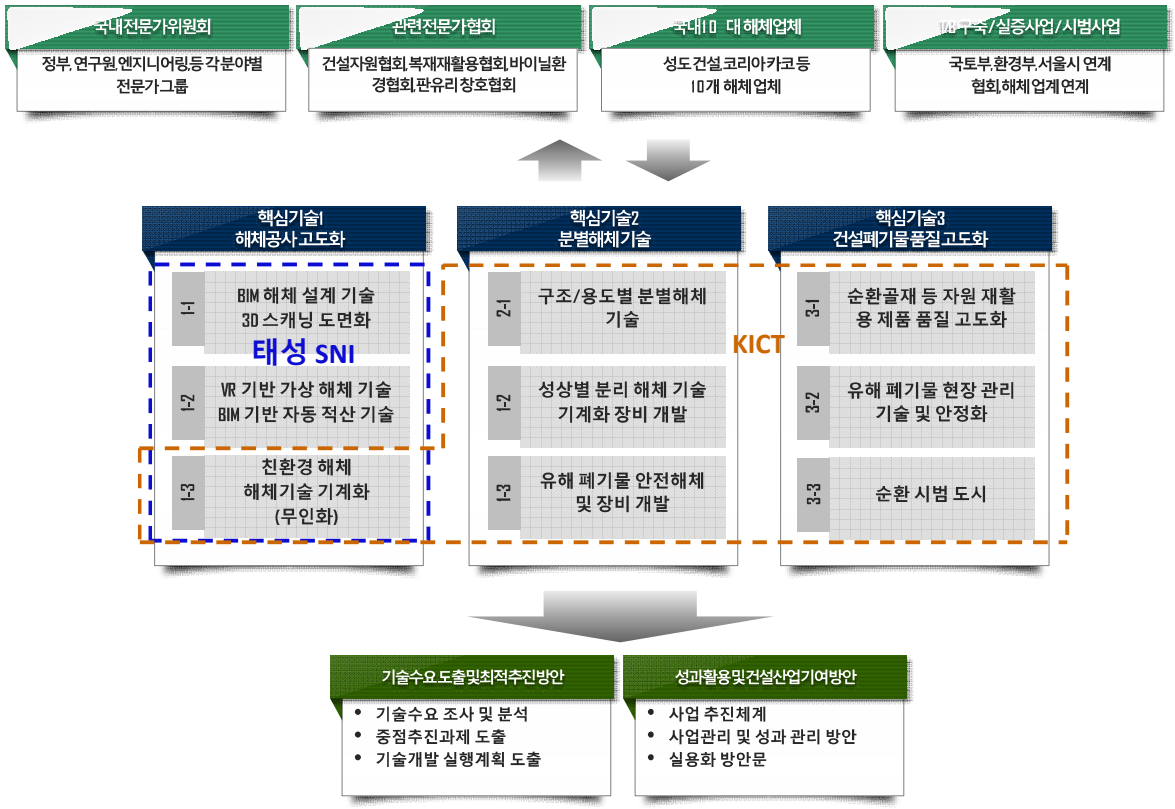



그림 1.12 해체공사 디지털화 및 자원순환 고도화를 위한 체계

■ **정책 협의체 운영**

- 해체공사 안전, 해체 기술개발, 건설폐기물 재활용, 자원순환도시 형성 등 관련 중앙정부 및 지방자치단체 관계자와 정기적 협의 운영
- 특히, 건축물 해체 안전관련 기술개발 사항은 국토교통부 건축안전과와 관련 기술개발 방향을 협의 진행하였고, 건축폐기물 자원화 및 효율적 순환체계는 국토교통부 건축안전과 및 환경부 자원순환국, 서울시 기후환경본부와 지속적인 협의 진행

■ **관련업계, 일반 국민 상대로 관련 기술 활용에 대한 설문조사 등 의견수렴**

- 해체공사업, 재활용업, 중간처리업 등 관련 업계의 기술개발 방향, 정책의 반영 정도, 향후 예측되는 변화에 대한 설명회 실시
- 각 전문가 대상 해체공사 관련 전문가 설문 조사 실시

## 2. 사업기획 추진 절차

■ **각 단계별 수행 내용은 아래와 같음**

- **[1단계] 필요성 및 시급성 분석** : ① 각 분야별 이슈·문제점 조사 ② 문제 해결을 위한 필요성 및 시급성 분석
- **[2단계] 대안분석 및 해결방안 도출** : ① 각 분야별 대응현황 및 한계점 파악 ② 기술/정책적 해결방안 도출
- **[3단계] 핵심분야별 사업내용 구성** : ① SWOT, PEST 분석을 통한 세부분야 및 추진방안 수립을 실시하여 사어비전과 목적, 목표 제시 ② 전문가 대상 기술 수요 조사를 통한 핵심분야 구성 기술을 도출 ③ 사업 내용 및 추진전략을 수립
- **[4단계] 사업운영 계획** : ① 도출 사업에 대한 기술 수준 및 인프라 현황 분석 ② 기술 로드맵과 예산 구성 ③ 리스크 분석과 회피전략 ④ RFP작성

그림 1.13 문제 해결을 위한 기획과제 연구 도출과정

# 제 2장 국내·외 동향 및 환경 분석

## 1절. 메가트렌드(STEEP) 분석

### 1. 분석 개요

#### 1.1. 분석 목적

■ 미래사회 및 산업을 둘러싼 메가트렌드에서 2030년 산업혁신에 영향력이 크고 집중해야 할 메가트렌드 도출

#### 1.2. 분석 범위

■ 국내·외 주요 기관에서 발행한 글로벌 메가트렌드와 미래전망 보고서 등을 토대로 STEEP 분류에 따른 종합분석 수행

#### 1.3. 분석 방법

■ **(분석대상)** 공신력, 분석대상 및 내용 수준 등을 고려하여 국내를 포함한 주요 국의 정책보고서, 연구 논문/특허 및 보고서 등을 조사

■ **(분석관점)** 사회(S), 기술(T), 경제(E), 환경(E), 정책(P) 분야의 핵심적인 트렌드 조사·분석

■ **메가트렌드 조사·분석 결과(안)에 따라 '인구 및 도시구조 변화', '기술개발 가속화 및 융복합화', '디지털 경제 활성화 및 산업구조변화', '기후변화에 따른 환경 및 에너지 관리', '글로벌 경쟁 격화 및 다원화' 등의 주요한 장기적 메가트렌드 제시**

- **사회(S) 분류**에 따른 인구 및 도시구조 변화에서는 고령화, 저출산 등에 따른 인구구조 변화, 도시화 가속, 양극화 심화, 사회적 불평등 확대 등이 포함
- **기술(T) 측면**에서는 자동화 및 AI 시대, 디지털 제조 확산, 기술·산업의 융복합·공진, 초연결, 4차 산업혁명 등 새로운 기술에 의한 산업 패러다임 전환 등 혁신기술 가속화 및 융복합화로 제시 가능
- **경제(E) 분류**에서는 디지털 경제 활성화 및 지속가능 성장으로 산업구조 변화·전환, 국가 경쟁력 변화, 글로벌 경제의 저성장 장기화, 공유경제 확산, 일자리 및 고용 변화 가속, 언택트 경제 발달 등을 포함
- **환경(E) 분류**에서의 기후변화에 따른 환경, 자원, 에너지 관리는 기후변화 심화, 재난재해 대형화·복합화, 저탄소 에너지 전환 및 신재생에너지 확산, 자원경쟁 증가, 신종 감염병 출현 등을 내포
- **정책(P) 측면**에 따른 글로벌 경쟁 심화 및 다원화에서는 안보(사이버, 테러 등) 및 사회적 불안 증대, 보호무역주의 확산, 다자주의 증대, 전통적 거버넌스 체계의 약화, 국제분쟁 증가 등을 포함

■ **메가트렌드 분석 결과를 바탕으로 미래전망 분석**

<표 2.1> 국내외 글로벌 메가트렌드 전망 및 STEEP 분류

| 기관 | Society | Technology | Economy | Environment | Politics |
|---|---|---|---|---|---|
| EEA | • 인구 증가<br>• 도시화 | • 기술변화<br>• 가속화 | • 지속적인 경제 성장 | • 자원경쟁 심화<br>• 환경오염 증가<br>• 기후변화 | • 다자주의 |
| OECD | • 인구구조 변화<br>• 중산층증가<br>• 도시 집중화 | • 디지털 기술 및 융합산업 발달<br>• 헬스케어 시스템 | • 경제 저성장<br>• 개도국 고성장 | • 기후변화<br>• 자원 및 에너지 고갈 위험 | • 국가 역할 강화<br>• 글로벌화 |
| The Millennium Project | • 빈부격차 심화<br>• 초고령화 사회<br>• 도시화<br>• 공유경제 | • AI<br>• 자동화<br>• 사이버 보안 | • 은퇴 나이 증가<br>• 일자리 감소<br>• 중국, 인도 성장 | • 기후변화<br>• 에너지<br>• 지속가능한 발전 | • 국제 갈등 심화<br>• 글로벌화 |
| NIC | • 인구구조 변화<br>• 개도국/빈국의 인구증가 | • 기술발전에 따른 분열 심화<br>• 산업 변화 | • 부국의 노화<br>• 단기 저성장 지속 | • 기후변화<br>• 환경오염 심화 | • 포퓰리즘 증가<br>• 종교영향력 증가 |
| EPRS | • 초고령화 사회<br>• 공유경제 발달 | • AI기술 발달<br>• 자동화<br>• 산업구조 변화 | • 개도국 고성장<br>• 국가 경쟁력 변화 | • 기후변화<br>• 자연재해<br>• 자원경쟁 | • 포퓰리즘<br>• 글로벌화 |
| Deloitte | • 재능 경쟁<br>• 빈부격차 심화<br>• 공유경제<br>• 도시화 | • AI<br>• 가상현실<br>• 블록체인<br>• 디지털화<br>• 헬스케어 | • 데이터 화폐화<br>• 글로벌화<br>• 산업구조 변화 | • 기후변화<br>• 환경인식 변화<br>• 자원 부족 | • 정치적 분열<br>• 규제 증가<br>• 사회적 불안 증가<br>• 테러조직 |
| Roland Berger | • 인구구조 변화<br>• 도시화<br>• 인구증가 | • 4차 산업혁명<br>• 기술 융복합화<br>• 헬스케어 기술 발달 | • BRIC 성장<br>• 글로벌화 | • 기후변화<br>• 자원 및 에너지 고갈 위험 | • 글로별 협력 강화<br>• NGO 영향력 확대<br>• 성평등 |
| ESPAS | • 인구구조 변화<br>• 도시화<br>• 공유경제 | • AI<br>• 스마트시티<br>• 블록체인 | • 경제 저성장<br>• 일자리 감소 | • 기후변화<br>• 에너지 | • 다자주의<br>• 포퓰리즘<br>• 테러리즘 |
| KISTEP | • 휴먼 임파워먼트 | • 초연결에 의한 혁신 | • 경제시스템 재편 | • 환경리스크 심화 | • 사회복잡성 진화 |
| STEPI | • 고용의 불안정<br>• 사회적 불평등 확대<br>• 초고령화 사회 | • 스마트시티 부상<br>• 기술의 융복합화<br>• 자동화 및 AI기반 시대 도래 | • 그린이코노미 이행<br>• 네트워크 경제 심화 | • 저탄소 에너지 시스템으로 전환<br>• 기후변화 대응 | • 시민 관여 증대<br>• 신흥 안보(사이버 보안, 테러) 이슈 부상<br>• 전통적 거버넌스 체계의 약화 |
| KIAT | • 사회정보 연결망 확대<br>• 저출산 및 고령화<br>• 양극화 심화<br>• 1인 가구 증가 | • 기술, 산업의 융복합화<br>• AI 활용산업 증가<br>• 디지털 제조 확산 | • 디지털 경제 비중 증대<br>• 공유경제 확산<br>• 저성장의 고착<br>• 기업의 사회적 책임 증가 | • 기후변화, 환경 문제 심화<br>• 신재생 에너지 확산 | • 남북교류협력 비용 증가<br>• 사회안전 요구 증대 |
| KAIST | • 저출산 및 고령화<br>• 다문화 사회<br>• 양극화 해소<br>• 공유경제 | • 4차 산업혁명<br>• 자율주행<br>• 드론, 지능형 로봇<br>• 생체인식 | • 핀테크 | • 기후변화/저탄소<br>• 신재생에너지<br>• 스마트시티 | • 4차 산업혁명 관련 법규<br>• 블록체인 거버넌스<br>• 한반도 통일외교 |
| 과학기술정보통신부 | • 다문화화<br>• 고령화 | • 신기술 등장<br>• 산업 패러다임 전환 | • 글로벌 경제 저성장 장기화<br>• 신흥국 부상 | • 기후변화<br>• 환경오염<br>• 자원 고갈<br>• 감염병의 위협 | • 정치 · 사회적 갈등 심화 |

## 2. 분석 결과

### (1) 인구 및 도시구조 변화

■ 세계 인구는 산업혁명을 기점으로 급격하게 증가하여 2020년 기준 78억 명에서 2045년에는 95억 명의 증가 추정

■ UN DESA(2019)[6]에 의하면 세계 인구 중 도시에 사는 인구의 비율은 1950년 30%에서 2018년 55.3% 수준으로 증가

■ 선진국 외에 개발도상국의 도시화 및 도시인구 유입 가속화에 따라 2050년에는 도시인구가 68.4%에 이를 것으로 예상

- 글로벌 도시인구 전망 결과, 선진국과 중진국 모두 가파르게 증가하여 도시화가 급속히 진행되는 것으로 예측
- 글로벌 전체 도시인구의 경우, 1950년 7.5억 명에서 2050년 약 7억 명에 가까운 증가 추이를 나타내는 것으로 조사됨(UN DESA, 2019)

<표 2.2> 글로벌 도시인구 전망

| 구분 | | 인구수(10억 명) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1950 | 1970 | 1990 | 2018 | 2030 | 2050 |
| 전체 | 글로벌 | 2.54 | 3.70 | 5.33 | 7.63 | 8.55 | 9.77 |
| | More developed* | 0.81 | 1.01 | 1.15 | 1.26 | 1.29 | 1.30 |
| | Less developed** | 1.72 | 2.69 | 4.18 | 6.37 | 7.26 | 8.47 |
| 도시 | 글로벌 | 0.75 | 1.35 | 2.29 | 4.22 | 5.17 | 6.68 |
| | More developed | 0.45 | 0.67 | 0.83 | 0.99 | 1.05 | 1.12 |
| | Less developed | 0.30 | 0.68 | 1.46 | 3.23 | 4.12 | 5.56 |
| 비도시 | 글로벌 | 1.79 | 2.35 | 3.04 | 3.41 | 3.38 | 3.09 |
| | More developed | 0.37 | 0.33 | 0.32 | 0.27 | 0.24 | 0.17 |
| | Less developed | 1.42 | 2.01 | 2.72 | 3.14 | 3.14 | 2.92 |

* More developed : 유럽 전체, 북미, 호주, 뉴질랜드, 일본

** Less developed : 아프리카 전체, 아시아(일본 제외), 남미, etc

<출처 : World urbanization Prospects - The 2018 Revision(UN DESA, 2019)>

■ **우리나라는 세계 인구 추이와 달리 고령화와 저출산으로 인한 인구가 감소할 것으로 전망되고, 이로 인해 1인 가구 증가, 초고령화 사회 진입 등 인구구조 변화가 급속히 발생할 것으로 전망**

- 통계청(2019)[7]에 따르면 대한민국 총인구는 2028년까지 5,194만 명으로 소폭 증가한 후, 감소하기 시작하여 2047년 4,891만 명, 2057년 4,439만 명, 2067년 3,929만 명으로 지속 감소할 것으로 예상
- 우리나라의 65세 이상 고령 인구 비중은 2017년부터 본격적으로 증가(13.8%)하여

6) World urbanization Prospects - The 2018 Revision(UN DESA, 2019)
7) 세계와 한국의 인구 현황 및 전망(통계청, 2019)

2067년에는 전체 인구의 46.5%를 차지할 것으로 추정되며, 세계 인구 피라미드와 비교 시 2067년 기준 역피라미드형의 초고령화 국가가 될 것으로 전망

- 우리나라는 2020년부터 출생아가 사망자보다 적은 Dead cross 현상 발생으로, 정부가 예측한 최악의 시나리오와 유사한 수준의 출산 감소율 관측
- 저출산·고령화와 함께 우리나라 인구구조는 1~2인 가구 비율이 증가하고 있으며, 2047년 기준 1~2인 가구 유형은 전체 가구 유형의 약 72.3%를 차지할 것으로 예상

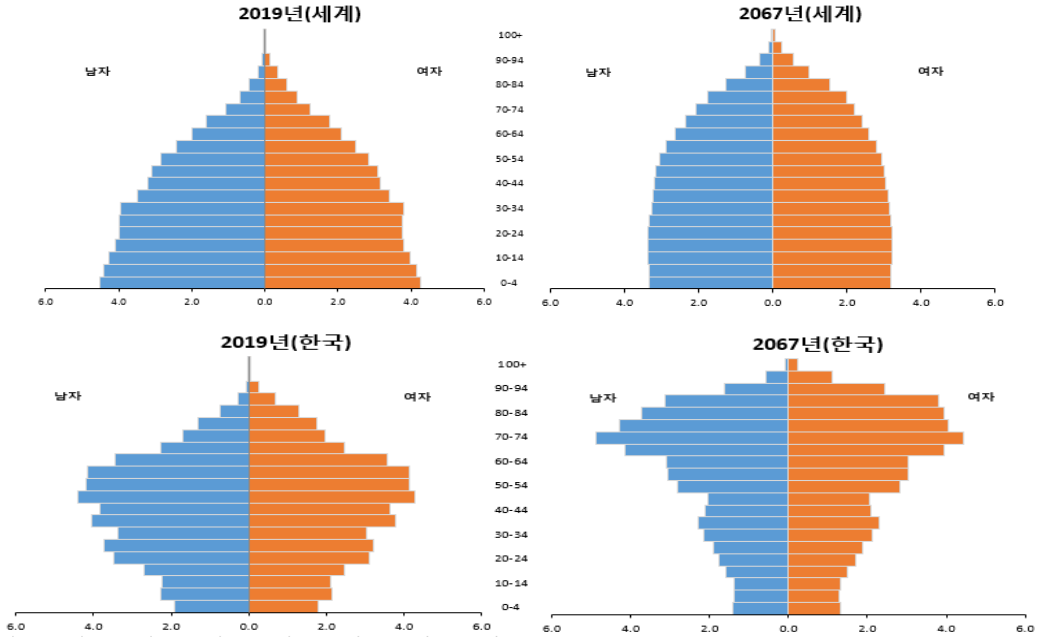



그림 2.1 세계와 한국의 인구 피라미드 비교

<출처 : 세계와 한국의 인구 현황 및 전망(통계청, 2019)>

### (2) 4차 산업혁명 기술 가속화 및 융복합화

■ **AI, 빅데이터, 로봇, 사물인터넷(IoT) 등 4차 산업혁명 기술의 개발은 새로운 제품과 서비스, 비즈니스 모델개발에 막대한 영향과 산업의 새로운 부가가치 창출 및 산업 패러다임 변화를 가속**

- 기술(클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 사이버 보안, 인공지능 기술 등) 발달에 의한 세계 디지털 전환 시장(Digital Transformation Market)은 '20년 4,698억 달러에서 '25년 1조 98억 달러 규모 수준의 성장 추세를 전망[8)]

■ **기술 융·복합화를 통한 기술 패러다임 변화는 우리나라 주요 산업군인 자동차, 조선, 항공, 건설, 에너지, 의료산업 분야에 생산성 향상을 포함한 다양한 긍정적 영향을 미치며, 각 산업군의 플랫폼화·서비스화·융합화를 촉진**

- **(플랫폼화)** 생산설비 디지털화, 온라인 SW 시스템의 유기적 통합을 통한 생산효율 향상 및 플랫폼화 진행
- **(서비스화)** 플랫폼과 빅데이터 융합을 통한 비즈니스 모델의 혁신 추진
- **(융합화)** 이종 기술과 산업의 결합을 통한 기존 산업의 한계극복 및 가치사슬 재편 주도

8) MarketsandMarkets(2020.7), Digital Transformation Market by Technology, Deployment Type, Vertical, and Region

### (3) 디지털 경제 활성화 및 산업구조 변화

■ **4차 산업혁명 기술의 발전, 코로나 19 발생 및 확대 등으로 비대면 문화의 확산과 디지털 사회(경제 포함)로의 전환 가속화를 촉발**

- 국제적으로 통용되는 디지털 경제의 명확한 정의는 없으나 OECD, IMF 등의 국제기관에서 정의한 내용 고려 시, '인터넷과 온라인 플랫폼에 기반한 경제활동 전반'을 의미(KOTRA, 2020)
- 디지털 경제는 비대면·비접촉 디지털 플랫폼, 산업·업종 간 융합, 개인 맞춤화를 넘는 초맞춤화, 제품의 서비스화, 실시간 작업화 등의 특징을 내포
- 마찰 없는 경제, 공간개념 소멸, 예측의 불가능, 선점의 중요성 등을 들 수 있으며, 정보의 자유로운 교류로 비효율성이 줄어들고 네트워크의 광속성 및 쌍방향성은 물리적인 입지의 중요성을 축소시켜 글로벌화를 가져올 것으로 예상
- 급격한 기술변화로 경쟁이 변화무쌍하게 전개되는 디지털 경제에서는 미래를 예측하는 것이 더욱 어려워지는 한편 디지털 재화의 수확 체증적 성격, 네트워크 외부성 등에 의해 시장 선점의 중요성이 더욱 확대

■ **디지털 경제로의 전환은 일자리에도 큰 변화를 일으켜 디지털 기술기반 및 데이터 중심의 고소득 전문 직종에 대한 수요 증가와 디지털 경제 시대로의 전환에 따른 다양한 신규 직업의 출현 예상**

- 디지털 기술기반의 AI 전문가, 클라우드 설계자, 블록체인 개발자, 데이터 중심 경제로의 전환을 리드하고, 데이터 안전을 도모하는 데이터 분석가 등의 새로운 디지털 일자리 창출 전망
- 반면, 디지털 가속화 속에서 우리나라 경제활동 인구의 25%가 자동화로 대체될 것으로 전망되는 가운데, 자동화로 대체되는 인력이 신기술 기반 전문인력으로의 전환 실패 시 국가 차원의 큰 위험요인으로 작용 예상

■ **COVID-19로 인한 디지털 전환은 더욱 가속화되고 있으나, 우리나라 기업의 대응력은 아직 미미한 실정**

- 아시아·태평양 지역 중소기업의 69%가 COVID-19로 비즈니스 디지털 전환에 박차를 가하고 있으며, 매출 생산성은 평균 50% 상승효과를 예상(시스코, 2020)
- 우리나라의 경우 디지털 기반의 업무 프로세스 혁신 중요성은 인지하고 있으나, 한국기업 90%는 아직 디지털 전환 대응력이 부족한 것으로 조사됨(한국산업기술진흥협회, 2020)

■ **이종산업 간 합종연횡, 제조 서비스화 등 산업융합이 전방위적으로 확산되어 산업구조 변화가 급속히 진행**

- 디지털 경제의 확산 및 활성화는 단순하게 산업의 디지털화, 비대면 산업의 도약, 디지털 플랫폼 기반 소비 및 O2O 서비스 시장 확장 등에 그치지 않고, 오랜 기간 지속되어 온 주요 트렌드인 글로벌 지속가능 성장에도 기여할 것으로 예상

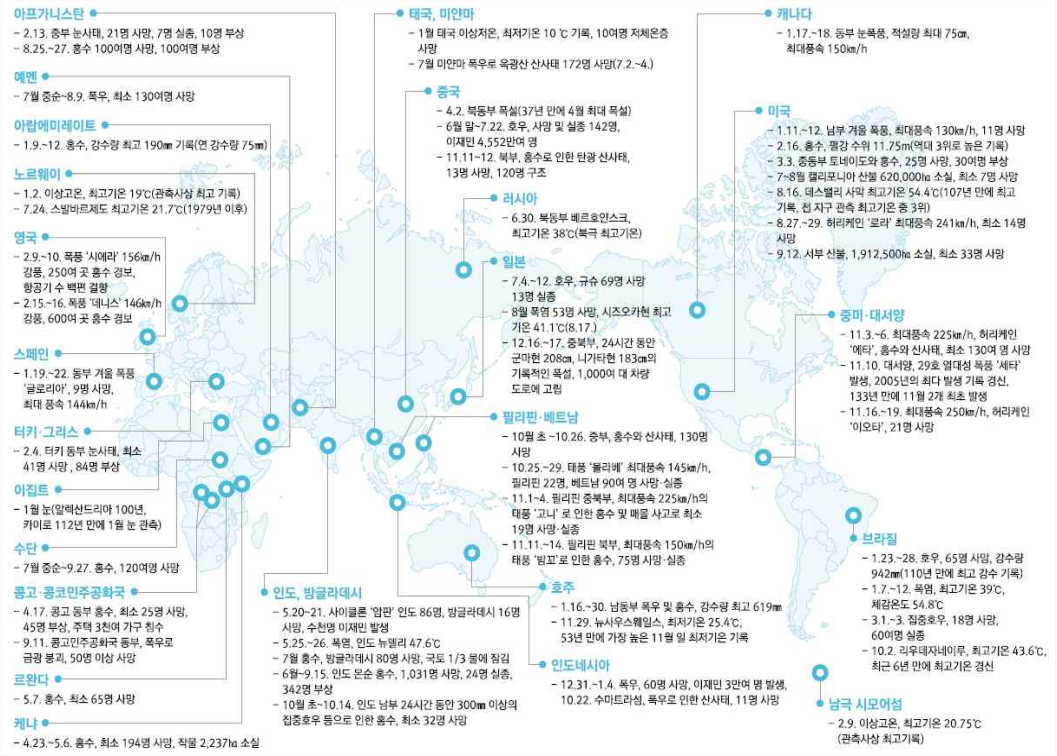



그림 2.2 2020년 전 세계 이상기후 발생 분포도

<출처 : 2020년 이상기후 보고서(관계부처합동, 2021)>

### (4) 기후변화에 따른 환경 및 에너지 관리

■ **전 세계적으로 화석연료 사용 감축과 신재생에너지로의 전환 등을 통해 기후변화를 포함한 다양한 환경문제 해결을 위한 노력 중점**

- 산업화 이후 기후변화, 환경오염, 자원고갈, 이상기후 및 자연재해 발생 등의 문제가 꾸준히 발생하여 사회적, 경제적, 인적 피해의 대형화·복합화 지속
- 산업화 이후 지구의 평균기온은 지구온난화로 인해 지속 증가하고 있으며, 2020년 지구 평균기온은 14.9℃로 산업화 이전(1850~1900년) 대비 1.2(±0.1)℃ 상승(2020년 이상기후 보고서, 2021)
- 대형 태풍, 집중 호우, 폭염, 산불, 폭설, 이상 저온 등의 다양한 이상기후가 발생함에 따라 매년 재산 및 인명 피해 증가 반복

■ **선진국들은 지구온난화 및 기후변화에 대응하기 위해 기존 주요 에너지원 중 하나인 화력 발전을 축소하고 있으며, 재생에너지 및 천연가스 비중 확대와 함께 에너지 효율 향상 등 전반적인 온실가스 감축 및 에너지 전환 추진에 주력**

- 온실가스 감축 목표로 2030년까지 독일은 55%, 일본은 26%를 설정하였으며, 1990년 대비 2050년까지 독일, 영국, 프랑스는 각각 80~95%, 80%, 75% 감축 목표를 제시
- 미국의 경우, 트럼프 행정부 출범 후 파리협정 탈퇴 선언('18.6)과 석유·가스 규제 철폐 등을 추진하였으나, 최근 바이든 행정부 출범과 함께 파리협정 복귀, 2050년 탄소 순배출량 제로 달성, 재생에너지 인프라 투자 확대 등을 추진하며 기후변화 및 에너지 전환을 위한 정책 강화

■ **저탄소·친환경 경제에 대한 다양한 변화요구가 증대됨에 따른 그린경제로의 전환 가속**

- 국민과 사회안전을 위협하고 산업 및 경제에 부정적 영향을 미치는 기후변화에 대응하기 위해 국민 삶의 질을 개선하는 동시에 새로운 일자리 및 신산업 창출의 기회를 모색할 수 있는 그린 경제로의 전환 추진
- 친환경 전환은 장기 성장에 부합하고 새로운 사업기회를 창출하며(OECD, 2019), 그린 투자는 수많은 고용 창출을 통한 코로나19 충격에 회복을 견인(IMF, 2020)
- 그린 경제에 뒤처지게 되는 경우 글로벌가치사슬(Global Value Chain, GVC) 내 경쟁우위 상실이 우려*되며, 코로나19를 계기로 그린 경제로의 전환이 더욱 가속화될 것으로 전망

*애플・구글・BMW 등 241개 글로벌 기업들은 RE100(100% 재생에너지 사용) 선언과 동시에 공급망 기업들에게도 RE100 준수 요구

- 최근 유럽은 그린 딜(the European Green Deal) 정책의 공동 전략으로 순환경제 액션플랜(Circular Economy Action Plan)을 채택하면서, 순환경제 구조로 전환을 위한 지속 가능한 제품/서비스 표준화, 순환적 제품설계, 폐기물 최소화 등 다양한 정책적 전략 추진 중(EC, 2020)
- 우리나라는 미래 기후변화・환경 위기에 대응해 전략적 녹색산업 발굴 및 이를 지원하는 인프라 확충을 통해 혁신생태계 구축을 위한 노력을 경주하고 있으며, 폐열・폐기물 재사용, 재생에너지 등을 통한 오염물질 최소화를 위해 스마트 생태공장 구축과 더불어 기업별 배출특성 진단 및 오염물질 저감 설비・기술 지원을 위한 클린팩토리 조성 등을 중점 추진
- 이와 함께 청정생산설비를 대폭 확대함에 따라 그린 경제로의 전환 이행을 위한 전략적 투자를 강화하고, 제품과 생산의 친환경화를 위한 노력의 일환으로, 기업의 자발적 투자가 확대되는 계기를 마련한다는 측면에서도 그 의의를 내포

### (5) 일자리 변화 가속화 및 사회변화에 따른 산업인력 구조변화

■ **4차 산업혁명 기술혁신에 따라 사라지는 일자리**

- 맥킨지 리포트에 따르면 첨단기술의 발전에 따른 자동화는 매년 국내총생산(GDP)를 0.8~1.4% 끌어올리는 동시에 대규모 노동구조의 전환을 유인하며 ’30년에 이르러 4~8억 명이 일자리를 잃을 것으로 전망
- 세계 근로자의 3~14%는 자동화로 직업을 바꾸고 다른 일자리를 찾아야 할 것으로 전망되어 노동구조 변화가 예상되고 전반적으로 1인당 GDP가 높은 국가일수록 자동으로 대체되는 일자리가 많을 것으로 전망
- 특정기술의 완성도가 높아져도 실제 사회적 적용까지는 다른 기술과의 충돌 등 소비자 검증이 이루어져야 하고 시장성, 사회적 합의, 정부 정책 등에 영향을 받는 등 기술 대체는 기술발전만으로 이루어지는 것이 아니라 다양한 이해관계자 등 국가별 사회시스템 수용성에 따라 적용 시기가 달라질 것으로 전망
- 기술진보가 아무리 ‘혁명적’이라고 하더라도 전체적으로 일자리 수가 감소하기보다는 다양한 계층 간 소득의 균형을 바꿔놓음으로써 불안정성을 확대하는 것이 현재와 같이 기술진보가 광범위하고도 급속하게 일어날 때의 주된 도전이 될 것이며, 일자리의 질과 삶의 질에 새로운 정치・사회적 도전을 제기함

■ **기술혁신 요인은 2030년까지 직업의 고용 증감보다는 직무보완에 더 큰 영향을 미칠 것으로 전망되어 기술이 고용을 대체할 영역이 많지 않을 전망**

- 제조업 비중이 큰 장치, 기계조작 및 조립 종사자와 전 업종에 고르게 분포하는 단순노무 종사자의 경우 자동화에 따른 영향을 직간접적으로 받기 때문에 기술의 고용대체 가능성에 대한 높은 우려 존재
- 기술진보가 고용 증감에 미치는 영향이 큰 직업으로 단순노무 종사자(-19.0%), 판매 종사자(-15.5%), 장치·기계조작 및 조립 종사자(-13.2%), 사무 종사자(-12.5%)로 이들 직업군은 생산직에 종사하는 비중이 높은 직업이거나 단순 반복적인 업무를 수행하는 직업으로 나타남

### (6) 글로벌 핵심인재 부족과 창의적 융합인재의 중요성 부각

■ **WEF과 BCG에 의한 새로운 연구는 몇 년 후 핵심인재 부족의 위기가 세계모든 지역에 영향을 줄 것이라는 설득력 있는 증거들을 제공**

- 에드워드 고던은 전 세계적으로 과학, 기술, 공학 그리고 수학 기술들을 가지고 있는 인력들과 대부분 산업에서 다른 고급 교육을 받은 전문가들 사이에서 치열한 경쟁이 일어날 '핵심인재의 공급과 직무 요구사항들 사이의 불균형'을 설명
- '핵심인재 관리'에서 '핵심인재 창조' 전략으로 전환될 전망이며, Global Talent Risk-Seven Responses 보고서의 공급과 수요분석은 핵심인재의 부족은 수십 년간 지속될 것이며, 다가올 미래에 오랫동안 인적자원 관리와 경영방식을 새롭게 정의하게 될 것으로 전망
- Global Talent Risk 보고서에서 25개국 13개 산업과 10개 직업군을 대상으로 인력에 대한 수요와 공급을 모의 실험한 결과, 미국, 유럽, 러시아는 핵심인재에 대한 엄청난 부족 사태에 직면할 것으로 전망
- 핵심 인재부족은 선진국들과 개발 도상국들에게 다른 방식으로 영향을 줄 전망으로, 예를 들면 선진국들의 핵심인재 부족은 미국의 커뮤니케이션, 정보기술, 무역, 의료산업에 종사하는 채용담당자들을 괴롭힐 것이며, 감소하는 출생률 때문에 인재 발굴은 서유럽과 미국의 경영자들에게 긴급한 쟁점이 될 것
- 또한, 2030년경 유럽은 적어도 2,400만 명의 노동력을 증가시켜야 하고, 미국은 2,500만 명 이상의 노동력을 증가시킬 필요가 있으며, 특별히 학부와 대학원 학위를 가진 전문가들이 절실히 필요할 것으로 전망

## 3. 시사점

■ **미래사회 및 산업을 둘러싼 메가트렌드 분석을 통해 2030년 산업혁신에 영향력이 크고 집중해야 할 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 분야의 핵심적인 트렌드 도출**

■ **건설산업 패러다임 변화에 따른 중소규모 건축물의 해체 및 부분해체 공사 증가에 대응한 안전해체 및 폐기물 자원화 기술개발 필요**

■ **건축물 해체공사의 안전 확보 및 건축폐기물 최종처리에 관한 대책 마련 필요**

■ **기술 융·복합화를 통한 기술 패러다임 변화는 우리나라 주요 산업군인 자동차, 조선, 항공, 건설, 에너지, 의료산업 분야에 생산성 향상을 포함한 다양한 긍정적 영향을 미침**

# 2절. 국내·외 동향 조사

## 1. 국내·외 정책 동향

### 1.1. 국내 정책 동향

#### 1.1.1. 2022년 국토교통부 주요업무 추진계획

**(1) 건설관련 주요 정책성과 및 미흡점 분석(문재인 정부 4년 반 성과)**

■ **(지역활력)** 도시재생 뉴딜을 통해 사업지 내 생활SOC(주차장 등) 1,202개 확충, **집수리 및 빈집 정비 등으로 노후주택 1.4만호 개량** 등 정주여건 개선

■ **(건설안전)** 건설안전 강화대책(6회)을 통한 현장점검 및 취약요인 관리 강화(맞춤형 대책 5회), **건축물 해체공사 안전강화방안 마련('21.8)**

■ **(건설안전)** 사망자 수는 감소세이나 타산업 대비 비중이 여전히 높고, 광주 해체공사 붕괴 사고 등 대형사고 발생으로 국민 불안 고조

- 건설 사망자/전체 산재 사망자: (' 17)52.5% → ( '20)51.9% → (' 21.1~9)50.1%

그림 2.3 2022년 국토교통부 주요 업무 추진계획
<출처: 국토교통부(2021.12), 주요업무 추진계획>

**(2) 주요 업무추진 방향**

■ **(건설안전)** 산재에 취약한 **건설현장의 안전 확보**를 위해 **제도 정비 및 현장 관리 강화를 추진**하고 **건축물 및 노후 기반시설 관리 강화**

■ **(건설산업)** 종심제의 기술변별력 제고 및 공정성 강화*를 추진하고 구조혁신 현장 안착, BIM **등 스마트 기술 의무화**를 통해 체질 개선

* 평가완료 이후에는 평가위원의 평가 전반에 대한 사후평가를 실시하고, 객관성·공정성 등을 미확보한 것으로 판단되는 경우 POOL에서 해당위원 배제 등 방안 마련( '22.4)

■ **(산업혁신)** 건설·물류·철도산업 **스마트화** + 해외수주 지원체계 고도화

■ **(주택정비) 15년 이상 노후임대주택 그린리모델링 9.3만호 추진, 30년 이상 주택 재정비 추진**을 위한 입주자 이주 지원방안 등 마련

■ **(기축건물) 공공 그린리모델링 의무화** 방안 마련('22.6), **민간 그린리모델링 촉진을 위한 세제·지원금 등 지원방식 다각화**(~'22.12)

■ **건설안전 기반마련 및 관리 강화**

- **(제도 기반) 중대재해법 시행(' 22.1)**에 대비한 **현장 가이드라인 마련, 건설주체별 안전책무를 강화**하는 ①**건설안전특별법 제정( '22.상반기) 추진**

- 건설현장 불법하도급 차단을 위한 **징벌적 손해배상 도입**, 원스트라이크 아웃 등 **등록말소 강화(' 22.3, ② 건설산업기본법 개정)**

- **건축물 해체공사 안전을 위해 해체계획서 작성을 내실화**하고, **허가대상 확대**( '22.3, ③ 건축물관리법 개정)하는 등 ' 건설안전 3법 ' 정비

- **(현장 관리)** 건설안전 제도의 현장 이행력 확보를 위한 **점검대상·인력 확충, 고강도 불시점검**(지방청 점검대상 약 40%) 실시

  * (현장점검 대상) ' 21. 19,600개소 → '22. 22,600개소, (점검인력) ' 21. 199명 → '22. 308명

- **건축물 해체현장 점검체계를 마련**하고(' 21.9), 스마트 안전장비와 공장 사전제작(OSC) 활성화, 안전 컨설팅 확대( '21. 24사, → ' 22. 100사)

그림 2.4 건설현장 안전 확보 및 시설물 관리 강화 계획

<출처: 국토교통부(2021.12), 주요업무 추진계획>

### 1.1.2. 2021년도 정부연구개발(R&D) 투자방향 및 기준(안) 제시

■ 2021년 과학기술정보통신부 정부연구개발 투자방향 및 기준(안)('20.3) → 3대 분야 10대 중점 투자 방향 제시

- 주력산업 업종별로 스마트화, 친환경화, 융복합화를 위한 기술개발을 지원하여 주력산업을 미래 고부가가치 품목으로 전환
- 국민의 안전한 삶을 위한 지원 강화, 대형·복합재난에 전략적으로 대응하기 위한 범부처 협력 R&D와 대국민 수요조사에 기반한 국민체감형 R&D 지원 강화

그림 2.5 2021년 3대 분야 10대 중점투자방향
<출처: 과학기술정보통신부(2021.3), 2021년도 정부연구개발 투자방향 및 기준(안)>

■ **(투자방향-건설·교통) 시설물·건축물의 안전성 제고**, 신속·편리한 교통체계 마련, 건물 에너지 절감 등 **삶의 질 향상 분야에 지속 투자**하고, **스마트건설**·미래 이동수단 등 **혁신성장 동력 강화에 투자**

■ **(투자방향-환경·기상)** 미세먼지, 생활폐기물, 화학물질 등 **생활환경 위해요소 저감·관리를 위한 문제해결 중심의 투자** 확대

**※ 2021년 기준 유사 국가과제 사업**

○ 사업명 : 2021년도 제 3차 국민생활안전 긴급대응연구사업(한국연구재단)

○ 과제명 : 스마트 기술을 이용한 건축물 해체의 안전 모니터링 시스템 개발

○ 연구비 : 333.33 백만원

○ 주관기관 : 조선대학교 조창근 교수(건축공학과)

○ 주요 연구내용

1) 건축물 3D 스캐닝, 레이저 센서, 화상 이미지 센싱 기술을 이용한 해체건축물 실시간 모니터링 기술의 개발

- 사전조사용 모니터링: 3D 스캐닝 및 사전조사를 통한 해체 대상 건축물의 스캔 데이터 기반 도면화, 시공오차분석, 구조물 역해석을 통한 해체 기술 및 절차 제시
- 해체공사 실시간 모니터링: 레이저 센서를 통한 해체 진행중 건축물의 변위, 가속도 등 발생 감지 및 내외부 실시간 모니터링 기술 개발
- 공사정보 아카이빙: 해체 대상 건축물의 이미지 센싱에 의한 해체 중 건축물의 결함 및 변위, 변형률 평가

2) 해체 건축물의 스마트 실시간 모니터링 시스템을 이용한 해체 프로세스 개발

- 해체공정 결정: 건축물의 구조형식에 따라서 부재 해체 순서 및 방법 등의 프로세스 개발
- 해체안정성 평가: 해체 대상 건축물의 해체 단계에 따른 안전성 변화 평가 방법과 부재 해체 프로세스 개발
- 위험경보: 실시간 모니터링 시스템을 활용한 건축물 붕괴위험 발생 경보 시스템 개발
- 현장적용: 실 해체건축물의 내외부 실시간 스마트 모니터링 기술의 현장적용 및 분석

## 1.1.3. 건축물 안전관리 강화

■ 2019년 1월 **건축물의 안전점검 방식을 개선**하고 **관리자의 책임을 강화**하는 등의 **'노후 건축물 안전관리 대책'을 발표**하고, 3월에는 기존 건축물 안전정책을 담당하는 '건축안전과' 신설

- 건축물의 관리 범위를 확대 적용하는 「건축물관리법」이 제정되어 2020년 5월 1일부터 시행
- 노후 건축물 증가에 따른 정부 차원의 유지 및 해체공사 안전관리 대책 수립
- 해체공사를 위한 설계 - 시공 - 현장관리 · 감독 - 사후 점검 등의 체계 개선 필요성 인식

그림 2.6 건축물 해체과정 중 건축물 붕괴(나산백화점, 잠원동 상가 건물)

<출처: JTBC 보도화면, 2019.7.4.>

### 1.1.4. 신정부 국정운영 5개년 계획

■ 재개발·재건축·리모델링을 활성화 하여 수요가 있는 곳에 주택 공급 정책 발표

- 재건축 안전진단 완화개선, 재건축 초과이익 환수제 완화, 분양가 규제 운영 개선을 통한 재건축 활성화 → 전면 해체공사 증가로 연계 됨

■ 1기 신도시 재정비를 통한 차세대 명품 도시로 변환

- 1기 신도시 재정비사업 촉진을 위한 특별법 제정

<표 2.3> 신정부 공약 중 해체공사 및 자원화 관련 내용

| 번호 | 관련 내용 |
|---|---|
| 07.<br>주택공급 확대, 시장기능 회복을 통한 주거안정 실현<br>(국토부) | **(주택공급 확대 및 조기화)** 분양가상한제, 재건축 부담금, 안전진단 등 정비사업 관련 제도를 합리적으로 조정하여 도심 공급 촉진<br>**(10만호 이상 공급 기반 마련)** 1기 신도시 재정비사업 촉진을 위한 특별법 제정 |
| 89.<br>재활용을 통한 순환경제 완성<br>(환경부) | **(순환경제로 전환)** 대량생산-폐기로 이어지는 선형경제를 벗어나 재활용 전 과정에서 폐기물 감량 및 고부가가치 재활용을 확대하는 순환경제로 전환<br>**(쓰레기 처리 방식의 전환)** 매립·소각 방식에서 열분해 방식으로 전환 |
| 69.<br>국민이 안심하는 생활안전 확보 | **(건설·건축안전 관리)** 건설공사 안전관리 체계의 혁신적 개선, 건설공사의 품질과 안전 확보 강화 |

<출처 : 윤석열 정부 국정과제, 2022.05.>

### 1.1.5. 도시재생 뉴딜정책 시행[9)]

■ 정부는 6가지 유형의 **15개 세부 도시재생 사업을 발표**하였으며, **저층 노후주택과 관련해서는 저층 노후주거지의 재생모델 사업을 추진**

■ 유형별 사업은 저층 주거지 재생형 사업(기존 주택 매입 후 공공임대주택으로 활용), 정비 사업 보완형 사업(소규모 노후 주거지를 정비), 역세권 정비 사업(노후 철도역사 등 개발, 청년주택 공급), 공유재산 활용형 사업(공공청사 등 공유재산을 활용), 혁신공간 창출 사업 등으로 추진함

■ 정부는 도시재생 뉴딜과 관련하여 2017년부터 매년 100곳씩 5년 동안 노후주거지 500곳에 총 50조원(연간 10조원 규모, 재정 2조원, 기금 5조원, 공기업 투자 3조원 등)을 투자하고 도시재생 뉴딜사업은 기존 중앙 주도의 대규모 도시재생 사업의 한계를 극복하기 위해 지자체가 주도하고 중앙정부가 적극 지원하는 소규모 지역주도(bottom-up) 방식으로 추진함

9) 관계부처 합동, 내 삶을 바꾸는 도시재생 뉴딜 로드맵, 2018. 3.17.

그림 2.7 도시재생 뉴딜 개념도

## 1.1.6. 그린 리모델링사업 인증제도[10)]

■ 국토교통부에서는 그린 리모델링 사업을 실시하여 2014년부터 2만여 건의 노후건축물이 에너지절감형 건축물로 재탄생되도록 지원하고 있음

- 그린 리모델링 사업이란 노후 건축물의 창호교체 등 에너지 성능개선 공사를 추진할 때 초기 사업비는 은행에서 저리로 대출하고 매년 절감되는 에너지 비용으로 사업비를 상환할 수 있게 한다는 개념임
- 심사기준은 그린 리모델링 시 반드시 고려해야 하는 단열강화, 에너지 및 수자원 절약, 친환경 내장재 사용 등으로 구성되며, 최우수(그린 1등급)를 획득하는 건축물은 5년간 최대 3%의 재산세 감면혜택을 부여함
- 그린 리모델링을 영위하는 사업자는 총 394곳이 존재하며 업종별로는 전문건설업(109), 종합건설업(99), 건축 설계업(86) 순임

■ 공공사업은 모든 공공건축물에 대하여 사업기획지원과 시공지원을 수행함

- 시공지원은 기술지원, 시공비 지원을 수행하며, 사업 이후 3년 간 에너지사용량 조사 및 사용자 설문에 의한 모니터링을 지원함
- 사업기획지원은 노후건축물 현황평가와 설계컨설팅을 수행하며, 노후건축물 현황평가는 건축물 현황조사와 현장 기초조사, 현장 측정, 에너지 컨설팅을 수행하고 설계컨설팅은 기획설계, 에너지절감량 예측, 최적사업비 검토로 구성됨
- 공공사업은 '13년 이후 사업기획 지원 사업에서 130건, 시공지원 사업에서 135건 신청되어 총 265건의 사업 실적을 달성함

■ 민간 이자지원 사업은 공사 시작 전의 모든 유형의 민간사업을 대상으로 단열향상, 에너지관리장치, 신재생에너지 공사, 에너지 성능개선 관련공사, 부대공사 등에 대해 2~4%의 이자를 지원함

10) 한국토지주택공사 그린리모델링창조센터 홈페이지(www.greenremodeling.or.kr)

- 이자는 5년간 지원하며, 그린 리모델링 사업비는 5년 이내 분할상환

■

- 민간 이자지원 사업에서는 2018년 1분기 1,207건, 12,914백만 원의 실적을 올렸으며, 4년 간 총 20,605건, 276,811백만 원의 실적을 올렸음

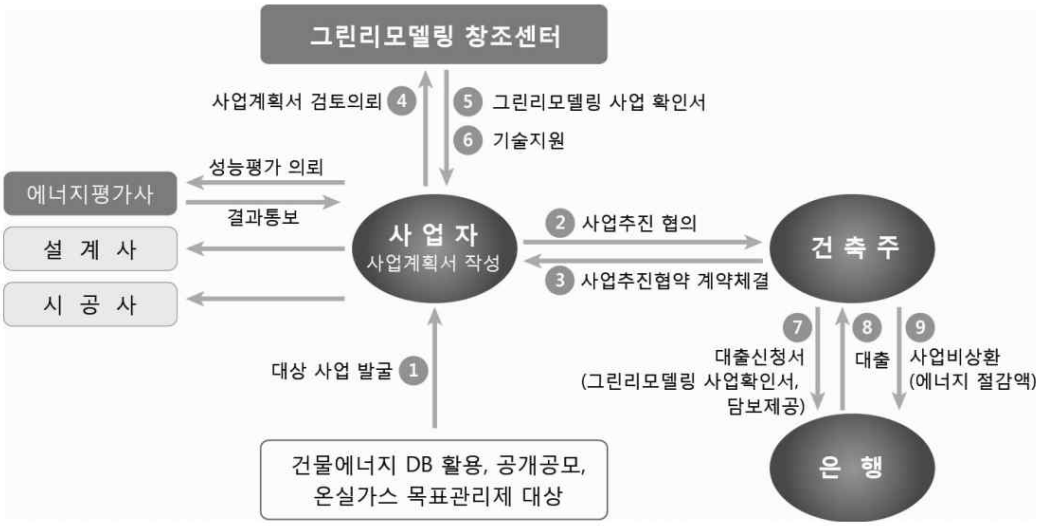



그림 2.8 그린리모델링 사업추진 및 예산 확보방안

<출처 : 그린리모델링 사업기획 가이드라인, 그린리모델링 창조센터, 2016.05.>

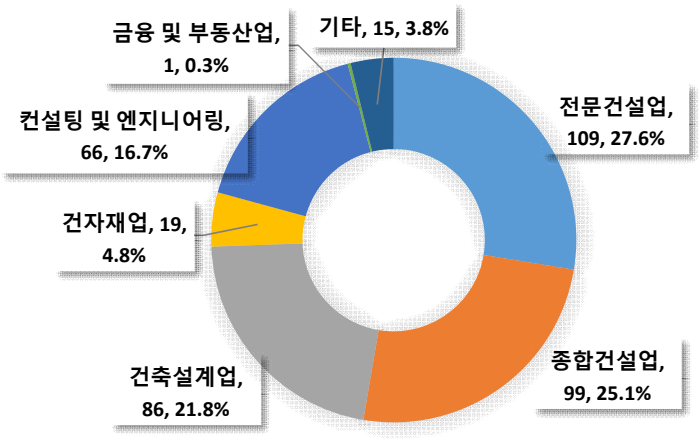



그림 2.9 그린리모델링 사업자 현황(2018.4. 기준)

<자료 : 그린리모델링 사업기획 가이드라인, 그린리모델링 창조센터, 2016.05.>

## 1.1.7. 국토교통부 건축물 안전강화 종합대책[11)]

■ 국토교통부 건축물 안전강화 종합대책(`14) : 불법행위를 감독하는 건축안전 모니터링 사업을 포함한 건축물 안전강화 종합대책 추진

- 동 계획에서는 불법행위에 대한 책임 강화, 불법행위 적발 체계 강화, 맞춤형 안전관리 체계 구축, 안전제도의 사각지대 해소 등이 포함됨
- 불법 설계 또는 시공 등의 불법행위에 대한 책임을 강화해 처벌 대상자의 확대 및

11) 국토교통부 보도자료, “국토부, ‘건축물 안전강화 종합대책’ 발표”, 2014.12.17.

벌급 수준의 향상, 건축관계자 배상책임보험 제도(PLI)의 검토 등이 포함됨

- 지자체의 지역건축센터를 설립하도록 하여 구조도서의 검토, 공사현장 조사·감독의 업무를 수행하게 하며, 건축안전 모니터링 실시로 부실사항을 적발할 계획임
- 인명 피해 예방을 위한 난연재료 사용기준, 구조안전 기준 등을 건축물의 규모와 용도에 관계없이 확대 적용하게 되며, 준공된 건축물의 안전관리 강화를 위해 보수·보강에 대한 인센티브 확대 등을 시행할 계획임

그림 2.10 건축물 안전강화 종합대책

〈자료 : 건축물 안전강화 종합대책, 국토교통부, 2014.12.〉

## 1.1.8. 국토교통과학기술 연구개발 종합계획[12)]

■ ‘국토교통과학기술 연구개발 종합계획

- 계획기간 2018~2027년의 10년, “건설교통 R&D 중장기계획”, “국토교통 R&D 중장기전략”, “국가교통기술개발계획”을 폐지하고 국토교통 과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획으로 수립

■ 혁신성장동력 국가경쟁력과 삶의 질 만족도, 연구환경 만족도를 3대 목표로 수립하여 국가 연구개발의 역량 향상 및 실제 국민의 삶의 질 향상으로 이어질 수 있는 과제 추진에 역점

- 국민의 주거 만족도를 높이는 “쾌적·안전 주거환경”과 누구에게나 차별없는 교통복지를 실현하는 “편리한 교통환경”, 그리고 각종 사회문제 발생에 따라 제기되는

12) 국토교통부, 국토교통과학기술 연구개발 종합계획, 2018.06.

“다양한 사회이슈해결” 기술개발을 목표

- 안전측면에서 현재 우리나라는 주택 및 시설물의 노후화 문제로 인한 안전도 우려가 있다는 사회이슈를 겪고 있으며, 이에 대비하여 안전한 도시환경을 실현하려는 목적으로 노후 도시지역 화재·침수·붕괴 방지를 위한 소단위 주택·건물 리모델링 기술 등의 개발 및 실증으로 지속가능한 도시기능 구현을 주요추진 과제로 설정하였음
- 그 외에도 ‘친환경 생활공간 조성기술 개발’ 등 국민의 삶의 질 향상을 위한 과제들을 중점적으로 다루고 있음

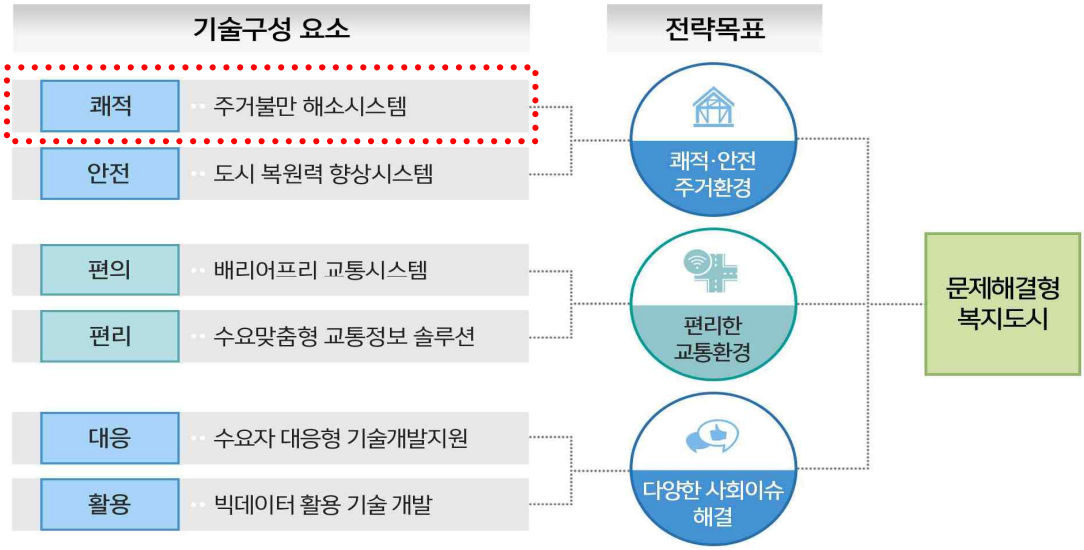



그림 2.11 ‘사회이슈 해결형 기술 개발’ 과제의 기술전략 트리
<출처 : 국토교통부, 국토교통과학기술 연구개발 종합계획, 2018.06.>

### 1.1.9. 주택자재산업육성 기본계획[13)]

■ 주택자재 산업육성 기본방향 수립(`17)

- 국내 주택자재 시장은 과거 고도 경제성장과 급격한 인구증가에 따른 주택 부족난을 해소하기 위한 일방적인 공급자 위주의 시장이었음
- 주택시장의 패러다임 변화는 주택자재 시장에서도 대량공급 위주의 신축시장을 대상으로 한 B2B(Business to Business) 시장에서 소규모·소량 공급 방식의 일반 거주자나 인테리어업자, 리모델링업자를 대상으로 한 B2C(Business to Consumer) 시장의 확대가 예상됨
- 국내 주택자재 산업을 육성하기 위하여서는 최우선적으로 그림과 같이 국내 주택자재 산업을 조직화하고 체계화하기 위한 정비작업이 필요함

13) 이세현, 주택자재 산업육성 기본계획 수립, 한국건설기술연구원, 2017.01.

그림 2.12 주택자재 산업환경의 패러다임 전환

<자료 : 이세현, 주택자재 산업육성 기본계획 수립, 한국건설기술연구원, 2017.01.>

그림 2.13 주택자재 산업육성 기본방향

<출처 : 이세현, 주택자재 산업육성 기본계획 수립, 한국건설기술연구원, 2017.01.>

## 1.1.10. 건축물 해체계획서 작성 매뉴얼 및 표준서식 배포

■ 건축물 해체계획서의 작성 및 매뉴얼 및 표준서식 배포 :

- 감리업무 등에 관한 기준(국토교통부 고시 제2022-1539호, 2021.12.31)의 이해를 돕기 위해 2022년 1월 건축물 해체계획서 작성 매뉴얼 및 표준서식을 배포
- 건축물 해체공사 제도의 안정적 정착을 위해 발주자, 시공자, 감리자 등 관계자들의 업무와 해체계획서 작성 절차, 내용 등에 대해 세부사항을 설명하고 가이드라인을 제시

■ 관련 법령 및 규정

- 『건축물관리법 시행규칙』 2제12조 (해체계획서의 작성)에 따라 해체계획서 개요 등에 필요한 사항을 정하도록 함에 근거하여 작성됨

**건축물 관리법 시행규칙 제12조(해체계획서의 작성)**

① 법 제30조제2항 본문에 따른 해체계획서에는 다음 각 호의 내용이 포함되어야 한다.

1. 해체공사를 수행하는 자 및 해체공사의 공정 등 해체공사의 개요
2. 해체공사의 영향을 받게 될 「건축법」 제2조제1항제4호에 따른 건축설비의 이동, 철거 및 보호 등에 관한 사항
3. 해체공사의 작업순서, 해체공법 및 이에 따른 구조안전계획
4. 해체공사 현장의 화재 방지대책, 공해 방지 방안, 교통안전 방안, 안전통로 확보 및 낙하 방지대책 등 안전관리대책
5. 해체물의 처리계획
6. 해체공사 후 부지정리 및 인근 환경의 보수 및 보상 등에 관한 사항

② 허가권자는 법 제30조제3항에 따라 제출받은 해체계획서에 보완이 필요하다고 인정하는 경우에는 기한을 정하여 보완을 요청할 수 있다.

③ 국토교통부장관은 제1항에 따른 해체계획서의 세부적인 작성 방법 등에 관해 필요한 사항을 정하여 고시해야 한다.

■ 건축물 해체계획서 작성 매뉴얼의 적용대상은 「건축물관리법」이 제정된 2020년 5월 1일 이후 진행되는 해체공사 허가대상 건축물을 대상으로 하며, 신고대상인 소규모 건축물은 적용대상 제외

## 1.1.11. 분별해체공사 의무화

■ 분별해체공사 의무화 : 연간 8,600만톤 이상 배출되는 건설 폐기물의 효율적인 재활용을 위해 2021년부터 공공발주 공사에 한해 분별해체공사를 의무화

- 분별해체공사의 의무화는 해체단계에서 건축자재의 성질이 같은 성상별 해체를 실시하여 이물질의 혼합을 최소화함으로써 재활용을 원활하게 하고 비용 절감을 통한 경쟁력이 있는 순환자원 공급에 목적이 있음

그림 2.14 분별해체 공사 의무화
<출처 : 뉴스투데이, 부산MBC, 2021.04.27>

## 1.1.12. 건설산업 BIM 기본지침 (국토교통부)

■ 건설정보 모델링(BIM)은 건설 전체 단계의 정보를 통합 활용할 수 있고, 각 단계의 관계자들 간에 효율적인 소통, 그리고 건설 프로세스의 생산성, 시공성, 효율성을 극대화 할 수 있는 스마트 건설의 핵심 수단으로 보고 있음

- 2020년 12월 BIM 기본지침을 발간하여 발주자, 수급인, 건설사업 관리자 등이 활용할 수 있는 기본원칙과 기준, 그리고 절차와 방법 등을 제시하였음

■ (디지털화) 코로나 19의 여파로 산업 전반에 걸쳐 디지털 기술의 영향력이 확대되었으며, 특히 기존 산업 환경에 4차산업 기술과의 융·복합 적용하려는 기술투자 증가

- 정부의 연구개발(R&D) 예산 증가율은 2020년 전년대비 18.0%, 2021년 13.1% 증가하였으며, 2022년은 8.8% 증가한 29.8조원으로 의결됨.

- 이는 GDP 대비 정부 R&D 투자는 세계 1위, GDP 대비 전체 R&D 투자는 세계 2위를 기록[14)]

<표 2.4> BIM 도입 효과

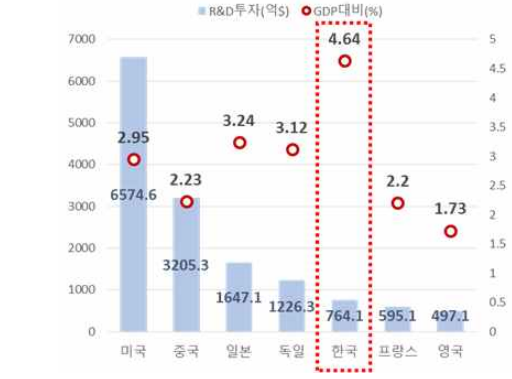
| 발주자 | 수급인<br>(설계, 시공, 유지관리 등) | 건설사업 관리자<br>(감리, CM, PM 등) |
|---|---|---|
| - 문서 오류 및 누락 최소화<br>- 협업과 의사소통 강화<br>- 재작업 감소<br>- 건설비용 감소<br>- 건설기간 단축<br>- 민원 및 소송 감소<br>- 건설정보의 통합관리 및 활용 강화 | - 협업과 의사소통 강화<br>- 설계·시공 오류 최소화<br>- 설계변경 및 재작업 감소<br>- 설계·시공비용 감소<br>- 프로젝트 리스크 저감<br>- 생산성 개선<br>- 현장의 안전성 확보 | - 발주자-수급인과의 협업 및 의사소통 강화<br>- 사업수행의 관리 전문성 강화<br>- 적극적인 신기술 도입<br>- 사업의 공기, 비용 및 품질관리 강화<br>- 건설정보의 디지털화 강화 |

14) 한국건설산업연구원, 건설동향브리핑 제 837호, 2021.

[ 정부 R&D 투자 ]

| | 1위 | 2위 | 3위 | 4위 | 5위 |
|---|---|---|---|---|---|
| GDP대비 | 한국 | 노르웨이 | 독일 | 덴마크 | 핀란드 |
| (%) | (1.09) | (1.02) | (0.98) | (0.88) | (0.84) |

[ 국가 R&D 투자 ]




| | 1위 | 2위 | 3위 | 4위 | 5위 |
|---|---|---|---|---|---|
| GDP대비 | 이스라엘 | 한국 | 대만 | 스위스 | 일본 |
| (%) | (4.94) | (4.64) | (3.46) | (3.29) | (3.24) |

그림 2.15 GDP 대비 R&D 투자 현황

## 1.1.13. 건설공사 비산먼지 배출

■ 비산먼지란, 일정한 배출구 없이 대기중에 직접 배출되는 먼지로서, 5um~100um 범위의 입자크기를 갖는 먼지를 비산먼지, 약 10um 이하를 미세 먼지로 분류함

- 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법이 개정 : 2019년 2월 국무총리 산하 미세먼지 저감 특별대책 위원회가 신설되어 강력한 미세먼지 저감 정책을 시행하고 있음
- 『미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법』은 미세먼지 농도가 심각한 수준에 이르면, 이를 저감하기 위한 권한과 조치를 지방자치단체에 부여하는 등의 내용을 담은 법안임
- 국가와 지방자치단체가 미세먼지가 국민에게 미치는 영향을 파악하고, 미세먼지로부터 국민의 건강과 생명을 보호하는데 필요한 시책을 수립·시행하도록 의무화하는 내용을 명시하고 있음
- 한편, 미세먼지가 2021년 2월 13일 국회 본회의에서 “사회적 재난”으로 입법 통과되었으며, 이에 따라 건설현장의 미세먼지에 대한 법적 규제가 한층 강화될 전망

그림 2.16 미세먼지 국가 재난 규정(2021.02.13)

■ 국내 **건설현장의 비산먼지**는 **대기환경보전법 제43조, 동법 시행령 제44조**, 그리고 동법 시행규칙 제57조와 제58조(비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 및 필요한 조치)에 따라 관리되고 있음

| **대기환경보전법 제 43조** |
|---|
| **제 43 조 (비산 (비산 )먼지의 규제** ) ① 일정한 배출구 없이 대기 중에 직접 배출되는 먼지(이하 "비산먼지 "라 한다 )를 발생시키는 사업으로서 **대통령령으로 정하는 사업을 하려는 자는 환경부령으로 정하는 바에 따라 시 ·도지사에게 신고하고** 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치하거나 필요한 조치를 하여야 한다. 이를 변경하려는 때에도 또한 같다.<br>② **시 ·도지사는 제 1 항에 따른 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설의 설치 또는 필요한 조치를 하지 아니하거나 그 시설이나 조치가 적합하지 아니하다고 인정하는 경우에는 그 사업을 하는 자에게 필요한 시설의 설치나 조치의 이행 또는 개선을 명** 할 수 있다.<br>③ 시 ·도지사는 제 2 항에 따른 명령을 이행하지 아니하는 자에게는 **그 사업을 중지시키거나 시설 등의 사용 중지 또는 제한하도록 명** 할 수 있다. |

## 1.1.14. 폐기물 관련 정책

■ **분별해체공사 의무화('21.5) 시행** 및 정비사업 현장배출량 대비 최대 **50% 자원화 제품 사용 의무화('22.6) 도입 예정**

- 대량생산-대량소비-대량폐기 시스템으로는 현재의 당면한 위기인 환경·자원·에너지 위기 극복에 한계가 있음
- 생산·유통·소비·폐기 등 전 과정에서의 폐기물 발생을 억제하고, 발생된 폐기물과 순환이 가능한 자원을 재활용하여 천연자원 소비를 최소화하는 "자원순환사회"로의 전환이 시급함
- 정부는 과거 재활용 확대, 감량, 처리 효율화를 환경 정책 기조로 삼았던 반면, 현재는 폐기물의 재활용, 순환을 강조하는 방향으로 변화되고 있음
- 정부는 2016년 생산-소비-관리-재생에 이르는 전 과정을 다루는 자원순환 정책을 추진하기 위해 자원순환기본법 제정

- 2018년 폐기물처분 부담금, 자원순환성과 관리, 순환자원 인정 제품 등의 유해성 및 순환이용성 평가 제도를 도입하여 폐기물 발생 억제와 순환 이용 도모

〈표 2.5〉 폐기물 정책 패러다임의 변화

| 구분 | 과거 정책 방향 | 새로운 정책 방향 |
|---|---|---|
| 정책여건 | 폐기물로 인한 환경오염 심화 | 기후변화, 원자재·에너지 고갈 |
| 목표 | 쾌적한 생활환경 조성 | 자원순환사회 구축 |
| 추진전략 | 감량 → 재활용 →처리 | 효율적 생산/소비 → 물질 재활용 → 에너지 회수 → 처리 선진화 |
| 주요과제 | 생산자 책임 재활용 제도 및 처리시설 설치 | 자원순환성 평가, 재활용 품질 인증, 에너지화, 처리 광역화 |
| 핵심개념 | 폐기물 | 자원(순환/천연) |

출처 : 환경백서, 키움증권(2020) 재인용[15)]

## 1.1.15. 자원순환기본법[16)]

■ **지속가능한 자원순환사회 기반 구축**을 위해 2018년 1월 1일부터 **「자원순환기본법」 시행**

- 자원순환기본법은 순환자원 인정, 자원순화 성과관리, 제품 순환이용성 평가, 폐기물 처분부담금 등 제품의 생산부터 유통·소비·폐기에 이르는 전 과정에서 폐기물의 발생을 줄이고, 재활용을 촉진하기 위한 신규 제도를 포함하여 제정
- 즉, 제품의 생산단계부터 폐기물의 발생을 최소화하고, 발생된 폐기물은 순환이용이 가능하도록 자원의 선순환 사회를 만드는 것이 입법 취지임

그림 2.17 자원순환기본법 하위법령 입법예고
〈출처 : 카드뉴스, 환경부, 2017.06.16〉

15) 순환경제 사회 전환을 위한 폐기물처리 및 재활용시장의 산업분석과 기술전략, 2021.
16) 자원순환기본법 시행 이후 국내기업 대응 동향, 환경부, 한국환경산업기술원, 2020.

## 1.2. 국외 정책 동향

### 1.2.1. 일본

#### (1) i-Construction[17)]

■ 일본은 **건설생산성 향상 대책 마련**을 위해 2016년도부터 **i-Construction 건설정책을 수립하여 추진** 중

- ICT를 도입하여 건설생산시스템 전체의 생산성 향상을 i-Construction은 측량, 설계, 시공, 검사, 유지관리에 이르는 모든 사업 과정에서 목표로 함

■ **(추진체계) 산·학·민·관 협력을 목적**으로 조직. 국가와 지자체, 건설관련 기업의 요구와 대학, 연구소 및 기업 등이 가진 뛰어난 기술을 융합하여 **현재 1,700건 이상의 건설업계의 요구와 건설 현장에 다수 적용**되고 있음

■ **(발주현황)** 일본 **국토교통성의 i-Construction 발주현황은 계속해서 증가 추세**에 있으며, 발주자 지정형·시공자 희망형 발주도 57% 확대할 예정이라고 발표

- 지방자치단체의 경우, 발주 자치단체 수는 279% 증가했으며, 공고 수도 1,457% 증가되어 향후 자치단체 발주수와 공고수가 일본 국토교통성 공고수를 추월할 것으로 예상됨

■ **(적용 효과)** 일본 국토교통성 2017년 ICT 토공 효과분석 보고서에 의하면, 그림 2.00에 보인 바와 같이 **착공측량에서부터 준공검사까지 토공에 걸리는 시간이 31.7일 단축**됨

- 당초 일본 국토교통성이 목표로 한 생산성 20% 향상과 일치되는 결과라 할 수 있음

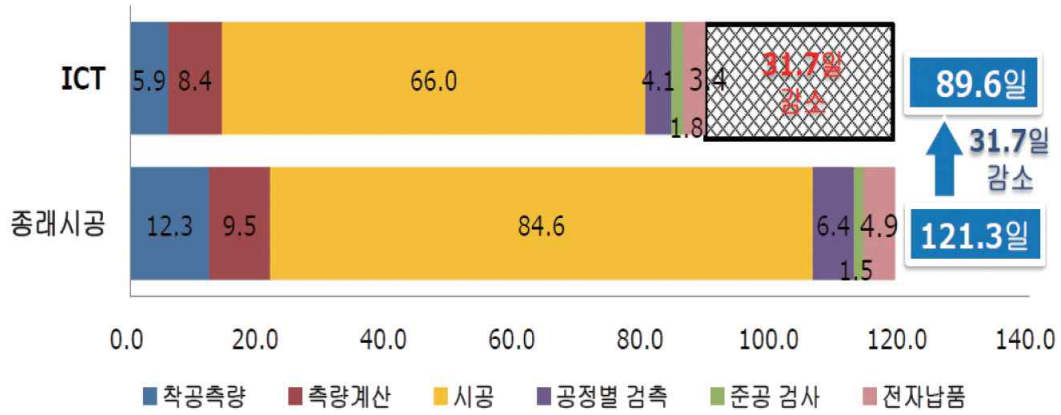



그림 2.18 일본의 i-Construction 적용 결과

<출처 : 한국건축시공학회지(2018.12), 일본 i-Construction>

■ 2020년 BIM 활용 확대를 위해 **「건축 분야 BIM 표준 업무 절차(Work flow) 및 활용 방안에 관한 지침(제1판)」** 발표

- 지침 기반의 BIM 도입 활성화 및 효과검증을 위해 '민간사업자 대상 협력·지원정책(공모사업)'을 펼쳐 건설 산업에 BIM이 원활히 정착할 수 있도록 유도[18)]

- 도큐건설 '증축공사에서 BIM 모델 활용 생산성 향상 검증'으로 사업 참여, 기존

17) [특집] 일본 i-Construction, 한국건축시공학회지, 18권 4호, 2018.
18) 한국건설산업연구원, 건설동향브리핑 제 825호 '최근 일본 BIM 활성화 정책 추진 동향과 시사점', 2021.

건축물 대상으로 디지털 측량한 포인트 클라우드 기반으로 BIM 모델 생성, 증축공사 시공계획, 자재 수량 적산 등을 검토

그림 2.19 2018년 BIM 프로젝트 효과검증 도큐건설 제안
<출처 : 국토교통성, 건축 BIM 추진회의 번역>

## (2) 건설리싸이클링법

■ **1990년 건설 리싸이클링법을 시작하**였으며, 핵심은 **해체공사 분별해체공사 도입과 특정 건설자재의 재활용**에 관한 것임. 특정 건설자재란 폐콘크리트, 목재, 아스팔트 콘크리트, 건설오니 4개 폐기물에 해당

- 2011년부터 민간 및 공공발주를 구분하지 않고 건설리싸이클링법을 제정하여 연상면적 80m2 이상의 모든 해체 건축물, 도급대금 1억엔 이상 수선 모양변경(리모델링 등) 건축물을 대상으로 분별해체 공사 의무화
- 원청 업자에게 건축물 해체공사(부분해체 공사 포함) 전 사전조사를 필수적으로 실시하도록 규정
- 사전조사는 해체 대상물의 상황, 유해물질 조사, 건설 부산물 리싸이클을 위한 조사, 잔존품의 조사 및 건설폐기물 처리를 위한 조사 등을 포함. 진동 등 주변지역으로의 영향이 예상되는 경우 주변지역의 건축물 조사도 포함
- 이에 따라 2002년 38.2%인 목재 재활용률을 2018년 93%까지 높이는 성과를 이룸. 1995년부터 2018년까지 건설폐기물 자원화 및 배출관리 현황을 분석한 결과 건설폐기물의 배출량은 1995년 연간 9,900만 톤에서 2018년 7,400만 톤으로 1995년 대비 25%가 감소

〈표 2.6〉 건축물 해체폐기물의 리사이클 및 적정처리를 위한 조사 계획절차

| | |
|---|---|
| 1) 사전조사[19] | - 해체대상물의 상황(구조, 규모, 발생재의 예측수량 등), 유해물의 유무, 잔존물, 기타(폐기물 소각시설) |
| 2) 해체계획 폐기물 처리계획의 작성 | - 폐기물 처리방법의 검토(리사이클 및 적정처리 고려) 및 분별해체공법의 검토<br>- -폐기물 처리시설(업자)의 선정 |
| 3) 발주자에게 설명 | - 분별해체공법 처리방법 등의 설명(발주자의 사전신고에 관한 서면) |
| 4) 폐기물처리 위탁계약 | - 폐기물 처리위탁에 대해 처리업자와 2자계약과 처리비용 직접 지불<br>- 해체공사 하 청부계약과 폐기물 처리 위탁계약의 분리 |
| 5) 사전수속 | - 발주자에 의한 사전신고 (착공 7일 전까지)<br>- 비산성 석면 : 계획신고/특별관리산업폐기물(비산성 석면 포함)<br>: 관리책임자 설치신고 |
| 6) 분별해체 | - 건설폐기물과 리사이클 자재 분별 |
| 7) 폐기물처리 | - 분별 품목마다 처리, 리사이클 |
| 8) 사후수속 | - 처리완료에 대해 발주자에게 서면보고 |

- 재활용되는 폐기물의 양은 1995년 5,767만 톤에서 2018년 7,228천만 톤으로 증가
- 특히, 매립·소각으로 최종 처리되는 건설폐기물의 양은 1995년 전체 배출량의 41%에 달하는 4,100만 톤에 달하였으나, 2018년에는 전체 배출량 중 2.7%인 200만 톤만이 매립·소각 처리되었음

■ **일본 건설폐기물의 배출량·최종처분량**

- 배 출 량 : 1995년, 약 9,900만톤 → 2005년, 7,700만톤 → 2018년, 약 7,400만톤
- 최종처분량 : **1995년, 약 4,100만톤 → 2005년, 600만톤 → 2018년, 약 200만톤**

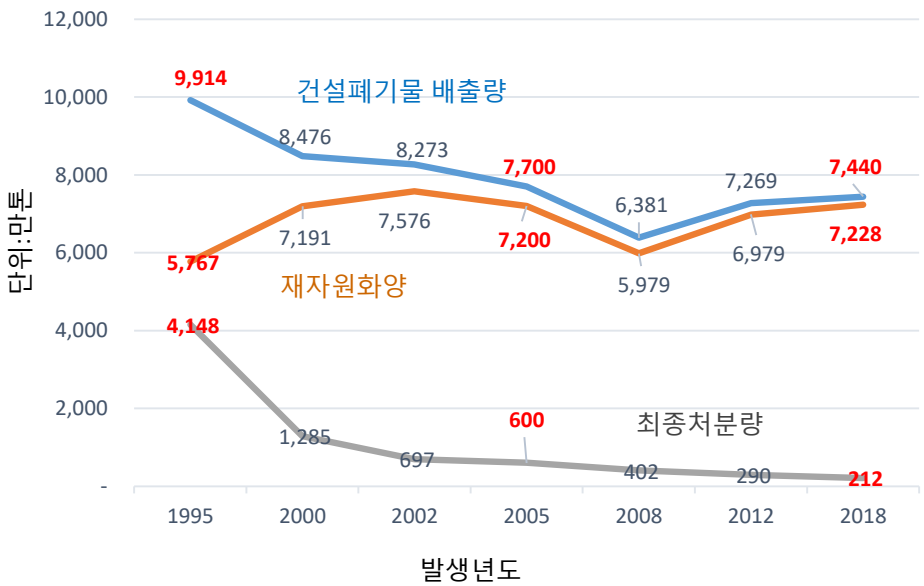



그림 2.20 일본 건설폐기물 배출 및 최종처리 현황
〈출처 : 일본 국토교통성 홈페이지, www.molt.go.jp〉

19) 한국건설기술연구원(2012), 건축물 분별해체 도입방안 마련 연구, 환경부, p.75.

<표 2.7> 일본 건설리싸이클링법 추진 결과 분석

| 대상품목 | 2008 | 2018 | 추진계획 2018 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 2018년 목표치 | 달성현황 |
| 아스팔트 콘크리트 덩어리 | 98.4% | 99.5% | 99% 이상 | 달성 |
| 콘크리트 덩어리 | 97.3% | 99.3% | 99% 이상 | 달성 |
| 건설발생목재 | 89.4% | 96.2% | 95% 이상 | 달성 |
| 건설오니 | 85.1% | 94.6% | 90% 이상 | 달성 |
| 건설혼합폐기물 | 39.3% | 63.2% | 60% 이상 | 달성 |
| 건설혼합폐기물의 배출비율 | 4.2% | 3.1% | 3.5% 이하 | 달성 |
| 건설폐기물 전체 재자원화 | 93.7% | 97.2% | 96% 이상 | 달성 |
| 건설발생토 유효이용율 | 71.7% | 79.8%% | 80% 이상 | 미달성 |

## 1.2.2. 미국

### (1) 건축물 해체 관련 정책[20)]

■ IBC(International Building Code)

- Section 3303(Demolition)과 3306(보행자 보호), 3307(인접건물의 보호)에서 건축물 해체공사와 관련된 조항이 있으나, 주로 보행자 보호, 비상출구, 화재안전, 인접건물에 대한 보호 등에 대해 규정

■ 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act, OSHA)

- OSHA의 건설안전보건기준

· 건축물 철거와 관련하여 철거작업 전 검사 및 조사 실시, 조사기록 보관, 유틸리티 기업(전기, 가스 등)에 알림, 경고표지판 설치에 대해 규정

- OSHA의 일반적인 안전점검 실시

· 산업안전보건청의 안전보건감사관에 의해 수행되며, 안전점검 대상은 약 1억천만 여 개에 달해 우선순위에 따라 실시

- OSHA의 정기안전점검 실시

· 각 지역사무소 관할지역에 진행 중인 건설현장을 임의로 선정하여 안전점검 실시, 건설현장 안전점검 대상 선정은 'Construction Inspection Targeting System'을 활용

### (2) 건설 및 철거(Construction and Demolition, C&D) 정책

■ US 환경보호청(EPA) 지속가능 재료 관리(SMM) 프로그램 전략 계획(2017~2022)은 자원보전 및 복구법(RCRA)를 근거로 환경, 경제, 사회 분야의 자원 보존 우선순위 설정

- 설계, 시공, 운영, 개조, 철거에 영향을 미치는 SMM 정책을 이행하기 위해 연방, 주, 이해관계자간 협력하여 건설 시장에 자재의 재활용/재사용을 하도록 관리

20) 건축물 유지관리 및 해체 등에 관한 법령 정비 방안, 건축도시공간연구소, 2017

### (3) 주택자재 교체비용 지원 제도 시행

■ 미국은 노후주택·건축물의 개량에 있어 에너지 고효율화에 대한 주택자재 교체비용 지원 제도를 시행하고 있음

■ 미국의 30년 이상된 노후주택 비율은 1994년 47%에서 2016년 25%로 65% 상승해 전체 주택의 절반 이상을 차지하고 있음[21)]

- 미국은 1973년 석유 파동이후 건물에 대한 에너지 고효율에 대한 관심이 고조되고 1975년 '에너지 정책과 보전에 관한 법률(Energy Policy & Conservation Act)'를 제정하여 에너지 고효율화의 필요성을 강조함[22)]
- 1978년 연방정부는 빌딩의 신축 설계 시 에너지 고효율화를 의무화하였으며, 1980년 미국 연방 에너지성에서는 에너지 고효율화를 위한 절차를 규정함[23)]
- 현재 연방정부와 그 외 지방정부는 주택의 마감재(단열재, 지붕마감재) 등 교체 비용 지원을 제공하고 있으며, 주택의 기존 장비를 에너지 스타 인증 제품(냉동·냉장고, 세탁기 기계, 식기 세척기, 냉난방 기기, 각종 온수기 등)으로 교체하는 경우에 현금 리베이트 등의 지원제도 시행[24)]

### (4) 재난재해 대응 가이드라인 구축

■ 재난재해에 대응하여 주택·건축물과 관련된 법령 개정과 미연방 재난관리청과의 시스템 구축을 통한 가이드라인을 제시

■ 건설관련 기술 환경의 변화를 포함한 사회적, 자연적 영향 요인을 반영하여 주택·건축물 안전기준 및 관련 법령의 변경을 용이하게 개정할 수 있는 시스템 구축

- 미국 DHS는 2005년 허리케인 카트리나 이후 2009년 국가기반시설방호체계(NIPP, National Infrastructure Protection Plan)를 개정하여 이행 중에 있음

■ 주택 개·보수 관련 재난재해 대응을 위한 연방재난관리청과 지방 정부의 유기적 시스템을 구축하여 대응(Grand Challange Project 등) 프로젝트 수행 중

- 또한 미연방 재난관리청(FEMA)의 주도하에 P-361, P-320 등 Safe Room(Panic Room)에 대한 가이드라인을 제시하고 있으며, 허리케인이나 지진에 대한 대처와 테러·방범의 개념으로 주택 전반에 폭넓게 적용 중

### (5) BIM

■ BIM 기술은 70년대 초 미국에서 처음 개발되었으나, 정책 표준화가 90년대에 시작되어 실제 건설 산업에 본격적으로 활용되는 시점 및 기술 개발 정도가 유럽 및 타 지역에 비해 뒤처지고 있는 실정[25)]

- 미국 정부는 2003년 미 조달청(GSA)을 통해 공공 건설 부문에 BIM 기술 적용을 위한 8개 분야를 선정하고 각 분야별 범용 가이드라인을 수립 후, BIM 기술 사용 비전 및

---

21) "美 주택 개보수 시장을 잡아라!", 대한무역투자진흥공사, 2016
22) 박신영 외, 성남시 맞춤형 리모델링 지원방안 수립을 위한 연구, 한국도시연구소, 2015
23) 김희정, 미국의 건축 리모델링 관련 법제, 한국법제연구원 맞춤형외국법제정보 신청, 한국도시연구소, 2018
24) 이영호 외, 노후주택 그린리모델링 활성화 방안 연구, 건축사사무소 티오피, 2013
25) 정보통신기획평가원, [글로벌 ICT이슈] Building Information Modeling(BIM) 미국 시장 정보, 2020

목적, 구현 지침과 기술적 요구사항 등을 포함한 GSA 가이드를 제공. GSA에서 발주되는 프로젝트로부터 피드백 받아 수시로 가이드를 개선 중

- 현재 미국은 정책적으로 BIM을 의무 적용 사항으로 시행하지는 않고 있으나 GSA를 통한 공공 건설 사업의 경우 필수 사항으로 적용되며, 일부 정부 및 민간 부문에서 선택적으로 채택

그림 2.21 미 조달청(GSA) BIM 가이드
<출처 : GSA 공식 홈페이지>

### 1.2.3. 영국(UK)

#### (1) 적정주택 프로그램 정책

■ 영국 정부는 2000년부터 **노후주택에 대한 적정 주거기준을 설정하는 '적정주택 프로그램(Decent Homes Progamme)'을 시행**하고 있음

- 2010년까지 모든 임대주택을 거주하기 적정한 주택으로 변화시키고, 민간임대주택에 거주하는 취약계층의 70%가 적절한 주택에서 생활하도록 하는 것을 목표로 함
- '적정주거기준(Decent Homes Standard)'을 설정하여 적정하지 않은 주택 판별, 효과적인 주택개량 지원 등을 수행함

#### (2) 노후주택 수명 연장을 위한 특정지구 선정 및 보조금 제도

■ 영국의 전체 건축시장에서 수명연장 활동이 차지하는 비중은 약 45%에 달하고, 이는 유럽 국가 중 프랑스와 함께 가장 높은 수치임

- 노후주택 등 수명연장이 필요한 특정 지역을 '일반개량지구' 또는 ' 주택사업지구'로 지정하여 집중적인 투자 실시하고 있음
- 일반개량지구에서는 총 비용의 60%, 주택사업지구에서는 총 비용의 75%를 보조함

- 노후주택의 수명연장을 지원하는 법제로서 ‘건설 및 재생법’(Construction and Regeneration Act)이 있으며, 이 법을 근거로 주택 개보수 보조금(HRG:Housing Renovation Grant), 공용부분 보조금(CPG: Common Parts Grant), 다세대주택 보조금(HMOG: Houses in Multiple Occupation Grant), 장애인시설 보조금(DFG: Disabled Facilities Grant) 등과 같은 다양한 보조금 제도를 마련하여 수명연장 활동을 지원함
- 주택 및 건축물 에너지 효율화 사업으로 그린딜 사업은 수명연장 활동에 소요되는 비용 전체를 일시에 지불할 필요가 없고, 25년간 분할 상환이 가능하며, 할부금은 에너지 소매업체가 발급하는 에너지 요금고지서(Energybill)에 포함하여 청구하는 방식을 채택하여 건물주가 비용에 대한 추가적인 부담없이 수명연장 활동을 시행할 수 있도록 함
- 그린딜 사업의 지원 항목에는 난방 및 난방 제어시스템, 단열, 자가발전, 기타 건물에너지 효율화에 관련된 제품이 포함

### (3) 건설 폐기물 관련 정책

■ 영국 폐기물 통계(2021)에 따르면, 2018년 기준 영국에서 발생된 폐기물의 62%가 건설 및 철거 사업에서 발생. 건설 및 철거사업에서 6,780만톤의 비유해 폐기물(non-hazardous waste)이 발생하였으며, 이 중 92.3%가 재활용되었음[26)]

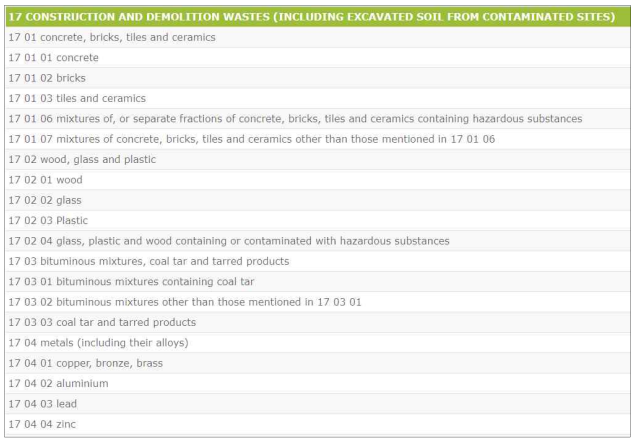
- ‘The Waste(England and Wales) Regulation 2011’에 따라 발생 폐기물에 유럽 폐기물 코드(EWC)를 적용, 해체공사업체와 폐기물 수거업체가 현장에서 폐기물을 반출 시 ‘폐기물 양도 메모(waste transfer note)’를 서로 작성한 후 사본을 2년간 보관해야 되며, 지방의회나 환경청에서 요구 시 제시해야 함

<표 2.8> 영국의 건설 폐기물의 회수율

| | UK | | | England | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 발생 (백만톤) | 회수 (백만톤) | 회수율 (%) | 발생 (백만톤) | 회수 (백만톤) | 회수율 (%) |
| 2010 | 59.2 | 53.1 | 89.7 | 53.6 | 49.4 | 92.2 |
| 2011 | 60.2 | 55.0 | 91.4 | 54.7 | 50.8 | 92.5 |
| 2012 | 55.8 | 50.8 | 91.1 | 50.5 | 46.4 | 92.0 |
| 2013 | 57.1 | 52.0 | 91.2 | 51.7 | 47.6 | 92.0 |
| 2014 | 61.5 | 56.3 | 91.5 | 55.9 | 51.7 | 92.4 |
| 2015 | 63.8 | 58.0 | 91.0 | 57.7 | 53.3 | 92.3 |
| 2016 | 66.2 | 60.0 | 90.7 | 59.6 | 55.0 | 92.1 |
| 2017 | 68.7 | 62.9 | 91.5 | 62.2 | 57.9 | 93.1 |
| 2018 | 67.8 | 62.6 | 92.3 | 61.4 | 57.5 | 93.8 |

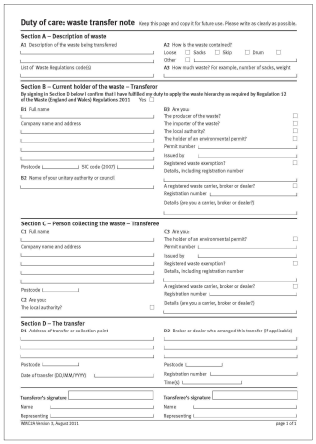
출처 : UK Statistics on waste, 2021>

26) Department for Environment Food&Rural Affairs, UK statistics on Waste, 2021.



| 17 CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES (INCLUDING EXCAVATED SOIL FROM CONTAMINATED SITES) |
|---|
| 17 01 concrete, bricks, tiles and ceramics |
| 17 01 01 concrete |
| 17 01 02 bricks |
| 17 01 03 tiles and ceramics |
| 17 01 06 mixtures of, or separate fractions of concrete, bricks, tiles and ceramics containing hazardous substances |
| 17 01 07 mixtures of concrete, bricks, tiles and ceramics other than those mentioned in 17 01 06 |
| 17 02 wood, glass and plastic |
| 17 02 01 wood |
| 17 02 02 glass |
| 17 02 03 Plastic |
| 17 02 04 glass, plastic and wood containing or contaminated with hazardous substances |
| 17 03 bituminous mixtures, coal tar and tarred products |
| 17 03 01 bituminous mixtures containing coal tar |
| 17 03 02 bituminous mixtures other than those mentioned in 17 03 01 |
| 17 03 03 coal tar and tarred products |
| 17 04 metals (including their alloys) |
| 17 04 01 copper, bronze, brass |
| 17 04 02 aluminium |
| 17 04 03 lead |
| 17 04 04 zinc |

(a) EWC code, List of Waste



Duty of care: waste transfer note

(b) Waste Transfer Note 양식

그림 2.22 유럽 폐기물 코드(EWC) 및 폐기물 양도 메모

## 1.2.4. 프랑스

### (1) 주택개량 지원금 및 감세혜택 제도 시행

■ **국립주거개량청(ANAH)을 설립**하여 **민간주택 및 공동임대주택**의 질적개선을 위한 **주택개량 지원금 및 감세혜택 등의 제도 시행**27)

■ 저소득층에 대한 주택 리노베이션 관련 비용지원 프로그램으로 노후주택평가에서 거주자의 안전 및 건강을 위협하는 주택으로 판정받는 경우 리노베이션 비용의 일부를 지급

- 주택의 안전과 지속가능성 확보, 주택의 에너지 개선, 고령자나 장애인들을 위한 주택개선사업으로 소요 비용의 25~75% 지원, 지급액은 보유자산 규모에 따라 상이

■ 주거환경개선사업(OPAH) 대상 공동주택 또는 건축물의 안전 및 보건 문제로 경고를 받았거나 열악한 환경의 공동주택을 대상으로 함

- OPAH 사업 대상 공동주택은 최대 15만 유로, 총 소요비용의 35%, 에너지 관련 항목의 경우 50%를 지원하며, 그 외 최저주거기준 이하의 건물 및 안전보장계획 대상 건물의 경우 제한 없이 총액의 50%를 지원

■ 주택소유주를 대상으로 하는 프로그램은 자산규모가 적은 주택소유주를 대상으로 ANAH가 규정한 기준에 따라 자산이 최소 규모 자산소유자, 소규모 자산소유자에 해당할 경우 지원함

### (2) 에너지 효율화를 위한 리모델링 공사 보조금 지원

■ **'주택 에너지 리모델링 계획'** 범위에서 **주택의 에너지 효율화를 위한 공사 보조금 지원, 대출지원** 등 시행28)

- 2005년부터 기존 건물, 주택의 에너지 절약을 목적으로 '지속가능한개발지원금(CIDD)'에 따라 정부 보조금을 이용할 수 있으며, 2015년부터 CIDD를 이용하기 위해서는 일정한 자격 요건을 갖춘 설치업자에 의한 공사에 지원

- '무이자환경대출(eco-PTZ)'는 주택의 에너지 소비효율 개선을 위한 공사를 위해 소유자 및 임차인에게 지원

27) 박신영 외, 저소득층 주택상태 조사 및 개보수사업 추진방안 연구, 토지주택연구원, 2011.12.
28) 홍의표 외, 기후변화 대응을 위한 주요국가의 에너지효율화 법제와 정책, 한국법제연구원, 2015.10.

### 1.2.5. 캐나다

■ 캐나다 연방 정부와 주정부는 고효율 에너지 주택화를 위한 공사에 대한 리베이트와 **세금환급제도 등을 통해 저에너지 주택을 늘리기 위한 수명연장 시장 활성화 도모**

- 주택 및 금융기관들도 이러한 정부 정책에 맞춰 친환경 고객 유치를 위한 여러 종류의 그린 금융상품을 선보이며 정부 제도를 뒷받침함
- 건축업 지원을 위한 “국가모델건설법전”을 통해 전 지역에 적용할 수 있는 종합법제도를 도입하여 건축 안정성을 확보함

### 1.2.6. 싱가포르

#### (1) 건설 산업 혁신 정책

■ 싱가포르 정부 산하기관인 BCA(Building and Construction Authority)는 2017년 Construction Industry Transformation Map(Construction ITM) 발표, 건설 생산성 향상 정책을 시행 중[29)]

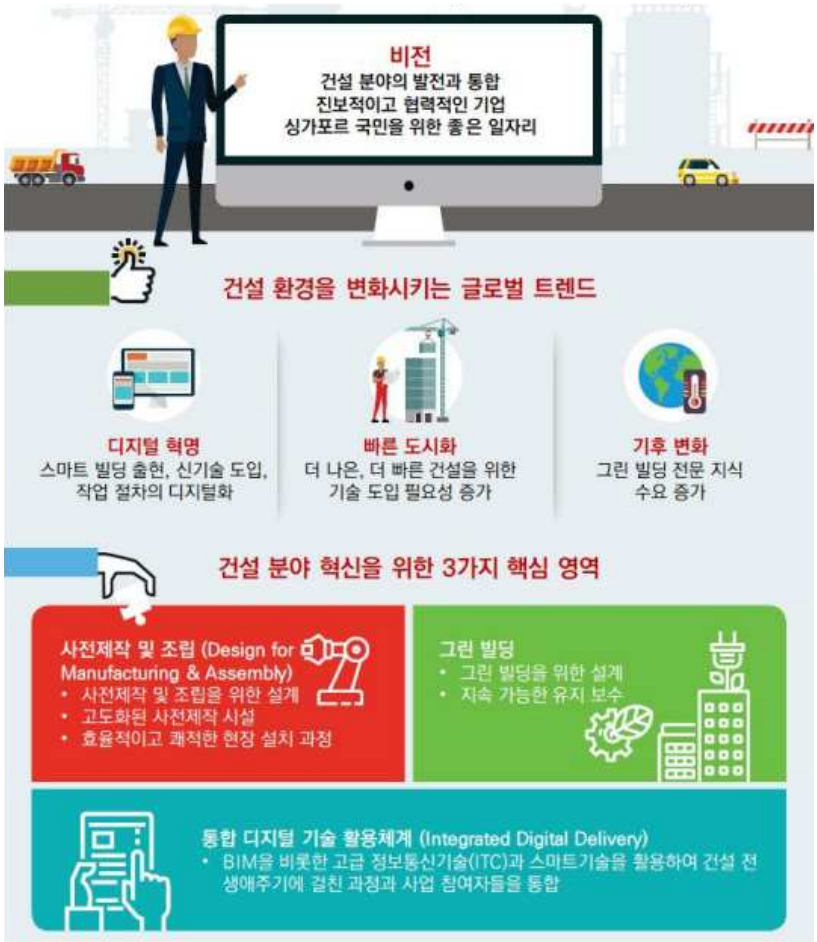



그림 2.23 Construction Industry Trnasformation Map
<출처 : 건설산업연구원(2020.02), 영국과 싱가포르의 인프라 정책분석>

29) 한국건설산업연구원, 영국과 싱가포르의 인프라 정책 분석, 2020.

- 이 중, 통합 디지털 기술 활용 체계(IDD)는 BIM의 활용을 기본으로 하며, 정보통신 기술(ICT)과 스마트 기술을 통해 건설 전 생애주기별 단계와 각 단계에 걸친 사업 참여자를 통합
- BIM을 활용한 협업체계를 지원하기 위해서 '싱가포르 가상 설계 및 시공 가이드'를 배포, 디지털 기술을 활용하여 건설 생산 단계별 참여자를 연결하고 설계부터 유지보수에 이르는 프로젝트의 전 생애주기를 통합

### (2) 해체 폐기물 정책

■ 2002년 CP11:2002로 해체관련 규정이 규정되었으나, 차후에 개선된 버전인 SS 557:2010을 발표.

- 해체 예정인 건축물에 대한 준공도, 해체도면, 해체수행명세서(method statement) 등을 BCA에 제출 및 허가를 받아야 공사 진행 가능
- 허가 조건으로 BCA에 예상 해체 폐기물량을 신고하도록 되어있으며, 이를 순환골재 수급 계획에 활용[30]. 또한, 개발사가 해체 폐기물을 동일부지에 재건축시 사용하도록 의무화

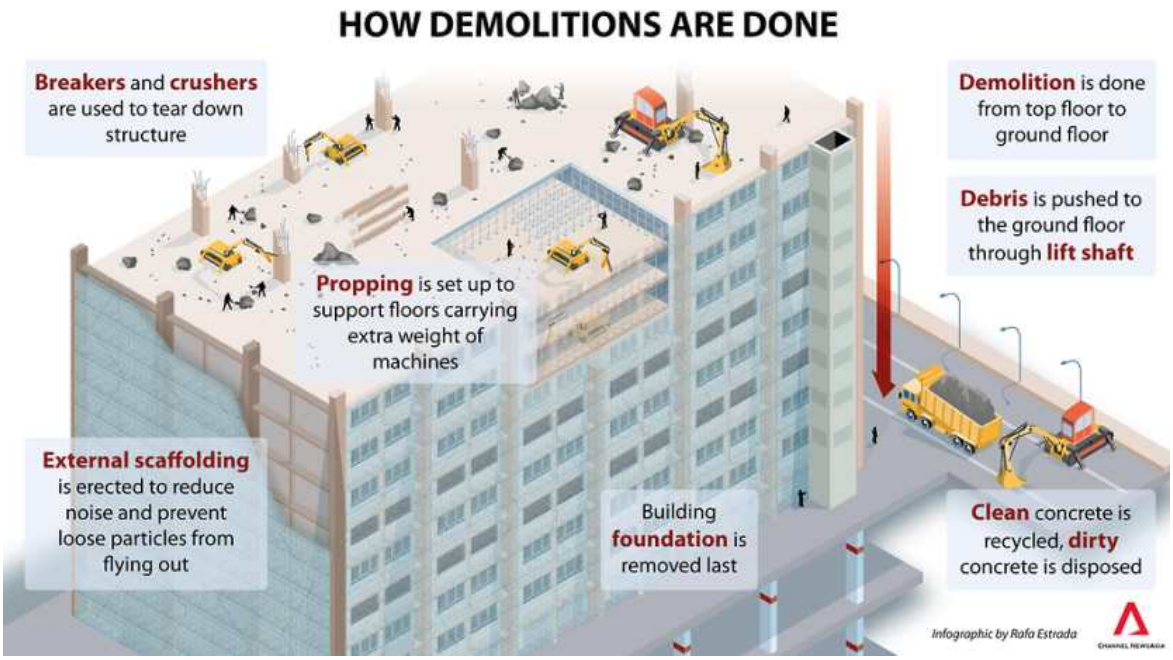



그림 2.24 싱가포르 Top-down 방식의 해체 공정

<출처 : channel news asa(2017), No explosive or swinging balls: How high-rise demolitions go down in Singapore>

30) K. C. Chew (2010) Singapore's strategies towards sustainable construction, The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering

# 2. 국내·외 시장 동향

## 2.1. 국내 시장 동향

### 2.1.1. 국내 건설 시장

■ **국내 건설시장**은 2030년까지 현재 규모를 유지하며 성숙기를 지속할 것으로 전망되나 **2020년 이후에는 신축 시장은 축소하고 유지·보수 위주로 시장이 전환될 것으로 전망**됨

- 국내 건설투자의 연평균 증가율은 2013년 ~ 2020년 동안 0.8 ~ 1.5%, 2020년 ~ 2030년 동안은 이전 기간의 연평균 증가율보다 다소 낮은 0.6 ~ 0.7%를 기록할 것으로 예상됨
- 2020년 이후 건설투자 연평균 증가율이 감소세를 보이지 않는 이유는 신축 시장이 쇠퇴기로 진입하는 반면, 유지·보수 시장이 성장기에 진입하기 때문인 것으로 볼 수 있음
- 2020년 이후 국내 건설 시장은 선진국들의 GDP 대비 건설투자 비중인 11% 수준으로 진입하여 본격적인 선진국형 시장으로 전환될 전망임
- GDP 대비 건설투자 비중은 2025년에는 10 ~ 10.5%, 2030년에는 9.2 ~ 9.7%에 이를 전으로 전망됨

<표 2.9> 국내 건설투자의 중장기 변화 추이 전망

| 구분 | 2020년 | 2025년 | 2030년 |
|---|---|---|---|
| GDP 대비 건설투자 비중 | 11.0 ~ 11.5% | 10.0 ~ 10.5% | 9.2 ~ 9.7% |
| 건설투자 금액 | 162 ~ 169.5조원 | 168.5 ~ 177조원 | 172 ~ 182조원 |
| **구분** | **2013 ~ 2020년** | **2020 ~ 2030년** | |
| 건설투자 연평균 증가율 | 0.8 ~ 1.5% | 0.6 ~ 0.7% | |

<출처 : 한국건설산업연구원, 국내 건설투자의 중장기 변화 추이 전망, 2014>

### 2.1.2. 해체공사업 규모

■ 노후 건축물 증가에 따라 **재건축/리모델링 공사가 급격히 증가**하고 있으며, 이에 따라 **건축물의 해체공사 또한 비례적으로 꾸준히 증가**하고 있음

- 해체공사는 표 2.00과 같이 건설산업기본법에서 비계·구조물해체공사 업종으로 지정하고 있음
- 해체공사를 전문으로 수행하는 비계·구조물해체공사업의 계약실적으로 살펴보면 표 2.11과 같이 전체 전문공사업의 약 2% 수준에 불과
- 하지만 대부분의 해체공사가 부대공사로 수행되는 국내 상황을 고려할 때, 종합공사업 및 타분야 전문공사업 등에 포함된 실적의 파악이 곤란함에 따라 정확한 산업규모 산정은 어려운 상태임

<표 2.10> 해체공사 업종별 업무내용 및 시공자격

| 관련 법규 | 내용 |
|---|---|
| 건설산업기본법 시행령 [별표 1]<br>(건설업의 업종과 업종별 업무내용) | 비계·구조물해체공사업 업무내용 : 비계공사, 파일공사, 구조물해체공사 |
| 건설산업기본법 제16조<br>(건설공사의 시공자격) | 주된 공사에 포함된 부대공사는 종합 및 타 전문공사 업종에서 수행 |

<표 2.11> 2013년 ~ 2019년 국내 비계・구조물해체공사업 계약실적

| 구분 | 2013년 | 2014년 | 2015년 | 2016년 | 2017년 | 2018년 | 2019년 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 전체 건설업<br>(십억원) | 72,217 | 72,316 | 81,691 | 91,560 | 93,989 | 93,144 | 97,638 |
| 비계·구조물<br>해체업<br>(십억원) | 1,429 | 1,509 | 1,911 | 2,162 | 2,282 | 2,418 | 2,336 |
| 점유율<br>(%) | 2.0 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 2.4 |

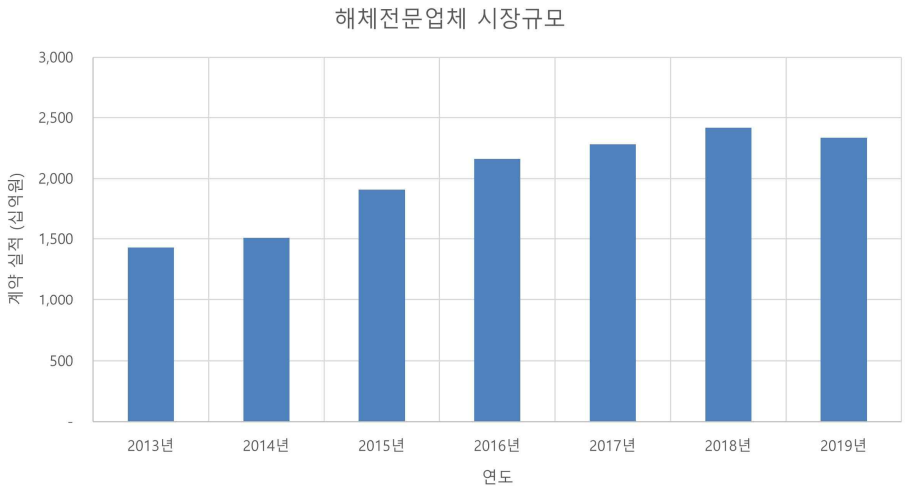



그림 2.25 비계・구조물해체공사업 연도별 계약실적

- 2019년 기준 비계・구조물해체공사업 계약실적은 전문공사업 전체의 약 2.4%에 해당하는 2조 3천억원의 시장을 형성하고 있음. 전문공사업 계약실적은 매년 증가하는 추세에 있으며, 비계・구조물 해체업도 연 평균 8.9%의 성장률을 보이고 있음
- 위와 같이 국내 해체공사 시장은 지속적으로 성장하고 있으며, 특히 향후에는 1970년대 이전에 건설된 건축물들에 대한 해체공사가 지속적으로 증대될 것으로 예상됨에 따라 시장의 규모는 더욱 확대될 것으로 예측됨

## 2.1.3. 리모델링 건축 증가

■ 건축물 리모델링 시장 '02년 7.8조원에서 '19년 17.1조원으로 규모 성장

- 전체 건축물 착공면적 중 리모델링 면적 ' 02년 13.3%에서 '19년 18.5% 증가, 매년 5.4%의 리모델링 시장 성장 예상, ' 30년 29조원 시장 형성 예측

<표 2.12> 국내 리모델링 시장 전망

| 구분 | 2020년 (십억원) | 2025년 (십억원) | 2030년 (십억원) | 연평균 성장률 (%) |
|---|---|---|---|---|
| 유지보수 시장 | 12,795 | 13,759 | 14,723 | 1.4 |
| 리모델링 시장 | 17,293 | 23,321 | 29,350 | 5.4 |

<출처: CERIK, 건축물 리모델링 시장의 전망과 정책과제, 2020.9>

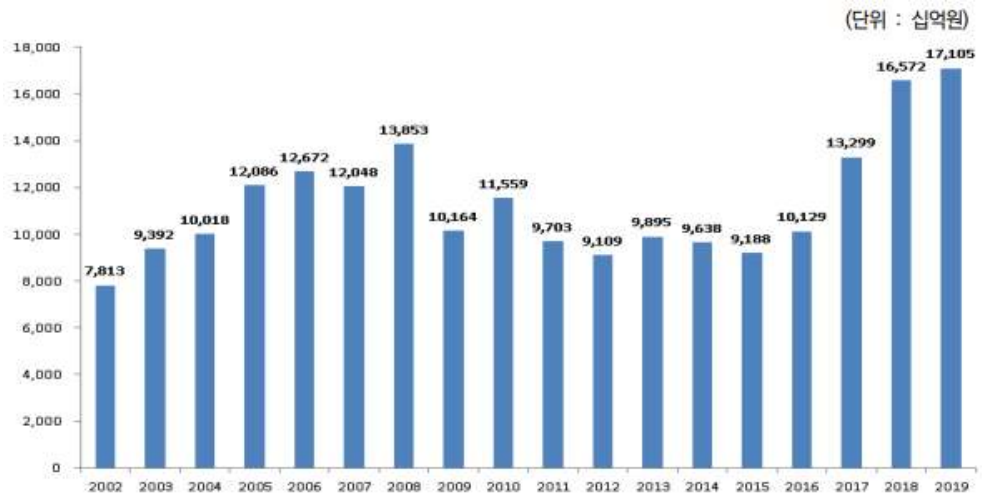



그림 2.26 리모델링 공사 추이
<출처 : CERIK, 건축물 리모델링 시장의 전망과 정책, 2020>

■ 리모델링 공사현장 안전 및 환경 관리

- 리모델링 해체공사 주요 공법 : Saw(Wheel, Wire, Wall)방식 절단, 소형 Breaker 공법
- Saw breaker 방식 소음·분진 다량 배출 : 30m 이격거리 약 70~90dB로 주거지역 55dB, 상업지역 65dB 기준을 초과함

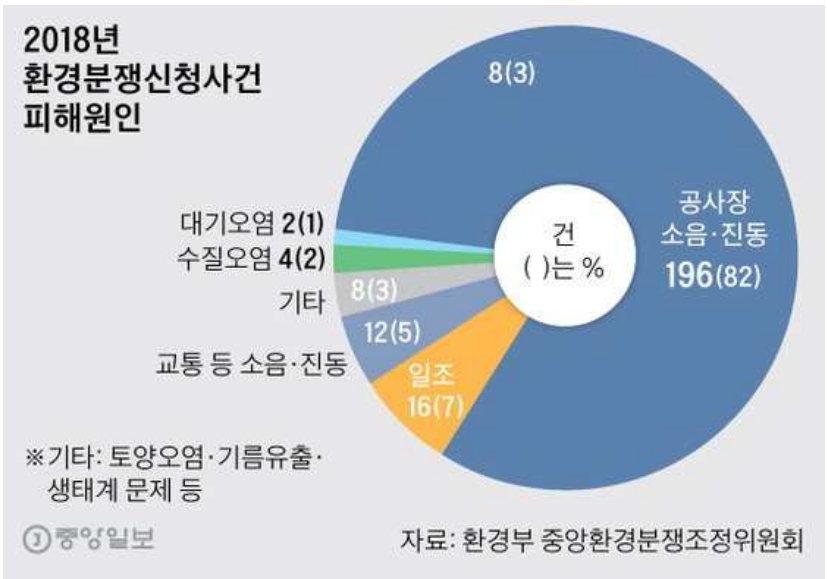



그림 2.27 건설공사 현장 환경민원 빈도 현황
<출처 : 환경부 중앙환경분쟁보정위원회, 중앙일보 재인용>

## 2.1.4. 건설 및 해체현장 비산먼지에 따른 사회적 피해비용

■ 건설 및 해체현장의 **비산먼지 저감 시장**은 공사 규모에 대한 개념 접근보다는 현장에서의 **비산먼지로 인한 사회적 피해 비용 측면에서 접근하는 것이 합리적**이라 판단됨

- 표 2.13은 대기오염에 따른 사회적 피해 비용 추정을 나타낸 것이며, 공신력을 고려하여 국회 본회의 자료를 인용하여 분석함 . 국가 대기오염물질로 인한 사회적 피해 비용이 10조원이고, 국가 대기오염 물질 중에서 비산먼지가 차지하는 비중이 12.2%, 이 중 건설현장에서 발생하는 비산먼지가 17.4%를 차지하고 있음
- 위의 수치를 고려하면 건설현장의 비산먼지로 인한 사회적 피해비용은 연간 2,126억에 달함. 국내에는 직접적인 건설용 비산·미세먼지 억제장비 업체가 없으나, 잠재적 경쟁업체가 될 수도 있는 기존 방역 전문업체가 있으며, 최근 중국의 Dust Suppression System 제품을 수입해서 판매하는 업체가 늘어나고 있음
- 이들 제품 가격은 중국 제조회사에 따라 큰 편차를 보이지만 평균적으로 분석해 보면 분사거리 40m 급 기준 대당 800만원 수준으로 판매가 이루어지고 있음

<표 2.13> 대기오염에 따른 사회적 피해 비용 추정

| 출처 | 사회적 피해 비용 | 비고 |
|---|---|---|
| 제252회국회 국회본회의 회의록 제5호 | 10조 | 2005년 02월 16일 |
| 환경 당국과 학계, 경제협력개발기구(OECD) 추정 | 10조 | 2017년 03월 23일 연합뉴스 |
| 한국대기환경학회 한국환경경제학회, 한국환경정책학회 '미세먼지 문제의 진단과 대응을 위한 공동 심포지엄' (배정환 전남대 경제학부 교수) | 11조 8천억 | 2016년 10월 20일 중앙일보 |
| 환국환경정책평가연구원(KEI) | 45조 | Chemical Daily News 2002년 04월 10일 |

## 2.1.5. 폐기물 시장규모 및 전망

### (1) 국내 폐기물 시장

■ 국내 **폐기물 시장 규모**는 **2015년 기준 13조 5천억원 수준에서 2025년도까지 1.8배 상승하여 23조 7천억원 규모의 시장을 형성**할 것으로 전망[31)]

■ **(업체현황) 2019년 기준 국내 폐기물 처리업체 수는 총 14,792개소로 2018년 대비 218개소 증가**, 이 중 소각·매립·재활용 업체는 6,384개소인 것으로 집계됨

- 수집·운반업체가 7,731개소(52.3%)로 가장 많으며, 소각업체를 포함한 중간처분업체 217개소(1.5%), 매립(최종처분)업체 53개소(0.4%), 재활용업체 6,208(41.9%), 건설폐기물중간처리업체가 583개소(3.9%)를 차지

31) 순환경제 사회 전환을 위한 폐기물처리 및 재활용시장의 산업분석과 기술전략, 2021.

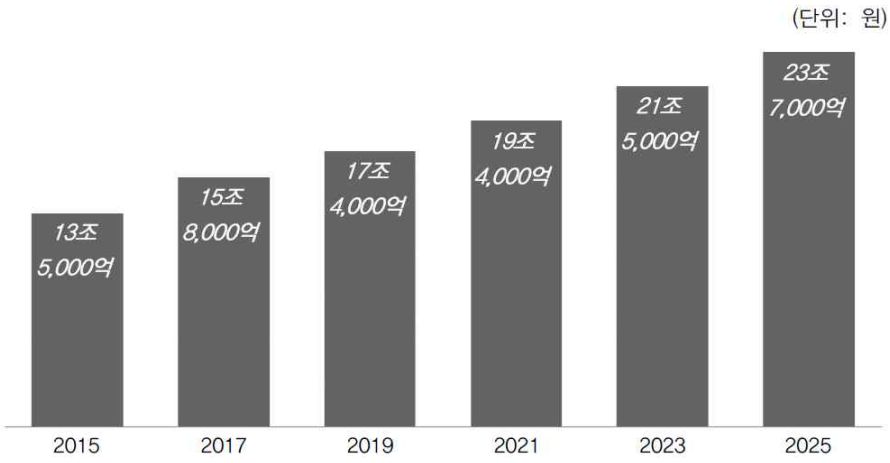



그림 2.28 국내 폐기물 시장 규모 및 전망

<출처 : 순환경제 사회 전환을 위한 폐기물 처리 및 재활용시장의 산업분석과 기술전략, 2021>

■ **(매립시장) 국내 폐기물 잔여 매립지**는 2013년 기준 약 4,800만$m^3$이었으나, **2019년 3,770만$m^3$으로 빠르게 감소**

- 국내 연간 매립량 약 400만$m^3$을 감안하면 추가 매립장 증설이 없다고 가정하면 **2028년에는 모두 내용연수가 찰 것으로 예상**됨
- 특히 **수도권 매립장 문제는 심각한 상황**으로, **인천 ' 수도권 매립지 공단 '**은 당초 2022년 운영 종료 예정이었으나 매립량 증가 및 매립지 잔존 연수 감소에 따라 **2025년까지 임시 연장**한 상황이며 **정부에서는 이를 보완할 수 있는 소각장 건설도 검토 중**에 있음
- 대부분의 **매립업체**들은 현재 보유한 **매립장 잔존 연수를 예측**하고, 용량이 다 해 가동을 중단하는 시기와 매칭하여 **신규 매립장 운영 개시를 목표로 7~8년에 걸쳐 인허가 작업을 추진**

<표 2.14> 국내 폐기물 처리업체 현황 (2019년 기준)

| 구분 | 총계 | 수집·운반 | 중간처분 | 최종처분 | 재활용 | 건설폐기물 중간처리 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 총계 | 14,792 | 7,731 | 217 | 53 | 6,208 | 583 |
| 생활폐기물 | 1,630 | 1,630 | - | - | - | - |
| 생활+사업장 | 510 | 510 | - | - | - | - |
| 사업장배출 시설계폐기물 | 8,813 | 3,065 | 125 | 32 | 5,591 | - |
| 건설폐기물 | 2,378 | 1,795 | - | - | - | 583 |
| 지정폐기물 | 1,461 | 731 | 92 | 21 | 617 | - |

<출처 : 전국 폐기물 발생 및 처리 현황(2019년도), 환경부, 한국환경공단, 2020>

### (2) 건설폐기물 현황

■ 폐기물 소각, 매리 사업은 자원순환관리 사업에 속하며, **자원순환관리 시장 규모**는 **연간 30조원 규모**로 전체 시장에서 약 30% 수준을 유지하고 있음

- 자원순환관리 시장을 구성하는 세부 산업을 폐기물 관리기기 제조, 관련 시설 건설, 관련 서비스, 에너지화 기기 제조 등이 있음
- 2019년 기준 폐기물 총 발생량(지정폐기물 포함)은 약 1억 8,149만 톤으로 2018년도에 비해 11.5% 증가하였으며, 지난 5년간 연평균 4.4% 이상 증가
- 2019년 폐기물 종류별 구성비는 건설폐기물 44.5%, 사업장배출시설폐기물 40.7%, 생활계폐기물 11.7%, 지정폐기물 3.1% 순으로 나타남. 2019년도 건설폐기물 발생량은 221,102톤/일로 전년(206,951톤/일) 대비 6.8% 증가

그림 2.29 국내 폐기물 종류별 발생 추이

<출처 : 2019년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (환경부, 한국환경공단>

■ 2019년도 **건설폐기물의 성상**은 불연성이 87.8%(193,976톤/일)이며, **불연성 중 건설폐재류가 99.4%(192,811톤/일)**로 대부분 차지

- 건설폐재류 중 **폐콘크리트가 137,816톤/일로 71.5% 비율**을 나타내며, **전년(131,040톤/일) 대비 5.2%** 증가

<표 2.15> 건설폐기물의 성상 변화

(단위: 톤/일)

| 구분 | | | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 총 계 | | | 198,260 | 199,444 | 196,262 | 206,951 | 221,102 |
| 가연성 | 소 계 | | 2,588 | 2,237 | 2,614 | 2,652 | 2,484 |
| | 폐목재 | | 923 | 806 | 800 | 805 | 863 |
| | 폐합성수지 | | 1,654 | 1,420 | 1,803 | 1,826 | 1,607 |
| | 기 타 | | 11 | 11 | 11 | 21 | 14 |
| 불연성 | 소 계 | | 171,885 | 174,984 | 171,488 | 180,757 | 193,976 |
| | 건설 폐재류 | 폐콘크리트 | 124,451 | 128,092 | 123,248 | 131,040 | 137,819 |
| | | 폐아스팔트 콘크리트 | 35,509 | 35,192 | 35,861 | 37,759 | 41,163 |
| | | 건설폐토석 | 7,659 | 6,478 | 7,478 | 7,102 | 8,385 |
| | | 기 타 | 3,230 | 3,210 | 3,030 | 3,557 | 5,447 |
| | 건설오니 | | 995 | 1,922 | 1,822 | 1,250 | 1,127 |
| | 기 타 | | 41 | 90 | 49 | 49 | 38 |
| 혼합건설폐기물 | | | 23,635 | 22,145 | 22,091 | 23,506 | 24,582 |
| 기 타 | | | 152 | 78 | 69 | 36 | 60 |

<출처 : 2019년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 환경부, 한국환경공단, 2020>

## 2.1.6. 민간 시장 현황

■ **(4차산업 기술)** 국내 건설기업(종합건설기업 106개 업체, 전문건설기업 95개 업체)을 대상으로 실시한 스마트 건설기술 도입현황[32] 조사결과, 종합건설기업은 스마트 건설기술을 도입 중이거나 도입초기 단계

- 반면에, 전문건설기업은 스마트 건설기술 도입 계획이 없다는 비중이 80% 이상 상회하는 것으로 나타났으며, 이는 스마트 건설기술 활용목적 및 방안, 도입시 효과 등에 대한 이해도가 낮은 것으로 판단. 스마트 건설기술에 대해 인지하고 있더라도 효용성 측면에서 회의적일 가능성이 큼

■ **(스마트건설)** 최근 건설사들이 증강현실, 드론, 3D 스캐닝 및 프린팅, BIM, AI 등 첨단기술을 접목하고 있으나, 아직은 걸음마 단계[33]

- 10대 건설사의 매출대비 R&D 투자 비율은 7년간 1%에 못 미침. 특히, 대형사들은 특별한 고도기술이 필요 없는 국내 주택사업에만 몰두

- 종합건설사들은 PM 역량은 뛰어나지만, 설계 등 고부가가치 사업의 기술역량은 경쟁력이 떨어지는 실정

32) 한국건설산업연구원, 미래 건설 기술인력 육성 전략 연구, 2018.
33) PAXNetNews, 10대 건설사 R&D 투자... 7년째 0%대 제자리, 2021.

그림 2.30 상위 10개사 매출대비 투자비율(%) 추이

<출처 : 팍스넷뉴스(2021.11.08.)>

10대 건설사 연구개발(R&D) 투자 현황 (2015~2021.6)

| 연구개발비(단위: 백만원) / 매출 대비 비율(%) | 삼성물산 | 현대건설 | GS건설 | DL이엔씨 | 대우건설 | 포스코건설 | 현대 엔지니어링 | 롯데건설 | HDC현산 | SK 에코플랜트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 41,655 | 104,814 | 44,904 | 78,684 | 56,580 | 43,730 | 360 | 21,517 | 2,532 | 68,908 |
| | **0.31** | **1** | **0.42** | **0.8** | **0.57** | **0.67** | **0.01** | **0.52** | **0.1** | **0.79** |
| 2016 | 120,526 | 98,792 | 46,314 | 71,513 | 44,030 | 16,544 | 622 | 20,105 | 2,590 | 55,442 |
| | **0.43** | **0.9** | **0.42** | **0.7** | **0.40** | **0.33** | **0.02** | **0.44** | **0.1** | **0.78** |
| 2017 | 86,293 | 114,143 | 54,088 | 61,591 | 56,177 | 27,796 | 913 | 23,695 | 3,306 | 50,167 |
| | **0.29** | **1.1** | **0.46** | **0.5** | **0.48** | **0.48** | **0.02** | **0.45** | **0.1** | **0.78** |
| 2018 | 79,816 | 137,721 | 52,656 | 65,243 | 65,311 | 25,375 | 1,490 | 23,946 | 1,160 | 50,146 |
| | **0.26** | **1.4** | **0.4** | **0.6** | **0.62** | **0.39** | **0.03** | **0.41** | **0.04** | **0.78** |
| 2019 | 143,463 | 172,251 | 48,256 | 86,069 | 63,418 | 31,321 | 1,448 | 24,256 | 1,884 | 39,034 |
| | **0.47** | **1.7** | **0.46** | **0.89** | **0.73** | **0.42** | **0.02** | **0.47** | **0.04** | **0.54** |
| 2020 | 177,668 | 149,099 | 33,881 | 63,990 | 66,847 | 29,662 | 1,728 | 25,193 | 3,241 | 36,445 |
| | **0.59** | **1.6** | **0.33** | **0.63** | **0.82** | **0.39** | **0.03** | **0.51** | **0.17** | **0.49** |
| 2021.6 | 99,877 | 75,605 | 16,693 | 6,932 | 30,339 | 12,643 | 413 | 5,021 | 667 | 8,170 |
| | **0.61** | **1.61** | **0.39** | **0.41** | **0.73** | **0.34** | **0.02** | **0.43** | **0.09** | **0.48** |
| 누적 투자액 | 749,298 | 852,425 | 296,792 | 434,022 | 382,702 | 187,071 | 6,974 | 143,733 | 15,380 | 308,312 |
| 평균 비율 | 0.42 | 1.33 | 0.41 | 0.65 | 0.62 | 0.43 | 0.02 | 0.46 | 0.09 | 0.66 |

그림 2.31 10대 건설사 연구개발(R&D) 투자현황

<출처 : 팍스넷뉴스(2021.11.08.)>

■ **(BIM)** 정부가 주도적으로 국내 건설 산업에 BIM의 정착을 위해 다양한 제도 마련, 이에 따라 종합건설사들은 지속적인 성장동력 확보의 일관으로 건설현장에 BIM 적용을 빠르게 추진 중[34)]

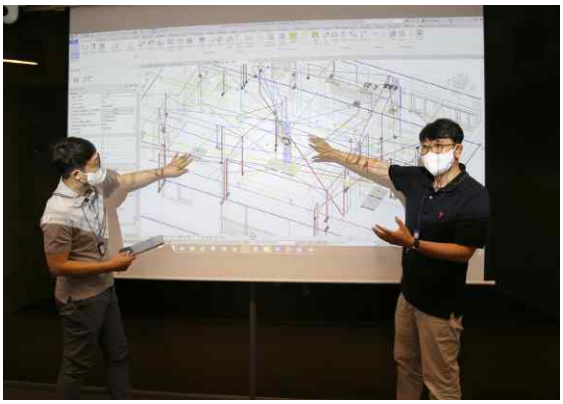
- D사는 BIM을 활용해 원가, 공정 등 현장관리를 종합적으로 수행, BIM 데이터를 협력업체와 공유. 기계설비 등 **전체 공사원가**를 BIM 기반의 **빅데이터 관리로 품질 및 수주경쟁력 제고**
- G사는 BIM 모델링을 통한 **설계·시공품질관리 기술개발 추진 및 현장 적용**. 레이저스캔을 활용한 BIM 모델링으로 **건축·기계·전기 간섭검토, 덕트 하부 필요공간 검토, 배**

34) kharn, (기사) 건설사 기계설비 R&D 활발...건설산업 '新 성장동력',2021.

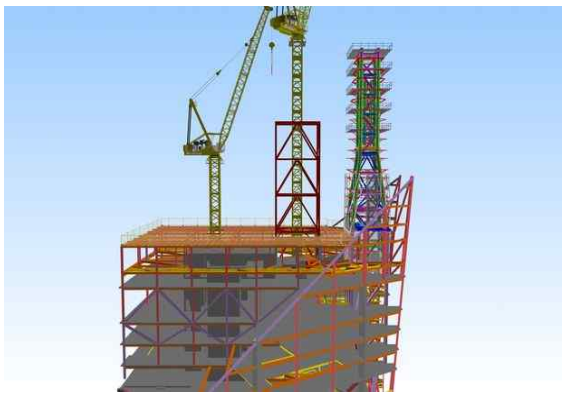
**관 필요높이 검토** 등 수행

- S사는 2009년부터 건설사업 전분야에 BIM 도입, 최근 하이테크 현장에 BIM 활용 **공간계획** 적용, 해외시장 적용

■ **(인공지능)** 인공신경망(ANN) 알고리즘을 바탕으로 반복학습을 통한 패턴인식하는 것이며, 건설 전생애주기에 단순 반복 업무에 활용되어 투입인력 감소를 통한 생산성 향상에 기여



D사 BIM 기반 공사원가 관리



S사 해외현장 시공 BIM

그림 2.32 BIM 활용

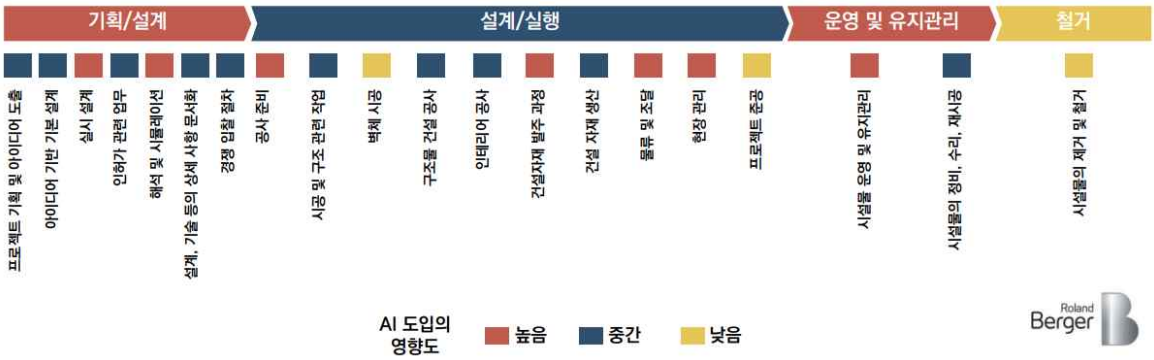



그림 2.33 건설 인공지능의 도입이 건설공정에 미치는 영향도
<출처 : 한국건설기술연구원, 월간 스마트건설리포트 Vol 6, 2020.>

그림 2.34 (좌) 현대엔지니어링, AI를 활용한 플랜트 철골구조물 자동설계시스템
(우) 한국건설기술연구원, 인공지능 및 자율주행 기술을 이용한 지하공간 점검 로봇

■ **(드론)** 현장주변 지형정보 취득, 공정진행 상황, 토공물량 산정 등 주로 **건설 시공단계에서 주로 활용**

- 현대건설 드론 플랫폼 : 드론 측량 및 맵핑을 통해 생성된 정사영상을 현장도면에 중첩시켜 원격에서 작업공종, 매립재 분류 등의 현장 세부정보 파악 가능. 주기적인 맵핑 데이터를 활용하여 시공기록 확인 및 설계도면과 상이한 시공부위 및 리스크 등을 조기에 탐지 가능
- 포스코사 POS-Mapper : LiDAR 드론으로 광대역 스캔 사업지 고정밀 현황데이터 확보를 통해 토공량 산정, 시공계획, 사면 및 시공오차 검토 등이 가능한 드론활용 솔루션, 국내외 현장 적용 중
- 대우건설 건설드론 관제시스템(DW-CDS) : 모바일 제어 어플리케이션을 통한 조조정자가 드론에게 임무 전송, 촬영된 맵핑 데이터를 관제시스템에서 후처리를 통해 현장 내 전체 말뚝의 수량을 파악

그림 2.35 현대건설 드론플랫폼 적용사례(싱가포르 Tuas 매립공사 현장)
<출처 : 한국건설기술연구원, 스마트건설리포트 Vol. 7, 2021>

그림 2.36 포스코사 POS- Mapper의 개념도 및 활용분야
<출처 : 한국건설기술연구원, 스마트건설리포트 Vol. 7, 2021>

그림 2.37 대우건설 건설드론 관제시스템(DW-CDS) 활용
<출처 : 한국건설기술연구원, 스마트건설리포트 Vol. 7, 2021>

■ **(가상현실)** 혼합현실(MR) 기술을 이용한 건축/구조 설계, 시공현장에서 직관적인 3차원 도면 정보 확인 및 실시간으로 업체 간 협업, 증강현실(AR)을 이용한 시설물 유지관리 등 대부분의 건설단계에서 가상현실 기술 도입 중[35)]

- 3D 객체모델을 가상현실로 시각화하기 위해서는 게임엔진으로 전달해야하며, 전달시 중립파일 포맷 변환이 필수. 변환 시 형상이 깨지거나 변형 및 복제되는 경우가 빈번히 발생하여 VR 구동 시 성능저하를 불러옴

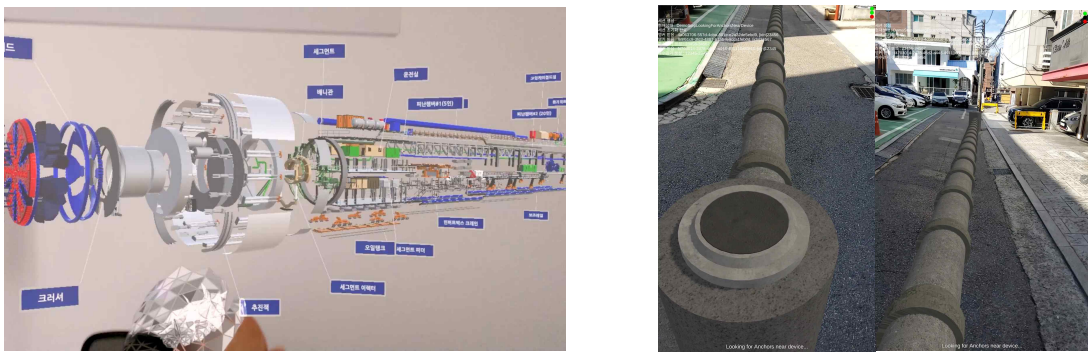


그림 2.38 건설산업 가상현실 기술 사용 예시
<출처 : (좌) MS Hololens TBM 체험, 태성에스엔아이, 2021,
(우) AR 기술을 이용한 하수관로 자산관리시스템, 태성에스엔아이, 2021>

■ **(3D 스캐닝)** 노후 건축물 유지보수, 시공 진도 모니터링, 시설물 역설계, 시공 정합성 검토, 물량 산출, 바닥 평편도 측정 등에서 주로 활용[36)]

- 과거에는 HW 제조사간 초당 스캐닝 속도 등과 같은 제품 성능에 대한 경쟁이 이루어졌으나, 최근에는 취득 데이터 처리를 위한 SW 경쟁 중

35) 정보통신기획평가원, 주간기술동향 2006호(가상현실 기반 건설 시뮬레이션 기술 동향), 2021.
36) e대한경제, '라이카' 독주에 '트림블' 역공...'파로'는 가격경쟁력 최고

- 국내 3D 스캐너 시장은 초당 200만 포인트를 스캔할 수 있는 라이카(Leica)의 제품이 50~60% 점유 중이나, 데이터 취득 후 전송속도가 상대적으로 느리고 연계 SW가 부족
- 트림블(Trimble)사의 제품은 상대적으로 스캔 속도, 스캐닝 거리 등에서는 뒤처지나, 데이터 활용단계에서 자사의 3D 모델 SW(Tekla, Sketchup)와의 연계로 단점을 보완
- 파로(Faro)는 스캐닝 속도는 라이카보다 느리지만 트림블보다 빠르며, 2축 보정기를 장착해 정확도가 높고 데이터 정합성 및 속도가 앞선 자사 SW을 갖추고 있으나, 국내 공급망이 미흡하고 장비의 내구성이 낮음

그림 2.39 국내 3D 스캐너 점유 제조사 특징 비교
<출처 : e대한경제, '라이카' 독주에 '트림블' 역공... '파로'는 가격경쟁력 최고, 2021>

## 2.1.7. 포스트 코로나 시대 건설산업 변화

■ **(뉴노멀 시대)** 전 세계적인 **코로나 19 대유행**에 따른 **비대면 사회 전환**으로 **4차 산업 기술이 일상**에 뿌리 내리게 된 계기

■ **(국제시장 변화) 미중 무역 갈등**과 **코로나 19 대유행**으로 각국이 **국경 봉쇄** 및 **핵심 자원 수출 제한**으로 글로벌 **공급망 변화** 전망

- **건설 원자재 가격 급등 및 수급 불안**으로 건설비용 상승과 공사기간 연장으로 **건설사 수익성 악화**[37]

■ **(인구구조 변화)** 지속된 **저출산·고령화**로 유례없는 급속한 인구구조 변화 진행, 이를 대응하기 위해 **건설 산업**에도 **대책마련**이 필요[38]

- 직종별 내국인 인력 부족 현상, 숙련인력(반장급, 기능공) 부족 심화로 지속 가능한 성장을 위해서 수요인력 파악 및 숙련인력 육성이 절실[39]

37) 관계부처, 최근 철근가격 급등 및 수급 관련 건설업 대응방안, 2021.
38) 대한건설정책연구원, RICON 건설 Brief, 2020.
39) 건설근로자공제회, 보도자료(건설 숙련인력 부족심각, 직종별·지역별 체계적 육성 시급), 2022.01.25

- 외국인 노동자 유입시키는 단기적 처방보다 **ICT 기술·융복합 기술을 적극 활용**하여 필요 근로자 수 감소, 작업효율 증대로 **장기적 생산성 향상 기반 마련**

■ **(스마트 건설기술)** 국가 중점 정책으로 시행되고 있는 현재 스마트 건설기술의 대부분이 **시공단계에서의 건설자동화, 안전 등에 초점**이 맞춰져 있으나, 향후 이를 중심으로 건설사업 전단계로 확장될 것으로 예상[40]

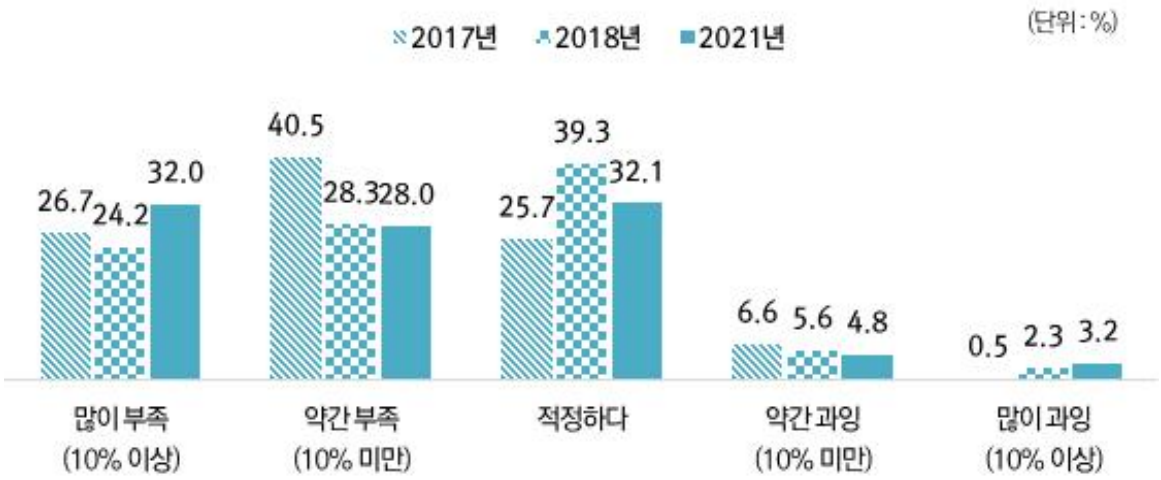



그림 2.40 한국인 숙련인력(반장, 기능공 수급상황 : 근로자응답)
<출처 : 건설근로자공제회, 보도자료, 2022.01.25>

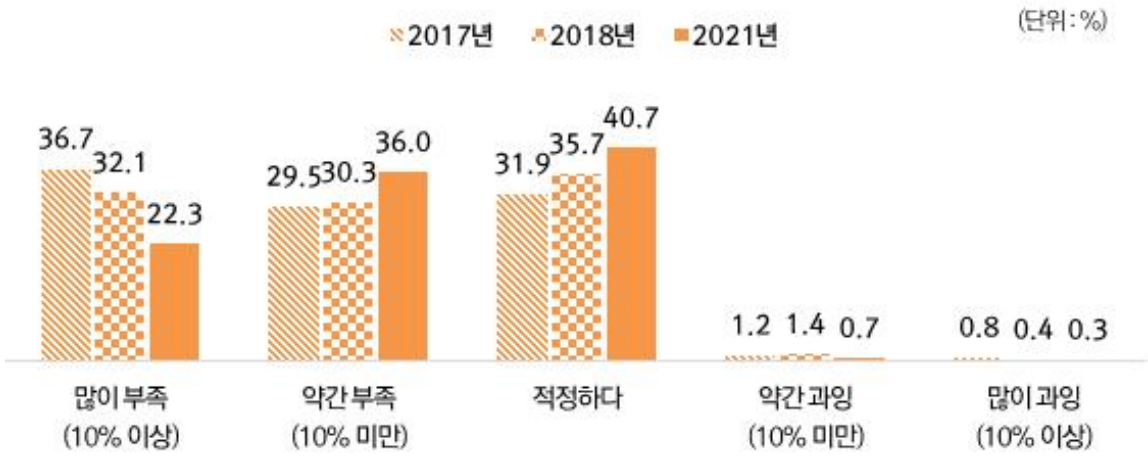



그림 2.41 한국인 숙련인력(반장, 기능공 수급상황 : 사업자응답)
<출처 : 건설근로자공제회, 보도자료, 2022.01.25>

40) 대한건설정책연구원, RICON 건설 Brief(11호), 2021.

## 2.2. 국외 시장 동향

### 2.2.1. 포스트 코로나 해체 시장규모 및 전망

■ 전세계적으로 코로나 19 대유행에 따라 대부분의 나라에서 경제성장이 둔화되었으며, 이를 회복하기 위해 다양한 부양책들이 실행 중

■ **(유럽철거협회)** 철거 산업의 디지털화는 건설장비 **원격제어** 및 장비 **보수시기** 정보 제공을 의미[41)]

■ **(Interreg North West EU)** 네덜란드, 벨기에, 룩셈부르크, 프랑스 연합은 경제적 건축물 철거 및 건축자재 재사용 전략을 이행하기 위한 의사결정 수단으로 디지털 해체(DDC, Digital DeConstruction) 플랫폼 개발 프로젝트 진행 중[42)]

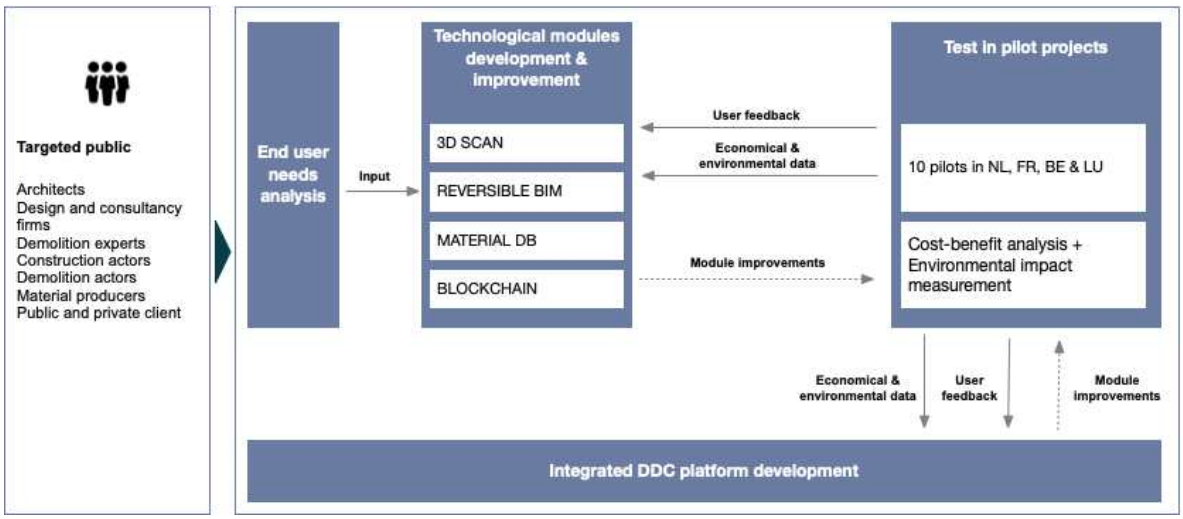



그림 2.42 DDC 플랫폼 개발 방법론

<출처 : Elma Durmisevic et al., Development of a conceptual digital deconstruction platform with integrated Reversible BIM to aid decision making and facilitate a circular economy, 2021>

### 2.2.2. 해외 폐기물 시장규모 및 전망

■ **코로나19**로 인해 **생활폐기물과 더불어 의료폐기물과 같은 지정폐기물 배출이 증가**하고 이들의 처리가 더욱 까다로워짐

■ 시장조사기관인 얼라이드마켓 리서치에 따르면, 2019년 기준 **글로벌 폐기물 처리 시장 규모**는 2.08조 달러에서 **연평균 1.5% 성장하여 2027년에는 2.34조 달러에 이를 것으로 전망**

■ 월드뱅크(World Bank)는 세계에서 배출되는 폐기물이 2016년 20억 톤에서 **2050년에는 34.4억 톤으로 72% 증가할 것이라고 전망**

- 인류가 존재하는 한 **폐기물은 지속적으로 증가**하므로 일차적으로는 폐기물을 줄이는 것이 중요하지만, 이를 **효과적으로 처리하고 재활용하는 기술의 중요성이 더욱 커질 것으로 전망**

41) EDA, Digitalization of the demolition industry and recycling, some of the topics of think tank, 2018.
42) Interreg North-West Europe, Digital Deconstruction WPT1 System Development, 2021.

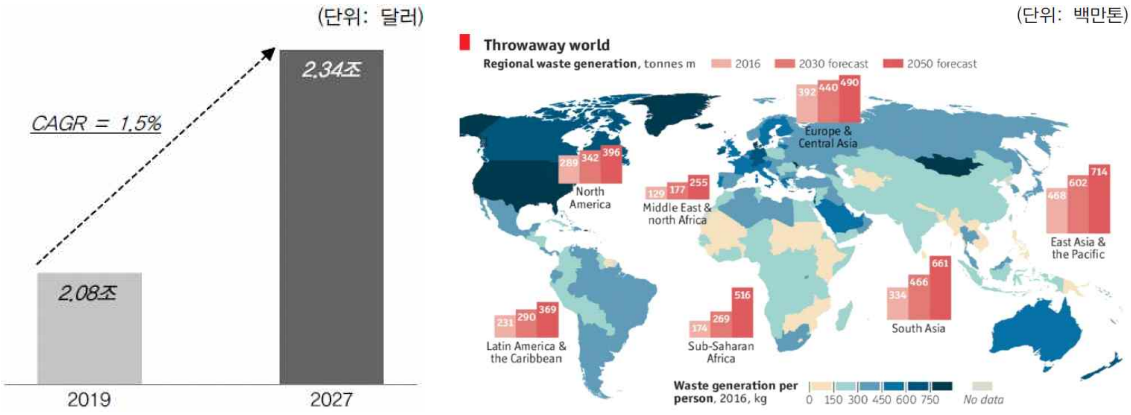



그림 2.43 글로벌 폐기물 시장 규모 및 전망 각국 폐기물 발생량
<출처 : 얼라이드마켓 리서치, 월드뱅크, 이코노미스트, 삼성증권(2021)>

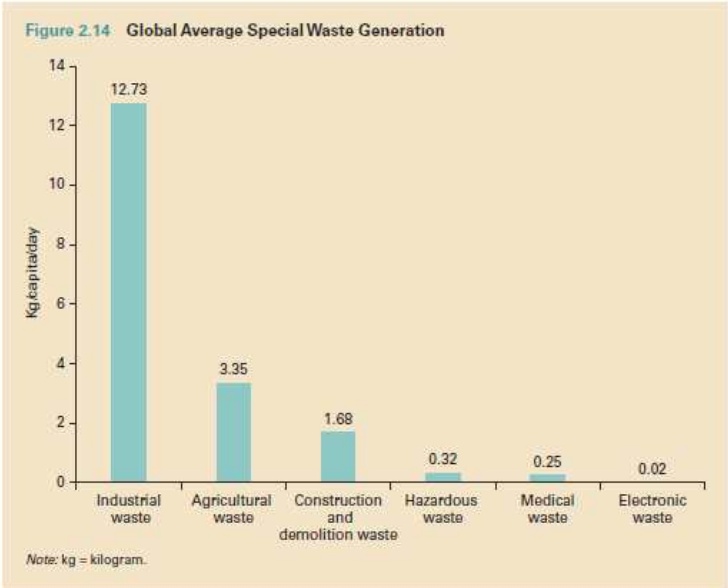



그림 2.44 글로벌 평균 산업 폐기물 발생 수치
<출처 : World bank group, What a Waste 2.0, 2018>

## 2.2.3. 유럽

### (1) 해체 산업

■ EU의 산업분류에서 해체산업은 'site preparation'에 속해 있지만 별도의 분류가 없어 해체 시장규모를 직접적으로 파악하는 것은 어려우며, 간접적인 방법으로 시장규모를 추정 함

- 따라서 간접적 방법으로 시장규모를 추정하면, 2002년 기준 유럽연합(19개국)의 건설산업 부가가치는 3,920억 유로(4,649억 달러)이며, 유지·보수가 가장 크고(37%), 주택건설(24%), 토목(21%), 비주거용 건물신축(18%) 순
- 이 중 가장 큰 시장을 형성하고 있는 유지·보수시장은 Comprehensive renovation, Partial renovation, Particular renovation으로 구분되며, 각각의 시장 점유율은 15 ~ 20%, 33% 그리고 45 ~ 55%임
- 유럽연합의 전체 건설시장 규모에 유지·보수 시장점유율 37% 적용하면 그 규모는 약 1,450억 유로(1,720억 달러)

■ 유럽연합의 해체시장 매출액은 영국 사례인 유지·보수 시장에서 해체시장 비율 1.75%를 적용하면, 유럽연합의 해체시장 매출액은 약 25.4억 유로(30.1억 달러)로 추정됨

### (2) 폐기물 재활용 산업

■ 유럽연합 27개국 각 국가별 건설폐기물 재활용 성과가 다름

- 재활용 선진국이라 할 수 있는 독일, 덴마크, 네델란드, 벨기에 등은 2000년에 이미 재활용률 70%를 달성하였으며, 2020년까지 재활용과 에너지화를 통합하여 80%를 목표로 설정하였음
- 하위그룹으로 구분할 수 있는 스페인, 헝가리 등은 모두 50% 미만의 재활용률을 보이고 있으며 2020년까지 70%의 재활용 목표를 설정하였음
- EU의 재활용 가이드라인(EU protocol)에서는 폐콘크리트, 폐목재, 폐합성수지 등 다양한 폐기물의 재활용 방향을 제시하고 있음. 폐콘크리트를 재활용한 순환골재에 대한 수요도 증가하고 있음
- 도로공사에서의 순환골재 사용은 최대 발생량의 75%까지 가능할 것으로 예측하고 있으며, 콘크리트용의 경우 프리캐스트 공정에서의 활용을 가장 부가가치가 높은 것으로 설정
- 이는 미수화물의 수화 활동을 통한 시멘트 사용량 저감도 일정 부분 역할을 할 수 있다고 판단하였기 때문임

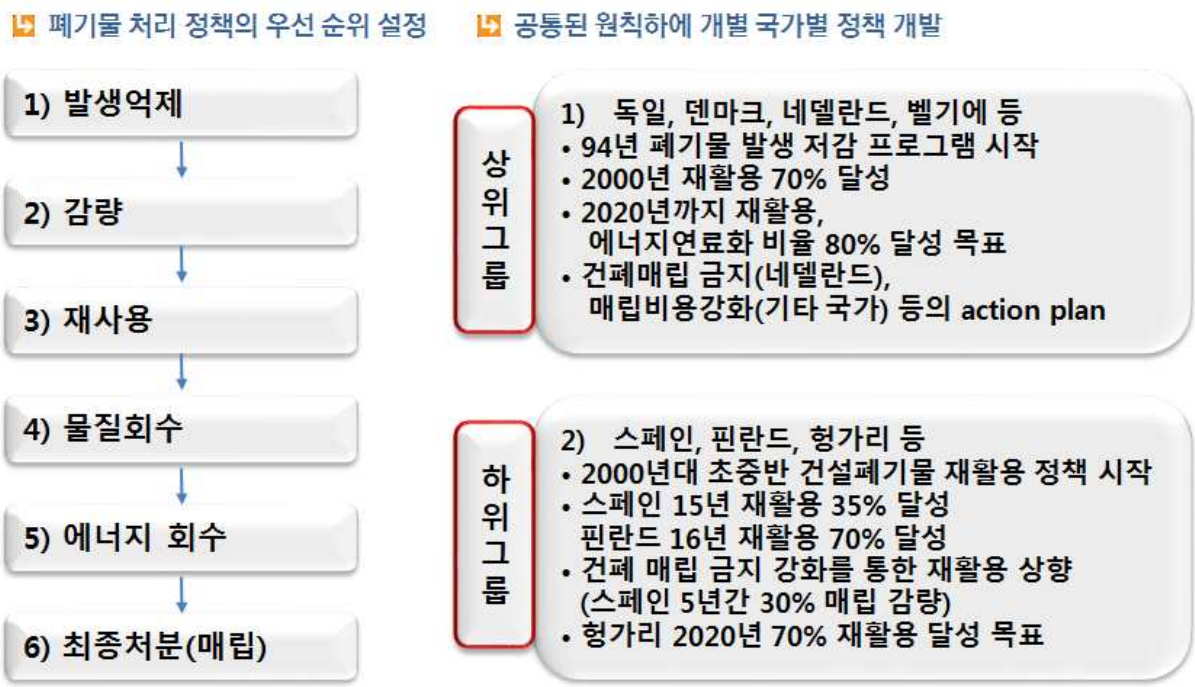



그림 2.45 폐기물 재활용 처리 흐름 및 수준별 구분 (EU)

<표 2.16> EU 국가의 폐콘크리트 재활용 추진현황

| | |
|---|---|
| **EU 27개국 콘크리트 생산량** | • 레미콘 생산량 : 9억 톤<br>• 프리캐스트 콘크리트 생산량 : 2~2.5억 톤<br>• 총계 13.5억 톤(2008) |
| **EU 27개국 폐콘크리트 발생량** | • 총 건설폐기물의 60~70% 추정(3.2~3.8억 톤) |
| **재활용의 장애요소** | • 불확실한 공급체계<br>• 품질에 대한 인식의 전환이 이루어져야 함<br>• 고품질 제품의 생산 어려움 |
| **재활용 잠재적 가능성** | • 도로공사용 골재로서 최적의 제품임<br>• 재활용을 전제로 한 해체산업 촉진<br>• 매립금지 및 세금의 부가를 촉진할 수 있음(대안을 제시하여 세금 부가)<br>• 기술개발을 다양하게 전개<br>• 골재 인증 등을 통하여 품질 향상 유도 할 수 있음 |

<출처 : Service contract on management of construction and demolition waste-SR1, 2011>

■ 배출되는 다양한 건설폐기물의 재활용을 위한 기술개발이 이루어지고 있음

- 특히 순환골재의 콘크리트용 및 이에 따른 CO2 절감효과와 경제성 개선에 중점을 둔 기술개발이 이루어지고 있음
- 순환골재 사용에 따른 환경성 개선에 대한 효과는 CO2 방출 환산량으로 집계하는 방안 제시
- 현재 상황에서 온실가스의 배출량은 시멘트 사용에 따라 0.6 CO2/톤이 발생하지만 콘크리트 사용단계에서 0.07 CO2/톤이 사용되며, 이를 EU 27개국 전체를 통합하여 환산할 경우 6,400만 톤의 CO2 발생
- 따라서 순환골재의 사용에 따라 총 3,700만 톤의 CO2 배출이 이루어져 42%의 절감 효과 획득 가능

<표 2.17> 순환골재 콘크리트 사용에 따른 $CO_2$ 저감량

| 구 분 | 온실가스 배출량 : $CO_2$/t cement | 온실가스 배출 : $CO_2$/t concrete | 온실가스 배출 Eu-27 Level : 백만톤 | 잠재적 저장 (hyp: 10% 재사용 콘크리트) : 백만톤 |
|---|---|---|---|---|
| 현재 상황 | 0.6 | 0.07 | 64.8 | 6.48 |
| 시멘트 생산의 최적화된 효율성 | 0.35 | 0.04 | 37.8 | 3.78 |

그림 2.46 G to G 계획에서 석고보드 밸류체인
<출처 : EU G to G project DA1-Inventory of Current Practices, 2013.9>

■ 유럽에서는 석고보드의 재활용에도 많은 관심과 인프라 건설에 투자하고 있음. GtoG(Gypsum to Gypsum) 프로그램을 통하여 석고보드의 전과정 관리를 실시하여 재활용을 원활하게 할 수 있는 시스템을 구축하고 있음

- 석고보드는 석고보드를 제외하면 재활용할 수 있는 분야가 없음. 특히, 소각이 불가능한 폐기물이며, 매립 시 2차 환경오염원으로 작용할 수 있기 때문에 재활용이 필수적인 항목으로 인식하고 있음
- 조립식 건축물이 많은 유럽 국가들에서 석고보드는 시공성, 내화성, 내구성, 단열성 등 모든 분야에서 가장 많이 사용하는 건축자재 중 하나임
- 석고보드 제조용 석고는 과거에는 천연 석고를 사용하였으나 현재는 비료생산 공정의 인산부산석고, 탈황공정의 배연탈황석고 등을 사용하며, 이러한 공정에서 발생하는 석고를 건축자재로 사용하지 않으면 소비할 방안이 없으며, 전량 폐기처리 하여야 함

## 2.2.4. 미국

■ 미국의 건설산업 총 매출액은 8,600억 달러, 전문해체업의 매출액은 약 23억 달러로서 그 비중은 0.27%를 차지

- 2005년 기준으로 미국의 해체시장 규모는 약 38억 달러로 추정되고 있을 정도로 시장 확대 추세로, 미국의 각 주정부는 건설폐기물의 저감과 재활용율을 높이기 위한 많은 연구지원을 추진 중

<표 2.18> 미국의 건설업 및 전문해체업의 시장규모(1997년)

| 구분<br>(NAICS Title) | 업체 수<br>(개) | 매출액<br>(천 달러) |
|---|---|---|
| 종합건설업 | 656,448 | 858,581,056 |
| 전문건설업 | 414,602 | 340,860,576 |
| 기타건설업 | 59,143 | 55,990,852 |
| 전문해체업 | 1,542 | 2,304,008 |

<출처: 지속가능한 발전을 위한 해체산업분석 및 제안(한국건설관리학회 논문집 11(3), 2010)>

<표 2.19> 미국의 해체시장 변동현황

| 구분 | 업체 수<br>(개) | 매출액<br>(천 달러) |
|---|---|---|
| 1997 | 1,542 | 2,304,008 |
| 2002 | 2,097 | 3,143,854 |
| 평균성장률(%) | 7.2 | 7.3 |

<출처: 지속가능한 발전을 위한 해체산업분석 및 제안(한국건설관리학회 논문집 11(3), 2010)>

### 2.2.5. 영국

■ 영국 무역산업부 자료에 따르면 민간도급 부문의 해체시장은 연평균 19%씩 성장하고 있으며, 2000년 이후 시장이 안정화 추세를 보이고 있지만 2004년 민간도급 해체시장의 규모는 약 2.12억 파운드(3.69억 달러)로 발표

- 부분해체 시장과 관련이 있는 영국의 유지·보수 시장은 평균 6.4% 정도 성장하고 있는 것으로 분석됨
- 영국의 유지·보수 시장규모는 2004년 451억 파운드(785억 달러)이고, 이중 약 64%가 공공부문으로서 민간보다 더 큰 시장을 형성하고 있으며, 유지보수는 부분해체를 동반한다는 특징이 있음
- 영국의 유지·보수시장에서 민간부분의 시장규모가 전체의 약 36%인 점에 착안하여 해체시장도 동일비율로 공공부분의 시장을 형성하고 있다는 추론으로 시장규모 예측조사 결과, 부분 해체시장의 규모는 약 2.2억 파운드(3.8억 달러)이고, 공공부문 해체시장 규모는 5.8억 파운드(10.1억 달러)로 추정

<표 2.20> 영국 민간도급부문 해체산업 시장규모 및 종사자 수

| 연도 | 공사액 | | 종사자 수 | |
|---|---|---|---|---|
| | 금액(백만 파운드) | 증감률(%) | 인원 수(천명) | 증감율 (%) |
| 1994 | 37.2 | | 3.2 | |
| 1995 | 51.1 | 37 | 3.6 | 13 |
| 1996 | 48.8 | -5 | 3.8 | 6 |
| 1997 | 55.9 | 15 | 4.4 | 16 |
| 1998 | 59.3 | 6 | 4.6 | 5 |
| 1999 | 126.2 | 113 | 9.6 | 109 |
| 2000 | 88.8 | -30 | 6.2 | -35 |
| 2001 | 249.2 | 181 | 11.1 | 79 |
| 2002 | 205.3 | -18 | 11.2 | 1 |
| 2003 | 226.2 | 10 | 9.9 | -12 |
| 2004 | 212.8 | -6 | 9.7 | -2 |

<출처: Construction statistics annual 2005, 무역산업부>

<표 2.21> 영국 유지·보수 부문 시장규모 및 추이(단위: 백만 파운드)

| 연도 | 주택 | | 기타 | | 합계 | 증가율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 민간 | 공공 | 민간 | 공공 | | |
| 1994 | 5,963 | 7,805 | 5,212 | 5,376 | 24,356 | - |
| 1995 | 6,465 | 8,130 | 5,398 | 5,978 | 25,971 | 6.6 |
| 1996 | 6,638 | 8,398 | 5,252 | 7,030 | 27,318 | 5.2 |
| 1997 | 6,628 | 9,125 | 5,079 | 7,590 | 28,422 | 4.0 |
| 1998 | 6,506 | 9,697 | 5,219 | 8,147 | 29,569 | 4.0 |
| 1999 | 6,486 | 9,885 | 5,372 | 8,375 | 30,118 | 1.9 |
| 2000 | 6,552 | 10,354 | 5,686 | 9,425 | 32,017 | 6.3 |
| 2001 | 6,630 | 10,989 | 6,109 | 10,990 | 34,718 | 8.4 |
| 2002 | 6,412 | 12,758 | 6,712 | 12,340 | 38,222 | 10.1 |
| 2003 | 7,451 | 13,863 | 7,930 | 13,686 | 42,930 | 12.3 |
| 2004 | 8,302 | 14,926 | 8,016 | 13,881 | 45,125 | 5.1 |

# 3. 국내·외 사회 동향

## 3.1. 국내 사회 동향

### 3.1.1. 노후 건축물 증가

■ 사용승인 후 **30년 이상 경과된 노후 건축물 증가**

- 2005년 29.0%, 2012년 33.8%, 2018년 37.1%, **2020년 38.8%**로 **전체 건축물 중 노후 건축물 비율 매년 증가**[43)]
- 노후 건축물 중 5층 미만, 500$m^2$ 미만의 **소규모 건축물이 314만 동(노후건축물 전체 334만동)**으로 **30년 이상 노후 건축물 중 94%** 점유
- 전체 **멸실 건축물 중 30년 이상 노후건축물 점유비 점차 증가**
- 2012년 멸실 건축물 중 30년 이상 노후 건축물 18,366동(40.5%)이 멸실되었으며, **2020년 38,143동(47.8%)가 멸실되어 멸실 수 및 비율도 지속적으로 증가**

■ 국내 노후건축물 증가에 따른 재건축/리모델링 공사의 급격한 증가로 위험 가중

- 노후건축물은 내진설계 및 화재안전성능 등 건축 관련 안전기준이 부재했던 시기에 조성된 건축물로, 사용 과정에서 불법 용도변경·증축 등이 이루어지면서 안전에 더 취약해졌으며 붕괴 위험 또한 높음

■ 노후 건축물의 증가는 일부 건축물 붕괴 등의 안전사고로 이어지며, 다수의 인명피해를 초래하는 경우가 발생하고 있어 이에 대한 대비 필요

<표 2.22> 국내 건축물 현황

| 구분 | 2020년 12월 기준 | | 비고 |
|---|---|---|---|
| | 동수 (점유율) | 연면적 (점유율) | |
| 계 | 7,275,266 (100 %) | 3,961,887,870 (100 %) | |
| 10년 미만 | 1,254,371 (17.2 %) | 1,002,464,730 (25.3 %) | ‘12 ~ ’ 20년 |
| 10 ~ 15년 미만 | 598,277 (8.2 %) | 502,213,883 (12.7 %) | ‘07 ~ ’ 11년 |
| 15 ~ 20년 미만 | 622,923 (8.6 %) | 568,936,293 (14.4 %) | ‘02 ~ ’ 06년 |
| 20 ~ 25년 미만 | 624,496 (8.6 %) | 502,487,569 (12.7 %) | ‘97 ~ ’ 01년 |
| 25 ~ 30년 미만 | 833,438 (11.5 %) | 622,501,921 (15.7 %) | ‘92 ~ ’ 96년 |
| 30 ~ 35년 미만 | 535,672 (7.4 %) | 287,338,902 (7.3 %) | ‘87 ~ ’ 91년 |
| 35년 이상 | 2,284,186 (31.4 %) | 392,955,644 (9.9 %) | ~ ’ 86년 |
| 기타 | 521,903 (7.2 %) | 82,988,928 (2.1 %) | |

<출처 : 국토교통부 건축물 생애이력 관리시스템, 기준일자 2020년 12월 31일>

43) 국토교통부 생애이력관리 시스템

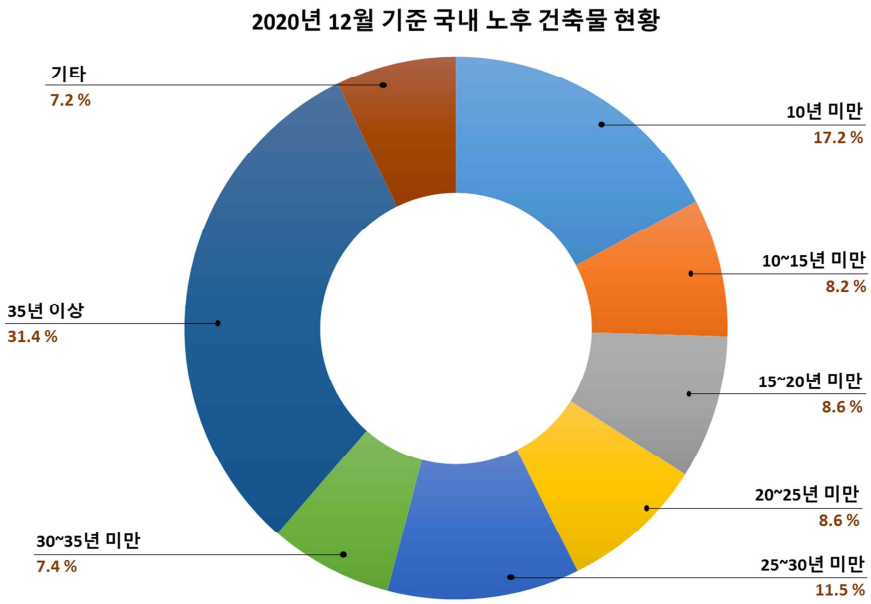



그림 2.47 2020년 12월 기준 국내 건축물 현황

### 3.1.2. 해체공사 증가

■ **(해체대상 증가)** 건축물 노후화에 따른 **정비사업 증가 및 신도시 수명도래**

- 재건축 포함 **가로정비사업 ' 18년 61개 → '21년 219개로 3.5배 증가**
- 30년 이상 건축물 ' 11년 33.8%(229만동) → '20년 38.8%(282만동), 1기 신도시 건축 30년 경과

■ **(해체사고 증가)** 건축물 해체·철거 중 사고 지속적으로 발생

- 근로자 만 명당 사망사고를 나타내는 사고사망 만인율은 전체 산업에서 지속적으로 감소하고 있지만, 건설업은 15년 이후 지속적 증가

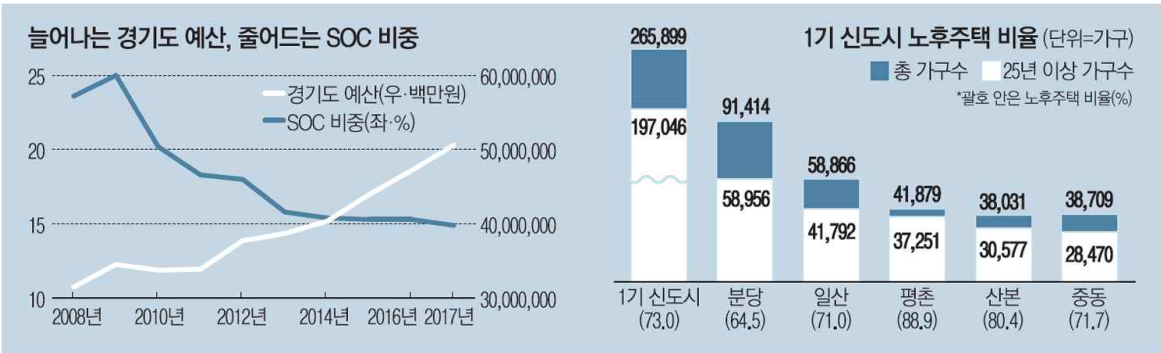



그림 2.48 1기 신도시 노후주택 비율

<출처 : 매일경제(2018), 늙어가는 분당·일산 "재난 때마다 철렁" >

### 3.1.3. 자연재난 및 건축물 안전사고

■ **(자연재난)** 우리나라에서는 **자연재해**로 인한 최근 '06년~'15년 동안 **연평균 5천억 원의 피해액**과, **약 1조 1천억 원의 복구비를 지출**하였으며, **사회재난으로 인한 연평균 9천2백억 원의 재산피해가 발생**

■ 이 중 **자연재해로 인한 건축물(건물, 공공시설)의 피해액은 약 4천억원에 해당**하며, **전체 피해액의 78.4%에 해당**[44]

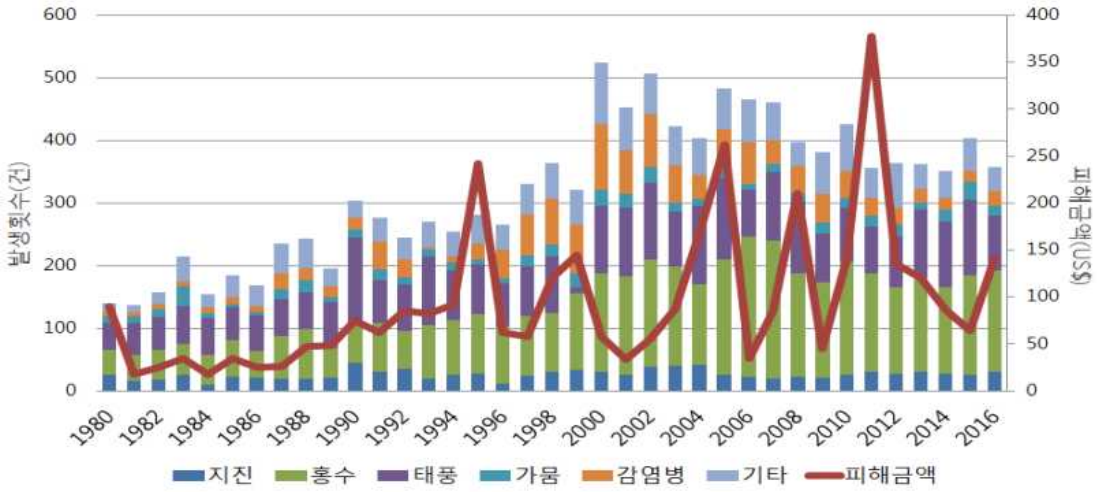



그림 2.49 재난의 발생 현황과 경제적 손실

<출처 : 주요 재난이 국가경제 등에 미치는 영향분석 연구, 인하대학교, 2016>

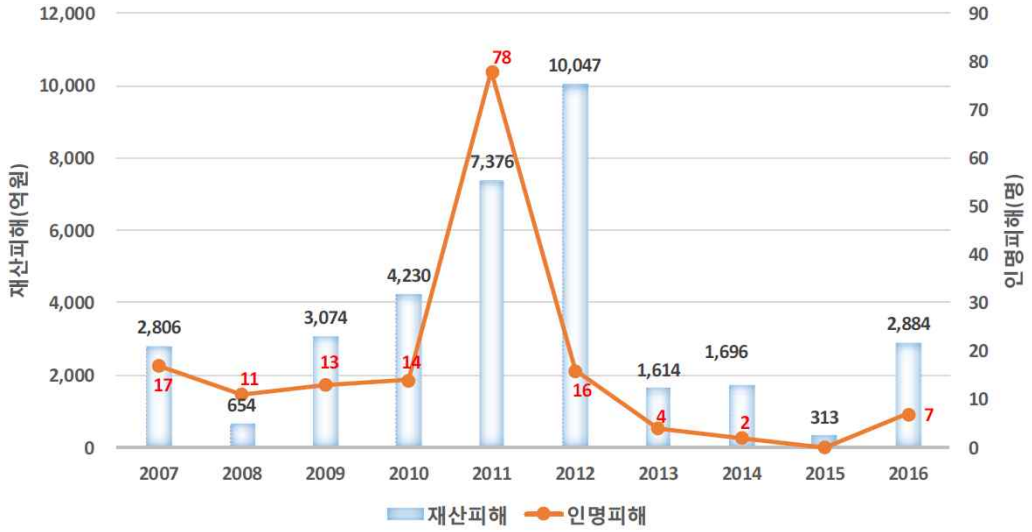



그림 2.50 국내 재난의 발생 현황과 경제적 손실

<출처 : 3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획, 2018>

■ **(건축물 안전사고) 자연재난과 더불어 건축물 화재·붕괴 등 안전사고 발생에 따른 사회 이슈 증가로 건축물 안전에 대한 국민의 불안감은 더욱 가중되고 있는 상황임**

- 2018년 건축물 및 시설물(붕괴, 폭발 등) 사회안전에 대한 인식도 조사 결과 "불안하다, 32.8%" 로 조사됨('18, 통계청)
- 자연재해(태풍, 홍수, 지진 등)에 대한 인식도 조사결과는 37.6%가 불안하다고 응답

■ 제천 사우나 화재, 종로 고시원 화재와 같이 시설기준 미준수, 재료성능미달 등이 화재사고 확산[45]의 원인으로 나타났으며, 경주·포항지진의 경우 구조변경, 시공품질관

44) 국민안전처 재난연감, 2016
45) '건축물안전강화를 위한 합리적 정책연구, AURI, 2015

리 부실에 의해 그 피해가 확대되었음

■ 16년 경주에서 규모 5.8 지진발생, 17년 포항에서 규모 5.4 지진이 매년 연달아 규모 5.0이상의 지진이 발생하면서 인명 및 재산피해 발생

- 2016년 9월 12일 경주에서 발생한 리히터 규모 5.8 지진은 1978년 지진 관측이래 우리나라에서 발생한 최대 규모 지진으로 측정
- 부상자 23명 및 5,268건의 재산피해(약 11,020백만원)가 발행하였으며, 54세대 111명의 이재민 발생

■ 2017년 11월 15일 포항에서 발생한 지진은 리히터 규모 5.4로 경주지진에 이어 두번째로 큰 규모이자 가장 큰 피해 발생

- 부상자 92명, 이재민 1,797명, 시설물 피해 2만7,317건 총 피해액 551억원으로 집계[46)]

그림 2.51 지진으로 인한 피해 사례

### 3.1.4. 건축현장 안전사고 증가

■ **직군별 산재는 연평균 감소하는 추세지만 건설사고 사망자수는 줄지 않고 있으며, 비중도 절반이상을 차지하고 있음**

- 후진국형 사고인 추락사망자는 '17년 276명으로 전체 506명의 54.5%에 해당함
- 사고위치별로는 작업대 등 가설구조물, 규모는 20억 미만 소형현장, 공종은 건축공사, 공공보다는 민간이 취약하며, 균형을 잃은 등 작업자 부주의로 70.4%로 가장 높음
- ' 17년 추락사망자 : 가설구조물 116명(42.0%), 공사규모 20억미만 175명(63.4%), 공종 건축 243명(88.0%), 발주자 민간공사 233명(84.4%)

■ 작업자 부주의로 분류된 사고는 난간 없는 외다리와 같이 헛디딤 등 작업자의 단순 실수를 포용하지 못하는 작업환경이 문제임

- 지붕위에서 균형을 잃음, 거푸집 작업중 발을 헛디딤, 이동 중 미끄러짐 등

■ **작업자의 실수까지 포용할 수 있는 안전한 작업환경을 조성하기 위해 설계에서 시공 등 사업단계별로 안전장치의 강화가 필요함**

■ 경제성 위주의 사업계획으로 작업안전에 대한 고려가 미흡하여 잦은 사고 발생

- 작업발판 및 난간 등 작업 과정의 안전확보를 위한 조치와 관련 비용 설계 등 사업계획에 반영되지 못하고 있음

46) 지진백서, 국민안전처(17.05)

■ 가설구조물 설치 및 해체절차를 무시하는 등 현장 부실시공으로 인한 사고발생

- 시공을 위하여 임시 설치되는 작업발판 등 가설구조물은 목적물인 영구 시설물에 비해 현장확인, 안전성 검토 등 기술관리가 소홀함

■ 작업자 실수 및 과실을 용인하지 않는 작업환경으로 인한 사고발생

- 건설현장의 현행 안전관리체계는 작업자의 행동에만 의존하는 불완전한 체계로 중심을 잃는 단순한 작업실수로 사망사고 유발
- 발판 외에도 추락 방지망, 안전벨트 등 이중 삼중의 안전장치 필요

■ **건축물 해체 시 사전예방을 위한 제도 및 안전장치가 없어 끊임없이 사고가 발생됨**

■ **건축법 27조에 따르면 건축물의 소유자 또는 관리자가 그 건축물을 철거하는 경우에는 철거하기 전 시장 및 군수 등 신고하면 관리·심의 없이 해체가 가능함**

- 구체적인 인허가 절차와 요구사항이 없어서 철거작업 전 철거계획에 대한 안전성 검증되지 않은 상태에서 철거신고만으로 철거작업이 이루어지며, 사고 후에나 관련기관이 개입하여 해체계획서를 제출하고 승인 받도록 요구함

■ **해체대상 건축물에 대한 정보가 없어 구조물의 해체공사 전에 제거하여야 할 위험물(석면, 가스, 전기 등)의 유무와 위치를 모르는 상태에서 해체작업을 하는 경우가 대다수임**

- 합리적인 해체방법과 안정성평가를 위해서는 구조물에 대한 정보가 필수적이나 오래된 건축물의 관련 문서는 보관하지 않으며, 해체업체는 비용 때문에 현황조사 및 정밀안전진단을 기피함
- 해체에 대한 구체적인 실무 지침이 없어 해체업체는 주로 철거장비 기사의 경험에 의해 습득한 방법으로 작업을 진행함

### 3.1.5. 건설 순환 자원 경제로의 전환

■ **(탄소중립)** 기후위기 대응을 위해 우리나라를 비롯한 전 세계 주요국에서 지속가능한 미래를 위한 '탄소중립(Net-Zero)' 선언

- 탄소중립을 위한 방안 중 하나로 폐자원 활용 및 경제 패러다임을 전환해야 한다는 주장이 제기됨

■ **순환경제(Circular economy)**란, 기존의 생산-소비-폐기(Linear economy)가 아닌, 경제계에 **투입된 물질이 폐기되지 않고 유용한 자원으로 반복 사용되는 경제시스템**

- 한정된 천연자원을 적게 사용하면서 폐기물을 최대한 생산과정에 재투입하여 재활용하는 것을 자원순환으로 정의함
- 우리나라는 미래 기후변화·환경 위기에 대응해 전략적 녹색산업 발굴 및 이를 지원하는 인프라 확충을 통해 혁신생태계 구축을 위한 노력을 경주하고 있음
- 폐열·폐기물 재사용, 재생에너지 등을 통한 오염물질 최소화를 위해 스마트 생태공장 구축과 더불어 기업별 배출특성 진단 및 오염물질 저감 설비·기술 지원을 위한 클린팩토리 조성 등을 중점 추진

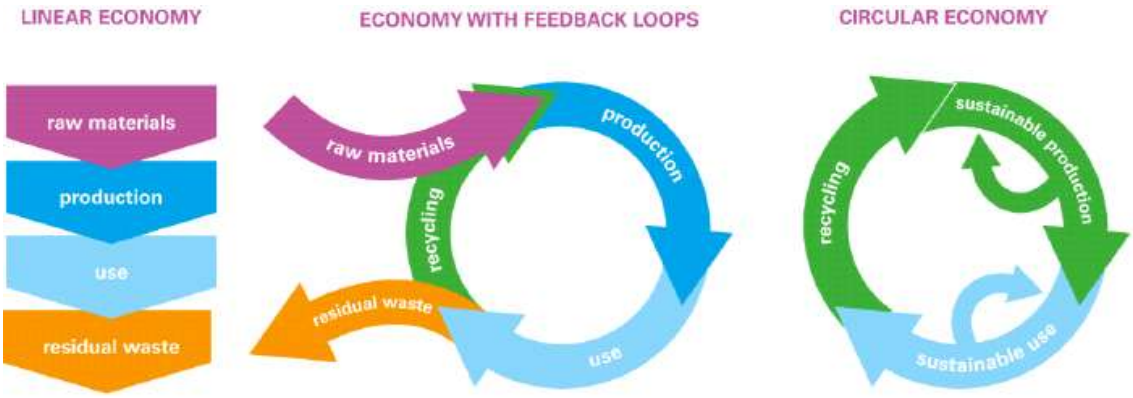



그림 2.52 선형경제에서 순환경제로의 전환

<출처 : Circular Economy: From Wish to Practice(Raad voor de leefomgeving en infrastructure, Rili, 2015), 중소기업 전략기술로드맵 2021-2023>

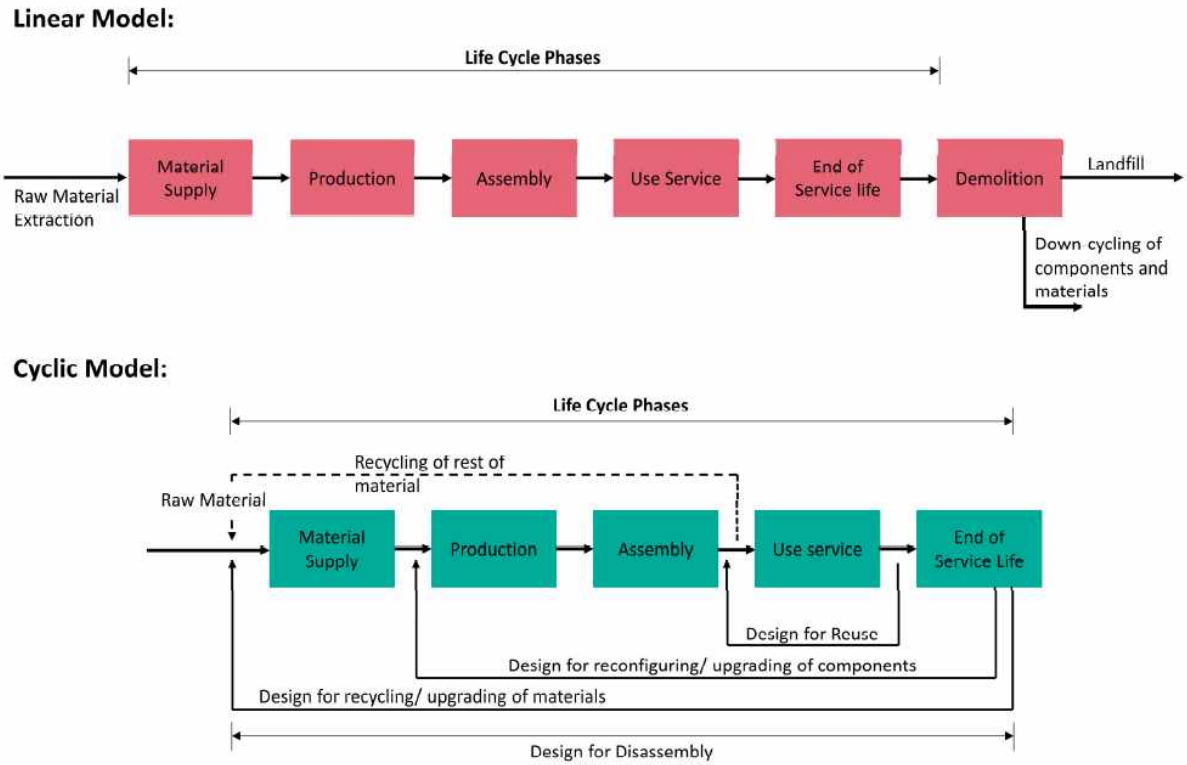



그림 2.53 건설산업에서의 비즈니스 모델 비교 (상) 선형모델, (하) 순환모델

<출처 : Arghavan Akbarieh et al(2020), BIM-Based End-of-LifeCycle Decision Making and Digital Deconstruction : Literature Review, MDPI>

■ **순환경제 구축을 위한 건설 폐기물 자원화 요구 증가**

- 국내 발생 폐기물의 소각 · 매립 · 해양투기 등의 한계 도달하여 우리나라도 자원을 효율적으로 이용하여 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 발생된 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진하여 천연자원과 에너지의 소비를 줄임으로써 환경을 보전하고 지속가능한 자원순환사회 구축을 위하여 2018년 자원순환기본법 제정
- 우리나라는 국민 1인당 플라스틱 소비량 최상위 국가(98kg, 2016년), 1인당 건설폐기물 배출량 최대(1.6톤, 2018년)로 순환경제 구축이 시급한 상황임

■ **국가 차원에서 분별해체공사 의무화**

- 환경부는 연간 7,500만 톤 이상 배출되는 건설 폐기물의 효율적인 재활용을 위하여 2021년부터 공공발주 공사에 한하여 분별해체공사 의무화
- 분별해체공사의 의무화는 해체단계에서 건축자재의 성질이 같은 성상별 해체를 실시하여 이물질의 혼합을 최소화함으로써 재활용을 원활하게 하고 비용 절감을 통한 경쟁력이 있는 순환자원 공급에 목적이 있음

그림 2.54 EU 순환경제 패키지 개념 및 수도권 매립지 운영종료 관련 보도

<출처: 에너지 데일리 보도자료, 2020.6.29>

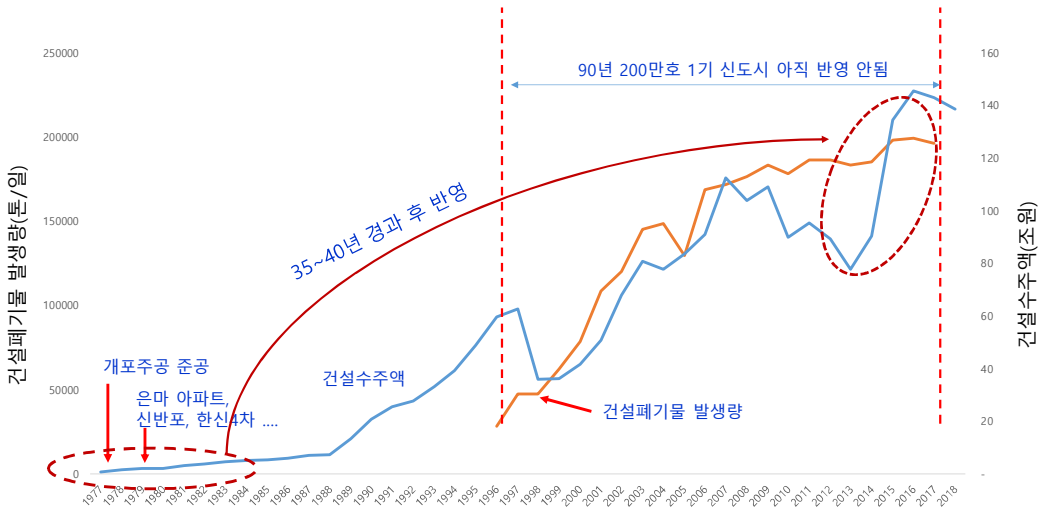



그림 2.55 국내 건설산업과 건설폐기물 배출현황 비교

<출처 : 분별해체 제도 실행방안 마련을 위한 연구, 환경부, 2019.6>

## 3.1.6. 건설공사 비산먼지 배출

■ **비산먼지 관련 중대 재해 사고**로 비산먼지 인력 살수와 관련하여 2017년 1월 7일 서울 종로구 톰지 모텔 철거 공사 중 **인력살수 작업을 하고 있던 인부가 현장에서 매몰되어 사망**하는 사고 발생

- 2020년 8월 부천 원종 가로주택정비사업 중 콘크리트 파편 강타로 인력살수 작업을 하던 근로자가 사망하는 중대한 재해가 발생하는 등 인력살수 관련 재해가 지속적으로 발생하고 있는 상황임

- 그림 2.58은 2018년 환경부 국가미세먼지정보센터에서 분석한 국가 대기오염 배출량(PM 10 및 PM 2.5) 분석 자료이며, 그림에서 보는 바와 같이 비산먼지가 국가 전체 배출량의 39%로 국가 미세먼지 최대 배출원임

| 종로구 낙원동 톰지모텔 철거공사 중 붕괴로 인력 살수 작업 중 근로자 추락 사망 재해 사건 | | | |
|---|---|---|---|
| 재해 발생 일시 | 2017년 01월 07일 | 소재지 | 서울시 종로구 |
| 피해상황 | 근로자 2명 사망, 근로자 2명 부상 | | |
| 종로구 톰지 모텔 재해상황도(2017) | | | |

| 부천 원종 LH참여형 가로주택정비사업 철거공사 중 콘크리트 파편 강타로 인력 살수 근로자 사망 재해 사건 | | | |
|---|---|---|---|
| 재해 발생 일시 | 2020년 08월 31일 | 소재지 | 부천시 원종동 |
| 피해상황 | 근로자 1명 사망 | | |
| 부천 철거공사 재해상황도(2020) | | | |

그림 2.56 건설현장 인력살수 작업 중 사망 재해 사건

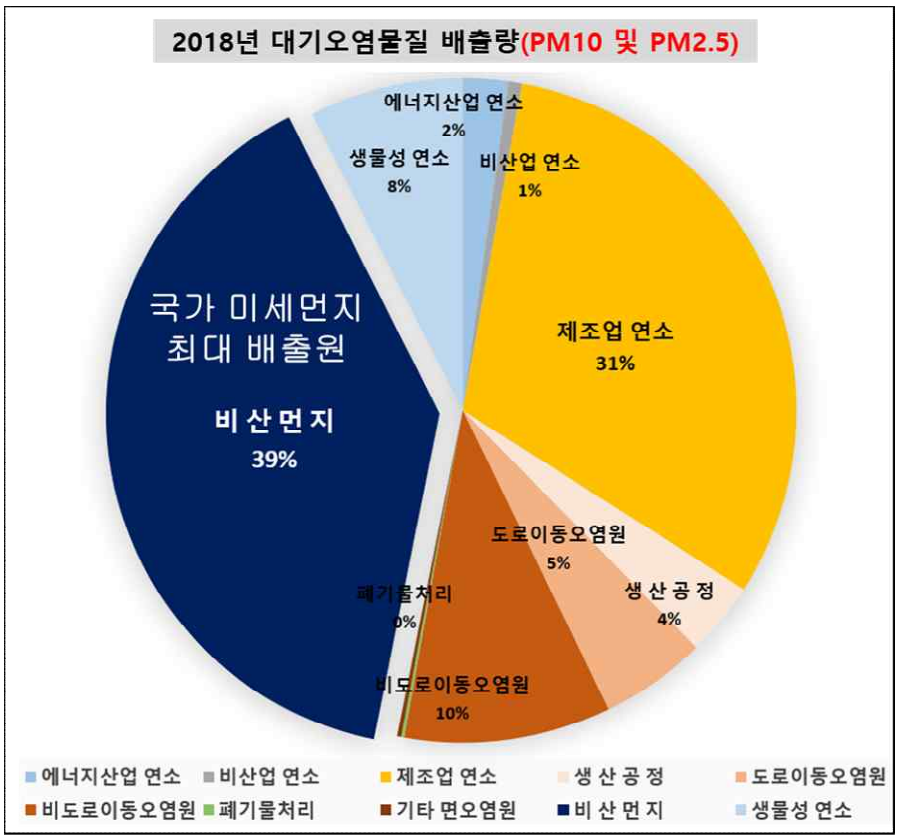



그림 2.57 국가 대기오염물질 배출량(PM 10 및 PM 2.5) 분석

<출처 : 환경부 국가미세먼지정보센터(2018) >

<표 2.23> 분류별 비산먼지 배출량 조사표

| 배출원 중분류 | TSP | PM-2.5 | PM-10 | BC | 합 계 | 비율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 도로재비산먼지 | 163,640 | 7,599 | 31,411 | 79 | 202,729 | 36.30 |
| 건 설 공 사 | 55,488 | 3,807 | 38,065 | - | 97,360 | 17.43 |
| 나 대 지 | 21,645 | 1,266 | 8,442 | 0.30 | 31,353.30 | 5.61 |
| 하역 및 야적 | 25 | 1 | 9 | 0.04 | 35.04 | 0.01 |
| 농 업 활 동 | 27,778 | 1,914 | 9,572 | 0.40 | 39,264.40 | 7.03 |
| 축 산 활 동 | 33,898 | 2,073 | 11,325 | 31 | 47,327 | 8.47 |
| 폐기물처리 | 16,585 | 447 | 4,473 | - | 21,505 | 3.85 |
| 비포장도고 비산먼지 | 108,856 | 918 | 9,176 | 10 | 118,960 | 21.30 |
| 합 계 | 427,915 | 18,025 | 112,473 | 120.74 | 558,533.74 | 100 |

<출처 : 환경부 국가미세먼지정보센터(2018) >

■ 또한, 표 2.23에서 보는 바와 같이 비산먼지 전체 발생량 중에 **건설 공사에서 발생하는 비산먼지가 약 17%를 차지**하고 있으며, 이중 **인체에 치명적인 미세먼지로 분류되는 PM 10 및 PM 2.5가 대부분**을 차지하고 있음

- 한편으로 그림 2.59에서 보는 바와 같이 대부분의 건축물 해체 현장에는 가림막을 설치하고 공사를 진행함. 가림막을 설치함으로써 밖에서는 보이지 않으며, 오히려 철거 공사에 대한 경각심이 낮아지는 현상이 초래됨. 즉, 작업 현황을 노출하지 않기 때문에 안전관리 부분이 느슨해질 수 있는 현상 발생.

그림 2.58 가림막 너머의 불편한 진실

그림 2.59 건축물 해체 적합 새로운 무인 비산먼지 저감 기술 요구

■ **기술적**으로는 **무인 물 분사 기술의 부재가 인력 살수 근로자에게 많은 위험에 노출하게 함.**

- 건축물 해체 현장의 대부분이 경제적인 이유로 인력 살수 방식을 하고 있는 실정
- 언제든 붕괴 가능한 해체 현장에 인력 살수 근로자가 있는 기존 방식은 근로자 사망과 같은 중대 재해 발생이 항상 존재
- 전술한 사고 사례와 비산먼지 배출 현황 조사 결과에서와 같이 건축물 해체에 적합한 무인 물 분사 방식의 새로운 비산먼지 저감 기술이 요구됨

## 3.2. 국외 사회 동향

### 3.2.1. 인구 및 도시 구조 변화

■ **전 세계적으로 급격한 인구 증가와 도시화로 인해 도시 집중화 현상 및 인구구조가 변화(고령층 증가)하고, 4차 산업혁명 기술 발달로 인한 초연결 사회 도래 등 도시 구조 또한 변할 것으로 전망**

■ 세계 인구 추이 전망 자료*를 종합하여 과학기술정보통신부(2020)[47]에서 재구성한 결과, 세계 인구는 산업혁명을 기점으로 급격하게 증가하였으며 `20년 기준 78억 명에서 `45년에는 95억 명으로 늘어날 것으로 전망

* United DESA(Department of Economic and Social Affairs)(2019)[48], Worldometer[49]

■ UN DESA(2019)[50]에 의하면 세계 인구 중 도시에 사는 인구의 비율은 1950년 30%에서 `18년 55.3% 수준으로 증가하였으며, 선진국 외에 개발도상국의 도시화 및 도시 인구 유입 가속화에 따라 `50년에는 도시인구가 68.4%에 이를 것으로 예상

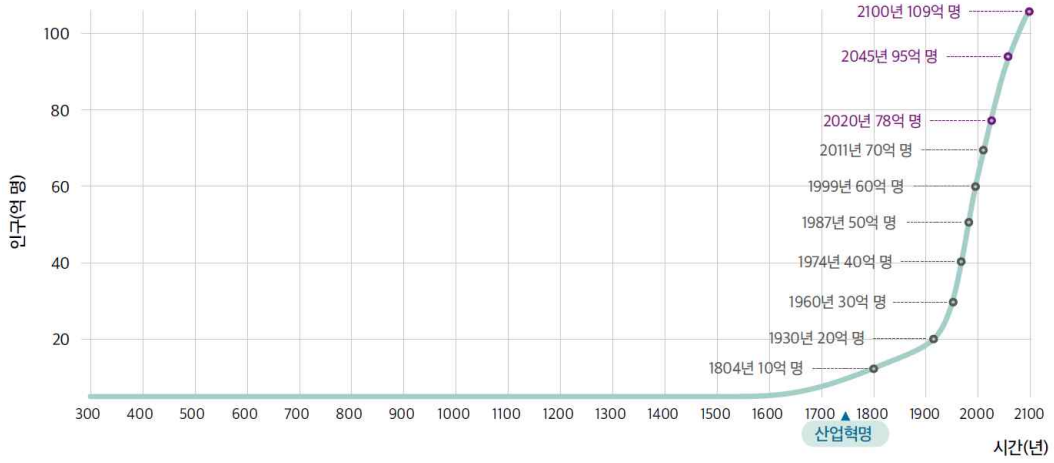



그림 2.60 세계 인구의 장기적인 추이

<출처 : 과학기술정보통신부(2020.10), 대한민국 과학기술 미래전략 2045>

<표 2.24> 글로벌 도시인구 전망[50]

| 구분 | | 인구 수(10억 명) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1950 | 1970 | 1990 | 2018 | 2030 | 2050 |
| 전체 | 글로벌 | 2.54 | 3.70 | 5.33 | 7.63 | 8.55 | 9.77 |
| | More developed* | 0.81 | 1.01 | 1.15 | 1.26 | 1.29 | 1.30 |
| | Less developed** | 1.72 | 2.69 | 4.18 | 6.37 | 7.26 | 8.47 |
| 도시 | 글로벌 | 0.75 | 1.35 | 2.29 | 4.22 | 5.17 | 6.68 |
| | More developed | 0.45 | 0.67 | 0.83 | 0.99 | 1.05 | 1.12 |
| | Less developed | 0.30 | 0.68 | 1.46 | 3.23 | 4.12 | 5.56 |
| 비도시 | 글로벌 | 1.79 | 2.35 | 3.04 | 3.41 | 3.38 | 3.09 |
| | More developed | 0.37 | 0.33 | 0.32 | 0.27 | 0.24 | 0.17 |
| | Less developed | 1.42 | 2.01 | 2.72 | 3.14 | 3.14 | 2.92 |

* More developed : 유럽 전체, 북미, 호주, 뉴질랜드, 일본, ** Less developed : 아프리카 전체, 아시아(일본 제외), 남미, etc

47) 과학기술정보통신부(2020.10), 대한민국 과학기술 미래전략 2045
48) UN DESA(2019), World Population Prospects 2019
49) Worldometer 홈페이지(https://www.worldometers.info/world-population/)
50) UN DESA(2019), World urbanization Prospects - The 2018 Revision

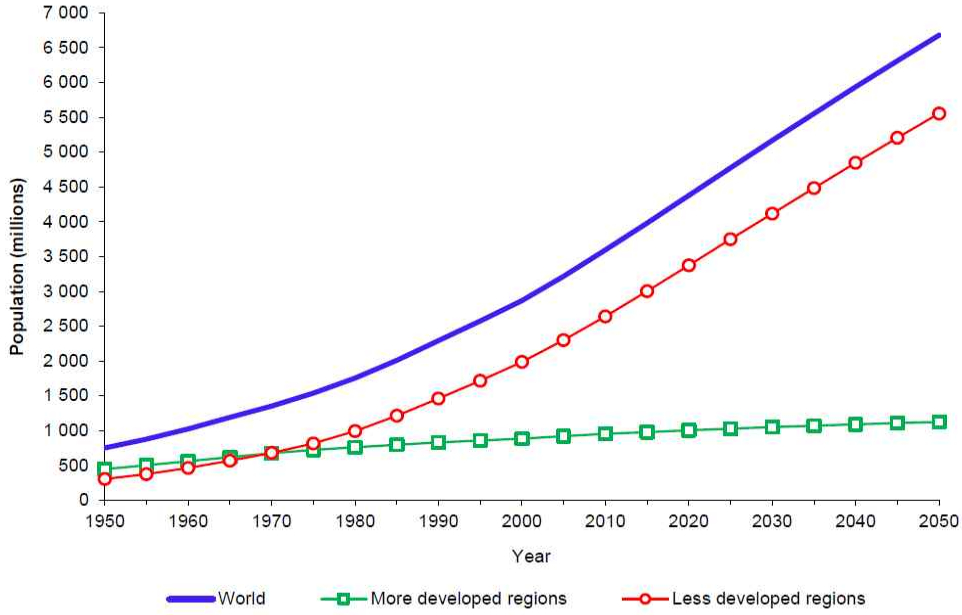



그림 2.61 글로벌 도시인구 전망

※출처 : UN DESA(2019), World urbanization Prospects - The 2018 Revision

### 3.2.2. 재난재해 증가 및 노후 소규모 밀집지역 이슈

■ **(재난·재해의 거대화) 전 세계적으로 대형재난으로 인해 심각한 경제적 손실과 수많은 인명피해가 발생하고 있으며, 특히 기후변화와 급격한 도시화로 재난 피해의 규모는 증가하고 있는 추세임**

- 전 세계적으로 지난 30년간 자연재해로 인해 250만명의 인명 손실을 발생하였고, 피해금액은 4조달러 추정[51)]
- 2050년 세계 평균기온이 1900년도 대비 2℃ 증가할 것으로 예상되고 있으며, 태풍·허리케인·사이클론 등 열대 저기압의 강수량을 최대 40% 증가시키며 풍속 또한 최대 15m/s 증가시킬 것으로 전망
- 기존 건축물은 이러한 변화에 대응하지 못하여 붕괴 등의 안전사고로 이어지며, 신규 건축물 또한 비정상 하중(설계하중초과)에 대해 건축물의 안전성능을 확보하는 방안 마련이 필요한 상황

### 3.2.3. 건설 순환 자원 경제로의 전환 가속화

■ **저탄소·친환경 경제에 대한 다양한 변화요구가 증대됨에 따른 그린경제로의 전환 가속**

- 국민과 사회안전을 위협하고 산업 및 경제에 부정적 영향을 미치는 기후변화에 대응하기 위해 국민 삶의 질을 개선하는 동시에 새로운 일자리 및 신산업 창출의 기회를 모색할 수 있는 그린 경제로의 전환 추진
- 친환경 전환은 장기 성장에 부합하고 새로운 사업기회를 창출하며(OECD, 2019), 그린 투자는 수많은 고용 창출을 통한 코로나19 충격에 회복을 견인(IMF, 2020)
- 그린 경제에 뒤처지게 되는 경우 GVC(Global Value Chian) 내 경쟁우위 상실이 우려

51) 주요 재난이 국가경제 등에 미치는 영향분석 연구, 인하대학교(2016)

되며, 코로나19를 계기로 그린 경제로의 전환이 더욱 가속화될 것으로 전망

- 애플・구글・BMW 등 241개 글로벌 기업들은 RE100(100% 재생에너지 사용) 선언과 동시에 공급망 기업들에게도 RE100 준수 요구
- 최근 유럽은 그린 딜(the European Green Deal) 정책의 공동 전략으로 순환경제 액션플랜(Circular Economy Action Plan)을 채택하면서, 순환경제 구조로 전환을 위한 지속 가능한 제품/서비스 표준화, 순환적 제품설계, 폐기물 최소화 등 다양한 정책적 전략 추진 중(EC, 2020)

### 3.2.4. 일본

#### (1) 인구 감소 및 건설업계 노동자 부족

■ 2017년 **일본 인구 사상 최대 규모로 감소**, 반면 단순노무직을 중심으로 외국인 노동자 유입이 증가하면서 **외국인 인구는 사상 최대**를 기록

- 일본 총무성 인구동태 조사 결과 2018년 1월 1일 기준 일본 인구는 1억 2520만 명으로 2017년 대비 37만 명(약 0.3%) 감소하였으며, 조사가 이루어진 이래 최대 규모
- 65세 이상 노년 인구는 전체 인구의 27.7%로, 초고령사회(만 65세 이상 노인인구 20% 이상)에 달함
- 급격한 인구 감소와 고령화가 동시에 이루어지면서 생산가능 인구 비중이 60% 아래로 떨어졌으며, 인구절벽에 따라 건설업계 현장노동자 부족한 상황

#### (2) 낮은 건설산업 생산성

■ **노동 집약적 단품 수주 생산**

- 건설업은 현장마다 작업, 기간이 다르기 때문에 하나의 제품을 반복 생산하는 제조업과는 현장 상황이 많이 다름
- 또한, 건설산업은 대부분의 공종이 야외 현장에서 이루어지고 있어 타산업에 비해 안전사고가 많음

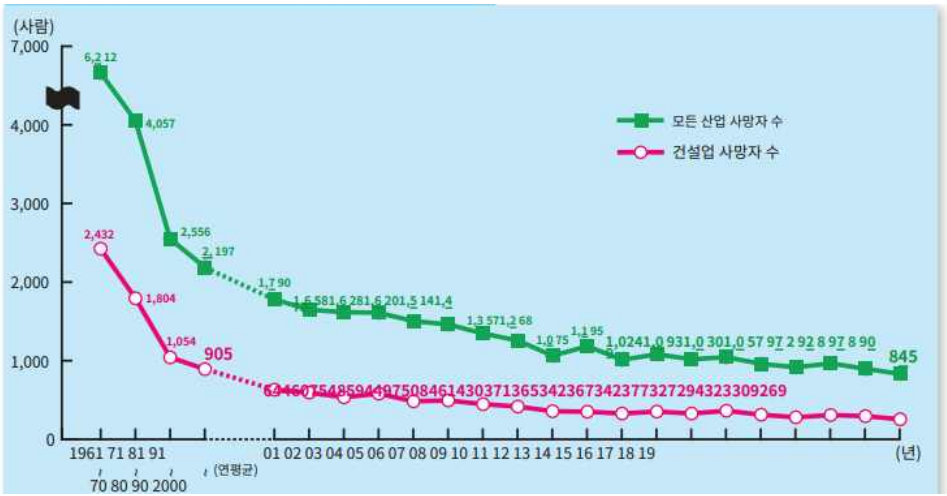



그림 2.62 전체 산업 사망자수 대비, 건설산업 사망자수 통계
<출처 : 일본 건설 계약자 연맹, 건설업 핸드북 2020 번역>

그림 2.63 건설산업 생산성 추이
<출처 : 일본 건설 계약자 연맹, 건설업 핸드북 2020 번역>

### 3.2.5. 영국

#### (1) 경제성장 회복세

■ Covid 19 대유행 이후 거시적으로 경제가 회복되고 있으나, **변종 바이러스** 출현에 따른 **백신효과 저하**와 글로벌 **공급망 병목현상** 지속에 따른 **물가상승 압박** 등이 회복세 둔화 요소로 작용, 대응할 부양책 제시가 필요[52]

- **(경제성장률)** '20년 -9.7% → ' 21년 4.4%[53]

■ **(건설산업)** 통계청에서 발표한 2021년 10월 기준 건설생산량은 Covid 19 대유행 이전(2020년 2월)과 비교 2.8%(4억 파운드) 감소[54]

- 신규공사 및 유지보수 공사의 감소와 공급망 문제에 따른 철강, 콘크리트, 목재, 유리와 같은 자재 가격인상과 제품 부족에서 기인

#### (2) 해체시장

■ 해체시장은 브렉시트, Covid 19 대유행, 중국, 러시아 및 산유국과의 외교마찰 등 환경적 제약으로 인해 더디게 성장 중[55]

- **(인력부족)** 브렉시트 및 Covid 19 대유행으로 인해 EU 가입국 출신 노동자들의 이탈 현상, EU국 노동자 구직활동 36% 감소
- **(불확실성)** 수주 지연, 자재 비용 및 금리 인상 등에 따른 불확실성의 상승으로 시장 침체
- **(환경문제)** 탄소 배출 저감 방안으로 디젤 장비에서 바이오연료(HVO) 장비로 대체, 재사용(Reuse)/재활용(Recycle) 인센티브제 시행. 향후 소음 및 먼지 저감 방안 마련이 필요

52) STARTUP, http://www.startupn.kr/news/articleView.html?idxno=22923, 2022.
53) 파이낸셜뉴스, https://www.fnnews.com/news/202201142149090222, 2022.
54) 대한건설정책연구원, 영국 정부 건설부문 주요보도자료(2021.10.01.~21.10.31), 2021
55) pbctoday, https://www.pbctoday.co.uk/news/planning-construction-news/the-demolition-industry-2022/103384/. 2022.

### 3.2.6. 미국

■ 물가상승 및 Covid 19 여파로 연초의 경기 둔화 전망과 달리 2021년 경제활동 재개 및 재정·통화정책 지원 등으로 GDP 5.7% 증가[56)]

- 초저금리, 정부지원금, 백신 접종 등의 부양책으로 경기 상승에 기여

■ **(건설산업)** 중단기적으로 경기회복에 따라 호조를 보이나, 노동력 수급과 자재 공급 문제 등으로 인해 어려움이 지속될 수 있음[57)]

- **(인력부족)** 건설 노동자가 특히 백신 접종률이 낮고 접종 받는 것에 대해 망설이는 경향이 높아 수급의 어려움이 지속. 또한, 건설산업에서의 디지털 기술(디지털 트윈, 스마트 프로젝트 관리 등) 도입에 따라 IT 인재 수요는 증가하나 공급 부족[58)]

- 장기적으로 인구 증가속도가 느려지고 있기에 건설 수요 증가속도도 느려질 전망

56) time, https://time.com/6143008/2021-us-economy-fast-growth/, 2022.
57) KOTRA, 바이든 행정부 인프라 투자의 최대 수혜산업, 미국 건설시장 동향과 전망, 2021.
58) Deloitte, 2022 engineering and construction industry outlook, 2021.

# 4. 국내·외 기술 동향

## 4.1. 국내 기술 동향

### 4.1.1. 해체공사 안전성 관련 기술

■ **해체공사 가장 중요한 항목은 안전성**

- 표 2.25와 같이 건축물 해체 공법 별로 장비추락, 해체 중 구조물 붕괴, 인명 손상 등 건축물 규모에 관계없이 안전사고가 빈번히 일어나고 있음
- 현재 국내 해체공사 현장에서는 뚜렷한 안전지침이나 기준이 부족한 실정임. 해체현장의 안전사고 발생 원인은 다양하고 복잡하기 때문에 이에 적절하게 대응할 수 있는 해체구조 안전성 해석 및 판단기술, 안전관리 지침 및 체계 등이 중요한 문제로 대두되고 있음
- 건축물 해체공사의 사고 사례 분석결과, 주요 사고원인은 해체 계획서 작성을 전문가가 아닌 철거회사가 대부분 작성하고, 시공순서 미준수 및 심의 조건 등 해체 계획서 지침대로 시공이 이루어지지 않은 것으로 보고됨
- 지속적인 증가가 예상되는 리모델링 부분해체 공사에서의 안전성 확보도 매우 중요한 문제임

<표 2.25> 우리나라 해체공사 현장의 안전사고발생 유형

| 적용 해체 기술 | 주요 안전사고의 발생 유형 |
|---|---|
| 전동 절단 공법<br>(Wheel Saw) | • 크레인, B/H 등 기타장비에 협착<br>• 추락사고<br>• Wheel관 파쇄 파편사고<br>• 절단수 낙하사고 |
| 코어 드릴 공법<br>(Core Drill) | • 감전/감전 사고<br>• 작업자 절지사고<br>• 코어 해체 시 핸들의 회전<br>• 천공작업 시 하체부 상해 |
| 와이어 쏘잉 공법<br>(Wire Sawing) | • 고속회전 시 와이어 절단<br>• 추락사고<br>• 장비 이동 시 협착<br>• 절단 와이어에 의한 인명 손상<br>• 절단공의 인양 wire 취급사고<br>• 회전 wheel에 부상 당하는 사고 |
| 대형장비 파쇄 공법<br>(대형 브레이커 및 압쇄기) | • 장비의 전도<br>• 살수 보조원, 절단공 협착사고<br>• 유압 유출사고<br>• 장비 설치/해체 시 부상사고<br>• 존치 구조물 충격 전달<br>• 파쇄 구조물의 전도 및 붕락<br>• 장비 작업 진동에 따른 주변 구조물 피해 |

- 리모델링 공사의 시행에 가장 중요한 문제는 기존 구조체 중 제거가 필요한 부분을 부분해체하는 것이며, 부분해체 후 남겨져 있는 잔존 구조체에는 미세한 손상도 발생시키지 않아야 함

■ **해체공사, 리모델링 공사 수행과정**에서 **주요 구조체에 손상을 주거나 무리한 리모델링 공사로 인해 붕괴사고가 발생**한 사례도 있음

- 표 2.26은 리모델링 공사 중 발생한 붕괴사고 사례는 나타낸 것임
- 이와 같이 부분해체에 대한 안전성 확보 및 재난방지는 기술적으로 해결해야 할 시급하고 중요한 과제라고 여겨짐

<표 2.26> 리모델링 공사 중 붕괴사고 발생 사례

| 구분 | 사고 발생 내용 | 현장 사진 |
|---|---|---|
| 제주 중문 특급호텔 리노베이션 및 증축 공사장 지하층 벽체 전도 및 매몰사고 | • 일시 : 2021.02.27.<br>• 내용 : 당초 지하층 벽체를 철거하는 것으로 계획되어 슬라브 철근 절단 등이 이루어진 상태에서 벽체 존치로 변경되었고 절단된 철근 용접연결을 위해 치핑 작업 과정에서 벽체가 붕괴되면서 밑에서 작업하던 인부 2명 매몰 | |
| 진주 00빌딩 붕괴사고 | • 일시 : 2016.08.28.<br>• 내용 : 1972년에 준공된 4층 건물로 노후된 건물에 무리하게 리모델링 공사를 진행하던 중 붕괴사고 발생 | |
| 홍은동 리모델링 공사 붕괴사고 | • 일시 : 2016.07.18.<br>• 내용 : 지상 3층 건물로, 허가를 받지 않고 건물내부 구조변경 리모델링을 무리하게 진행하던 과정에서 붕괴사고 발생 | |
| 대구 00주택 리모델링 공사 붕괴사고 | • 일시 : 2014.04.17.<br>• 내용 : 주택 리모델링 공사 중 화장실 벽체가 갑자기 붕괴됨 | |

■ 부분해체 기술개발 방향 설정에서 참고할만한 분석 결과를 표 2.27에 나타내었음

<표 2.27> 부분해체 선진기술과 국내현황 및 기술도입 방안 분석[3)]

| 부분해체 공법 | | 선진국 현황 | 국내 현황 | 갭 분석/도입 가능성 평가 |
|---|---|---|---|---|
| 인력 파쇄 (수동공구 이용) | | • 모든 공사의 기본 (타 공법의 보조수단) | • 선진국과 같지만 상대적으로 인력 의존도가 높음 | • 선진국 정도로 인력의존 비중을 낮추어야 함 |
| 수동브레이커 공법 | | • 필요공종에 사용하지만 환경성 부분에서 가장 낮은 평가 때문에 가급적 사용 배제 | • 현재 국내에서 의존도가 가장 높은 공법 | • 별도의 기술도입 필요 없음<br>• 반드시 필요한 공종이나 부위해체 시에만 적용하는 노력 필요 |
| 절단 공법 | 수동 절단기 | • 활용도 높음 | • 수동브레이커의 보조수단으로 적용<br>• 수동브레이커에 비해 시공단가가 비싸서 적용 비율이 낮음 | • 소음과 안전성 미비 부분을 개선한 장비도입이나 개발 필요 |
| | 전동 절단기 | • 활용도 높음 | • 여타공법의 보조수단으로 수평부재의 수직절단에만 범용적으로 적용되고 있음 | • 선진국의 수평, 경사 절단 장비의 활발한 도입 필요<br>• 개발 필요성은 없음 |
| | 와이어 쏘 | • 통상적으로 적용 | • 시공단가가 높고 기동성이 낮아 토목구조물 외에 건물 부분해체에는 적용이 안됨 | • 기동성을 개선하여 범용적으로 활용할 수 있도록 기능개선 필요<br>• 시공단가 저감방안 필요 |
| 소형압쇄기 파쇄 | | • 통상적으로 적용 | • 소형인 경우 브레이커 의존도가 높음 | • 우수한 효율의 소형 압쇄장비 도입 및 국내 자체개발 필요 |
| 국부 발파 공법 | 천공 후 소량발파 | • 실용화되어 적용<br>• 경제성, 환경성 평가 가장 좋음 | • 벽식구조 시험체 대상 시험적용 외에는 실용화 사례 없음 | • 국내의 법, 제도, 건설환경, 민원 가능성 등을 고려할 때 국내에는 부적합 |
| | 성형폭약 붙임발파 | • 소음 문제로 부분적 적용 | • 철골조 발파해체에 적용된 이외에는 실용화 사례 없음 | • 성형폭약의 높은 폭속, 외부 장전으로 발생하는 높은 소음으로 부적합 |
| 소형 자주식 파쇄기 | | • 건물 내부로 투입하여 범용적으로 적용 | • 건물 내 작업이 가능한 소형 자주식 브레이커를 보조적으로 적용 | • 장비와 잔재하중이 구조부재에 미치는 영향을 고려하여 0.1m$^3$급 이하 소형장비에 유압식 압쇄기 장착기술 개발 필요 |
| 워터제트 공법 | | • 부분해체용 보다는 보수 보강용으로 적용 | • 장비수입 단가가 비싸 외국보다 시공단가 고가<br>• 특수한 경우 개보수용으로만 제한적 사용 | • 고가의 장비여서 시공단가가 비싸고, 주로 철근 노출작업 등에 사용되어 부분해체용으로 부적합 |

### 4.1.2. 해체 시뮬레이션 기술

■ **(첨단해체기술연구단)** PFC3D를 사용한 폭원모델링 기법을 제안, 이를 C# 기반의 건축물 발파해체 붕괴 시뮬레이션(Blasting Demolition Analysis)으로 개발[59)]

- 해석이 용이·신속하며, 구조물 모델링을 단순화 시켜 전체 구조물의 붕괴거동을 정성적으로 판단하는데 적합
- 바닥, 슬래브 수가 증가 시 연산시간이 기하급수적으로 증가하는 단점이 있어 기둥-보 형태 RC 구조물 붕괴 거동 해석에 한정

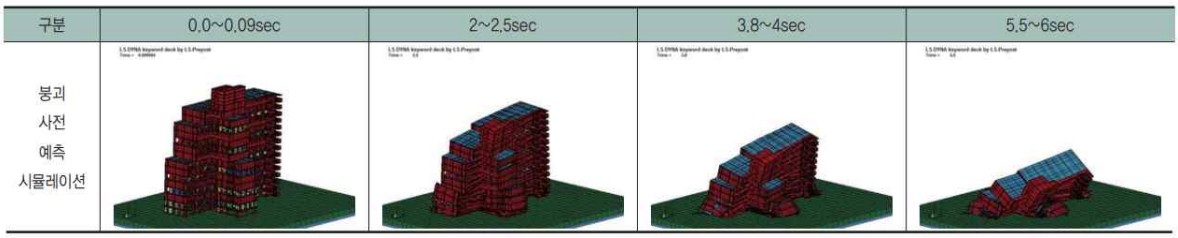



그림 2.64 발파해체 붕괴거동 사전예측 시뮬레이션
<출처 : 한국건설관리학회, 건설관리 기술과 동향 제 3권 제 6호, 2012>

■ **(원전해체 분야)** 문재인 정부의 **탈원전 정책** 기조에 따라 원전시설 해체관련 연구가 수행되었으며, 방사선에 노출된 구조물을 해체 시 복잡한 공정들이 이루어지고 있어 **경제성과 안전성 모두를 평가 및 확보**하기 위해 해체공정 시뮬레이션 시스템 개발

<표 2.28> 원전시설 해체 시뮬레이션 관련 선행 기술 개발사례의 주요내용

| 구분 | 과제명 | 주관기관 | 주요 연구내용 |
|---|---|---|---|
| 1 | 해체공정 통합평가 및 원격 제어기술 개발 | 한국원자력연구원 | - 원격 레이저 절단 기술 개발, 시뮬레이션 기술으로 검증 목적으로 가상 모델 구현<br>- 해체 작업자가 절단 공정을 가상 환경에서 체험할 수 있는 parallel haptic 타입 실감형 시뮬레이터 개발 |
| 2 | 방사화 콘크리트 구조물 해체 실증시험 기술 개발 | 한국건설기술연구원 | - 고리 1호기 차폐벽 모델링, 개발된 절단 공법(건식 다이아몬드 와이어 쏘우)을 적용한 해체공정 시뮬레이션 수행 |

■ **(BIM기반 폐기물예측)** 3D 스캔, BIM, 역설계 기반의 폐기물 예측과 GIS를 접목한 최적자원순환시스템 구축 및 검증 수행[60)]

- 항공영상의 DSM 정보와 수치지형도의 SHP, DEM을 이용하여 건축물의 체적을 산정, BIM 모델을 통해 검증
- 3D Scanner 기반 실내 3D 모델 작성, 이를 BIM 모델과 정합/연산으로 실내건축 폐기물 발생량 산정

59) 국토교통부, 친환경 도시재생을 위한 첨단해체기술 개발, 2012.
60) 국토교통과학기술진흥원, sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건설폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발, 2021.

- 개발성과물이 Qgis 플러그인 형태로 개발, 별도의 알고리즘 개발이 아닌 상용 SW에서 지원 중인 API를 이용

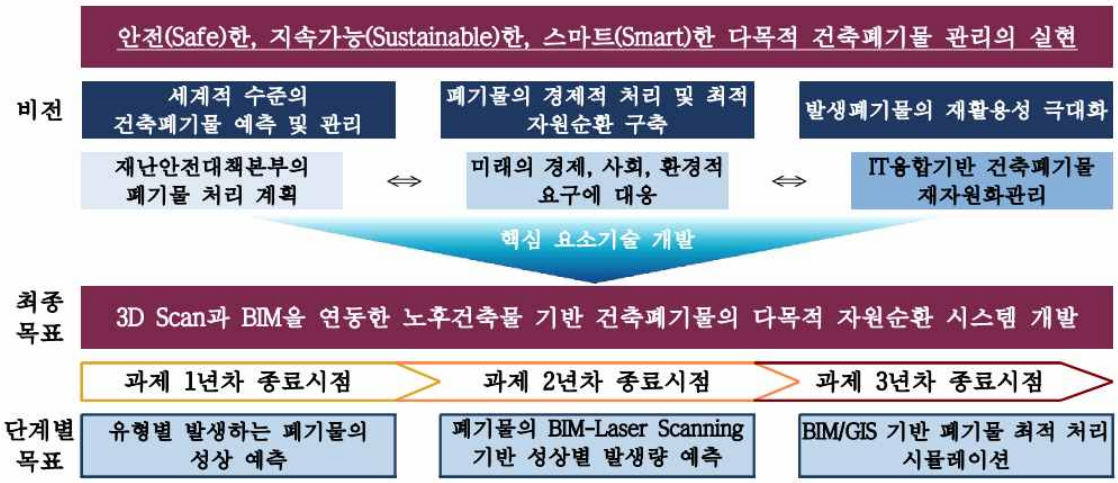



그림 2.65 BIM 기반 폐기물 예측 과제 연구개발 목표
<출처 : 국토교통과학기술진흥원, sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건설폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발 최종보고서, 2021>

### 4.1.3. 역설계 기술

■ 건축분야에서의 역설계 기술은 일반적으로 기존 건축물의 도면정보가 없거나, 불일치할 경우 정확한 측량을 통해서 현장도면 및 객체 모델 생성 시 활용

- 역설계는 ① 스캐닝, ② 데이터 처리/분석, ③ 모델링 단계로 구분되며, 3D 스캐너를 이용해 현장정보를 포인트 클라우드 형식으로 수집한 후, 이를 처리/분석하여 2D 도면이나 3D 모델로 도출할 수 있음

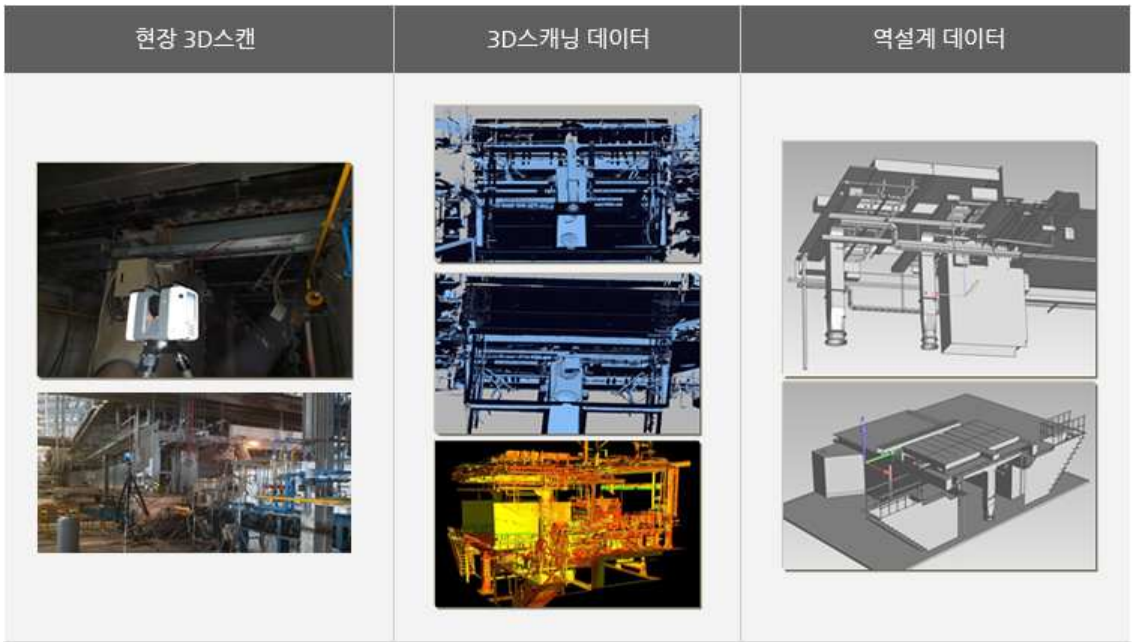



그림 2.66 현장 구조변경을 위한 3D 스캐닝 및 역설계 예시
<출처 : http://www.answertek.co.kr/scanner_new/wide.php, 앤서테크>

### 4.1.4. 해체공사 현장 비산먼지 저감 기술

■ 국내 미세먼지 최대 배출원인인 **비산먼지 발생 관련 국내 기술 동향**은 정부의 미세먼지 저감 추진 대책과 더불어 “미세먼지 기술 개발 로드맵(2018)” 및 “미세먼지 R&D 추진 전략”에 입각하여 **현상 규명 및 예측, 미세먼지 배출 저감, 국민생활보호 측면이라는 큰 카테고리로 분류되어 기술 개발이 주로 이루어지고 있음**

- 미세먼지의 특성상 민간 주도보다는 정부 주도의 국가 R&D를 통한 기술 개발이 주로 이루어지고 있는 특징을 가짐. “범부처 미세먼지 저감 로드맵 수립 기획보고서(2018)” 에 따르면, 건설현장 비산먼지 저감 관련 기술은 도로 비산먼지는 청소차, 살수차 운행, 건설현장은 세정식 집진, 전기 및 여과 집진 등을 적용 중

■ 2018년 기준 전체 R&D 중 투자비율은 최소(0.3%, 10위/10위)이며, **최고 기술보유국 대비 기술력은 79%, 기술 격차는 4.4년 내외**라고 보고됨 그림 2.68의 Slip Stream Effect[61]는 **미세먼지와 물 입자가 접촉하기 위해서는 물 입자의 크기가 미세먼지의 입자크기와 유사한 정도로 작아야 가능하다는 원리**이며, 물 입자가 클 경우, 물 입자 주변의 유동에 의해 상대적으로 직경이 작은 미세먼지 입자가 그 주변을 돌아 접촉 없이 회피하는 현상을 말함

- Slip Stream Effect 원리에 기초하여, 그림 2.69에서 보는 바와 같이 국내 건설현장에서 비산먼지를 억제하기 위해 인력이 수동으로 물을 살수하는 방식은 분사되는 평균 물 입자 직경이 1000um로써, 비산먼지 내 미세먼지를 억제 및 저감할 수 없음
- 그림 2.69는 전형적인 건설 현장을 나타낸 것으로 기존 국내 대부분 건설현장의 비산먼지 저감 대책은 인력살수, 세륜시설, 방진막 등의 방법으로 시행되고 있음
- 현재 건축물 해체 현장의 대부분의 경우도 방진막 혹은 가림막을 설치하고 난 다음 파쇄에 의해 구조물을 해체하면서 발생하는 비산먼지는 인력살수 방식으로 비산먼지를 저감하고 있음

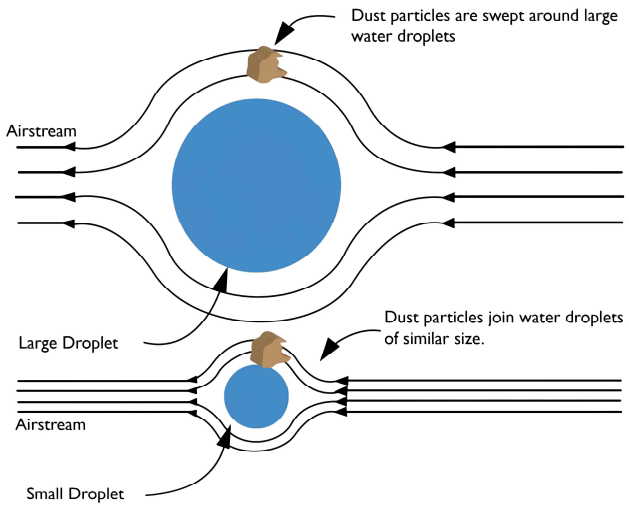



그림 2.67 Slip Stream Effects
<출처 : 미국 BossTek 사>

61) Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Design of Fogging Nozzles as Alternative Stock Pile Dust Suppression Medium at Gold Mining Sites, 2012.

그림 2.68 전형적인 비산먼지 발생 건설 현장

그림 2.69 국내 및 해외 비산먼지 저감 기술 비교

그림 2.70 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템
<출처 : (주)케이씨티이엔씨>

■ **유럽을 비롯한 미국, 일본, 호주** 등의 선진국에서는 인력살수 방법의 **근로자 안전문제 및 비산먼지 내의 미세먼지 처리 문제**로 인해 기존의 재래적 살수방법이 아닌 Slip Stream Effects 회피 기술을 구현한 **Dust Suppression System 기술을 개발하여 비산먼지가 발생하는 각종 산업현장에 적용**하고 있음

■ 인력 살수 대체 기술 관련 국토교통기술 촉진연구사업의 일환으로 "**지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템((주)케이씨티이엔씨, 2019~2021)"에 대한 연구가 수행**된 바 있음

- 이 연구에서는 Slip Stream Effect 회피 기술을 구현하고 실시간 정밀 물 분사 기술을 구현하여 건설현장의 비산먼지 내의 미세먼지를 저감하는 기술을 개발함
- 삼육대학교에서는 " 건설현장 미세먼지 저감을 위한 스마트 가설 울타리 기술 개발 "에 대한 연구를 수행하였으며, 기존 가설 울타리 및 방진막을 미세먼지 저감 시스템과 미세먼지 스마트 측정 센서 기술이 결합되는 스마트 가설 울타리 기술을 개발함
- 세륜 시설 관련 기존 공사장의 세륜 시설은 차량 바퀴만 세척하고 있어, 차량 상부에 남아 있는 먼지가 비산될 우려가 있었으나, 상단에 안개식 스프링클러를 설치하여 이러한 문제를 해결한 기술도 개발되어 있음
- 포스코 건설은 건설현장 비산먼지 발생 저감 기술로 물에 친환경 표면 경화제를 섞어 살수하는 방식의 기술을 개발하였으며, 이 기술에 따르면 기존에 물을 살수하거나 플라스틱 방진 덮개를 사용하는 것보다 경제적이고 환경면에서도 우수한 기술이라고 홍보하고 있음
- 주로 정부 주도의 국가 R&D를 통한 비산먼지 저감을 위한 다양한 기술 개발에도 불구하고, 비산먼지에 대한 국민의 만족도는 여전히 낮은 실정임
- 건설현장의 비산먼지 저감을 위한 정부, 지자체, 대형 국책사업을 주도하고 있는 공기업 그리고 공사의 주체가 되는 민간 건설 시공회사들에서 보다 많은 공동의 노력이 필요할 것으로 판단됨

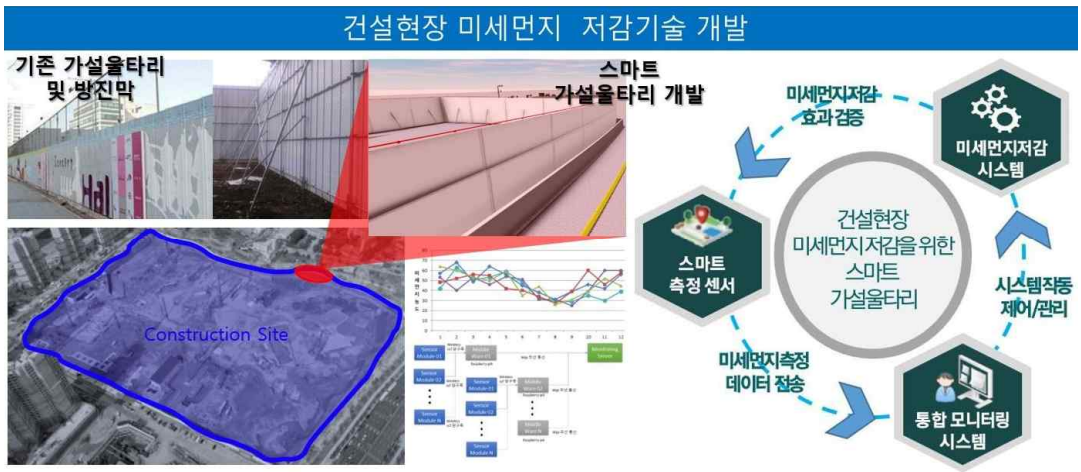



그림 2.71 건설현장 미세먼지 저감을 위한 스마트 가설 울타리 기술(삼육대학교)

그림 2.72 세륜 시설 상단 안개식 스프링클러 설치 기술

<출처 : 일요신문(2016.07.18.)>

## 4.2. 국외 기술 동향

### 4.2.1. 해체공사-자원재활용 시스템

■ **유럽, 미국, 일본** 등 해체산업이 선진화된 국가는 주로 **자원재활용 측면이 강조된 분별해체와 연계된 기술을 적용하는 추세**이며, **유럽의 경우 그림 2.74와 같은 종합 시스템을 구비하여 운용** 중

- 또한 이러한 시스템에 적합한 각종 환경친화형 첨단장비 및 공법 개발과 관련된 연구와 그 연구 성과물의 적용이 활발히 이루어지고 있으며, 이를 통해 해체산업이 높은 부가가치를 창출하고 있음
- 미국, 일본 및 일부 유럽 국가들은 고층건물 해체에서 고부가가치를 거둘 수 있는 발파해체공법을 50년 전부터 연구하여 고층건물의 일상적인 해체공법 적용과 동시에 해외시장에서 고부가가치를 창출

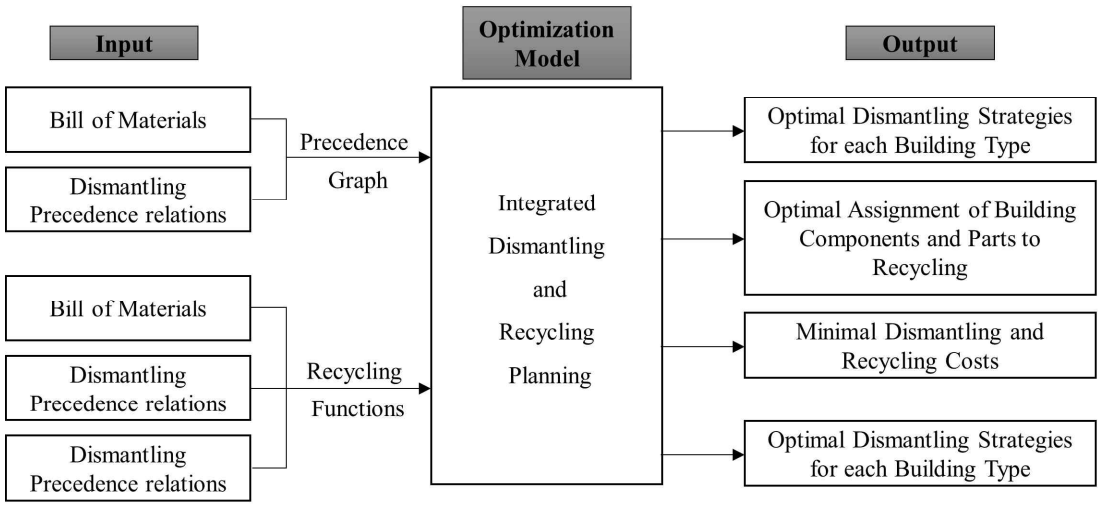



그림 2.73 유럽의 해체 및 폐기를 고려한 해체공사 종합시스템

### 4.2.2. BIM 기반 해체 기술

■ 해외에서는 해체단계에 BIM을 적용한 연구사례는 있으나, BIM을 실제로 현장에 적용된 사례는 거의 없음

- 과거 연구에서는 크게 '폐기물 관리를 위한 BIM'과 '해체 가능성 평가를 위한 BIM'으로 접근[62)]
- 현재 대부분의 BIM 가이드라인에서는 해체사업자를 BIM 사용자로 간주하지 않으며, 해체사업자 역시 BIM에 대한 이해 부족, 요구 BIM 모델링 상세수준 상이, 건설정보 생성 종료 등의 이유로 비합리적인 것으로 간주

62) Marc Van den Berg, BIM uses for deconstruction: an activity-theoretical perspective on reorganising end-of-life practices, 2021.

<표 2.29> 해체단계에서 BIM을 적용한 연구사례

| 구분 | 접근 방식 | 연구사례 |
|---|---|---|
| 1 | 폐기물 관리를 위한 BIM | - 해체전략별 경제적, 환경적 영향 비교<br>- 폐기물 추정 및 계획을 위한 BIM<br>- 재구성한 BIM 모델을 활용하여 해체 폐기물 관리 시스템 개발 |
| 2 | 해체 가능성 평가를 위한 BIM | - 특정 건축 설계가 자재 회수 평가 분석시스템 개발<br>- 철골 구조물 설계시 BIM 기반 해체 가능성 평가방법 제안 |

## 4.2.3. 해체 장비

### (1) 친환경 해체 장비

■ **(글로벌 트렌드)** 개발도상국의 급속한 도시화 및 산업화로 인해 낙후된 건축물에 대한 재건축/리모델링 수요와 선진국 도심지 노후 구조물 개보수/증축/재건축 등으로 철거 산업의 수요는 지속적으로 증가하고 있으며, 공사기간 단축, 비용절약 및 안전사고 절감을 위해 인력 철거 대신 로봇장비를 투입하는 추세

- 기존방식의 해체 작업은 인력과 장비 모두 투입되어 생산성이 떨어지며, 대부분의 작업현장이 극한 환경이라 안전사고 노출이 높음
- 도심지에 밀집되어 있는 노후 건축물의 규모가 주로 중·소형이며, 해체 여건에 부합하여 장비의 경량화 및 소형화
- 해체 작업 시 대표적으로 투입되는 장비 중 하나가 굴삭기(Excavator)이며, 굴삭기의 버켓(bucket) 대신에 압쇄기(crusher)나 브레이커(breaker) 등을 장착하여 해체 작업을 실시함

<표 2.30> 세계 주요 해체장비 제조사의 최신 개발 장비

| 구분 | 생산국 | 제조사 | 모델명 | 주요기술 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | Brokk Inc. | Brokk 800S | 원격 제어 로봇 해체 장비 |
| | | | Pedestal Boom | 원격 제어 로봇 소형 고정식 브레이커 |
| 2 | 스웨덴 | HUSQVARNA | DXR Series | 원격 로봇 해체 장비 |
| 3 | 일본 | Komatsu | PC01 | 리튬 이온 배터리가 장착된 비유압식 전기 마이크로 굴삭기 |
| 4 | 일본 | Kubota | KX019-4SI | LPG 구동 저공해 미니 굴삭기, 아산화질소 및 탄소수소 배출량이 디젤/가솔린에 대해 95% 적음 |

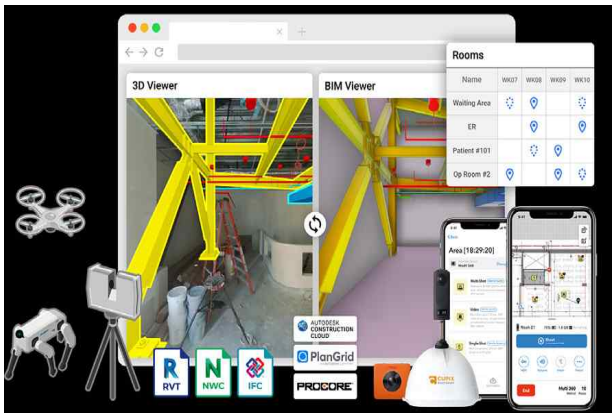
## 4.2.4. 미국

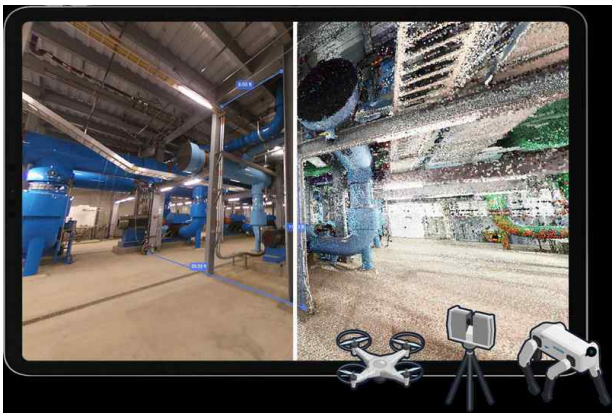
### (1) 3D 디지털 트윈

■ 건설산업분야의 **3D 디지털 트윈** 개발업체인 큐픽스(Cupix)에서 업계최초로 360도

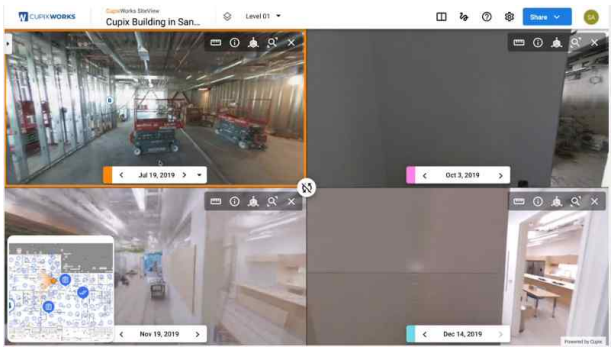
파노라마 보기를 제공하는 **가상작업현장 네비게이션 출시**

- **3차원 공간 기반 현장 관리, 포괄적인 BIM 데이터 지원, 원격 협업 및 데이터 엑세스 제어를 가능**하게 하는 **자동화된 3D 공간 정보 추출 및 편집 도구**가 포함된 CupixWorks 2.0 출시
- LiDAR 스캐너, 드론 영상 사진 등 **모든 형태의 포인트 클라우드 데이터를 통합하여 디지털 트윈 생성**을 지원함
- CupixWorks 2.0은 비교적 단순한 **건물**에 대해서도 **3D 디지털 트윈을 빠르고 쉽게 생성하고 협업을 위한 공유가 가능**함
- 3D 디지털 트윈 플랫폼을 사용하면 **작업 현장 내 위치를 탐색**할 수 있으며, 공가기간 동안 **진행상황 및 원하는 시점의 작업현황을 검토**할 수 있음

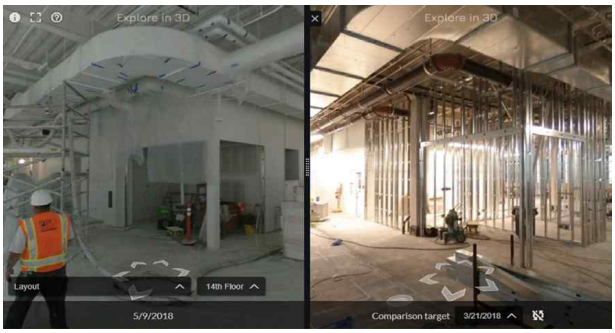


(a) 3D 디지털 협업 플랫폼




(b) 360도 이미지기반 원격 현장 관리




(c) 원하는 시점의 3D 현장사진 보기

(d) 접근하기 어려운 공간 촬영

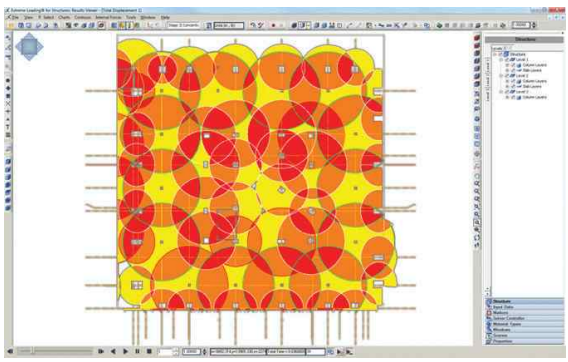
(e) 어두운 공간에서 선명한 이미지 생성

그림 2.74 3D 디지털 트윈 가상작업현장 네비게이션

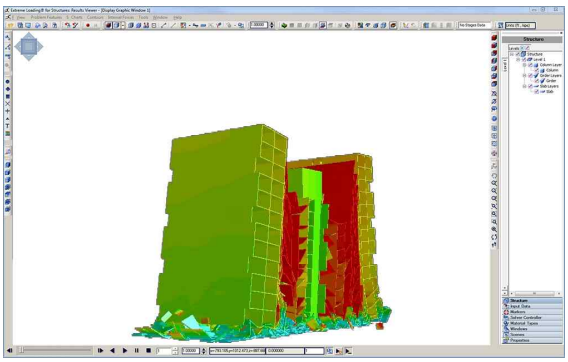
### (2) 건축물 디지털화

■ **(극한하중 해석)** 미국의 Appplied Science International(ASI)사의 ELS(Extreme Loading for Structures)은 응용 요소법(AEM)을 기반으로 극한 하중 조건의 붕괴, 폭발, 철거 거동분석 등을 수행하는 S/W 개발

- S/W의 모듈은 크게 모델 생성(Modeler), 재료 및 하중 지정(Material&Loading), 구조해석 수행(Solver), 해석결과 시각화(Viewer)로 나뉘어져 있음
- 이를 활용해 발파, 부식, 해체, 지진(진동), 풍동, 취약성 평가 등을 수행할 수 있음



발파 risk zone 식별



붕괴 시뮬레이션 분석

그림 2.75 ELS의 대표 활용 기능

<출처 : ELS 공식 홈페이지, http://extremeloading.com>

그림 2.76 ELS의 철거 시나리오와 실제 철거와 비교

<출처 : ELS 공식 홈페이지, http://extremeloading.com>

## 4.2.5. 일본

### (1) ICT 건설기계

■ 일본은 이전부터 3D 설계 데이터에서 건설기계를 자동 제어 하는 등 정보화 시공을 수행해 왔음

- 최근에는 드론이나 로봇을 이용한 구조물 점검·보수, 3D 계측, 소프트웨어를 사용한 3D 설계, BIM, CIM 등 ICT 관련 설계·시공·유지관리 기술의 도입과 개발을 진행하고 있음
- 건설기계의 조종은 숙련된 기술을 필요로 하는 분야였지만, ICT 건설기계를 사용할

경우 경험이 부족한 인력도 조종이 가능하며, 미숙련자도 시공의 정확성 및 작업의 안전성 향상 가능

- ICT 건설기계 부분은 2009년부터 연구를 진행해 온 코마츠 사가 선도적이며, 제1회 미래투자회의에서 스마트건설을 제안하며 i-Construction 도입에 큰 영향을 줌

### (2) i-Construction

- 일본은 2016년도부터 생산성 향상을 위해 측량-설계-시공-유지관리에 이르는 전 과정에서 ICT를 도입하는 i-Construction을 추진
- i-Construction으로 인한 건설현장의 변화로 공공측량 메뉴얼 및 감독·감사 기준 등의 15개 신기술 창출, ICT 건설기계의 임대료를 포함한 새로운 적산 기준을 2016년도부터 도입하였음

### (3) 토탈 해체 기술

■ **(동향)** 일본을 중심으로 **안전·환경을 동시에 만족**하고, **경제적 해체가 가능한 통합 해체 기술 개발** 추진

■ **(Toda 건설)** 해체재의 **비래·낙하와 분진확산을 동시에 차단**하고, **경제적 해체가 가능한 모듈식 해체 및 자동화 가설 기술 개발**

- 도심지 고층건물 해체 시 인접건물 안전확보 및 환경저해 방지
- 모듈식 절단 및 이송 기술, 분진억제 절단 기술, 자율 하강식 시스템 가설기술, 서포트 프리 해체 기술을 통합한 시스템 해체 기술 개발

■ **(Taisei 건설)** 초고층 건물을 대상으로 환경 배려형 해체 기술 개발

- 경량 폐쇄 해체 작업공간 형성기술로 해체 시 환경저해 방지 기술
- 기존구조 활용 잭다운 기술, 시스템 가설 비계 기술을 활용한 안전해체 기술

그림 2.77 초고층 해체 공법 TO-ZERO 시스템 (Toda 건설)

### (4) 원격·무인 해체 기술

■ **(동향)** 4차 산업혁명 기술을 활용한 원격·무인 해체 기술개발로 해체안전 확보 및 친환경 해체가 동시에 가능

■ **(Tokyu 건설)** 원격제어 및 모니터링, 무인화 장비를 활용한 건설 폐기물 선별 시스템 개발

- 건설 부산물 분리・이소 기술, 건설 부산물 치수 형상 데이터 취득 및 재질 판별 기술, 소음・진동 등 주변 환경 모니터링 기술

■ **(Taisei 건설)** 석면 해체 시 작업자 안전 및 시공성 향상을 위한 소형 원격 무인해체 기술 개발

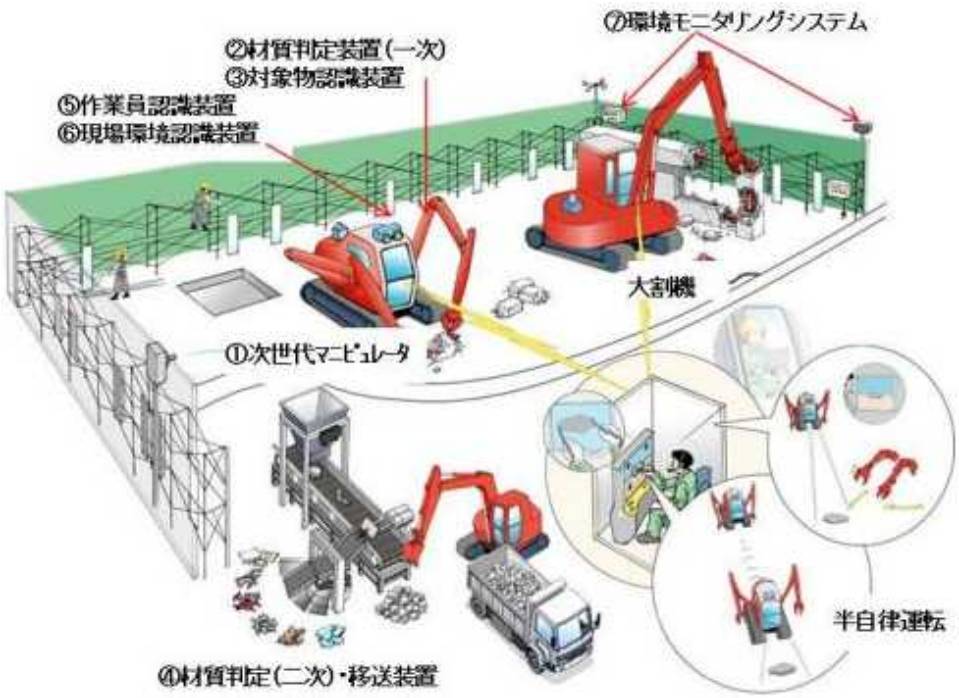



그림 2.78 차세대 매니퓰레이터에 의한 폐기물 분리・선별 시스템

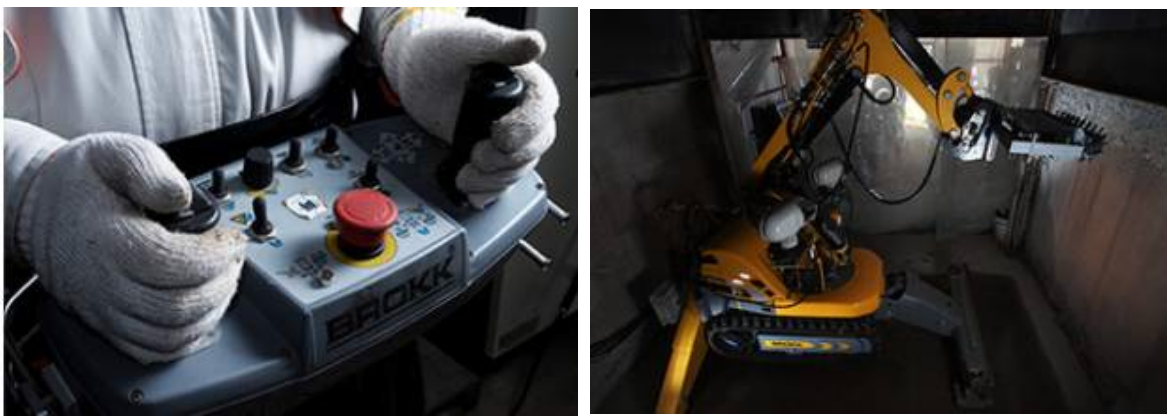



그림 2.79 긴급 석면 삭감 실용화 기반 기술 개발

### (5) 가상 해체 기술

■ **(일본)** CNN 기반 객체감지 알고리즘(MobileNetSDD), SfM 측량, OpenCV, Unity 엔진 기술을 이용하여 가상공간 내에서 구조물 및 움직이는 객체를 제거할 수 있는 기술(감소현실 시스템, Diminished Reality, DR) 개발[63]

- SfM(Structure for Motion) 측량 : 물체의 주위를 여러 위치에서 촬영할 때 발생하는 카메라의 움직임을 유추하고, 이를 바탕으로 3차원 형상을 복원하는 것[64]

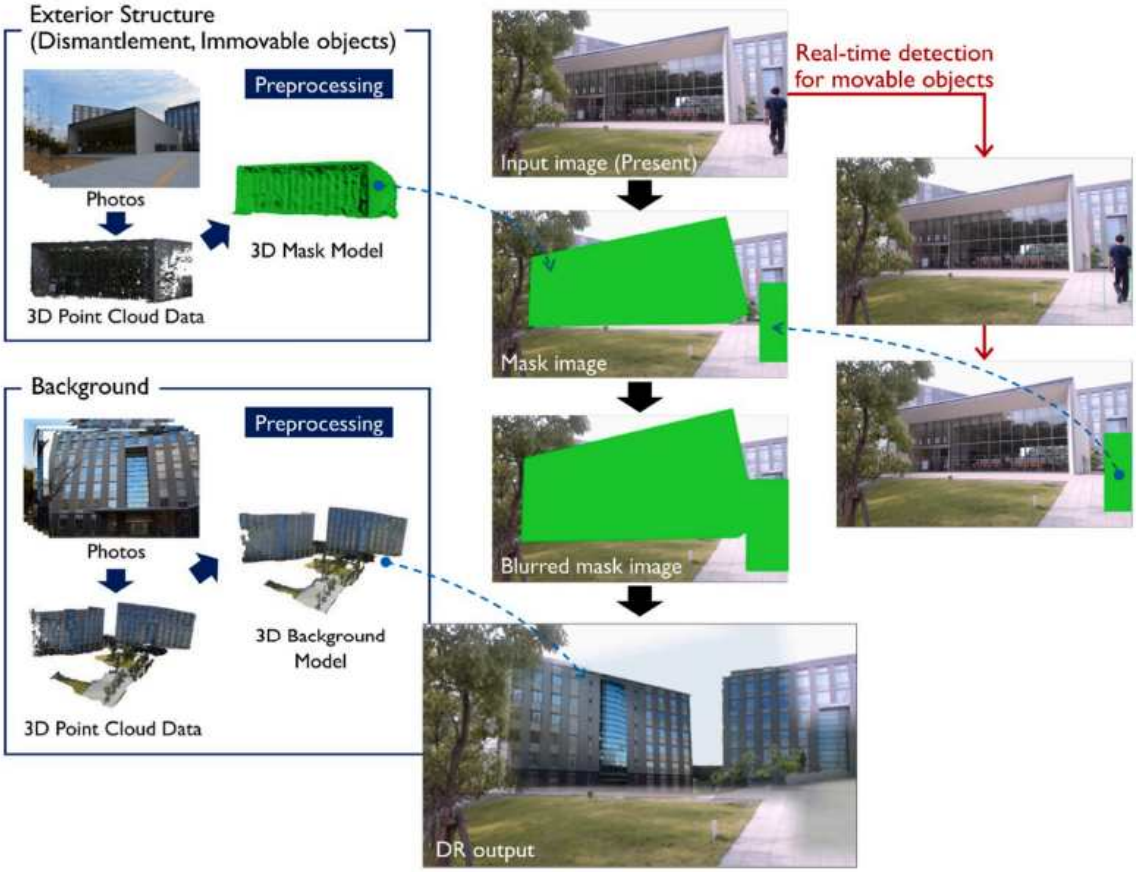



그림 2.80 감소현실(DR) 시스템 개요

그림 2.81 감소 현실 시스템 이미지

63) Daiki kido et al., Diminished reality system with real-time object detection using deep learning for onsite landscape simulation during redevelopment, 2020.
64) ETRI, 3차원 복원기술동향, 전자통신동향분석 제 22권 제 4호, 2007.

## 4.2.6. 유럽

### (1) 디지털 해체 기술

■ **(동향)** 3D 스캔, BIM, Big Data, 블록체인 기술을 활용한 디지털 해체(Digital Deconstruction) 기술 개발 진행 중

■ Interreg North West Europe 프로젝트에서는 순환건설을 가능하게 하기 위한 스마트 서비스 기술개발 추진('19 ~ '23)

- 지속가능, 경제적 해체 및 재사용 전략 수립을 위해 다양한 디지털 도구를 통합하는 혁신적인 디지털 의사결정 지원시스템을 개발

| | |
|---|---|
| | • 2021년 4월 29일 목요일 벨기에 Booischot(Heist-op-den-Berg)에 위치한 Hof Ter Laken의 성, 마구간 및 헛간 스캔<br>• 건축청 검토·평가 중이며, 철거 파일을 보다 쉽게 작성할 수 있도록 평면도, 절단면 등을 작성하는 데 3D 스캔 활용 가능성 확인<br>• 마구간/창고 뒤에 있는 2개의 헛간은 2021-2022년 겨울에 해체될 예정 |
| | • Gare Villeneuve Saint Georges(FR) 스캔<br>• 건물과 건물 주변 지역의 3D 스캐닝 실시<br>• 2022년 건물 해체 예정 |

그림 2.82 Interreg North West Europe 프로젝트 파일럿 기술 활용( '19 ~ ' 23)
<출처 : https://www.nweurope.eu/projects/project-search/digital-deconstruction/>

## 4.2.7. 영국

■ 영국혁신청(Innovate UK)의 지원으로 University of the west of England에서는 해체 계획 작성, 해체 시뮬레이션, 건설 폐기물 수집 및 판매 계획 등의 기능이 가능한 SW인 DRIM(Deconstruction and Recovery Information Modeling)을 개발

- 해체설계(DfD)를 지원하는 Autodesk Revit API 기반의 add-in SW
- DNN(Deep Neural Network)를 이용한 해체 시나리오 예측 분석 및 시뮬레이션 시각화

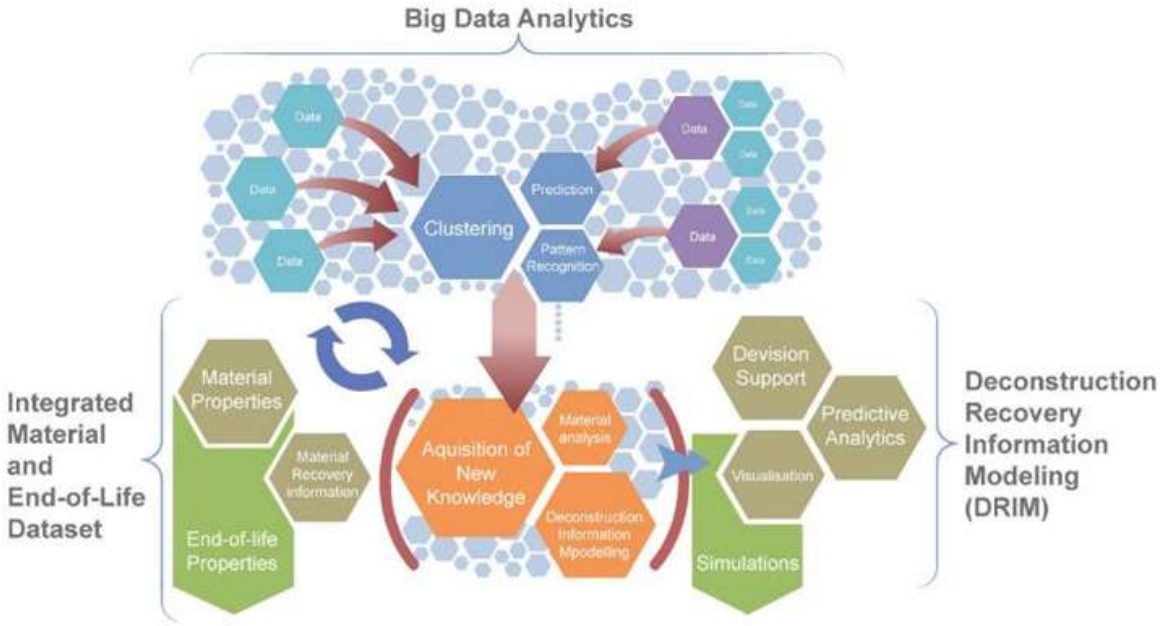



그림 2.83 The Conceptual framework of DRIM

<출처 : Sustainable Direction Ltd, Deconstruction and Recovery Information Modelling>

# 5. 시사점

■ **건축물 해체관련 기술개발의 최신동향은 기술통합, 디지털 기술 융합으로 조사됨**

- 현재 해체관련 기술적 문제해결의 대안으로 안전과 환경을 동시에 향상하기 위해 통합적 기술개발이 효과적
- 작업자 및 공사장 인접 안전 및 환경 저해 방지를 위해 원격·무인 해체 기술의 활용이 가능
- 자원순환, 재활용 등 친환경 해체와 해체설계를 위해 3D 스캔, BIM, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술을 활용하는 것이 필요함

■ **국내·외 동향 및 환경 분석을 통해 현재 이슈되고 있는 문제와 기술 개발에 대한 필요성 제시**

- 재난재해 증가 및 노후 소규모 밀집지역 이슈
- 기존 건축물은 이러한 변화에 대응하지 못하여 붕괴 등의 안전사고로 이어지며, 신규 건축물 또한 비정상 하중(설계하중초과)에 대해 건축물의 안전성능을 확보하는 방안 마련이 필요한 상황
- 자연재난과 더불어 건축물 화재·붕괴 등 안전사고 발생에 따른 사회 이슈 증가로 건축물 안전에 대한 국민의 불안감은 더욱 가증되고 있는 상황임

■ **건축물 해체 기술 고도화 및 폐기물 자원화 기술 개발 필요**

- 직군별 산재는 연평균 감소하는 추세에서 건설사고 사망자수는 여전히 줄지 않고 있음
- 작업자의 실수까지 포용할 수 있는 안전한 작업환경을 조성하기 위해 설계에서 시공 등 사업단계별로 안전장치의 강화 필요
- 노후 건축물 증가에 따른 정부 차원의 유지 및 해체공사 안전관리 대책 수립 필요
- 저탄소·친환경 경제에 대한 다양한 변화요구가 증대됨에 따른 그린경제로의 전환이 가속되고 있으며, 순환경제 구축을 위한 건설 폐기물 자원화 요구도 증가하고 있음
- 분별해체 및 폐기물 고품질 자원화 기술 개발을 통해 배출량은 줄이고 재사용/재활용 비율을 높일 수 있는 시스템 구축 필요

■ **본 기술 개발을 통해 건축물 해체 산업에서 뿐만 아니라 설계-시공-유지관리-해체-재활용 건설산업 전반에 걸쳐 안전하고 깨끗한 순환싸이클을 구축할 수 있는 발판을 마련할 수 있을 것으로 판단됨**

# 제 3장 국내 역량 분석

## 1절. R&D 투자동향

### 1. 국가연구개발 사업과 국토교통/환경 R&D 동향

■ 2022년 정부연구개발예산은 전년 27조 4,005억원 대비 8.8%(2조 3,765억원) 증가한 29조 7,770억원 수준으로, 정부 총지출 607.7조원의 4.9%를 차지함[65)]

■ 최근 5년('18~22)간 총 10조원 이상의 R&D 예산이 확대되어 R&D에 대한 정부의 지속적인 투자 의지를 보여주고 있음

■ 2022년도 정부연구개발예산의 부처별 현황을 살펴보면 과학기술정보통신부가 31.5%(9.4조원)로 가장 높은 투자 비중을 차지하며, 다음으로 산업통상자원부 18.5%(5.5조원), 방위사업청 16.1%(4.8조원), 교육부 8%(2.4조원) 순임

■ **(주요 R&D)** 과기정통부의 예산 배분·조정을 거치는 주요 R&D는 전체의 약 81%인 총 24.2조원(1,198개 사업) 규모

- 과학기술법 제12조의2에 따라 과기정통부가 주요 R&D 예산을 배분·조정하여 기획재정부에 통보하고, 기획재정부는 이를 토대로 전체 R&D 예산을 편성하여 국회 제출

■ **(국토교통 R&D)** 2022년도 국토교통 R&D 사업 예산은 6,331억원(전년 대비 7.2% 증가)으로 정부 R&D 예산(29.8조원)의 2.1%에 해당

<표 3.1> 연도별 정부 R&D 예산 규모>

(단위: 조원, %)

| 구분 | '17 | '18 | '19 | '20 | '21 | '22 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R&D 예산 (조원) | 19.5 | 19.7 | 20.5 | 24.2 | 27.4 | 29.8 |
| R&D 예산 증가율 (%) | 1.9 | 1.1 | 4.4 | 18.0 | 13.1 | 8.8 |
| 총지출 증가율 (%) | 3.7 | 7.1 | 9.5 | 9.1 | 8.9 | 8.3 |

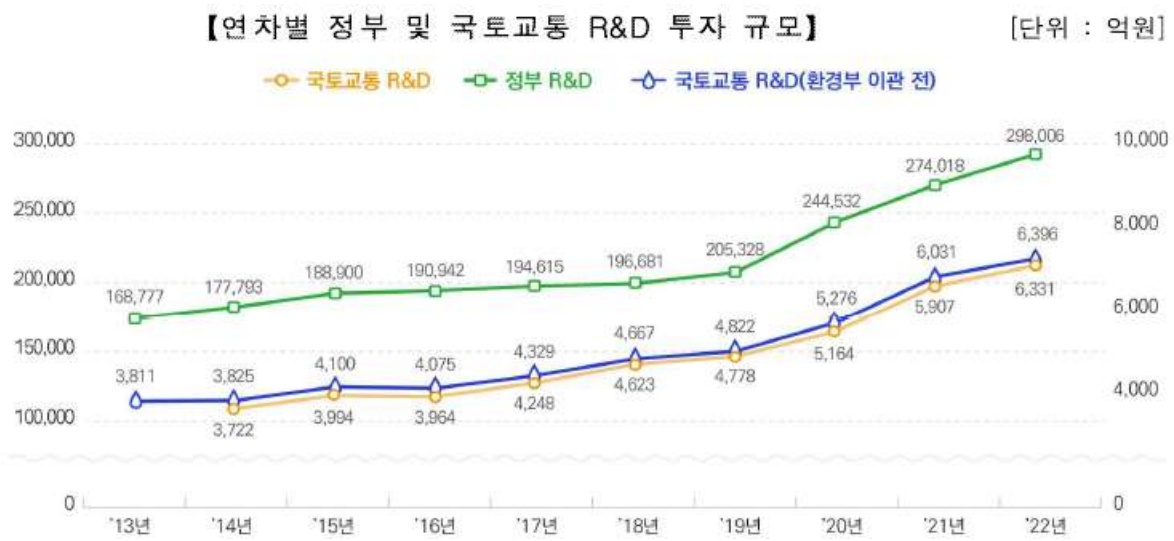



그림 3.1 연차별 정부 및 국토교통 R&D 투자 규모

<출처 : 2022년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획>

65) 2022년도 정부 R&D 국회 확정 예산 보도참고자료

# 2. 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 기술개발 투자 동향

## 2.1. 분석 개요

■ **(목적)** 건축물 해체기술 고도화 및 폐기물 자원화와 관련하여 국가 R&D 과제가 다수 추진된 바 있으며, 본 연구에서는 투자동향을 분석하여 국내 연구개발 역량 진잔의 참고자료로 활용하고자 함

■ **(조사범위)** 최근 5년('17~'21년)간 국가연구개발 과제

■ **(검색범위)** 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 관련 키워드를 구성, 종합하여 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 유사 R&D 과제 검색

- 키워드 검색에 따라 추출된 목록에서 노이즈 제거 후 분석

[과학기술표준분류]

| 대분류 | 중분류 |
|---|---|
| 기계 | 측정표준/시험평가기술, 로봇/자동화기계, 재난안전장비 |
| 전기/전자 | 계측기기, 무기센서 및 제어 |
| 정보/통신 | 이동통신, RFID/USN, ITS/텔레매틱스, 재난정보관리 |
| 환경 | 물관리, 환경예측/감시/평가 |
| 건설/교통 | 국토정책/계획, 국토공간개발기술, 시설물 설계/해석기술, 건설시공/재료, 유지관리기술 |

[검색어]

[공통] 해체 | 사고 | 건축물 | 붕괴 | 전도 | 부분 | 철거 | 리모델링 | 해체기술 | 디지털 | 모듈 | 건설폐기물 | 재활용 | 순환건설

[추가] 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 기술영역별 핵심 키워드 구성

<표 3.2> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 유사 R&D 과제 키워드

| 공통 키워드 | 세부기술영역(안) | 추가 키워드 |
|---|---|---|
| 건축물해체 \| 해체사고 \| 건축물붕괴 \| 건축물전도 \| 부분철거 \| 부분해체 \| 건축물리모델링 \| 건축물해체기술 \| 디지털해체 \| 모듈해체 \| 건설폐기물재활용 \| 순환건설 | 해체설계 | 설계 \| 계획서 \| 도면 \| 가상 \| BIM \| 3D 스캐닝 \| 도면화 \| 시뮬레이션 \| 역설계 \| 건축물 정보 \| 안전계획 \| 비파괴검사 \| 위험도평가 \| 자동화 \| 건축물 성능평가 \| 구조물 거동 |
| | 해체시공 | 해체시공 \| 로봇 \| 무인 \| 장비 \| 원격 \| 소형 \| 경량 \| 비계 \| 동바리 \| 서포트 \| 소음 \| 차단 \| 가설물 \| 분진 \| Mist \| 분사장치 \| 파쇄기 \| 안전막 \| 차단막 \| 햅틱 \| 이동경로 \| 실시간 \| 모니터링 \| Top-down \| Bottom-up \| 무진동 \| 무소음 \| 무분진 \| 구조물 \| 절단 \| 친환경 \| 전도 \| 발파 \| 살수공법 \| 거품 \| Time-lag |
| | 분별해체 | 분별해체 \| 성상별 분리 \| 폐기물 \| 분리보관 \| 목재 \| 창호 \| 유리 \| 문짝 \| 문틀 \| 단열재 \| 감량장치 \| 콘크리트 \| 프로세스 \| 파쇄기 \| 그린리노베이션 |
| | 건축폐기물 자원화 | 건축자재 \| 폐기물 \| 재사용 \| 재자원화 \| 이물질 \| 최소화 \| 신소재 \| 목재 \| 보드 \| 칩 \| 플라스틱 \| 합성수지 \| 유리 \| 석고 \| 타일 \| \| 재활용 \| 금속 \| 철제 \| 비철 \| 단열재 \| 폐전선 \| 분류 \| 회수 \| 통합공정 \| 잔재 \| 복원 \| |

자료 : NTIS, 중점분야의 기술 영역별 핵심 키워드 검색(2017년~2021년)

*A \| B : 두개의 단어 중 하나 이상을 포함하는 결과검색, A B : 단어 사이 공백은 두개의 단어를 모두 포함하는 결과검색

## 2.2. 분석 결과

### 2.2.1. 연도별 투자동향

■ 우리나라 건축물 해체 및 자원화 분야 R&D 연구비 투자 동향은 2017년 약 27.2억원 규모에서 2021년 약 74억원으로 172% 정도 증가하였음

■ 과제 수는 2017년 6건에서 2021년 17건으로 약 183% 증가하는 추세를 보임

- 정부투자 연구비는 2019년과 2020년에 각각 약 21.9억원, 21.7억원 수준으로 감소하는 추세였으나 2022년도에 다시 약 74억원 수준으로 3배 이상 증가함
- 건축물 해체 및 자원화 분야 R&D 과제 수는 2017년 6개에서 2021년 17개로 2019년도를 제외하고 해마다 꾸준히 증가하는 추세를 보임

<표 3.3> 연도별 정부투자 연구비 및 과제 수 현황

(단위: 백만원, 개)

| 구분 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부투자연구비 | 2,723 | 3,110 | 2,189 | 2,165 | 7,403 | 17,591 |
| 과제 수 | 6 | 11 | 10 | 16 | 17 | 60 |

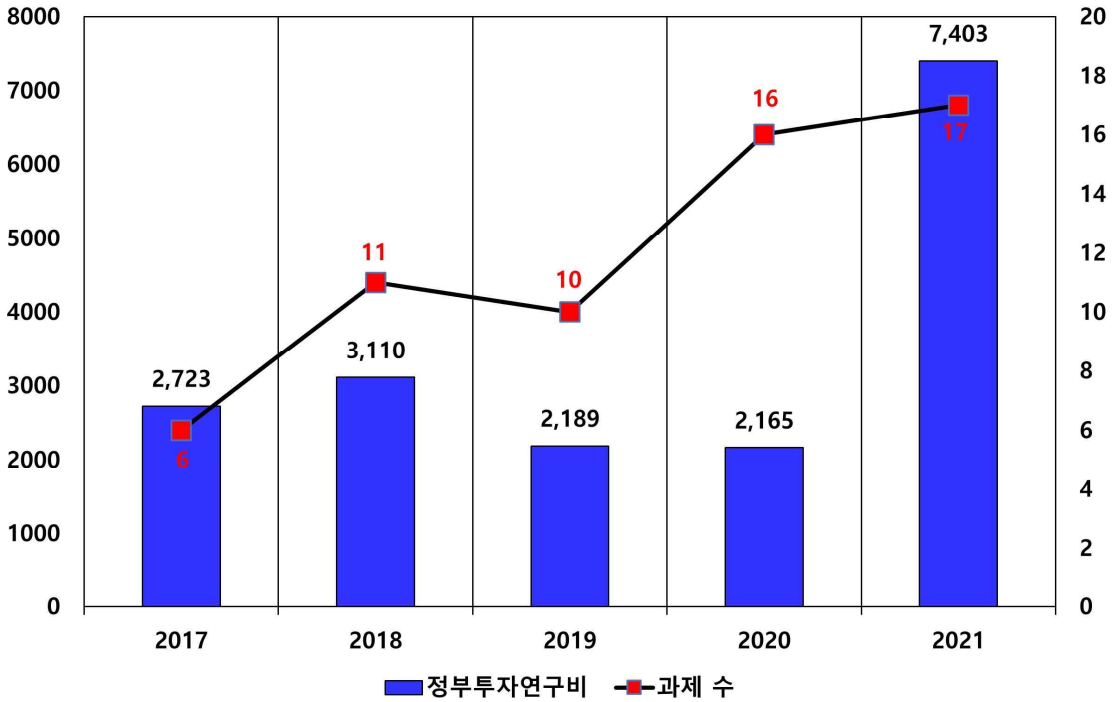



그림 3.2 연도별 정부투자 연구비 및 과제 수 현황

### 2.2.2. 부처별 투자동향

■ 2017년부터 2021년까지 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 주요 부처의 총 R&D 투자비용은 약 175.9억원으로 확인되며, 그 중 국토교통부가 약 64.8억원(36.8%)으로 가장 많은 투자를 진행함

- 2017년 ~ 2021년 사이 상위 5개 부처별 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 R&D 예산은 국토교통부 약 64.8억원(36.8%), 과학기술정보통신부 약 43.5억원(24.7%), 산업통상자원부 26.8억원(15.2%), 중소벤처기업부 24.2억원(13.8%), 교육부 14.1억원(8.0%), 그리고 다부처(과기정통부, 행안부)가 2.5억원(1.4%)으로 확인됨

<표 3.4> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 주요 부처별 R&D 투자현황

(단위: 백만원, %)

| 구분 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 합계(비중) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 과학기술정보통신부 | 960 | 830 | 1,274 | 482 | 804 | 4,350(24.7%) |
| 교육부 | 80 | 140 | 182 | 420 | 591 | 1,413(8.0%) |
| 국토교통부 | 1,263 | 1,349 | 240 | 863 | 2,762 | 6,477(36.8%) |
| 산업통상자원부 | 387 | 431 | - | - | 1,860 | 2,678(15.2%) |
| 중소벤처기업부 | 33 | 360 | 494 | 400 | 1,136 | 2,423(13.8%) |
| 다부처* | - | - | - | - | 250 | 250(1.4%) |

*다부처: 과학기술정보통신부, 행정안전부

### 2.2.3. 연구단계별 투자동향

■ 투자동향을 연구단계별로 나누어 보았을 때, 개발연구에 약 99.8억원을 투자하여 그 규모가 가장 컸으며, 기초연구 40.4억원, 기타 29.0억원, 응용연구 6.7억원 순으로 집계됨

■ 과기정통부에서는 주로 기초연구에 비중을 많이 두었으며, 교육부는 기초연구와 응용연구가 각각 52.75%, 47.25%로 비슷한 수준으로 투자가 진행되었음

<표 3.5> 연도별 연구단계에 따른 R&D 투자현황

(단위: 백만원)

| 구분 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 개발연구 | 1,683 | 2,140 | 734 | 1,353 | 4,074 | 9,984 |
| 기초연구 | 1,040 | 970 | 1,069 | 284 | 676 | 4,039 |
| 응용연구 | - | - | - | 223 | 445 | 667 |
| 기타 | - | - | 386 | 306 | 2,208 | 2,900 |
| 합계 | 2,723 | 3,110 | 2,189 | 2,165 | 7,403 | 17,591 |

■ 국토교통부, 중소벤처기업부, 그리고 다부처(과기정통부, 행안부)에서는 개발연구에 많은 비중을 두고 투자를 진행항 것으로 파악됨

<표 3.6> 연구단계별 주요 유관부처 R&D 투자현황

(단위: 백만원)

| 구분 | | 개발연구 | 기초연구 | 응용연구 | 기타 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 과학기술정보통신부 | 정부투자연구비 | 176 | 3,134 | - | 1,040 | 4,350 |
| | 비중 (%) | 4.05% | 72.05% | - | 23.91% | 100% |
| 교육부 | 정부투자연구비 | - | 745 | 667 | - | 1,143 |
| | 비중 (%) | - | 52.75% | 47.25% | - | 100% |
| 국토교통부 | 정부투자연구비 | 6,317 | 160 | - | - | 6,477 |
| | 비중 (%) | 97.53% | 2.47% | - | - | 100% |
| 산업통상자원부 | 정부투자연구비 | 818 | - | - | 1,860 | 2,678 |
| | 비중 (%) | 30.55% | - | - | 69.45% | 100% |
| 중소벤처기업부 | 정부투자연구비 | 2,423 | - | - | - | 2,423 |
| | 비중 (%) | 100% | - | - | - | 100% |
| 다부처 | 정부투자연구비 | 250 | - | - | - | 250 |
| | 비중 (%) | 100% | - | - | - | 100% |

## 2.2.4. 연구수행주체별 투자동향

■ 연구수행주체별로 구분하였을 때, 출연연구소가 51.9억원으로 가장 많았으며, 다음으로는 대기업 50.7억원, 중소기업 33.7억원, 대학 21억원 순으로 투자가 진행되었음

<표 3.7> 연구수행주체별 R&D 투자동향 및 수행과제 수

| 수행주체 | 투자 규모 | | 수행과제 수 | |
|---|---|---|---|---|
| | 정부투자연구비 (백만원) | 비율 (%) | 과제 수 (개) | 비율 (%) |
| 대학 | 2,101 | 11.94 | 27 | 45.0 |
| 출연연구소 | 5,187 | 29.49 | 12 | 20.0 |
| 중소기업 | 3,371 | 19.17 | 14 | 23.3 |
| 대기업 | 5,072 | 28.83 | 5 | 8.3 |
| 기타 | 1,860 | 10.57 | 2 | 3.3 |
| 합계 | 17,591 | 100 | 60 | 100 |

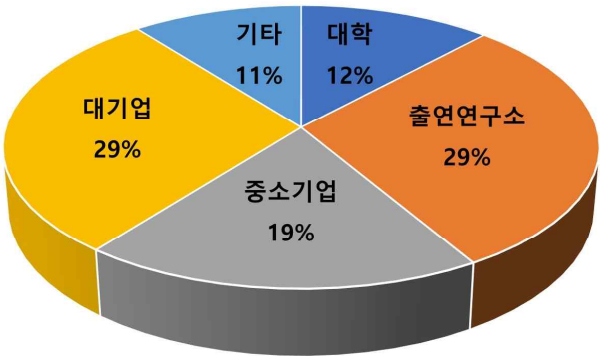



그림 3.3 연구수행주체별 R&D 투자 규모

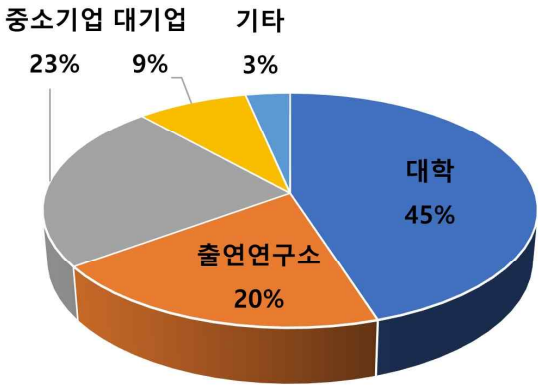



그림 3.4 연구수행주체별 수행과제 수

- 수행한 과제 수는 총 60개이며, 이중 대학이 27개(45%)로 가장 많은 것으로 집계되었으며, 그 다음으로는 중소기업이 14개(23.3%), 출영연구소가 12개(20%), 대기업이 5개(8.3%) 순으로 확인됨
- 연구수행주체별 R&D 투자 규모와 수행과제 수 분석결과를 살펴보면, 수행과제 수가 많다고 해서 R&D 투자 규모가 큰 것은 아닌 것으로 확인됨
- 대학과 출영연구소의 경우 2017년부터 2021년까지 정부투자연구비와 과제 수가 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 중소기업은 지속적으로 오르지는 않았지만 매년 꾸준히 투자되고 있는 것으로 확인됨

<표 3.8> 연구단계별 주요 유관부처 R&D 투자현황

(단위: 백만원, 개)

| 구분 | | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대학 | 정부투자연구비 | 80 | 140 | 182 | 488 | 1,211 | 2,101 |
| | 과제 수 | 2 | 4 | 4 | 8 | 9 | 27 |
| 출연연구소 | 정부투자연구비 | - | 30 | 814 | 1,308 | 3,036 | 5,187 |
| | 과제 수 | - | 1 | 3 | 5 | 3 | 12 |
| 중소기업 | 정부투자연구비 | 420 | 791 | 494 | 370 | 1,296 | 3,371 |
| | 과제 수 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 14 |
| 대기업 | 정부투자연구비 | 2,233 | 2,149 | 700 | - | - | 5,072 |
| | 과제 수 | 2 | 2 | 1 | - | - | 5 |
| 기타 | 정부투자연구비 | - | - | - | - | 1,860 | 1,860 |
| | 과제 수 | - | - | - | - | 2 | 2 |

# 2절. 기술역량 분석

## 1. 특허 분석

### 1.1. 분석 개요

#### 1.1.1. 분석 배경

■ 건축물 해체기술 및 건축폐기물 자원화 분야에서 해결해야 될 문제점과 고도화를 위한 기술 개발을 위해 해당 기술 분야에 대한 현재 기술 수준, 기술 개발 동향 등 사전 특허동향을 파악함으로써 R&D 기획의 방향성 검토를 지원

#### 1.1.2. 분석 목적

■ 건축물 해체기술 및 건축폐기물 자원화 분야 관련 국내외 특허 현황 및 국가별 기술 경쟁력 등의 분석을 수행하고, 최근 부상 기술을 도출하여, 전략적인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 객관적이고 체계적인 특허정보를 제공하는데 그 목적을 둠

### 1.2. 분석 범위 및 방법

#### 1.2.1. 대상기술 및 기술 분류

■ 특허검색 및 분석대상이 되는 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술에 대하여, 특허정보를 취득하고 분석하기 위한 범위를 정하기 위해 “건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링, 건축폐기물의 자원화와 관련된 기술”을 대분류로 설정

■ 대분류 기술을 크게 “A. 건축물의 해체 시공 기술”, “B. 건축폐기물의 자원화 기술(단, 순환골재 생산 기술을 제외)”, “C. 건축폐기물 유래 건설자재 기술” 및 “D. 건축물의 해체 장치 기술”의 4가지 중분류로 구분

<표 3.9> 분석대상 기술 분류

| 대분류 | 중분류 | 기술내용 | 분류코드 |
|---|---|---|---|
| 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링, 건축폐기물의 자원화 관련 기술 | 건축물의 해체 시공 기술 | · 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기 등에 의해 발생된 건축폐기물에 대해 전처리하거나, 재료별로 분류하거나, 세척, 파쇄 등의 자원화를 위해 물리적 또는 화학적 처리, 조치를 수행하는 것과 관련된 기술 | A |
| | 건축폐기물의 자원화 기술 | · 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기 등에 의해 발생된 건축폐기물에 대해 전처리하거나, 재료별로 분류하거나, 세척, 파쇄 등의 자원화를 위해 물리적 또는 화학적 처리, 조치를 수행하는 것과 관련된 기술 | B |
| | 건축폐기물 유래 건설자재 기술 | · 건축폐기물로부터 건설자재를 제조하거나 또는 그 제조방법에 의해 만들어진 재활용 건설자재와 관련된 기술 | C |
| | 건축물의 해체 장치 기술 | · 건축물의 해체, 철거 등에 사용되거나, 재활용을 위해 사용되는 장치, 기구 등과 관련된 기술 | D |

### 1.2.2. 특허 검색 방법 및 범위

■ 특허 검색은 2002.01.01 ~ 2022.02.28까지 20년 동안 주요국가인 한국(KR), 일본(JP), 미국(US) 및 유럽(EP)에 공개 및 등록된 특허를 검색 및 분석대상으로 함

<표 3.10> 특허 검색 DB 및 검색 범위

| 자료 구분 | 국 가 | 검색 DB | 검색구간 | 검색 범위 |
|---|---|---|---|---|
| 공개·등록특허 (공개·등록일 기준) | 한국 | WIPS ON | 2002.01.01.~ 2022.02.28. (과거 20년간) | 특허공개 및 등록, 전체문서 |
| | 일본 | WIPS ON | | 특허공개 및 등록, 전체문서 |
| | 미국 | WIPS ON | | 특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표), 전체문서 |
| | 유럽 | WIPS ON | | EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서 |

### 1.2.3. 키워드 및 검색식 설정

■ 특허 검색 및 분석대상이 **<건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링 등을 위한 기술, 건축폐기물에 대한 전처리, 분류, 세척, 파쇄 등의 자원화를 위한 기술, 이를 통해 만들어지는 재활용 건설자재와 관련된 기술 및 건축물의 해체, 철거 등에 사용되거나, 재활용을 위해 사용되는 장치, 기구 등과 관련된 기술>**이므로, 이와 관련된 핵심적인 키워드를 추출함

■ 우선 <물리적인 대상>이 되는 건축물과 관련해서는 아래의 핵심 키워드를 추출 및 선정.

- 건축, 건물, 빌딩, 아파트, 주택, 가옥, 빌라, 주상복합

■ <해체 등>과 관련해서는 아래의 핵심 키워드를 추출 및 선정하였습니다.

- 해체, 철거, 분해, 헤체, 폐기, 탈거, 탈리, 분리

■ 특별히 중분류 “A. 건축물의 해체 시공 기술”와 관련해서는 아래의 핵심 키워드를 활용하였습니다.

- 설계, 계획, 모델, 시뮬레이션, 정보, 결정, 기획, 평가, 진단

■ 중분류 “B. 건축폐기물의 자원화 기술”, “C. 건축폐기물 유래 건설자재 기술” 및 “D. 건축물의 해체 장치 기술”과 관련해서는 아래의 핵심 키워드를 활용하였습니다.

- 폐기, 자원, 재활용, 회수, 자원, 선별

<표 3.11> 특허 검색식

| 국 가 | 검색 DB | 검색식 |
|---|---|---|
| 한국(KR)<br>(KIPO) | WIPS | ((건축*) or (건물*) or (빌딩*) or (아파트*) or (주택*) or (삘딩*) or (가옥*) or (빌라*) or (주상복합*)) and ((해체*) or (헤체*) or (철거*) or (리모델*)) and ((설계*) or (계획*) or (모델*) or (시뮬레*) or (정보*) or (결정*) or (기획) or (평가*) or (진단*) or (폐기*) or (자원*) or (재활용*) or (회수*) or (자원*))TI,AB,CLA. |
| 일본(JP)<br>(JPO) | WIPS | |
| 미국(US)<br>(USPTO) | WIPS | ((construct*) or (building*) or (tower*) or (structure*)) and ((tear*) or (demolish*) or (demoli*) or (destruct*) or (detach*) or (demote*) or (destro*) or (disassamble*) or (pullout*) or (sepatar*) or (disruption*) or (cut*) or (saw*))TI,AB,CLA. |
| 유럽(EP)<br>(EPO) | WIPS | |

■ 위의 검색대상 항목 표에서 <TI>, <AB> 및 <CLA>는 각각 아래와 같이 “발명의 명칭”, “요약서” 및 “청구범위”를 나타내는 것으로서, 발명의 명칭과 요약서 및 청구범위에 설정된 키워드가 포함된 것을 검색한다는 의미임

- TI : 발명의 명칭(Title of Invention)
- AB : 요약서(Abstract)
- CLA : 청구범위(Claims)

### 1.2.4. Raw Data, 유효특허 도출

■ 설정된 키워드와 검색식을 이용하여 한국, 미국, 일본 및 유럽 특허에 대한 Raw Data를 획득

- Raw Data에는 <발명의 명칭>, <요약서>, <대표청구항>, <특허출원번호와 출원일>, <공개번호와 공개일>, <등록번호와 등록일>, <출원인 정보>, <대표도면 정도> 등이 포함됨
- Raw Data는 키워드와 검색식을 이용하여 처음에 획득된 원시적인 데이터이며, 분석대상 기술과 무관한 내용들이 상당수 포함되어 있음
- 따라서 획득된 Raw Data에 포함된 각각의 특허에 대하여, 발명의 명칭, 대표청구항, 요약서 및 첨부 도면을 토대로 기본적인 내용을 파악하여, 분석대상 기술과 관련성이 없거나 극히 작은 특허를 Noise로 간주하여 제거하는 필터링 작업을 수행
- Raw Data에 대해 Noise 작업을 수행함으로써 얻어진 자료 즉, Raw Data에 대해 필터링 작업을 수행하여 Noise를 제거함으로써 추출된 검색 결과를 “유효특허”라고 함
- 획득된 “유효특허”에 대해 <연도별 특허동향> 및 <국가별 특허동향>을 정리하여 분석하였음. 특히, “유효특허”에 대해 <연도별 특허동향> 및 <국가별 특허동향>을 파악하였으며, 앞서 분류한 3개의 기술 분류에 대하여 각각의 특허동향을 파악하였음

## 1.3. 특허분석 결과

### 1.3.1. 최초 검색 RAW DATA 및 유효특허

■ 키워드를 이용한 검색을 수행한 결과, 아래의 표와 같이 총 2,031건의 RAW DATA를 취득함

- 후속하여 취득한 총 2,031건의 RAW DATA 중에서 분석대상 기술과 관련성이 없는 특허를 필터링함으로써 241건의 유효특허를 추출

<표 3.12> RAW DATA 및 유효특허 검색 수

| 검색대상 | 국 가 | 검색식 | RAW DATA 검색건수 | 유효특허 검색건수 |
|---|---|---|---|---|
| <분석대상 기술><br><br>건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링, 건축폐기물의 자원화 관련 기술 | 한국 (KR) (KIPO) | ((건축*) or (건물*) or (빌딩*) or (아파트*) or (주택*) or (삘딩*) or (가옥*) or (빌라*) or (주상복합*)) and ((해체*) or (헤체*) or (철거*) or (리모델*)) and ((설계*) or (계획*) or (모델*) or (시뮬레*) or (정보*) or (결정*) or (기획) or (평가*) or (진단*) or (폐기*) or (자원*) or (재활용*) or (회수*) or (자원*))TI,AB,CLA. | 962 | 275 |
| | 일본 (JP) (JPO) | | 740 | 170 |
| | 미국 (US) (USPTO) | ((construct*) or (building*) or (tower*) or (structure*)) and ((tear*) or (demolish*) or (demoli*) or (destruct*) or (detach*) or (demote*) or (destro*) or (disassamble*) or (pullout*) or (sepatar*) or (disruption*) or (cut*) or (saw*)) TI,AB,CLA. | 583 | 145 |
| | 유럽 (EP) (EPO) | | 260 | 15 |
| 합 계 | | | 2,545 | 605 |

### 1.3.2. 유효특허 및 이에 대한 기술 분류

■ 앞 절에서 살펴본 것처럼 특허검색 및 분석의 대상이 되는 <건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링, 건축폐기물의 자원화와 관련된 기술>을 “A. 건축물의 해체 시공 기술”, “B. 건축폐기물의 자원화 기술(단, 순환골재 생산 기술을 제외)”, “C. 건축폐기물의 재활용 자재 기술” 및 “D. 건축물의 해체 장치 기술”의 4가지 중분류(中分類)로 구분하였으며, 각각의 중분류에 대해여 유효특허를 추출함

- 기술부호 A, B, C 및 D를 각각 부여하여 구분한 4개의 중분류 기술에 대한 유효특허의 건수를 아래 표에 정리함
- EP 특허의 경우, 검색된 유효특허의 건수가 매우 작아 위와 같이 기술부호 A, B, C 및 D로 분류하는 것이 적절하지 않은 것으로 판단됨

<표 3.13> 중분류에 따른 유효특허 검색 수

| 대분류 | 중분류 | 유효특허 건수 | |
|---|---|---|---|
| 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링, 건축폐기물의 자원화 관련 기술 | A. 건축물의 해체 시공 기술 | KR | 53 |
| | | JP | 35 |
| | | US | 40 |
| | B. 건축폐기물의 자원화 기술 | KR | 144 |
| | | JP | 66 |
| | | US | 34 |
| | C. 건축폐기물 유래 건설자재 기술 | KR | 46 |
| | | JP | 46 |
| | | US | 35 |
| | D. 건축물의 해체 장치 기술 | KR | 32 |
| | | JP | 23 |
| | | US | 36 |
| 총계 | | 590 | |

### 1.3.3. 특허출원 동향 정량분석

#### (1) 전체 특허출원 동향

■ 특허검색 및 분석대상 기술에 대한 전체적인 동향 파악을 위해 한국, 미국, 일본 및 유럽의 전체 출원국에 대하여 검색구간인 2002년 01년 01일부터 2022년 02월 28일을 각각 2개년도를 출원년도 1개 구간으로 설정하여 유효특허의 전체 건수를 연차별로 정리하였음

<표 3.14> 검색 유효특허 건수

| 출원년도 | 한국 (KR) | 일본 (JP) | 미국 (US) | 총합계 |
|---|---|---|---|---|
| 2002-2003 | 42 | 36 | 17 | 95 |
| 2004-2005 | 54 | 37 | 14 | 105 |
| 2006-2007 | 29 | 29 | 15 | 73 |
| 2008-2009 | 39 | 16 | 12 | 43 |
| 2010-2011 | 14 | 12 | 17 | 43 |
| 2012-2013 | 20 | 10 | 13 | 43 |
| 2014-2015 | 16 | 6 | 16 | 38 |
| 2016-2017 | 19 | 9 | 21 | 49 |
| 2018-2019 | 29 | 11 | 16 | 56 |
| 2020-2021 | 13 | 4 | 4 | 21 |
| 총합계 | 275 | 179 | 145 | 241 |

■ 위와 같은 각 국가에 대한 유효특허의 전체 건수에 대한 연차별 추이를 볼 수 있도록 그래프로 정리하였음

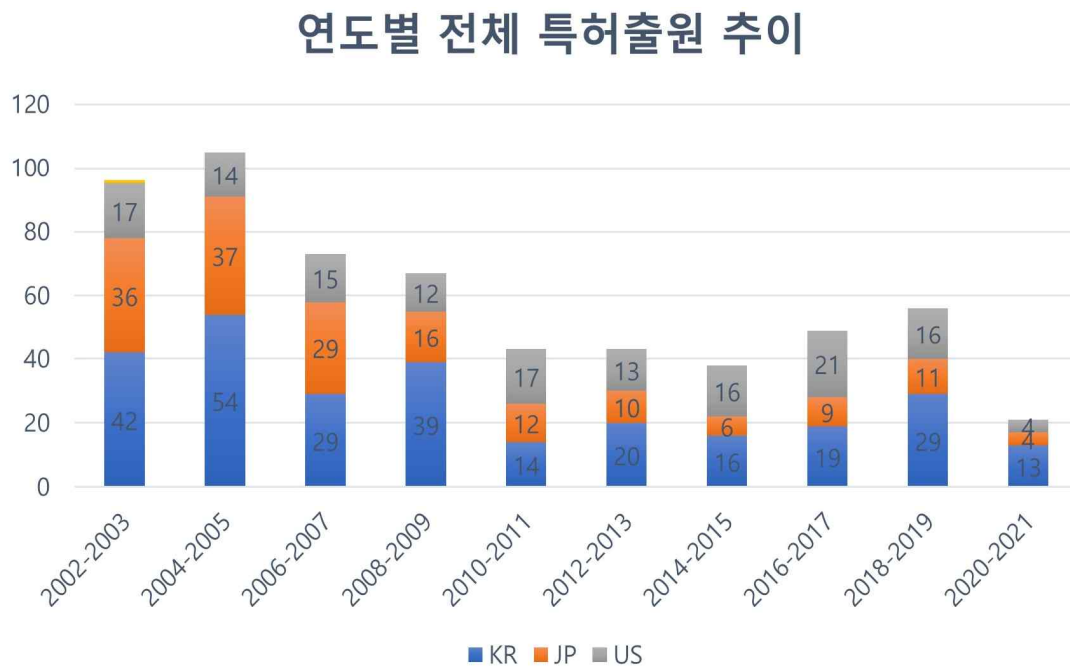



그림 3.5 연도별 전체 특허출원 추이

- 연도별 특허출원 추이/동향을 살펴보면, 2002-2009년 구간에서는 상당한 특허출원 수가 유지되었으나, 2010-2015년 구간의 정체기가 있었으며, 후속하여 2016-2019년 구간에서는 상승세가 생겼고 2020-2021년 구간에서는 특허출원 수가 다소 주춤한 상태로 분석됨
- 최근 건축물의 노후화가 급격히 진행되고 있고, 그에 따라 해체, 철거, 리모델링의 수요가 증가할 것으로 예상되어 검색 대상 기술 분야에서 특허출원 건수는 증가될 것으로 판단됨
- 한편, 검색된 유효특허에 대해 국가별 비율을 정리하였으며, 그 내용은 아래의 그림과 같음
- 전체 특허출원에 있어서 한국(KR), 미국(US), 일본(JP) 및 유럽(EP)의 특허출원 비율을 살펴보면, 한국이 약 45%로 가장 많은 특허출원 수를 보이고 있으며, 일본 28% 및 미국 24%, 유럽(EP)은 3%로 매우 미미한 특허출원 건수를 보이는 것으로 확인됨

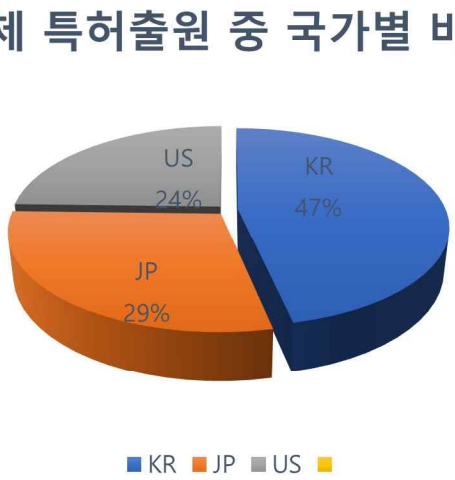



그림 3.6 국가별 특허출원 비율 - 1

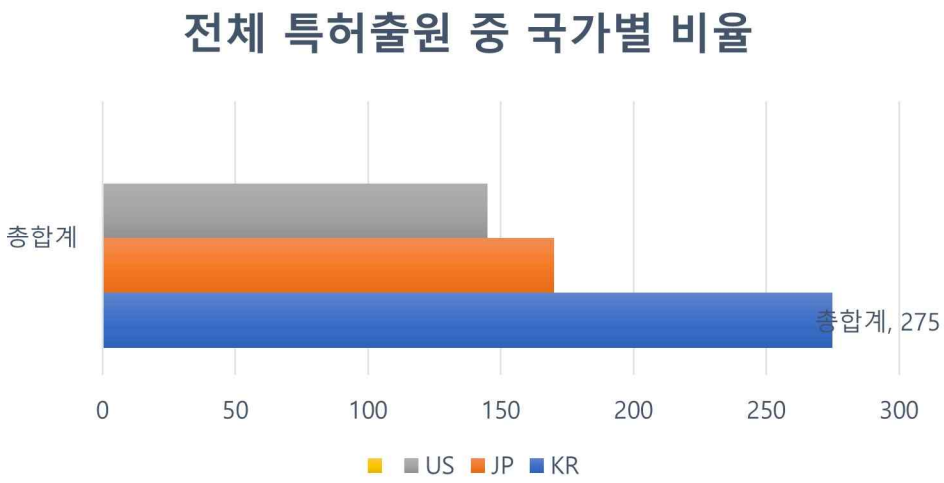



그림 3.7 국가별 특허출원 비율 - 2

- 전체적으로는 한국이 압도적으로 많은 특허출원 건수를 보이고 있고, 일본과 미국은 거의 비슷한 특허출원 건수로 한국을 뒤따르고 있음
- 이러한 결과는 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기, 리모델링 등을 위한 기술, 건축폐기물에 대한 전처리, 분류, 세척, 파쇄 등의 자원화를 위한 기술, 이를 통해 만들어지는 재활용 건설자재와 관련된 기술 및 건축물의 해체, 철거 등에 사용되거나, 재활용을 위해 사용되는 장치, 기구 등과 관련된 기술 분야에 있어서, 한국이 특허출원 노력 및 동향이 전체적인 특허출원의 경향성에 상당히 큰 영향력을 미치면서 주도하고 있는 것이라고 할 수 있으며, 특허검색결과는 이를 강하게 뒷받침하고 있는 것으로 판단됨

### (2) 국가별 특허출원 동향

■ 검색된 유효특허를 기준으로 한국, 미국, 일본 및 유럽의 각각에 대해 연도별 전체 특허출원 추이를 정리하였음

- 한국에서의 연도별 특허출원 추이를 거시적인 관점에서 살펴보면, 2002년부터 2009년까지는 다수의 특허출원이 진행되었으나, 2010년부터 2015년 사이에는 특허출원 수가 줄어들었고, 그 후 2016년부터 증가하기 시작하고 있으나 다시 2020년-2021년 구간에서는 특허출원 건수가 줄어드는 경향을 보이고 있습니다.
- 2020년-2021년 구간의 경우 아직 출원 공개가 이루어지지 않은 건들이 다수 존재할 것으로 예상되며, 실제 특허출원 건수는 이보다 더 많을 것으로 판단됨
- 일본의 경우도 한국과 유사하게 2002년부터 2009년까지는 다수의 특허출원이 진행되었으나, 2010년부터 2015년 사이에는 특허출원 수가 상당히 줄어들었고, 아직 특허출원의 뚜렷한 회복세는 보이지 않고 있음

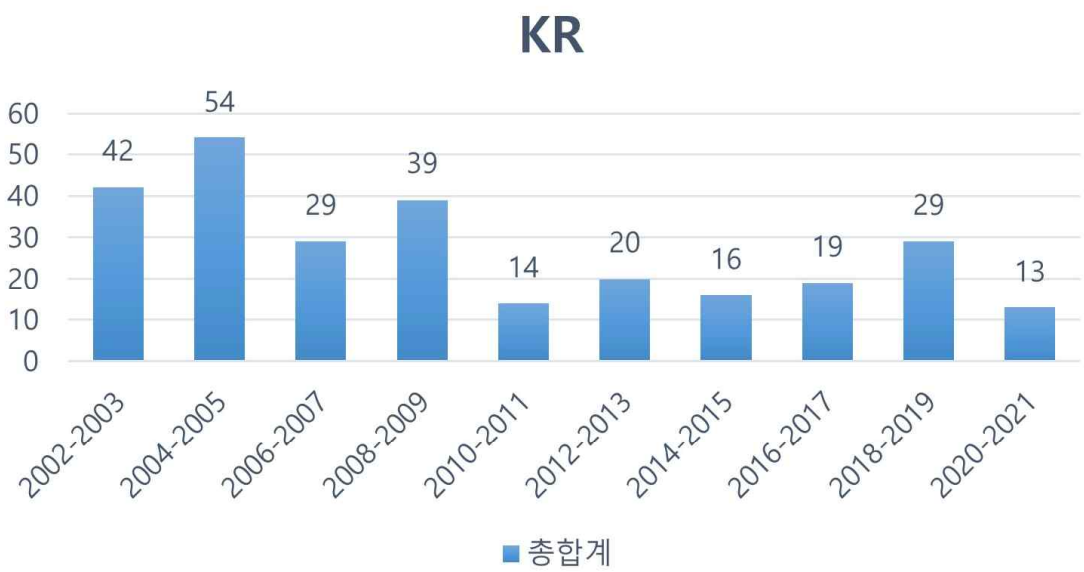



그림 3.8 한국의 연도별 특허출원 동향

- 미국의 경우 전반적으로 특허출원 건수의 큰 변동 없이 유지되고 있으나, 최근에는 상당수로 감소되었음
- 이는 아직 출원 공개가 이루어지지 않은 건들이 다수 존재하는데서 기인되는 것으로 판단되며, 실제 특허출원 건수는 이보다 더 많을 것으로 예상됨
- 유럽의 경우 연도별 특허출원 동향을 파악하기에는 검색되어 추출된 유효특허의 건수가 작아서 본 보고서에는 포함시키지 않았음

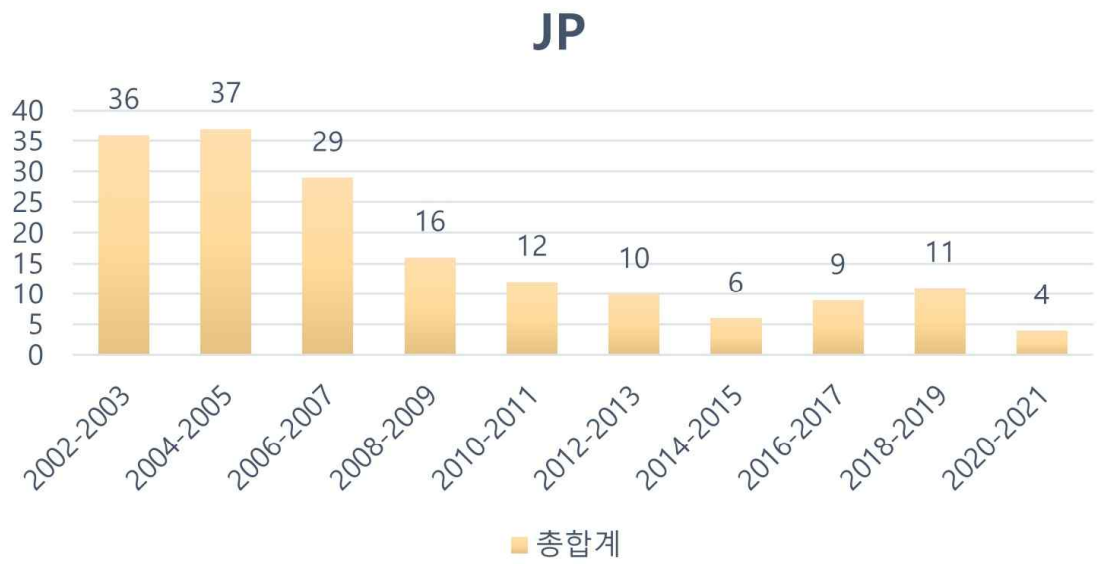



그림 3.9 일본의 연도별 특허출원 동향

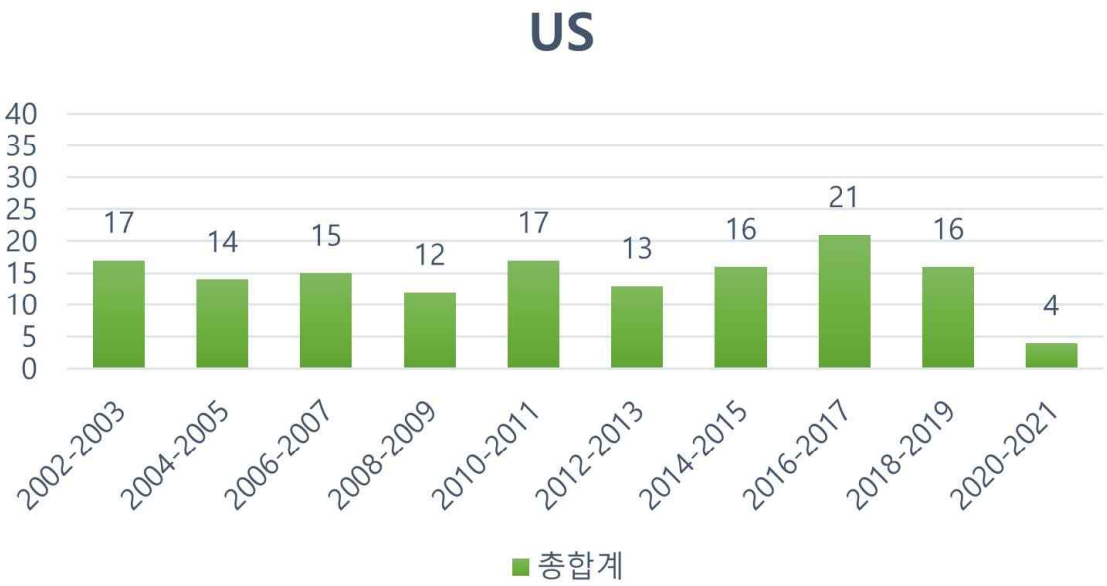



그림 3.10 미국의 연도별 특허출원 동향

### (3) 기술 분류별 특허출원 동향

- 검색된 유효특허를 기준으로 4개의 기술 분류별로 특허출원 동향/추이를 분석하였음. 아래의 그림들에서 A, B, C 및 D로 표시된 분류기호의 의미는 아래 <표 3.15>와 같음. 전체 검색된 유효특허 중에서 분류기호 A, B, C 및 D 분야의 기술은 각각 22%, 41%, 22% 및 15%를 차지하고 있음
- 이는 건축폐기물 자원화 기술 즉, 건축물의 해체, 철거, 분쇄, 폐기 등에 의해 발생된 건축폐기물에 대해 전 처리하거나, 재료별로 분류하거나, 세척, 파쇄 등의 자원화를 위해 물리적 또는 화학적 처리, 조치를 수행하는 것과 관련된 기술이 전체적으로 주를 이루고 있음을 알 수 있음
- 건축물의 해체 시공 기술과 건축폐기물 유래 건설 자재 기술인 건축폐기물로부터 건설자재를 제조하거나 또는 그 제조방법에 의해 만들어진 재활용 건설자재와 관련된 기술은 각각 22%로서 거의 대응하게 특허출원이 이루어지고 있음을 보여주고 있음
- 건축물의 해체 장치 기술 즉, 건축물의 해체, 철거 등에 사용되거나, 재활용을 위해 사용되는 장치, 기구 등과 관련된 기술은 상대적으로 적은 특허출원 건수를 보이고 있는 것으로 확인됨

<표 3.15> 분류기호에 따른 기술 내용

| 분류기호 | 기술 내용 |
|---|---|
| A | 건축물의 해체 시공 기술 |
| B | 건축폐기물의 자원화 기술 |
| C | 건축폐기물의 재활용 자재 기술 |
| D | 건축물의 해체 장치 기술 |

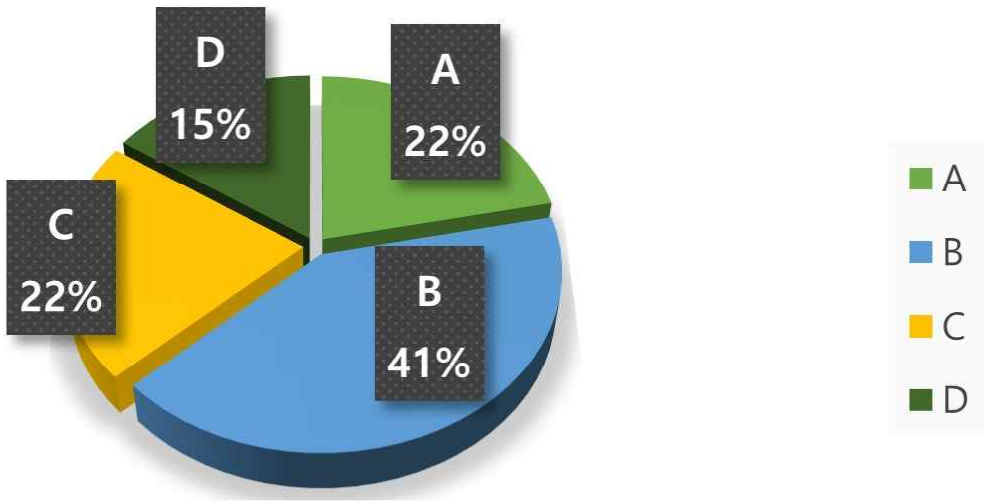



그림 3.11 분류기호 A, B, C, D 기술 각각의 특허출원 비율

■ 분류기호 A, B, C 및 D 기술 각각에 대한 연도별 특허출원 건수의 추이는 아래의 그림과 같음

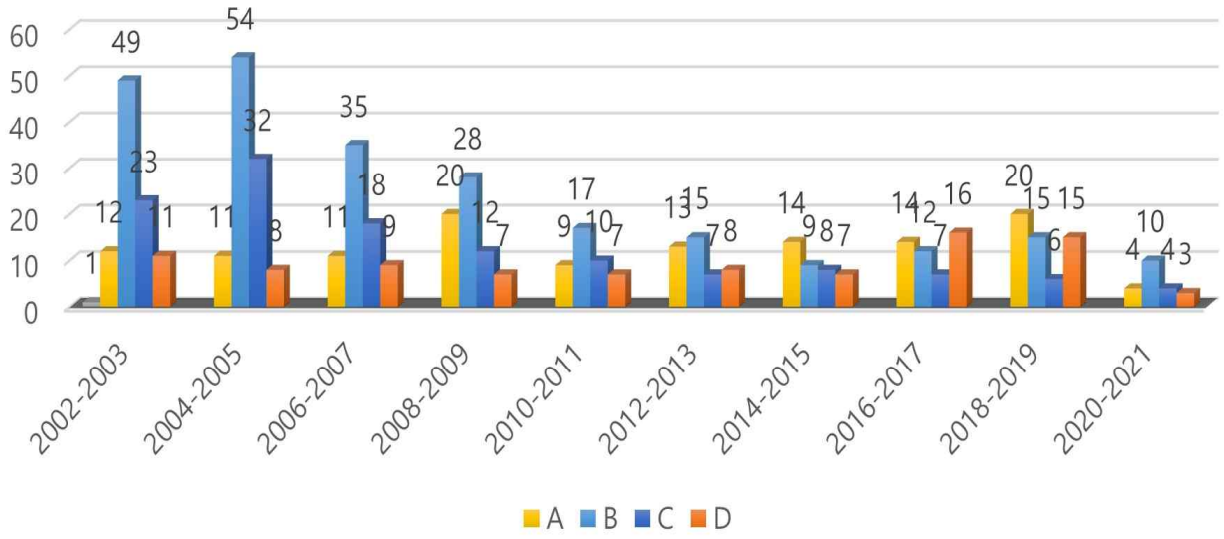



그림 3.12 분류기호 A, B, C, D 기술의 연도별 특허출원 동향 - 1

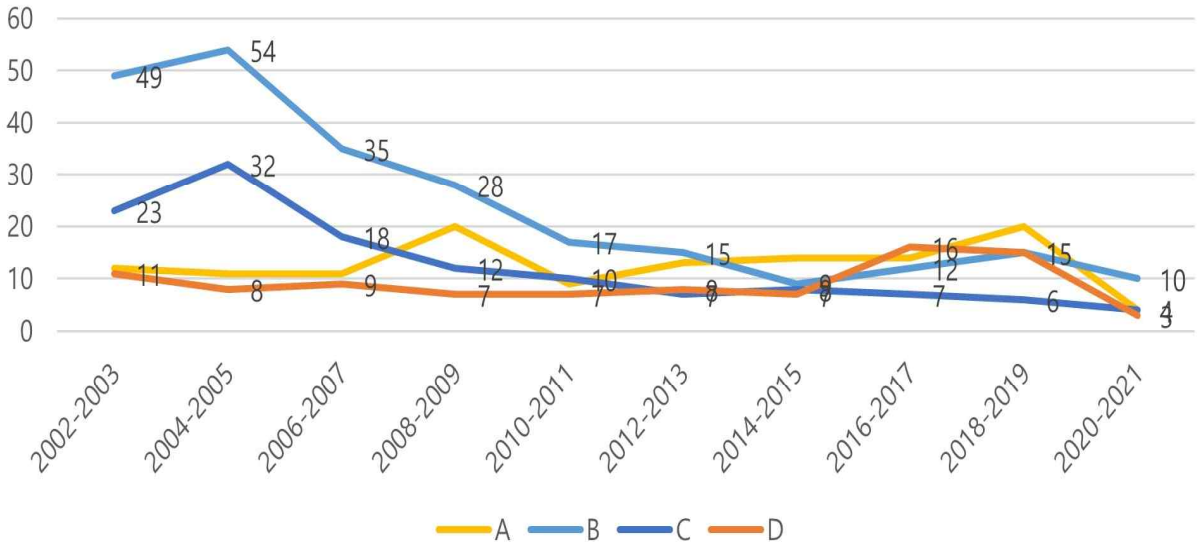



그림 3.13 분류기호 A, B, C, D 기술의 연도별 특허출원 동향 - 2

### 1.3.4. 유효특허 포트폴리오 분석

#### (1) 기술시장 성장 단계 파악 및 포트폴리오 분석 개요

■ 기술시장 성장 단계를 파악하기 위한 방안으로서, 유효특허에 대한 포트폴리오 분석을 수행하였으며, 포트폴리오 분석에 있어서 기본적인 원칙은 아래와 같음

그림 3.14 포트폴리오 분석 개념도

#### (2) 포트폴리오 분석을 위한 구간 구분

■ 유효특허에 대한 포트폴리오 분석을 위해 전체 2002년부터 2021년까지의 검색기간을 아래 표와 같이 5개의 구간으로 나누어 각 구간에 대한 <출원인 수>와 <출원건수>를 기준으로 기술시장 성장 단계를 파악하였음

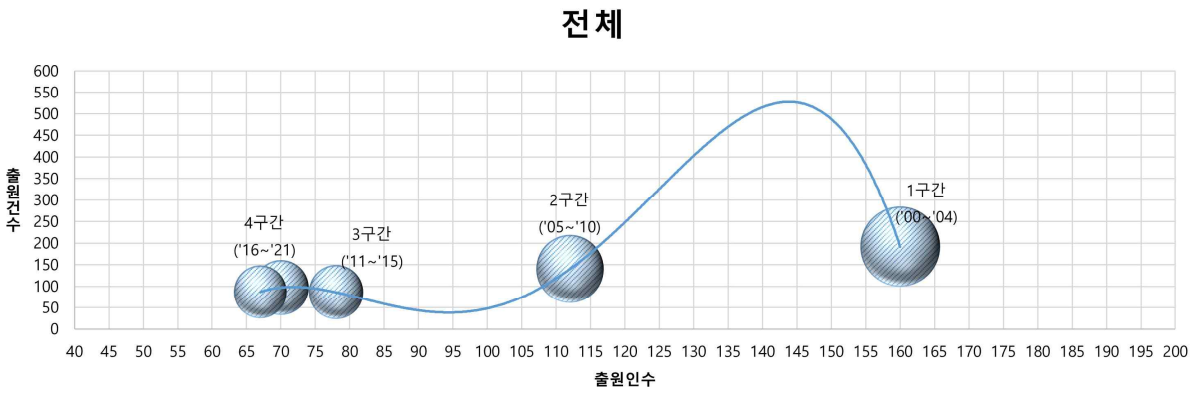
<표 3.16> 유표특허 포트폴리오 분석을 위한 구간 구분

| 구간 | 연도 | 구간 | 연도 |
|---|---|---|---|
| 1구간 | 2002 ~ 2005 | 2구간 | 2006 ~ 2009 |
| 3구간 | 2010 ~ 2013 | 4구간 | 2014 ~ 2017 |
| 5구간 | 2018 ~ 2021 | | |

#### (3) 유효특허 기반 포트폴리오 및 그에 따른 기술시장 성장 분석

■ 검색된 전체 유효특허를 기반으로 기술시장 성장 단계를 분석하였음

- 기술시장 성장 단계를 분석한 아래 그림에 따르면, 검색대상 기술은 전세계적으로 특허출원 활동이 이제 본격적으로 이루어지는 “태동기” 단계에 있는 것으로 파악됨



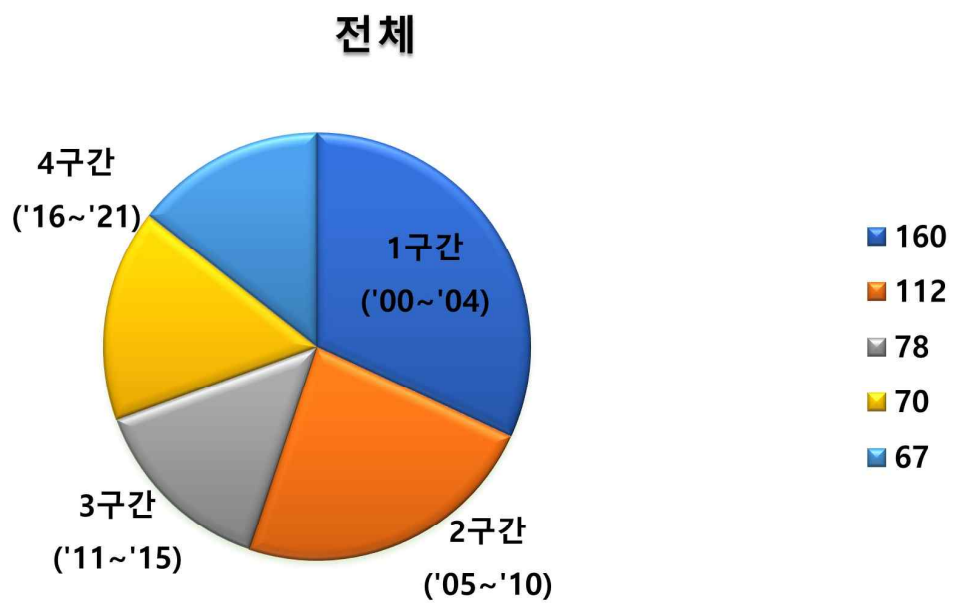




그림 3.15 전체 유효특허 기반 통합 기술시장 성장 단계

- 각각 한국, 미국 및 일본의 유효특허를 기반으로 한 기술시장 성장 단계 분석을 수행하였으며, 유럽 유효특허의 경우 특허출원 검색 건수가 성장성 분석을 수행하기에는 유의미한 검색건수에 이르지 못하였기에 이에 대한 분석을 생략하였음
- <그림 3.16>에서 알 수 있듯이 한국의 경우 성장 기울기가 큰 양상을 보이고 있어 기술시장이 빠른 속도로 커지고 있다고 할 수 있으며, 따라서 지속적인 연구개발이 필요하다고 판단됨
- 일본에 대한 그래프에 따르면, 일본에서의 기술시장 역시 성장하고 있으나, 최근에는 다소 그 성장 기울기가 줄어들고 있음. 그러나 일본의 경우 특허출원 건수는 여전히 증가추세에 있기 때문에, 기술시장이 성장할 가능성을 부인하기는 어려우며, 지속적인 관심과 모니터링이 필요함
- 미국의 경우 비록 최근에는 그 성장곡선이 둔화되고 있지만, 전체적으로는 지속적으로 상향 곡선을 보여 왔으며, 특허출원 건수도 여전히 증가추세에 있기 때문에 기술시장이 성장할 가능성을 부인하기는 어려우며, 지속적인 관심과 모니터링이 필요하다고 판단됨

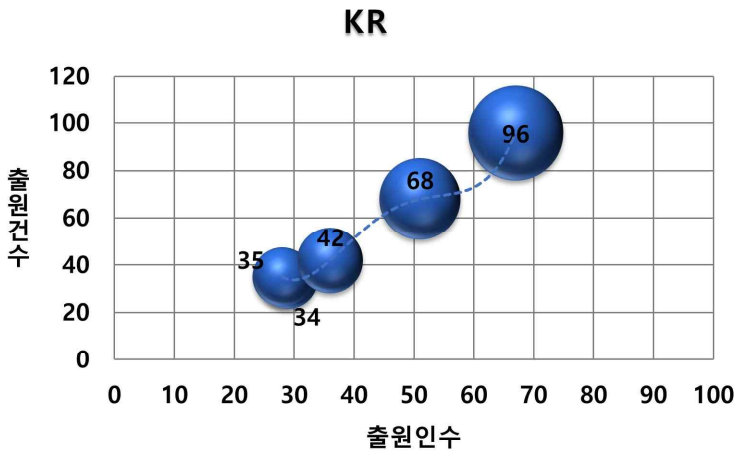



그림 3.16 한국의 통합 기술시장 성장 동향

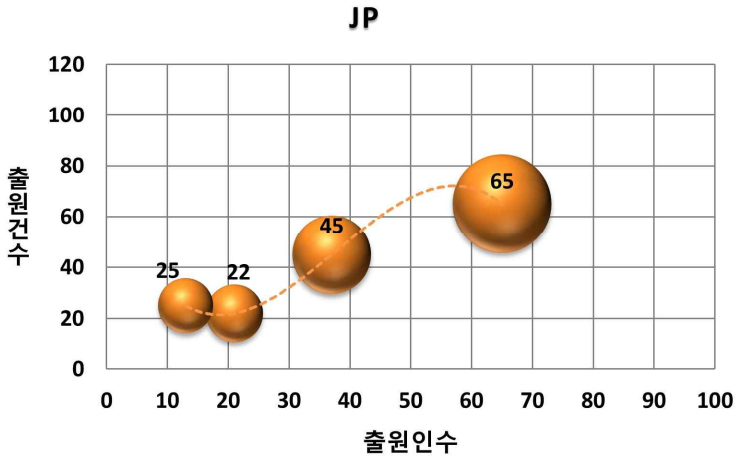



그림 3.17 일본의 통합 기술시장 성장 동향

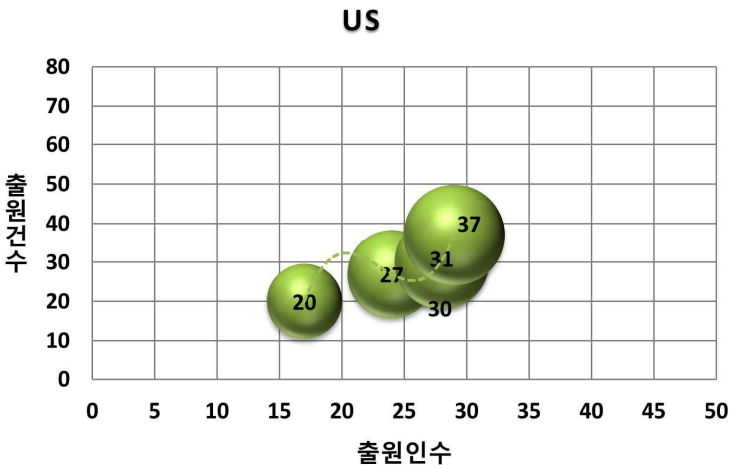



그림 3.18 미국의 통합 기술시장 성장 동향

# 2. 논문 분석

## 2.1. 논문검색 분류 및 키워드

■ 국내외 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화와 관련된 논문 현황을 분석하기 위해 특허분석에서 사용한 공통키워드를 기반으로 Web of Science 논문 검색 사이트를 활용하여 조사하였음

- 논문분석 대상 기간은 2012년부터 2021년까지 10년간 공개된 논문을 기준으로 조사하였으며, 논문 종류는 Web of Science의 'Article' 유형으로 검색하였음

<표 3.17> 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 논문검색 키워드

| 국가 | 검색 DB | 공통 키워드 |
|---|---|---|
| 전세계 공통 | Web of Science (공통) | TI=((construct* OR building* OR tower* OR structure*) AND (tear* OR demolish* OR demoli* OR destruct* OR detach* OR demote* OR destro* OR disassamble* OR pullout* OR sepatar* OR disruption* OR cut* OR saw*)) |

자료 : Web of Science, 중점분야의 기술영역별 공통 키워드 검색(2012년 ~ 2021년)
*검색어 : TI = 논문 타이틀 검색, A OR B = A와 B 중 하나 이상을 포함하는 결과 검색, (A) AND (B) = 두 개의 단어를 모두 포함하는 결과 검색

## 2.2. 국내외 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 논문 게재 현황

■ 국내외 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화와 관련하여 2012년부터 2021년까지 게재된 논문은 총 2,037건이며, 국외 논문이 1971건(96.76%), 국내 논문이 66건(3.24%)로 집계됨

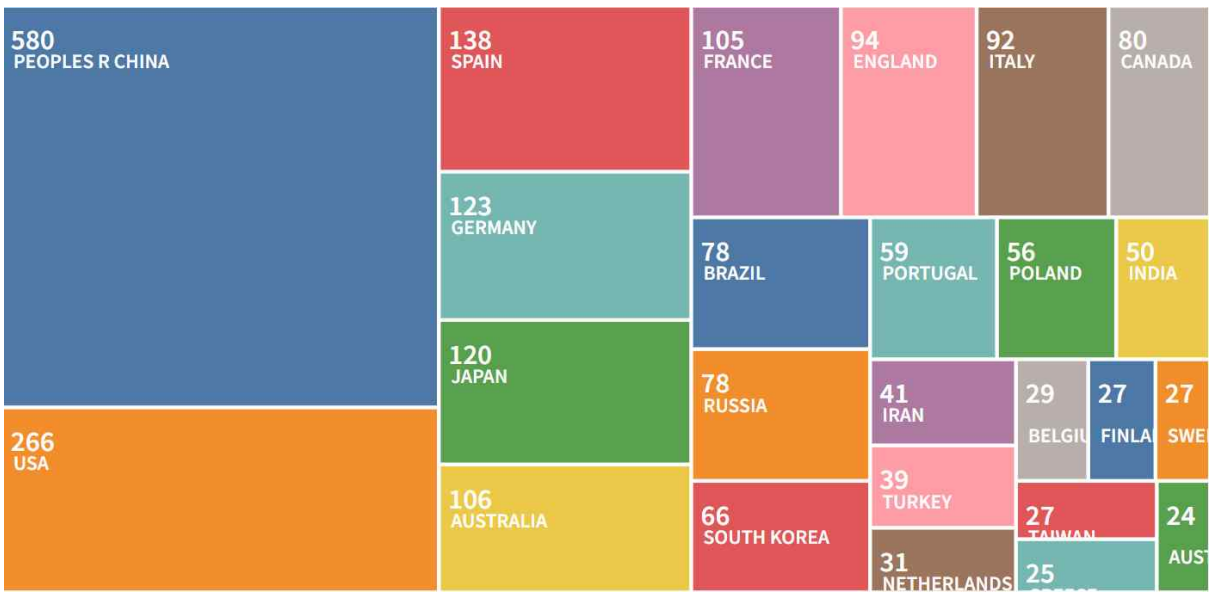



그림 3.19 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 논문 국가별 게재 현황 (2012년 ~ 2021년)

■ 국가별 2012년 ~ 2021년 게재된 논문 현황은 중국이 580건(28.48%)으로 가장 많은 것으로 확인되며, 그 다음으로 미국 266건(13.06%), 스페인 138건(6.77%), 독일 123건(6.04%), 일본 120건(5.89%) 등의 순으로 파악됨

- 국내는 66건(3.24%)의 점유율을 기록하며 25개 국가 중 13위를 기록함. 2012년부터 2021년까지 연도별 논문 게재 수를 살펴보면, 2012년 105건에서 2021년 348건으로 매년 꾸준히 증가하는 것으로 확인됨

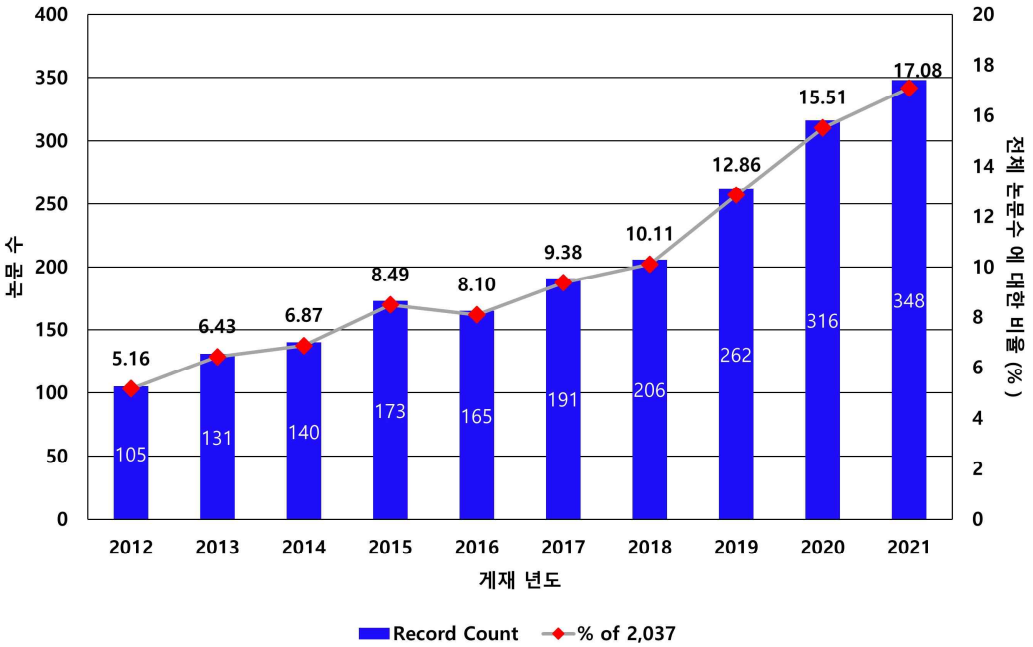



그림 3.20 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술 분야 연도별 논문 현황 (2012년 ~ 2021년)

■ 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술 분야의 분야별 논문 게재수를 살펴보면, 공학 분야가 768건(37.70%)로 가장 많았으며, 그 뒤로 재료 분야 393건(19.29%), 환경생태과학 분야가 382건(18.75%) 등의 순으로 분석됨

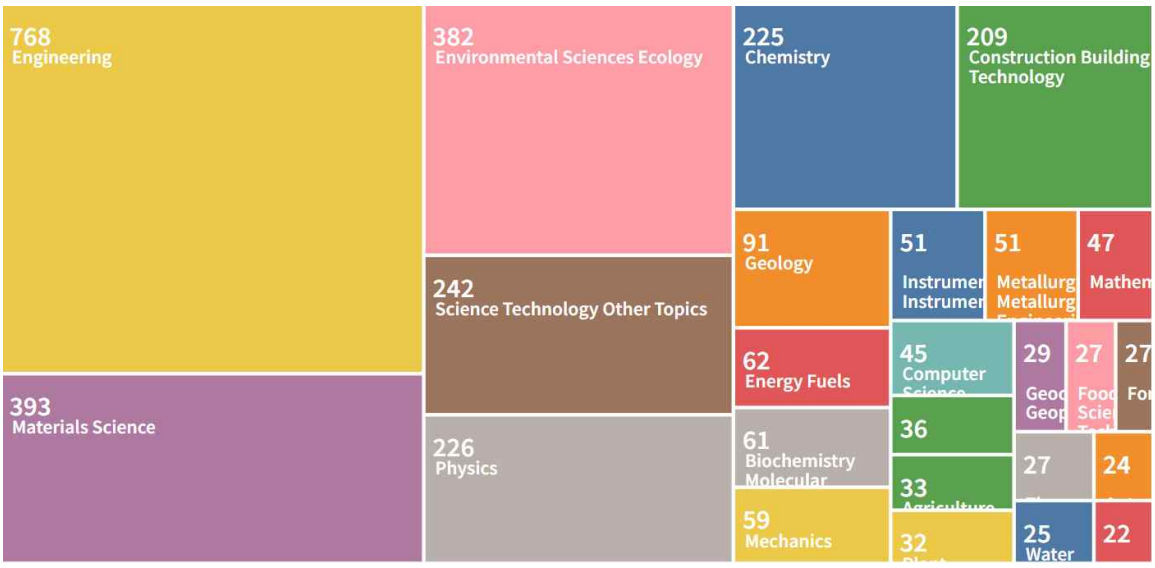



그림 3.21 분야별 논문 게재 현황 (2012년 ~ 2021년)

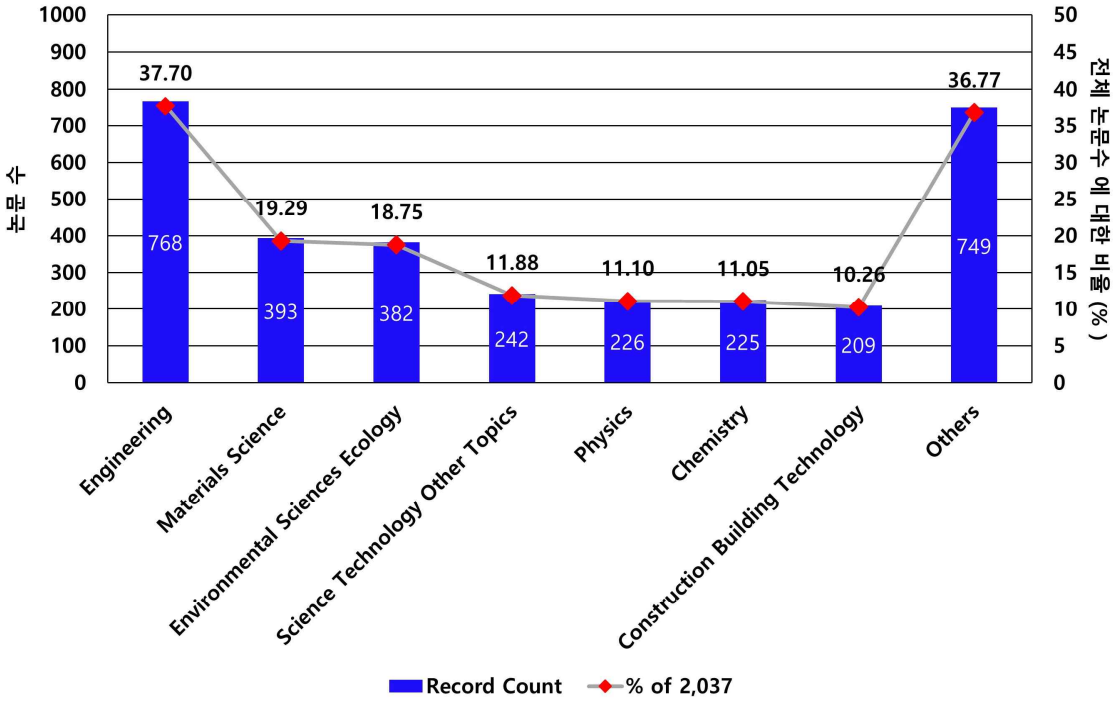



그림 3.22 분야별 논문 수 및 비율 현황

■ 주요 게재 연구기관은 LEAGUE OF EUROPEAN RESEARCH UNIVERSITIES LERU(67건, 3.29%)로 확인되며, 그 다음으로 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES(66건, 3.24%), CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS(58건, 2.85건) 순으로 확인됨

■ 한편, 국내에서는 경북대학교가 8건(0.39%), 서울대학교 7건(0.34%), 한양대학교 5건(0.25%), 한국건설기술연구원 4건(0.20%) 순으로 확인됨

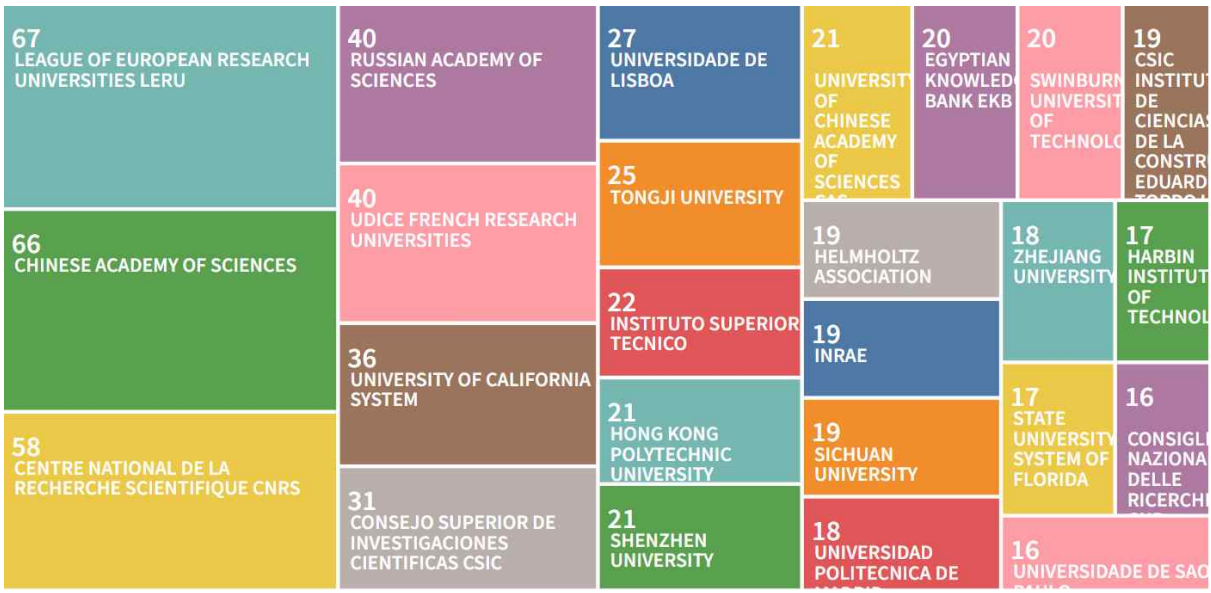



그림 3.23 주요 논문 게재 연구기관

■ 상위 게재 학술지는 Elsevier가 695건(34.11%)로 가장 많았으며, 그 다음으로는 Springer Nature 253건(12.42%), Mdpi 159건(7.81%), Wiley 108건(5.30%), Taylor & Francis 61건(2.95%) 등으로 나타남

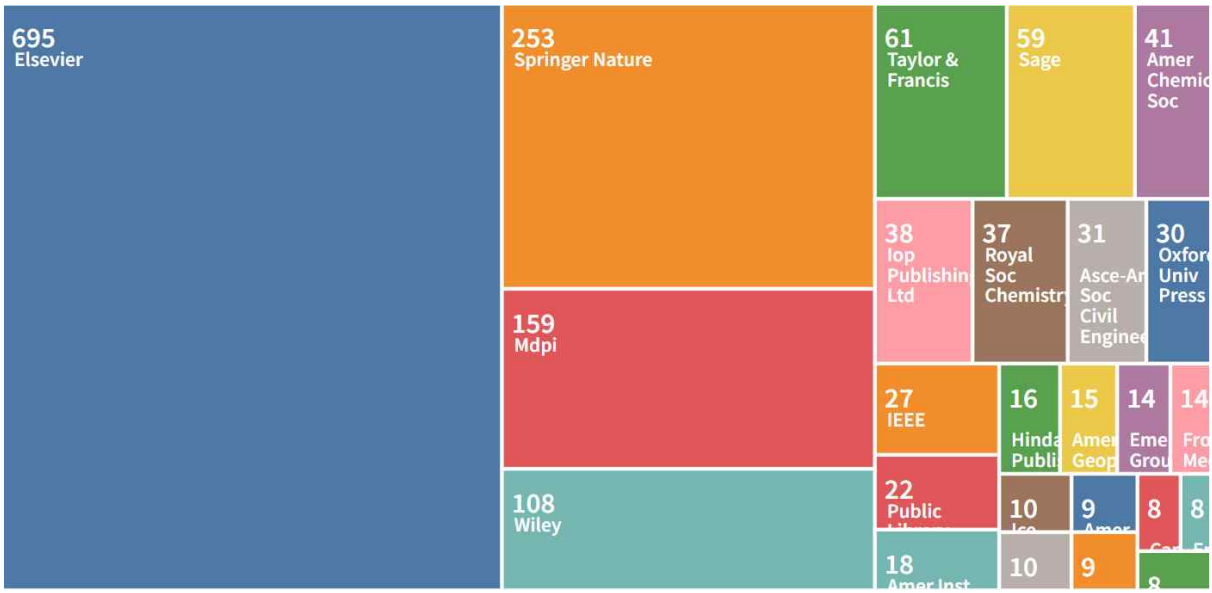



그림 3.24 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 기술 분야 논문 게재 학술지 현황

# 제 4장 종합분석

## 1절. SWOT 분석

### 1. 종합분석을 통한 전략 방향 도출

■ 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발 관련 국내 R&D 수준 및 연구 인프라 역량을 “내부 환경”으로 반영하고, 대내외 환경 분석, 시장현황 및 전망 등을 “외부환경”으로 설정하여 SWOT-matrix 분석을 실시함

- 내부 환경은 강점(S)과 약점(W)으로, 외부환경은 기회(O)와 위기(T) 요인으로 각각 반영하여 분석을 실시함
- 논문 동향과 특허 동향은 외부 환경인 연구개발 동향 분석과 시장 동향 분석, 외부환경인 수준 분석과 역량 분석에 연계하여 반영
- 투자 동향 분석 결과는 내·외부 구분 없이 반영하고, 일반적인 동향은 역량 분석과 연계하여 반영하였음

■ SWOT 분석은 ① 대내·외 환경분석 등에 위한 기회(O)와 위기(T) 요인 도출 ② R&D수준 및 역량 등을 통한 강점(S)과 약점(W) 요인 도출 ③ 기회와 위기, 강점과 약점을 종합적으로 고려한 SWOT-matrix 분석의 절차로 수행

- 강점/기회를 활용한 시너지 전략(SO), 강점을 활용한 위기 최소화 전략(ST), 기회를 이용한 약점 보완 전략(WO), 약점/위협 극복 전략(WT)을 수립

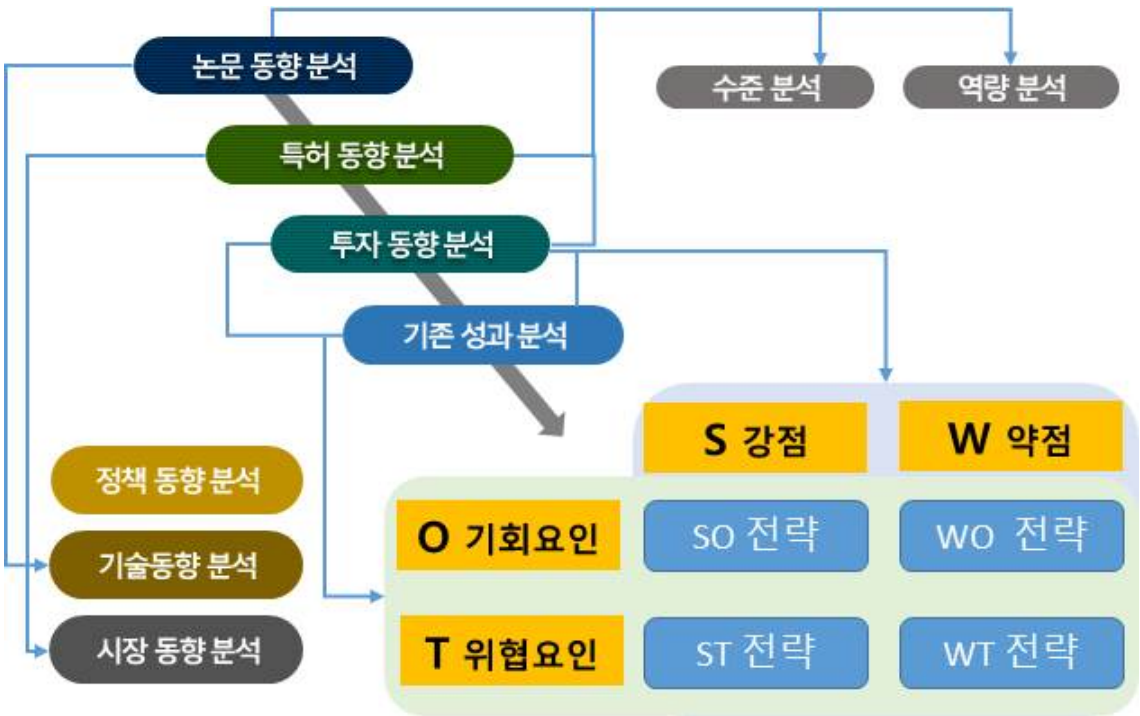



그림 4.1 SWOT 분석을 통한 사업 추진 전략 방향 도출 방법

# 2. 내부 환경 요인에 의한 강점과 약점

## 2.1. 강점요인 분석

■ **(강점 1) 건축물 관리법을 중심으로 한 해체 관련 기술 및 안전관련 법안 체계 구축**

- 해체대상 모든 건축물 해체를 진행함에 있어서 관리되어야 할 안전 규칙과 기술 환경 기준들이 규정화 되어 있음
- 일정규모 이상의 건축물의 안전 해체를 위하여 해체설계, 해체 계획서작성, 적정성 검토, 모니터링 기준 등의 수립

■ **(강점 2) 건축물 행정시스템인 세움터, 건축물생애이력관리시스템, 건설공사 안전관리 종합 정보망 등 건축물의 해체관리, 사고예방 관련 시스템 구성**

- 건축행정 시스템인 세움터를 이용하여 누구든지 해체 대상 건축물의 관련 기본 정보 획득이 가능하며, 해체 대상 관계자는 관련 도면의 열람이 가능함
- 즉, 국내 모든 건축물의 관리대장 DB를 구축하였음
- 다만, 건축물 도면을 100% 확보하지 못한 상태이며, 디지털 도면 비율도 낮은 상태임
- 건축물 생애이력관리 시스템을 통하여 해체 대상 건축물의 관리 이력에 대한 정보의 획득이 가능함
- 건설공사 안전관리 종합정보망을 통하여 건축물 해체사고 위험서 예방 및 관련사고 사례 축적을 통한 교육자료 활용 가능

■ **(강점 3) 세계 최고 수준의 ICT 기술과 초고속 통신망 보유**

- OECD 전자정부 발전지수 세계1위( '19년, OECD), ICT 발전 지수 세계 2위( '17년, ITU), UN 전자정부 발전지수 세계 2위(' 20년,UNPAN), IoT 발전 기회지수 세계 2위( '17년, IDC), ICT 활용능력 세계2위(' 17년, ITU), 산업용 로봇 활용도 세계1위( '17년, IFR)

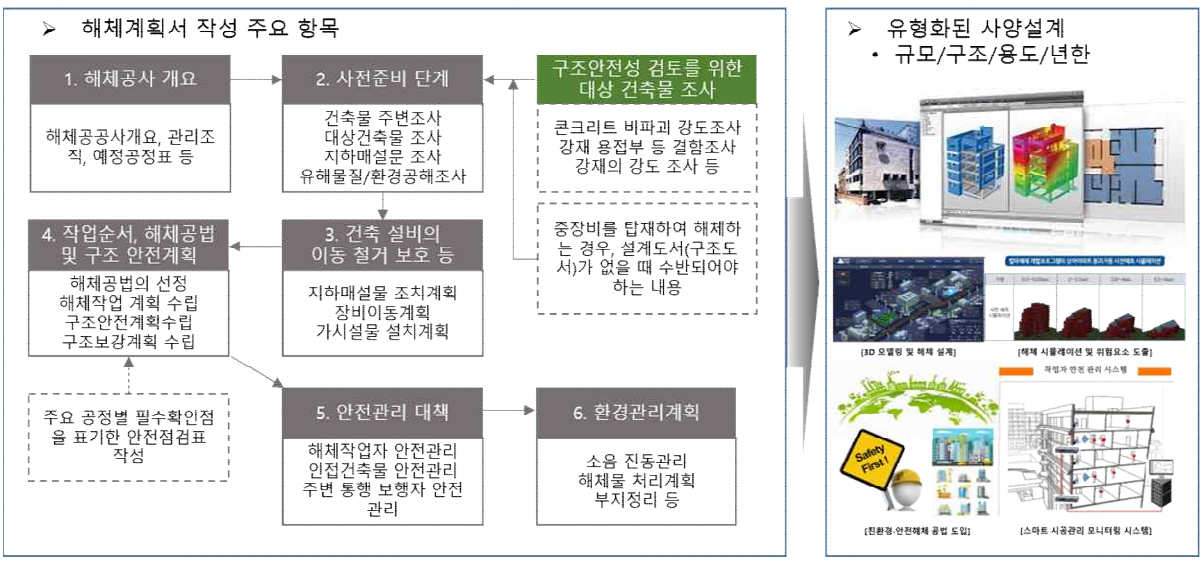



그림 4.2 안전한 건축물 해체를 위한 해체설계 시스템

## 2.2. 약점요인 분석

■ **(약점 1) 전문 건설업종에서 해체공사업의 독립적 영역 설정 미흡**

- 25개 전문건설업 중 해체공사는 "비계·구조물해체공사업"으로 분류되어 있음. '19년 기준 전문건설협회에 등록 된 전체 1,838개 해체업체 중 년간 해체공사 수주금액이 1억원 미만이 27% 점유하고 있음
- 연간 수주 금액 10억원 이상 업체는 15%에 불과하며, 50억 이상은 51개 업체로 전체 등록업체의 3%에 불과함. 대부분의 해체공사 업체는 영세성을 벗어나지 못하고 있음
- '19년 전문 건설업체에 실적으로 등록된 해체공사는 15,798건 이며, 공사금액은 15,402억원으로 해체공사 당 수행금액은 0.97억원으로 소규모임

■ **(약점 2) 건축물 해체 분야 충분한 기술·연구 인력, 인프라 부족**

- 해체공사 수행을 위한 해체설계 및 해체 계획 수립, 해체 과정에서 발생하는 다양한 환경/안전 요인 등 건축물 신축 공사와 다른 영역의 기술이 요구되고 있으나, 현재는 건축/토목 관련 신축 개념의 기술의 영역에서 관리되고 있음.
- 특성화 고교 및 대학 등에서 별도의 전문교과로 개설되어 있지 않으며, 국가 기술자격 또한 건축·토목 관련 자격 보유자가 업무를 수행할 수 있도록 규정하고 있음
- 일본은 1994년부터 해체시공기사 자격 시험을 시행하고 있다. 토목·건축 기초 지식, 설계, 가설, 시공계획, 환경대책, 석면대책, 폐기물 대책 등 해체와 연계한 종합적인 분야 전문 지식을 범위로 하고 있음

■ **(약점 3) 리모델링 해체 등 관리대상 이외 해체공사업체 및 대상공사 증가**

- 건축물 관리법의 기준에 따라 면적 500m2 미만, 높이 12m미만, 층수 3층 미만의 건축물은 신고에 의한 해체공사 가능, 업종 전화 , 환경 개선을 위한 소규모 리모델링 공사는 실내건축공사를 하는 업자에 의해 해체공사 실시로 환경 및 안전관리 사각지대 존재

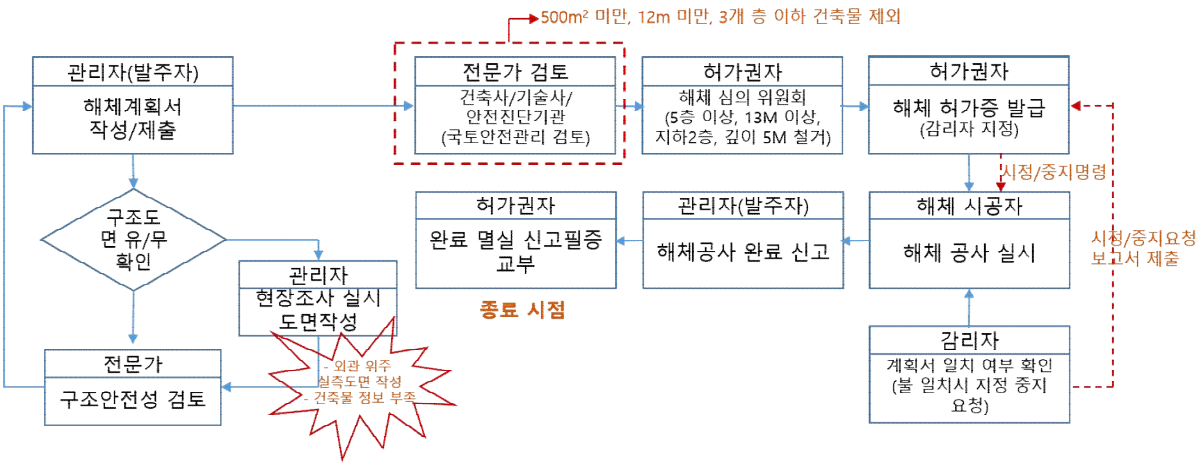



그림 4.3 해체공사 흐름도

# 3. 외부 환경 요인에 의한 기회와 위협

## 3.1. 기회요인 분석

■ **(기회 1) 친환경 해체 및 건축폐기물 자원화를 통한 탄소중립 기여에 따른 국가 차원의 지원**

- 국내 발생 건설 폐기물 중 95%는 해체과정에서 발생하고 있음(건설공사 표준품셈 기준 신축 : 해체공사 배출 원단위 5:95). 건설폐기물은 배출 과정에서 오염의 정도가 다른 폐기물에 비하여 낮기 때문에 재활용 효율성이 높음
- 매립 또는 소각되는 폐기물을 재활용함으로써 탄소 배출량 감축에 기여가 가능함. ‘21년 탄소중립 정부합동 로드맵에서는 폐기믈 자원화를 통한 탄소 중립 계획을 술비한 바 있음
- 연간 8천만톤 이상 배출되는 폐기물의 자원화로 새로운 도시광산의 확보, 천연자원의 보존, 환경파괴 방지 등 다양한 환경적 효과가 기대됨

■ **(기회 2) 도시재생, 리모델링 등 해체산업 성장의 가반이 되는 공사의 증대**

- 관련분야 시장 규모가 커질수록 관련 산업이 성장할 수 있는 기회가 많을 수 있음. 70~80년대 급격한 도시화·산업화 과정에서 많은 건축물이 신축되었고, 이러한 시설물과 주택의 수명도래와 도시 재상을 통한 주거환경 개선 등의 영향으로 해체공사는 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있음
- ‘19년 1만5천 건 정도인 해체공사는 10년 후인 ’ 30년에는 연간 3만 건 이상의 해체공사가 이루어질 것으로 예측되고 있음

■ **(기회 3) 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산**

- 해체 과정에서 발생하는 잦은 인명사고 및 환경문제로 인한 국민적 관심사가 증가하고 있으며, 안전한 해체를 위한 관리 강화 등에 많은 공감을 하고 있음.
- 수도권 매립지 종료 및 이에 따른 신규매립장 확보의 문제, 소각시설 확보의 문제 등 환경설비 구축의 어려움에 따른 폐기물 재활용에 대한 인식이 개선되고 있음

## 3.2. 위협요인 분석

■ **(위협 1) 소규모 건축물의 비중이 90% 이상을 점유하고 있음**

- 잠정적 해체 대상 건축물로 분류 가능한 노후 건축물 중 소규모 건축물의 비중이 90%를 점유하고 있음. 이러한 노후 소규모 건축물에 대한 도면 등과 같은 정보는 매우 제한적이어서 안전한 해체시공을 위한 해체설계 및 해체계획서 작성을 어렵게 할 수 있음
- 소규모 건축물의 해체공사는 별도의 허가 없이 신고만으로 해체공사 시행이 가능함
- 따라서 안전해체 시공을 위한 해체계획서의 적정성 평가에 어려움이 있음
- 해체공사비용이 많지 않음에 따라 해체계획서 작성을 위한 충실한 해체설계가 이루어지기가 불가능함

■ **(위협 2) 무형의 가치를 형상하는 공사에 대한 관심의 부족**

- 해체공사는 유형의 시설물을 없애는 것으로 과정에 대한 기록은 유지가 가능하지만 최종적으로 남은 유형의 결과물이 존재하지 않음으로써, 일반적인 관심이 크지 않음
- 최근 해체공사에 따른 대형 인명사고에 따라 제도개선과 함께 발주 및 시공사의 관심도가 향상 되었으나, 여전히 전체 건설공사에서 해체공사가 점유하는 비율은 매우 낮은 상태임

■ **(위협 3) 도심지 밀집 공사의 증가 및 폐기물의 급격한 증가**

- 도심지 밀집 공사의 증가에 따른 인접건축물의 안전에 영향을 미칠 수 있음
- 충남 아산 및 사당동 유치원 해체공사는 인접 건축물의 해체로 인한 건축물의 기울어짐 등이 발생한 사례임
- 도심지 밀집 공사로 인하여 배출되는 폐기물의 성상별 분류 보관 장소의 확보가 어려워 혼합폐기물 성상으로 배출되는 사례가 증가함
- 이에 따라 폐기물 고품질 자원화를 통한 재활용 효율성 향상 정책에 위협요인으로 작용함

## 4. 종합분석 및 전략방향 도출

■ 외부 환경 및 내부 역량 분석을 통하여 기회/위협 요인과 강점/약점 요인을 도출, SWOT 틀을 활용하여 해체 고도화 및 자원화 기술이 대응하여야 할 이슈와 내부역량을 종합 분석

■ 외부환경과 내부역량을 종합적으로 분석하여 사업 추진을 위한 전략 방향으로 장점/기회를 활용한 시너지 전략(SO), 강점을 활용한 위기 최소화 전략(ST), 기회를 이용한 약점 보완전략(WO), 약점/위협 극복 전략(WT)을 수립

| | | |
|---|---|---|
| **(기회 1)** 친환경 해체 및 건축폐기물 자원화를 통한 탄소중립 기여에 따른 국가 차원의 지원<br><br>**(기회 2)** 도시재생, 리모델링 등 해체산업 성장의 가반이 되는 공사의 증대<br><br>**(기회 3)** 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산 | **(위협 1)** 소규모 건축물의 비중이 90% 이상을 점유하고 있음<br><br>**(위협 2)** 무형의 가치를 형상하는 공사에 대한 관심의 부족<br><br>**(위협 3)** 도심지 밀집 공사의 증가 및 폐기물의 급격한 증가 | |
| | **기획 시 대응해야하는 외부 환경적 이슈** | |
| | **O (기회)** | **T (위협)** |
| | **S (강점)** | **W(약점)** |
| | **기획 시 고려해야 하는 내부 역량** | |
| **(강점 1)** 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산건축물 관리법을 중심으로 한 해체 관련 기술 및 안전관련 법안 체계 구축<br><br>**(강점 2)** 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산건축물 행정시스템인 세움터, 건축물 생애이력관리시스템, 건설공사 안전관리 종합 정보망 등 건축물의 해체관리, 사고예방 관련 시스템 구성<br><br>**(강점 3)** 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산세계 최고 수준의 ICT 기술과 초고속 통신망 보유 | **(약점 1)** 전문 건설업종에서 해체공사업의 독립적 영역 설정 미흡<br><br>**(약점 2)** 건축물 해체 분야 충분한 기술·연구 인력, 인프라 부족<br><br>**(약점 3)** 리모델링 해체 등 관리대상 이외 해체공사업체 및 대상공사 증가 | |

그림 4.4 SWOT 분석 결과

| | O (기회) | T (위협) |
|---|---|---|
| | (O1) 친환경 해체 및 건축 폐기물 자원화를 통한 탄소중립 기여에 따른 국가 차원의 지원<br>(O2) 도시재생, 리모델링 등 해체산업 성장의 기반이 되는 공사의 증대<br>(O3) 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산 | (T1) 소규모 건축물의 비중이 90% 이상을 점유하고 있음<br>(T2) 무형의 가치를 형상하는 공사에 대한 관심의 부족<br>(T3) 도심지 밀집 공사의 증가 및 폐기물의 급격한 증가 |
| S (강점) | 강점/기회 시너지 창출(SO) | 강점 활용 위기 최소화(ST) |
| (S1) 해체안전 국민적 공감대 및 관련 제도 정비<br>(S2) 건축물 관리대장, 생애이력관리, 안전관리 정보망 등 시스템 구축<br>(S3) 건축물 해체안전 및 폐기물 저감에 대한 국민적 공감대 확산세계 최고 수준의 ICT 기술과 초고속 통신망 보유 | (SO1) 기존 건축물 종합관리 및 안전관리 시스템 기반 해체 기술 고도화 및 자원화<br>(SO2) 기술개발을 통한 기존 제도 보완 및 이를 활용한 건축물 해체 및 폐기물 처리 단계 국민적 신뢰회복 | (ST1) 소규모 건축물 안전 해체를 위한 시스템 개발과 해체 건축물 기록을 통한 유형의 자산으로 전환 (Big data 축적)<br>(ST2) BIM, VR/AI 등을 이용한 건축물 해체 기술 개발 |
| W(약점) | 기회 이용 약점 보완(WO) | 약점/위협 극복(WT) |
| (W1) 전문 건설업종에서 해체공사업의 독립적 영역 설정 미흡<br>(W2) 건축물 해체 분야 충분한 기술·연구인력, 인프라 부족<br>(W3) 리모델링 해체 등 관리대상 이외 해체공사업체 및 대상공사 증가 | (WO1) 다양한 공종의 해체 기술 디지털화와 시공기술 개발을 통한 기업/전문인력 역량 강화<br>(WO2) 무인/경량 해체 기술, 설계 사양화를 통한 해체기술의 고도화 및 경제성 문제 해결 | (WT1) 영세한 해체기업 및 자원화 기업의 기술력향상을 위한 기술의 표준화 및 보급<br>(WT2) 도심지 밀집 공사 해체 안전 및 리모델링 부분 해체 기술 개발을 통한 기술확산 |

그림 4.5 SWOT 분석을 통한 전략 방향 도출

## 2절. 이슈/문제 정의

### 1. 이슈/문제 식별·평가 및 선택

■ **(이슈 식별, Identifying Issues)** 환경분석(PEST) 시사점과 유관기관 및 전문가 의견 수렴 결과를 종합하여 건축물 해체기술 고도화와 해체 과정에서 배출되는 건축폐기물의 완전한 자원화 구축과 연관된 이슈를 식별

■ **환경분석(PEST)**

- **(분석 범위 및 대상)** 건축물 안전해체, 친환경 해체, 성상별 분별해체, 건축폐기물 자원화를 위한 현재부터 재활용 까지 범위로 한 영역으로 하며, 공신력, 분석대상 및 내용 수준 등을 고려하여 국내를 포함한 주요 국의 정책보고서, 연구 논문/특허 및 보고서 등을 조사

■ **(분석 요약 및 관점)** 정책(P), 경제(E), 사회(S), 기술(T) 영역에서 기반시설의 안전 및 유지관리 분야에서 현재에 이슈화 되어 있거나 근 미래에 나타날 것으로 예측되는 시사점 도출

- **(정책적 환경분석)** 건축물 해체 설계 및 시공, 성상별 분별해체 및 폐기물 자원화 관련 국가별 정책 조사를 통해 사업수행 및 연구개발 관련 환경분석
- **(경제적 환경분석)** 사업 추진 방향에 영향을 줄 수 있는 경제·산업 관련 동향 조사를 위해 경제환경 변화, 건축물 해체기술 및 폐기물 자원화 관련 산업 동향 파악
- **(사회적 환경분석)** 사업 추진 방향에 영향을 줄 수 있는 사회·문화 관련 동향 도사를 위해 사회환경 변화, 글로벌 사회적 요인 파악
- **(기술적 환경분석)** 사업 추진 방향에 영향을 줄 수 있는 과학·기술 동향 조사를 위해 설계 자동화, 원격해체 등 과학기술 발전 동향 파악

■ **유관기관 및 전문가 의견 수렴**

- **(의견 수렴)** 관련 유관기관 간담회, 전문가 의견 청취 및 현장 방문과 함께, 해체공사 및 건축폐기물 자원화 과련 전문가를 대상으로 설문 조사를 통하여 전반적인 의견 수렴 실시
- **(반영 방법)** 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 분야에서 공통적으로 제기되었던 문제점과 시급히 해결해야 하는 과제 위주로 이슈 선별

■ **(종합 분석)** 이슈 평가기준을 근거로 환경분석 시사점과 유관기관 및 전문가 의견수렴 내용을 재구성하여 정책·제도, 경제·산업, 사회·문화 및 과학·기술 영역에서 종합분석을 실시

■ **(이슈/문제 선택, Priority Setting)** 종합분석 된 이슈 중, 시급성과 당위성을 기준으로 기반시설 첨단관리 분야의 주요 이슈와 예상되는 문제점을 선택

■ **(이슈/문제의 우선순위)** 이슈와 문제의 전개 전망과 파급 효과 등을 고려하여 전문가 자문 평가, 의견 조회 및 토의 과정을 통해 이슈/문제 선택

# 2. 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야 이슈/문제 도출

## 2.1. 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 분야 4대 이슈

### 2.1.1. 분석 목적

■ 종합분석 된 이슈를 기초로, 건축물 해체 및 자원화 분야에서 가장 시급하고 파급영향이 큰 핵심 이슈를 도출하고 이슈로부터 발생 예상되는 문제점을 연결

- **(이슈)** 건축물 해체 및 건축폐기물 자원화 분야에서 현재 이슈화 되고 있거나 혹은 가까운 미래에 확실히 나타날 것으로 예상되는 이슈를 시급성과 파급 영향력 기준으로 도출
- **(문제)** 각 이슈와 관련하여 이 사업에서 해결할 수 있고(해결 가능성), 이 사업을 통해 해결해야 하고(해결 당위성), 이 시점에 해결해야 하는(해결 시급성) 문제를 선별

<표 4.1> 해체기술 및 폐기물 자원화 분야 4대 이슈/문제

| 종합 분석 | | 해체 및 자원화 분야 | |
|---|---|---|---|
| | | 4대 이슈 | 해결 필요 문제 |
| **정책/제도** | 건축물 관리법에 의한 해체공사 전 과정 수행체계 수립<br>건축물 해체시공 안전해체 중심 제도개선(감리원 배치 기준강화, 착공신고 등)<br>자원순환기본법에 따른 재활용 강화<br>분별해체 제도 시행 | ① 노후 건축물 및 리모델링 공사 증가에 따른 소규모 건축물 해체공사 증가 | 해체공사비 규모에 맞는 해체설계 기반 구축 |
| **경제/산업** | 노후 건축물 증가, 정비사업 증가에 따른 다양한 규모의 건축물 해체공사 증대<br>해체 및 자원화업의 기술력 부족 및 영세성에 따른 기술진보 미진 및 취약한 산업구조<br>자원화 순환 체계 미진 | ② 해체공사에 따른 안전사고 증가 및 폐기물 배출량 증가 | 기계화/무인화 시공 기술을 통한 안전해체, 성능 해체 |
| **사회/문화** | 해체공사 과정 안전사고, 환경민원 등으로 해체산업에 대한 부정적 인식<br>발주 및 시공사에서 해체공정의 중요도 인식의 부족<br>건설폐기물 국가 총 폐기물의 45%, 1인당 배출량 세계에서 가장 높음 | ③ 경험적·사후적 해체공사 및 폐기물 처리 | 연간 8천만톤 이상의 건설폐기물 자원화 기반 구축 |
| **과학/기술** | 4차 산업 시대에 맞는 건축물 해체 설계 및 시공 기술 개발 필요<br>다양한 건축물의 안전 해체를 위한 해체설계 및 계획서 수립 기술 개발 필요<br>연간 8천만 이상의 건설폐기물의 자원화를 위한 기술개발 및 인프라 구축 필요 | ④ 소규모 건축물 및 리모델링 공사 해체관리 사각 | 해체-자원화까지 전과정 해체 및 자원화 관리 시스템 구축 |

## 2.2. [이슈/문제 1] 건축물 해체공사 급증 및 사각지대 확산

### 2.2.1. 노후 건축물 증가

■ **(현황)** 사용승인 후 30년 이상 경과된 노후 건축물 증가, 70~80년대 산업화 및 도시화, 대규모 주택 공급에 따라 신축한 건축물의 노후화로 인한 해체 대상 건축물 증가

- 2005년 29.0%, 2012년 33.8%, 2018년 37.1%, 2020년 38.8%로 전체 건축물 중 노후 건축물 비율 매년 증가[66]

* 노후 건축물 중 5층 미만, 500m2 미만의 소규모 건축물이 314만동으로 30년 이상 노후 건축물 중 94% 점유

- 전체 멸실 건축물 중 30년 이상 노후건축물 점유비 점차 증가

* 2012년 멸실 건축물 중 30년 이상 노후 건축물 18,366동(40.5%)이 멸실되었으며, 2020년 38,143동(47.8%)가 멸실되어 멸실량 및 비율도 계속적으로 증가

* 2017년 국내 멸실 건축물 중 주거용 평균 수명은 32.3년, 상업용 20.2년, 공업용 및 문교사회용 21.7년, 전체건축물 평균수명은 28.3년으로 잠재적 멸실 대상 건축물은 45%에 이름[67]

■ **(이슈·문제)** 30년 이상 된 노후 건축물 증가에 따른 건축물 안전성 및 주거 환경 개선 요구 증가

- 노후 건축물 사용 과정에서 용도 변경, 증축, 개조 등 다양한 성능 보강 등이 이루어짐에 따라 기존 도면과 건축물 구조의 불합치

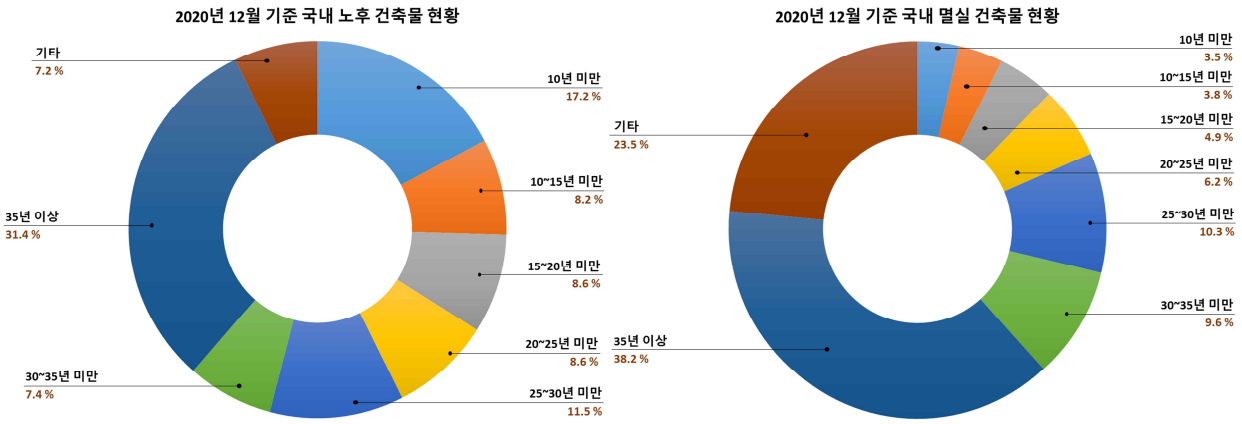



그림 4.6 국내 노후 건축물 현황 분석
<출처 : 국토교통부 생애이력관리시스템>

66) 국토교통부 생애이력관리 시스템
67) 2017년 국토교통부 주거통계자료

## 2.2.2. 해체공사의 증가

■ **(현황)** 노후 건축물 증가 및 도심지 주거환경 개선 사업 수요 증가에 따른 건축물 해체공사 증가

- 국토교통부 건축물 생애이력 관리 시스템을 분석한 결과 우리나라 공동주택의 수명은 2005년 기준 26.95년으로 매우 짧음

  * 동일 기간 일본의 경우 54.25년, 미국 71.95년, 영국 128년으로 조사된바 있음

- 1970년 이후 우리나라 산업화·도시화에 따른 대규모 주택 및 건축물 공급 증가

  * 1980년대 초·중반 강남, 상계동, 목동 등 대단지 규모 주택공급, 1990년대 초반 1기 신도시 공급 등 200만호 주택건설

- 2019년 전국적으로 15,798건의 해체공사가 이루어졌으며, 기성금액 기준 1조5천억 원의 시장 형성

  * 2015년 8,442건 5.8천억 원으로 2020년 수행건수 기준 82%, 기성금액 기준 163%의 시장 규모 증가[68)]

  * 해체공사 건당 규모의 변화를 비교하면 2015년 건당 69백만 원, 2019년 98백만 원으로 40% 이상 증가

■ **(이슈·문제)** 소규모 건축물의 해체공사 수행 건수 증가

- 19년 기준 5천만 원 미만 소액 공사 77% 점유

  * 2015년 평균 해체공사비용 69백만 원에서 2019년 97백만 원으로 상승하였으나, 5천만 원 미만 77%, 천만 원 미만 34% 점유

- 해체 주기가 짧음에 따라 국내 건설폐기물 배출량도 연간 8천만톤, 국민 1인당 1.6톤을 배출하여 전 세계에서 가장 높음

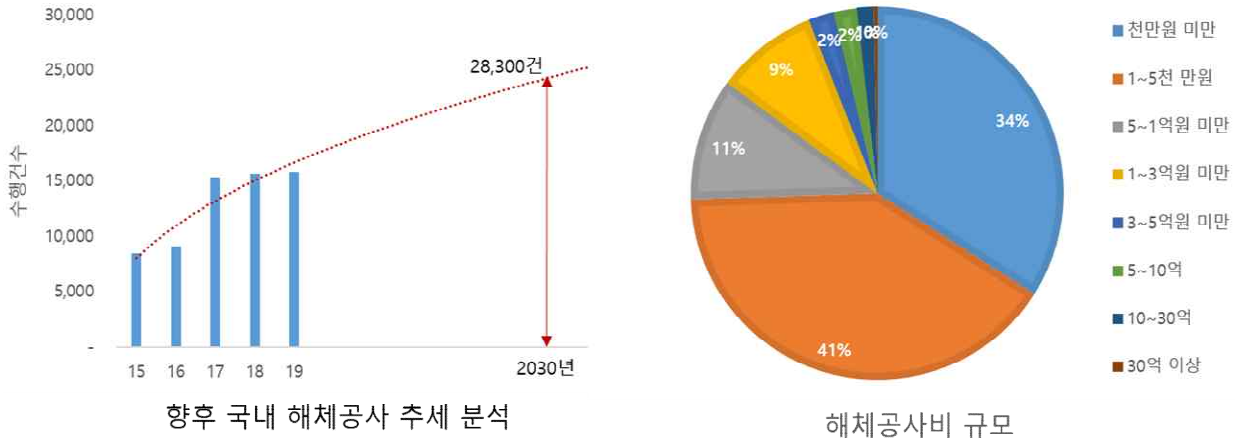



그림 4.7 국내 해체공사 증가 추세 및 공사 금액 현황
<출처 : 대한전문건설협회 해체공사실적자료 분석>

68) 대한전문건설협회 해체공사현황 분석자료, 2015~2019

## 2.3. [이슈/문제 2] 해체공사의 안전사고 및 폐기물 배출량 증가

### 2.3.1. 지속적인 해체사고

■ **(현황)** 건축물 해체·철거 중 사고 지속적 발생. 최근 도심지 내 해체공사로 인한 대형 인명피해 발생

- 근로자 만명당 사망사고를 나타내는 사고사망 만인율의 잔체 산업의 지속적으로 감소하고 있지만, 건설업은 15년 이후 지속적 증가

  * (건설업) '17. 1.66 → '18. 1.65 → '19. 1.72, → '20. 2.0

  * (전체산업) '17. 0.52 → '18. 0.51 → '19. 0.46 → '20. 0.46

- 전체 건설공사의 공사종류별 비율은 건축공사가 최근 3년 평균 10만건 이상으로 전체 건설공사의 65.8%를 차지

- 2001년~2018년까지 세움터에 신고 된 해체공사 중 1,000m2 이상의 건축물의 경우 50%가 RC조, 반면 1,000m2 미만 건축물 54%가 조적조

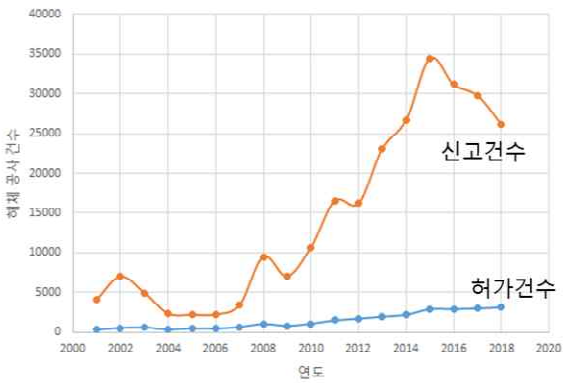
<표 4.2> 2014 ~ 2018년 해체공사의 구조형식 분석

| 구분 | 해체공사 건축물 구조형식 | | 비고 |
|---|---|---|---|
| | 허가대상 | 신고대상 | |
| 철근콘크리트조 | 51.0% | 10.0% | |
| 철골조 | 21.9% | 12.6% | |
| 철골철근콘크리트조 | 5.7% | 1.0% | 합성구조 포함 |
| 조적조 | 11.6% | 54.6% | |
| 목구조 | 0.9% | 10.5% | |
| 프리캐스트콘크리트조 | 0.1% | 0.0% | |
| 기타구조 | 8.8% | 11.3% | 미표기 등 |

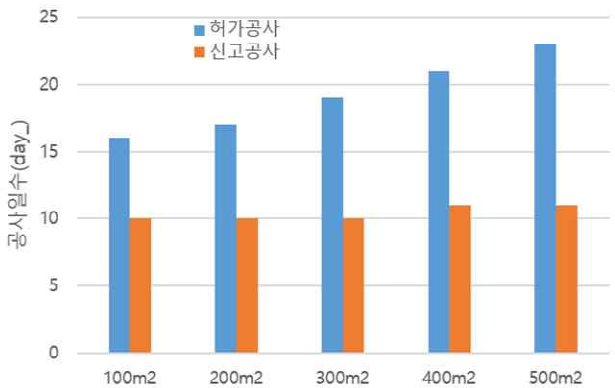
■ **(이슈·문제)** 단순 신고대상 해체공사는 건축물 규모와 해체공사 기간과 상관성 없음

- 허가 대상공사는 면적 증가에 따라 공사기간 증가. 신고대상 공사는 면적과 공사기관의 상관성 없음

  * RC 허가 구조물 100m$^2$ 해체공사기간 16일, 500m$^2$ 해체공사기간 23일. 신고 구조물은 10일과 11일로 차이 없음




허가/신고 공사 수행현황




RC 구조물 규모별 해체공사 수행기간

그림 4.8 해체공사 허가/신고 수행현황 및 규모별 수행기간

<출처 : (사)한국건설안전학회, 건축물 해체공사 관련 세부지침 마련 연구, 2019.11

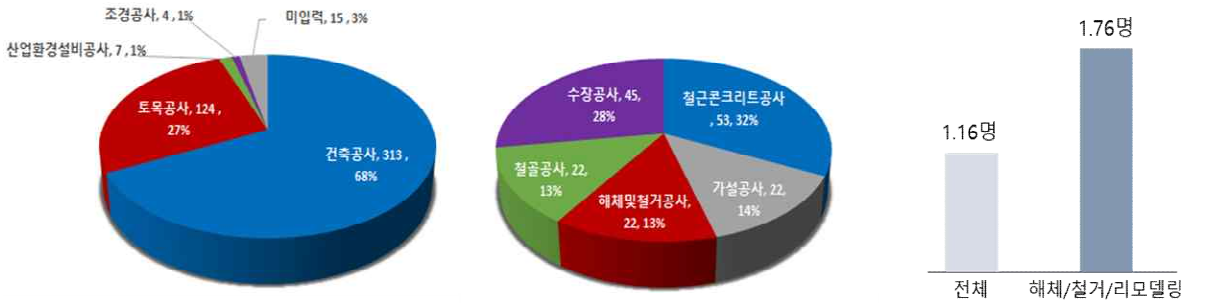
### 2.3.2. 해체공사 높은 재해 비율

■ **(현황)** 건축물 노후화, 구조적 취약, 사전조사 미흡, 보강공법 불량 등으로 사고발생

- 구조적 취약 요인 누적에 의한 전도·붕괴 사고 발생
  * 시멘트 블록 조적조 구조 ⇒ 전단 및 비틀림 모멘트 발생 시 취약
  * 준공 후 장기 경과된 노후 건물 ⇒ 주요 구조부위 내력 저하
  * 거실 확장(내력벽 해체) ⇒ 하중 불균형 유발 및 잔여 내력벽 분담하중 증가
- 사전조사 및 안전성 검토 미흡
  * 과거 구조변경 이력 간과, 형식적인 육안조사
  * 내력벽 위치 등 상세현황 파악 부족
  * '대수선'에 의거한 전문가 구조 안전성 검토 미이행
- 해체작업 및 보강 방법 불량(경험에 의한 내력벽 해체 및 구조 보강)
  * 내력벽 해체 및 보강순서·방법 등 작업계획 미수립
  * 구조보강 부족 상태에서 일부 내력벽 해체로 인해 슬라브와 잔여 벽체에 불안전성 유발

■ **(이슈·문제)** 해체·철거 공사의 높은 재해비율

- 일반 중대재해 재해 1건당 1.16명 재해자 발생, 해체철거공사 1건당 1.76명[69)]
  * 재해 1건당 발생 사망자수 비율 약 9.7% 높음, 1건당 재해자수 비율 51.7% 높음
- 철근 콘크리트공사, 가설공사, 해체·철거공사에서 사망자 많이 발생
- 특히, 해체·철거공사는 해당공종의 사고건수 대비 사망자 비율이 7.4%로 건축공사 중 가장 높은 비율 점유. 철근콘크리트공사에 비하여 2배 이상의 사망사고가 발생하는 고위험 공사
  * 철골공사 11.4%, 해체·철거공사 7.4%, 철근콘크리트공사 3.4%




건설공사 종류별 사망자 현황　전문건설업 종류별 사망자 현황　중대재해 1건당 재해자 수

그림 4.9 해체·철거 공사 재해 현황

<출처 : CSI 사고신고현황, 산업안전보건공단 해체철거공사 표준안전작업절차서, 2017>

69) 산업안전보건공단, 철거●해체공사 표준안전작업절차서, 고용노동부, 2017

## 2.3.3. 건축폐기물 배출량 증가 및 자원화 미진

■ **(현황)** 건설공사 증가 및 건축폐기물 배출량 증가

- 해체공사 증가에 따라 2019년 8,094만톤* 건설폐기물 배출

  * 국민 1인당 1.6톤 배출, 전 세계에서 가장 높은 배출량

  * 국내 배출량 해체현장(리모델링 등 생활계 포함) 94% 배출, 신축현장 6% 점유

- 건설현장 배출 폐기물의 자원화를 위한 정책 시행

  * 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 : 국토교통부 장관 순환골재 품질인증 및 품질기준 제정, 공공발주 해체공사 분별해체 의무화 등

  * 순환골재 사용 의무건설대상 공사 지정(국토부·환경부 공동 고시) : 일정 규모 이상의 건성공사 순환골재 사용 의무화 건

  * 재활용 건축자재 활용기준(국토부 고시) : 재활용 건축자재 사용에 따른 용적 및 높이 완화 등

- 국토부·환경부 공동 순환골재 시범 사업

  * 순환골재 100% 활용 건축물 신축공사( 입장휴게소 건축물 등 전국 6개소) 실시

■ **(이슈·문제)** 순환 건설자재 건설 현장 재활용 미진

- 재활용 제품의 품질 문제에 따른 사용 기피

  * 가장 생산량이 높은 순환골재의 경우 이물질 함량에 따른 재활용 기피 → 콘크리트용 골재보다는 단순 성복토 또는 매립재, 기타 사용부처 용도 적용

- 순환골재 중심 인프라 구축 및 자원화 정책

  * 목재/수지/유리/보드 등 다양한 폐자재의 활용 기반 구축 미흡

- 전과정 순환 체계 구축 필요

  * 지자체 중심 건축폐기물 배출 → 현장 재활용 연계한 체계 구축 필요(시범사업)

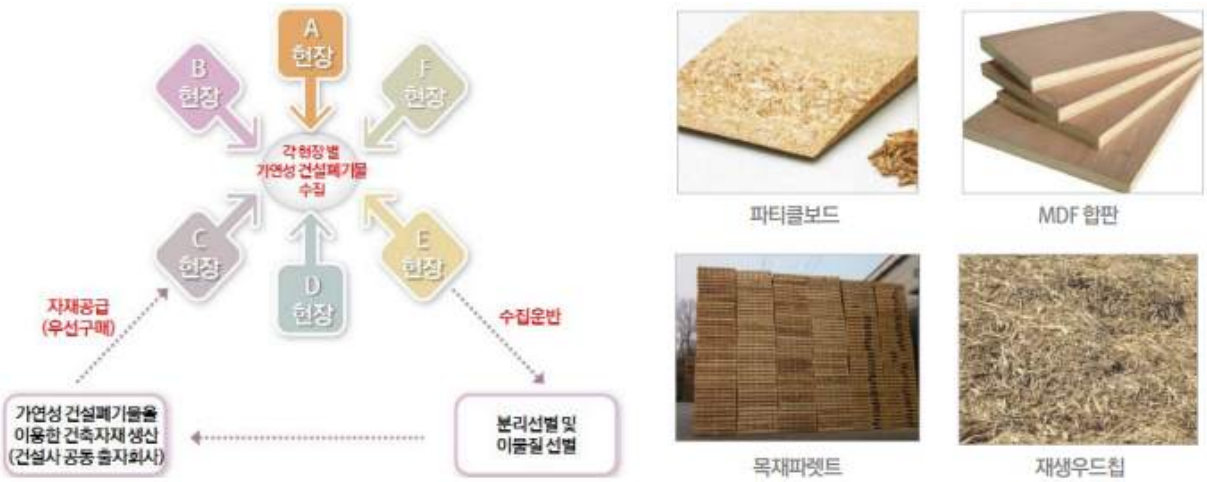



그림 4.10 일본 동경도 건설 폐기물 재활용 순환체계 시스템

### 2.3.4. 안전해체를 위한 관련 제도 보완 필요

■ **(현황)** 서울시 등 대도시 밀집 지역 소규모 건축물 해체사고 등 빈번한 해체사고 관리를 위한 제도 개선

- 「서울시 건축조례」- 철거심의 대상건축물 지정(2019)

  * 지상 5층 또는 높이 13m 이상. 지하 2층 또는 깊이 5mm 이상 등

- 「건축물 관리법」- 건축물 해체의 허가, 현장점거, 감리자의 지정 및 업무, 완료신고, 멸실신고

  * 500m$^2$ 미만, 높이 12m 미만, 지하층 포함 3개층 이하 → 신고

- 「건축법」- 대수선을 위한 철거 공사

  * 시행령 3조의2 "내력벽, 기둥, 보, 지붕틀 증설을 위한 대수선" 시 허가

  * 시행령 제14조 "주요 구조부 해체가 없는 대수선" 시 신고

  * 시행령 제32조 "적용의 완화" 구조안전 확인서류 제출

- 「건설기술진흥법」- 10층 이상 해체, 리모델링 시 안전관리계획 수립

- 「건설산업기본법」- 제29조 건설공사의 하도급 제한

  * 도급 받은 공사를 주요 부분의 대부분을 다른 사업자에게 하도급 금지

- 「산업안전기본법」- 안전조치, 유해위험방지계획서 대상공사 지정

■ **(이슈·문제)** 「건축물 관리법」 「산업안전기본법」 등 관리대상 제외 소규모 건축물이 존재하여 대규모 안전관리 사각지대 발생

  * 노후 건축물 중 5층 미만, 500m$^2$ 미만의 소규모 건축물 314만동, 94% 점유

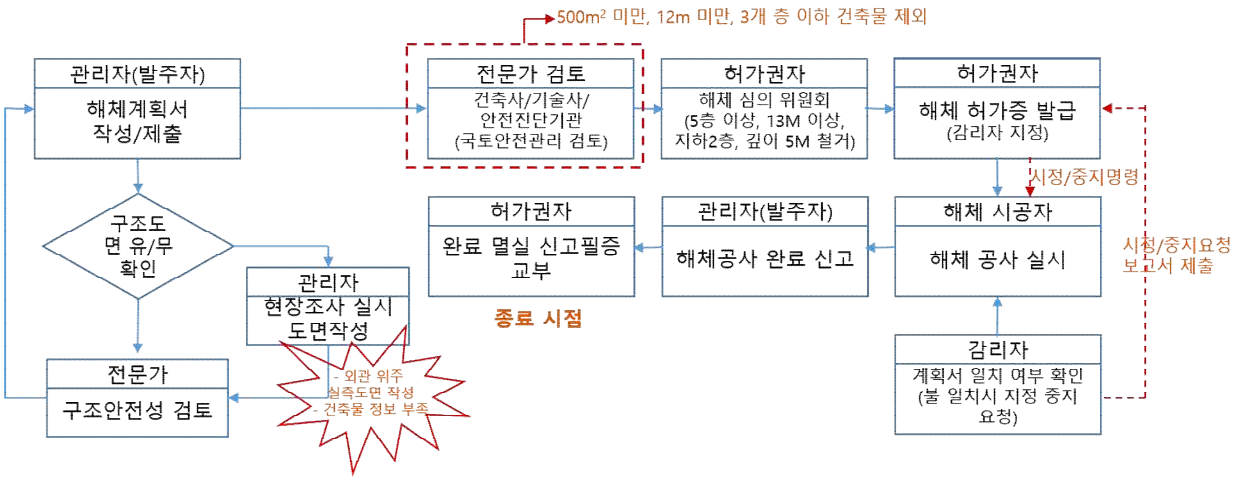



그림 4.11 건축물관리법에 따른 건축물 해체공사 허가절차

## 2.4. [이슈/문제 3] 경험적 해체설계 및 시공관리 및 폐기물관리

### 2.4.1. 해체공사 및 건축폐기물 자원화 기업 기술력 미진

■ **(현황)** 해체업 및 건설폐기물 중간처리업 전국적 분포

- 해체공사업종 분류 → 비계구조물·항타·해체가 같은 업종으로 분류

  * 통계자료에 의한 정확한 해체공사 전문업체 분류 곤란

  * 해체공사 전문업이 아닌 단순 비계 설치 업체 해체 공사 가능

  * 비계구조물 해체공사업 등록 업체 전국적으로 3,883개 업체

  * 2019년 전문건설협회의 기성공사 신고를 진행한 업체 1,838개 업체임

- 소규모 해체공사 중심- 매출 규모별 해체공사 업체 분류[70)]

  * 2019년 1억원 미만 실적업체 27%, 5억원 미만 포함 72% 점유, 5억원 이상 실적업체는 512개사 28%, 50억원 이상 매출실적 업체는 51개사 3%.

  * 2019년 1,000만원 미만공사 34.1%, 2017년 발간 서울시 공사비 책정 가이드라인[71)]의 평균해체공사비 71100원/$m^2$을 적용할 경우 1,000만원 해체철거 공사 면적 규모는 140$m^2$

- 2019년 585개 건설폐기물 중간처리업 전국 분포[72)]

  * 연간 8,000천만톤 건설폐기물 처리를 실시 → 수주경쟁 과열

  * 반입폐기물의 이물질 혼합 성상이 높아 재활용 처리공정이 복잡하고, 상대적으로 높은 처리비용이 투입 되어야 함

■ **(이슈·문제)** 해체공사업 영세성과 명확한 전문업종 미분류

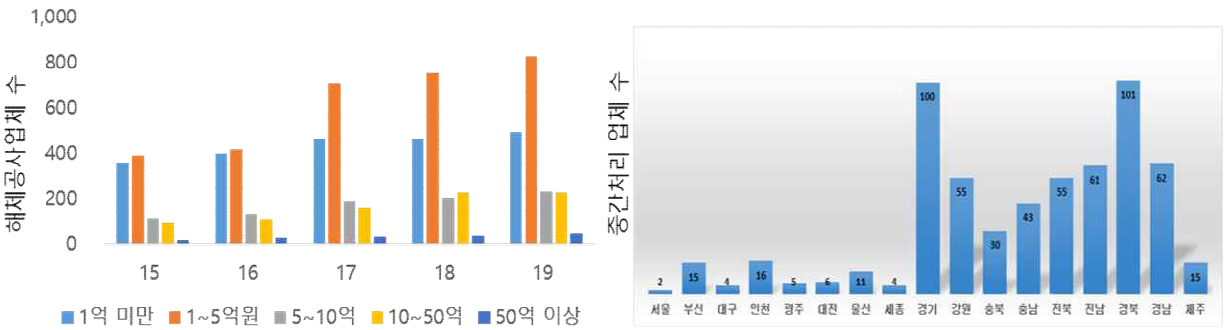
- 전문성 부족 해체업자의 소규모 건설과 이에 따른 사고

  * 광주학동 해체공사의 예, 3단 이상의 도급에 의한 해체공사 (H개발 - H건설(도급) - B건설(불법도급) - 장비업자)

- 건설폐기물의 고품질화 및 다양한 폐기물 자원화 인프라 부족

- 목재/합성수지/유리등 다양한 재활용 인프라 구축 필요

  * 순환골재 이외에 목재, 플라스틱 등의 재활용 인프라 부족




매출 규모별 해체공사 업체 수　　지역별 중간처리 업체 현황

그림 4.12 해체공사 연간 매출 규모 및 중간처리업체 지역별 분포 현황

70) 대한전문건설협회 실적자료 분석
71) 서울시, 공공건축물 건립 공사비 책정 가이드라인, 2017. p21 3.3 철거비 및 설계비 책정기준
72) 환경부, 2019년 건설폐기물 재활용통계조사보고서

## 2.4.2. 경험 및 현장대응 방식의 해체공사

■ **(절차)** 지하구조물 해체 단계 : 구조물 조사 → 인프라조사 → 인접건축물 조사 → 지하수 등의 조사 선행

- 관련 전문가 검토를 통한 해체 공사 안전성확보 후 시공

  * 되메우기 - 흙막이(C.I.P) 설치 - (1개 층씩 굴착 - 구조부재 해체 - 버팀대) - 기초 해체

- 지하구조물 해체를 위한 조사 → 경험 기반 조사

- 지하구조물 보강기술 → H빔 이용 지하외벽 지지기술 대부분

- 지하구조물 굴착에 따른 지하수 재유입 및 차단

  * 토양 안정화제를 이용한 지하수의 차단 → 향후 폐기 단계에서의 환경문제 발생

  * 지류판, 토류판의 내수성 및 기밀성을 강화한 차수 시스템 적용필요

■ **(이슈·문제)** 지하구조물에 대한 정확한 정보조사를 기반으로 해체 공사를 수행하는 것이 필요

- 해체단계 붕괴, 인접건축물 영향, 지하 인프라 영향이 없는 설계

- 3D 스캐닝 및 센서 활용 디지털 Device 활용 신속한 지하구조물 정보의 습득 ==> 해결방안이므로 나중에 써야 함

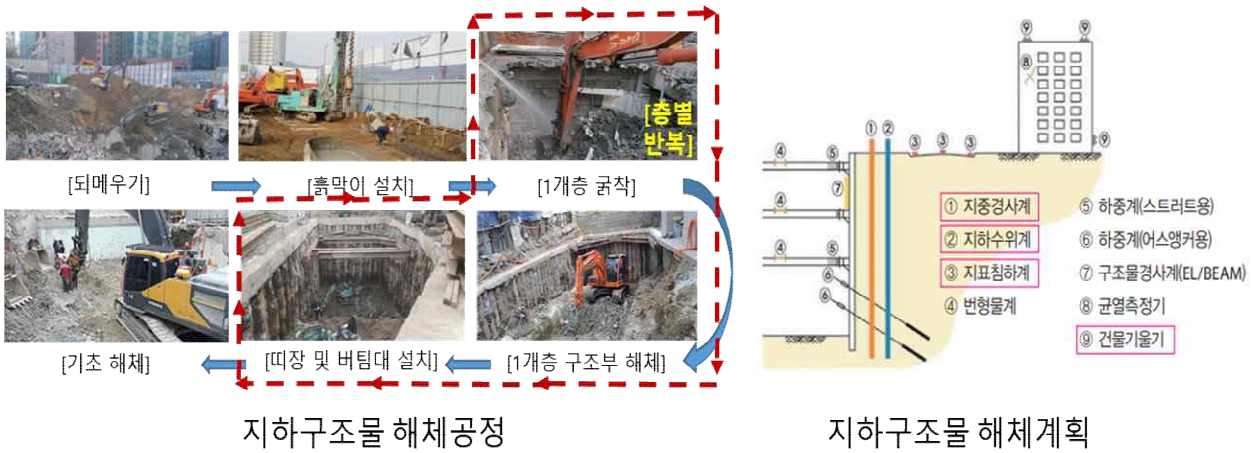
  * 지하 암반 구성 조사를 위한 탐침 기술 및 인접건축물 영향 조사를 위한 하중계측, 경사계측, 균열 영향 평가 기술 및  모델링을 통한 시뮬레이션 기술

- 모듈식 보강 가시설 설계 기술 구축 ==> 이건 해결방안임, 지하해체 시 보강방안이 없다는 것이 이슈임

  * 지하구조물 철거 방식에 따른 굴착 공법개발과 모듈화 내력판 강성확보 기술

- 지하수 차수 시스템

  * 2차 환경오염이 없는 차수벽 보강기술개발(2차 환경오염 차단)




지하구조물 해체공정　　지하구조물 해체계획

그림 4.13 지하구조물 해체공사 현황

<출처 : 서울시, 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼, 2019>

### 2.4.3. 해체 기술의 고도화 필요

■ **(현황)** 건축물 해체·철거중 사고 지속적 발생. 최근 도심지 내 해체공사로 인한 대형 인명피해 발생

- 타 산업에 비해 열악하고 낙후된 해체산업의 기술발전과 환경적인 부분까지 고려한 장비 개발과 공법의 개발이 시급함
- 사람의 노동력이나 직접 조종해야 하는 장비의 운용에 의지해 오던 기존의 해체 방법을 탈피한 원격/무인 조종 해체장비의 개발 필요
- 현재의 해체 기술은 원전과 같은 특수한 환경이나 초고층 빌딩 등의 해체와 같이 사람이 직접 접근하기 어렵거나 불가능한 장소에서의 해체 기술은 미흡한 실정임

■ **(이슈·문제)** 원격/무인/가상 해체 기술의 개발

- 선진국의 무인해체 장비를 벤치마킹하여 국내 실정에 맞게 국산화하여 개발
- 친환경적인 요소를 적용하여 화석연료의 사용을 줄이고 전기장치로 구동하는 해체장비의 개발이 필수임
- 한국원자력연구원, 한국생산기술연구원, 한국건설기술연구원 등 국책 연구기관을 중심으로 해체장비 개발 연구가 시도되고 있으나 활용성은 부족함

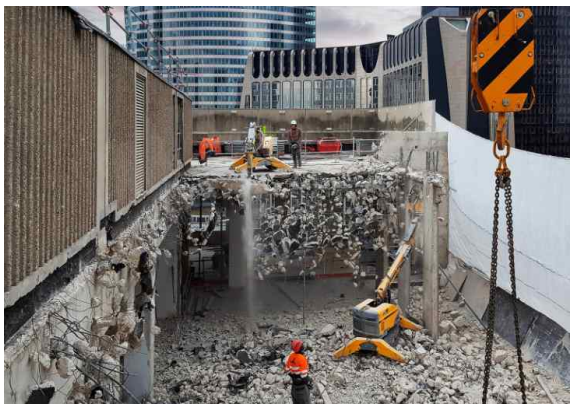


그림 4.14 원격/무인 해체 장비 사례
<출처 : https://www.brokk.com/>

### 2.4.4. 분별해체 기술 부족

■ **(현황) 공공발주 500m² 이상의 건축물 대상 분별해체 공사 의무화(21.4)**

- 분별해체 공사 : (건폐법 제2조) 구조물을 철거하기 전에 해당 구조물의 철거과정에서 발생하는 건설폐기물 중 재활용이 가능한 건설폐기물과 재활용이 어려운 **건설폐기물이 서로 섞이지 아니하도록 대통령령*으로 정한 건설폐기물을 우선 제거하는 것**

* 대통령령으로 정한 분별해체 대상 건설 폐기물 : 건폐법 시행령 별표 1에서 규정한 18종 건설폐기물

| ※ 현행 제도 중 사전 분별해체 대상 건설자재 : 중량기준 석면이 1% 이상 함유된 건축자재의 면적의 합이 50m2 이상인 건축물 해체공사 |
|---|

■ **(관련법령)** 국토부·환경부 공동 운영 법안(건폐법 분별해체 의무화규정 신설)

- 2021년 4월 분별해체 의무화 규정 시행

| 법 | | 주요 내용 | 비고 |
|---|---|---|---|
| **건폐법** | 제4조 국가 및 지방자치단체 등의 의무 | ▪ 일정 규모 이상의 건축물 철거공사 발주 시 분별해체를 통하여 폐기물을 배출하여야한다. | 환경부 |
| | 제36조 순환골재 품질인증 등 | ▪ 국토교통부 장관은 순환골재 품질을 확보하기 위한 인증을 할 수 있다. | 국토교통부 |
| **건폐법 시행령** | 제3조의 3 분별해체 대상 건설폐기물 | ▪ 분별해체 대상 폐기물 종류 규정 | 환경부 |
| | 제6조의 2 분별해체의 대상 | ▪ 분별해체 대상 규모 | 환경부 |

■ **(분별해체 의무화 배경):**

- 혼합건설폐기물 배출 감량 목표 : 1, 2차 건설폐기물 재활용 기본 계획 수립 시 건설폐기물 고품질 자원화를 위한 방안으로 주요 이행 사업으로 선정
- 일본 건설리싸이클링법 : 2000년 일본 건설리싸이클링법 제정을 통한 분별해체공사 의무화. 건설폐기물 재활용율 향상

* 일본 80m² 이상의 모든 건축물 분별해체 : 폐목재 재활용성 30% 향상, 건설오니 15% 향상

■ 현행 인력 중심 해체공사 → **기계화, 시스템화 해체공사 전환 필요**

- 기계화의 부재 : 충격, 인발 등 인력 중심의 내장재 철거 시스템으로 분별해체 공사 적용 불가론 → 인력 투입의 한계, 적용 에너지 한계에 따른 해체공사 한정

* 망치(해머), 쇠지레(빠루) 중심의 인력에 의한 해체

| 천장재 분별해체 | 바닥재 분별해체 |
|---|---|

그림 4.15 건축물 천장재와 바닥재 분별해체

- 무인/자동화에 의한 분별해체 공사 전환

* 소형장비 부착 어태치먼트 등의 개발을 통한 해체공사 자동화 → 해체 효율성 향상

| 브러쉬 형 | 압쇄형 | 천공 및 긁기 형 | 햅틱 기술 |
|---|---|---|---|

그림 4.16 분별해체 자동화 장비 예

■ 습식 부착 내장재 해체 기술 필요

- 분별해체 난 공정 : 습식 건축자재 해체 기술 → 기계에 의한 해체 기술 필요

* 시멘트 등의 몰탈 접착, 우레탄·에폭시 등의 수지 접착 건축자재 해체 기술

■ 분별해체 현장 내 폐기물 분류/보관/배출 시스템화 필요

- 스티로폼, 유리면, 유리 → 해체 현장 내 1차 감량 등의 처리 후 배출

* 현장 내 환경관리(비산먼지, 대기오염 기준 관리), 사고예방(유리 등 위험자재), 부피 감량화(스티로폼 등) → 안전/환경/비용/ 재활용 고려한 현장 선 조치 후 배출 필요

* 현장 선 조치 후 배출 시 재활용 효율성 향상 가능

습식 부착 단열재 | 분별해체 | 용적 감용(현장) | 재활용 건축자재

그림 4.17 천장 보온 단열재의 분별해체 - 재사용 전 과정의 예

## 2.5. [이슈/문제 4] 리모델링 부분해체 및 소규모 배출 등 관리 사각

### 2.5.1. 리모델링 건축 증가

■ **(현황)** 건축물 리모델링 시장 '02년 7.8조원에서 '19년 17.1조원으로 규모 성장

- 전체 건축물 착공면적 중 리모델링 면적 '02년 13.3%에서 ' 19년 18.5% 증가

  * 기존 건축물의 높은 용적률, 재건축 초과이익 환수, 강화된 안전진단, 준공 연한 등으로 재건축에서 리모델링 사업 전환 증가

- 매년 5.4%의 리모델링 시장 성장 예상, '30년 40조 시장 형성 예측

<표 4.3> 국내 유지보수 및 리모델링 시장 전망 예측

| 구분 | 20년 (십억원) | 25년 (십억원) | 30년 (십억원) | 20~30년 연평균 성장률(%) |
|---|---|---|---|---|
| 유지보수 시장 | 12,795 | 13,759 | 14,723 | 1.4 |
| 리모델링 시장 | 17,293 | 23,321 | 29,350 | 5.4 |

<자료: CERIK, 건축물 리모델링 시장의 전망과 정책과제, 2020.9>

- '20년 12월 기준 수도권 54개단지 리모델링 조합 추진

  * 급속한 주거환경 시설 개선을 위한 성능 개선 요구에 따라 재건축에서 리모델링으로 전환

- 비 주거용 리모델링 공사는 타 용도 전환을 위하여 시행

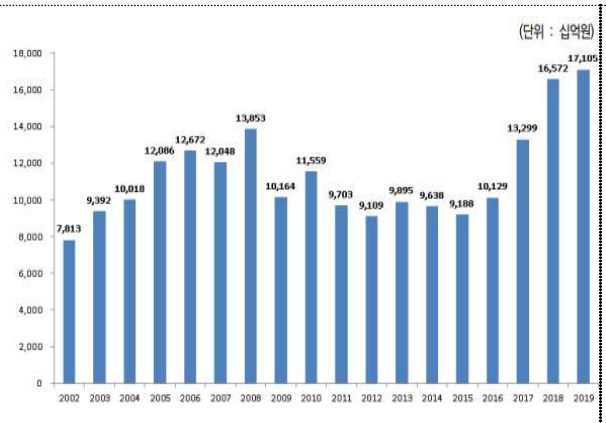
  * 기존 공공 건축물 → 공공임대주택, 오피스 → 오피스텔, 폐교 → 복합문화 공간 등

  * 따라서 비 주거용 리모델링 공사는 증축의 개념 보다는 성능 개선·변환의 개념

■ **(이슈·문제)** 리모델링 공사 현장 안전 및 환경 관리

- 리모델링 해체공사 주요 공법 : Saw(Wheel, Wire, Wall)방식 절단, 소형 Breaker 공법

  * Saw breaker 방식 소음·분진 다량 배출 : 30m 이격 거리 약 70~90dB로 주거지역 55dB, 상업지역 65dB 기준을 초과 함




<출처 : CERIK, 건축물 리모델링 시장의 전망과 정책, 2020>

<출처 : 한경부 중앙환경분쟁조정위원회, 중앙일보 재인용>

그림 4.18 리모델링 공사 추이 및 건설공사 현장 한경 민원 빈도 현황

## 2.5.2. 부분해체 기술 고도화 필요

■ **(현황)** 리모델링 공사는 주거용과 비주거용으로 구분 가능하며, 주거용은 공간 확장을 목적으로 함

- 수평증축과 수직증축을 전제로 한 리모델링 공사

* 수평증축 : 면적 30%까지 증가, 수직증축 : 최상위 3개층(1층 필로티 전환시 4개 층)

그림 4.19 < 수평 증축에 의한 공동주택 리모델링 단면 변화 >
<출처 : 옥수동 K 아파트 리모델링 수평증축 계획, 2021>

■ **(이슈·문제)** 리모델링 공사 기존 전단근 완전 절단 후 별도 보강 실시

- Saw 방식의 전체 절단 공법 적용에 따른 증축 건축물 연결을 위한 전단 보강 철근 신규 공사

* Chemical anchor를 활용한 신규 보강근 삽입 공법, 강판 상부 보강 공법 → 보강근 위치 확보 문제, 전단력 확보의 어려움, 내구성 문제

- 기존 전단근 활용을 위한 부분 해체 및 절단 기술 개발 필요

* 전단근 완전 절단하지 않고 콘크리트 부분만 부분 해체 후 전단근 연결 공법 활용

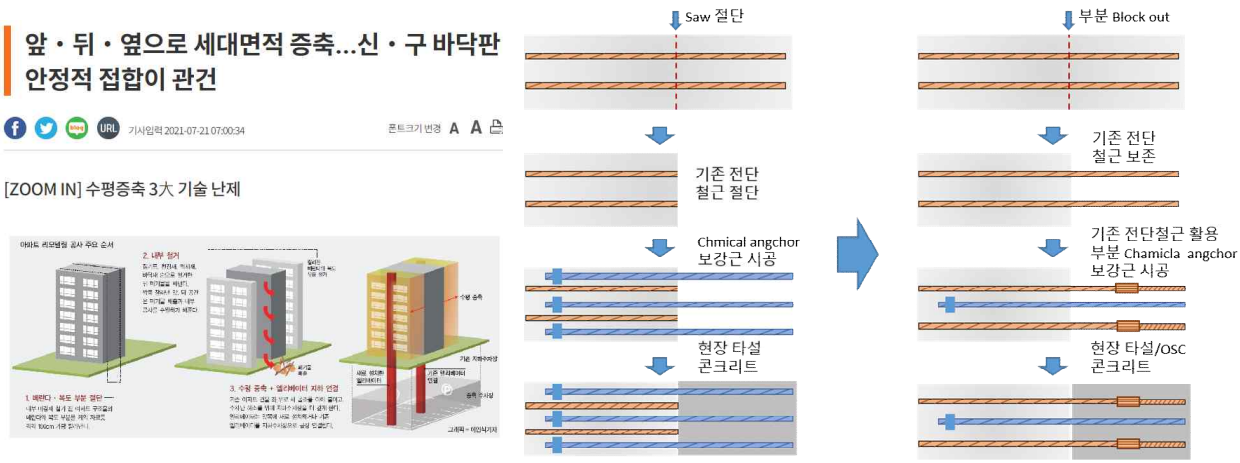



그림 4.20 리모델링 공사 기술 난제 및 기존 보강근 활용 해체 방안
<출처 : e대한경제, 세대면적 증축, 신구 바닥판 안정적 접합이 관건, 21.7>

## 2.5.3. 가격 중심의 해체 공사

■ **(현황)** 지상구조물의 해체는 건축물의 층 또는 높이, 대상지역, 멸실사유(재개발) 등에 따라 구분

- 지상구조물 해체 방식은 지상해체, 지상 성토 후 해체, 지상 롱합해체, 장비 탑재하여 Top-down 형태의 해체로 구분
- 사용 장비 : 0.6~1.0m$^3$ 급 굴삭기에 압쇄기를 부착하여 해체

* 도심지 해체공사 : 소음, 진동, 분진, 폐수 배출 등의 관리를 위하여 압쇄 공법 해체

* 도심지 이외 해체공사 : 건축물의 하부 내력 기둥 및 내력벽체를 일부 해체하여 상부 구조물의 자중에 의한 전도 공법 적용

- 압쇄방식의 해체 시 건축물의 상부구조물 전체를 해체한 후 다음단계 하층 부 해체토록 규정

* 굴삭기의 작업 반경, 해체공사 기간 등을 고려하여 건축물 부분 철거 방식에 의한 철거 진행 (광주학동 해체현장의 사례)

■ **(이슈·문제)** 해체구조설계에 기반한 해체공사 및 전층부 해체 적용 미진

- 해체장비 작업에 따른 슬래브의 하중변화 주조해석 기반 해체 공사

* 2017년 1월 서울 낙원동 사고의 예 : 굴삭기에 의한 슬래브 붕괴 사고 방지

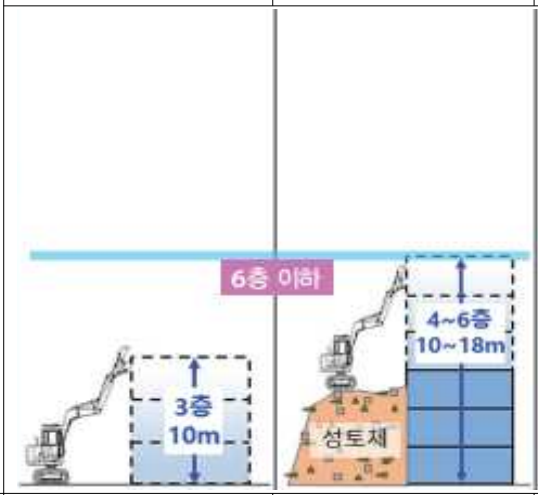
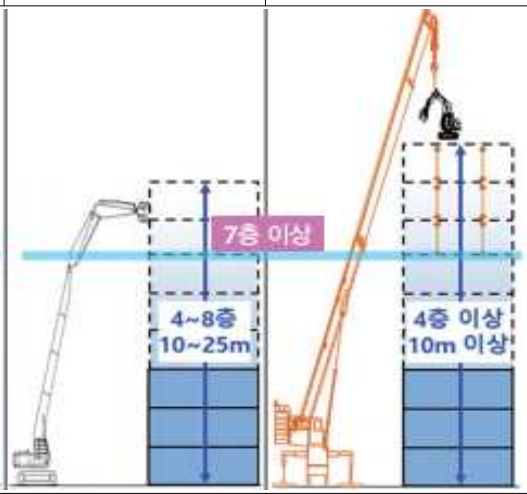
| 높이 | 6층 또는 18m 이하 | | 7층 또는 18m 이상 | |
|---|---|---|---|---|
| 해체 방식 개요 | 지상에서 해체 | 지상에서 성토하여 해체 | 지상에서 롱붐암으로 해체 | 장비 탑재하여 해체 |
| |  | |  | |
| 사용 장비 | 0.8~1.0m$^3$급 굴삭기 | 0.8~1.0m$^3$급 굴삭기 | 0.8~1.0m$^3$ 급 굴삭기, 롱붐암 | 0.6m$^3$급 이하 굴삭기 권장, 양중크레인 |
| 주의 사항 | | 성토재 조성공간, 장비작업 공간 확보 | 해체잔재 낙하사고 대비 | 구조안전성 검토, 낙하 방지막 |

그림 4.21 지상층 해체공사 적용 유형

# 3절. 문제 해결 방안 검토

## 1. 검토 개요

■ **(R&D 이외의 대안 검토)** 기반 시설 첨단관리 분야의 문제/이슈를 해결하기 위한 R&D 이외의 대안 존재 여부와 효과성을 검토하여 R&D 필요성을 재 조망

- R&D 이외의 대안은,

  ① 법・제도 개선을 통한 대안

  ②재정 투입을 통한 대안으로 구분하여 검토하고, 추가적으로 정책 목표 실현을 위한 R&D의 필요성과 정책 및 재정 대안과의 시너지 효과를 검토

- 대안의 시행 가능 여부와 기대효과, 효율성 및 합리성을 보장하기 위하여 현재 정부의 정책으로 발표되어 시행 중이거나 시행 예정인 정책에 대하여 검토

- 건축물 해체공사 및 건설폐기물 재활용과 직접적으로 관련이 있는 건축물관리법, 건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률, 자원순환기본법과 이 법을 기반으로 한 장기 기본계획 중심으로 검토

## 2. 법·제도 개선을 통한 대안 검토

### 2.1. 법·제도 개선 대안

■ **(법령 개정을 통한 제도 개선)** '20년 5월 제정된 「건축물관리법」을 통해 이전까지 건축법, 시설물안전관리법 등으로 분산되어 있던 절차를 체계적으로 개편 수립한바 있음

- 건축물 해체의 허가에 관한 규정, 현장 점검 절차, 해체공사 감리자의 지정과 역할, 해체공사 완료와 멸실 신고 등에 대한 체계를 정립하였음
- 일정규모 이상의 건축물 해체에 대해서는 전문기관에서 허가를 위한 점검을 받도록 명문화 함
- 철저한 해체공사 관리를 위하여 「해체공사 착공신고」를 의무화 하였고, 상주감리배치 기준을 강화하여 시행하고 있음
- '22년 1월 시행하는 「중대재해 처벌 등에 관한 법률」에 따라 사망자 발생 등의 중대 재해가 발생할 경우 사업주, 경영책임자, 공무원 및 법인의 처벌 등을 규정
- 건설공사 특히 해체공사의 경우 중대재해 비율이 가장 높은 사업으로 분류되고 있음
- 중대재해 처벌법에 따라 건설현장에서 안전관리를 강화하고 있으며, 특히, 해체공사 공정 중 사고 발생이 가장 높은 조적벽의 철거 등에 관한 소규모 건축물 철거 공사 관리의 필요성이 증가하고 있음
- '19년 5월 「건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」을 개정하여 공공발주 500$m^2$ 이상 해체공사는 「분별해체」공사를 의무화 하였으며, 발주자 및 시공자는 건설현장에서 분별해체와 함께 분리 배출의 의무 부여
- 순환골재 의무재활용 용도 및 범위, 사용량을 지정하여 일정 규모의 공공발주 공사에 대하여 순환골재를 40% 이상 사용하도록 규정한바 있음
- 그러나 품질, 안전, 경제성, 공급 등의 예외 규정이 있어 현장 사용은 활발하지 못함
- '18년 제정된 「자원순환기본법」은 폐기물의 순환이용 및 적정한 처분을 촉진하여 천연

자원과 에너지의 소비를 줄여 환경보전과 지속가능한 순환사회를 형성하기 위하여 제정됨

- ‘18년9월 자원순환기본법에 따라 수립한 10년 단위 장기계획인「제1차 자원순환기본계획」은 건설폐기물 순환 이용률을 ’16년 79.5%에서 10년 경과 후 88.9%까지 약 10%를 향상하는 목표를 수립하였으며, 전체 발생량 중 매립과 소각으로 최종 처분되는 양을 ‘16년 1.6%에서 0.9%로 목표를 수립하였음

■ **(공통기준의 제정)** 건축물 해체 등 해체공사 관련해서는 주로 안전관련 규정이 공통규정으로 되어 있음

-「해체공사 안전보건작업 지침」은 산업안전보건기준에 관한 규칙의 해체작업 관련 규정에 의거하여 구조물 해체작업용 기계·기구, 안전작업방법 등에 대한 지침으로 해체작업과정에서 발생하는 산업재해 예방을 목적으로 함

-「철거・해체공사 표준안전작업 절차서」는 고용노동부에서 정한 것으로 해체공법 및 해체작업용 기계·기구별 안전작업방법, 해체 구조물 안전성 검토 절차 등을 정함으로써 해체 작업과정에서 발생하는 산업재해를 예방하기 위함

- 국토교통부에서 제정한 「해체공사 안전관리 요령」도 시설물 또는 건축물(이하 “시설물 등“이라 한다.)의 해체공사 업무프로세스를 합리적·체계적으로 개선하고, 해체공사의 안전성을 확보를 목적으로 하고 있음

- 「해체공사 표준안전 작업지침」은 구조물의 해체공사 시 발생되는 산업재해 예방을 위한 기계기구 및 공법에 따른 작업상의 안전에 관하여 사업주에게 지도・권고할 기술상의 지침을 규정으로 해체 공사 현장에 많이 사용되는 압쇄기, 대형 브레이커, 철제햄머, 화약류, 핸드브레이커, 팽창제, 절단톱 등 기계장치 관리에 관한 규정을 하고 있음

- 「순환골재 품질기준」건설폐기물 중 폐콘크리트 비율은 70%를 상회하고 있음

- 따라서 폐콘크리트의 활용은 건설폐기물의 재활용에 매우 중요한 사항임

- 국토교통부에서는 ‘07년 순환골재 품질기준을 제정하여 14개 용도의 순환골재 사용에 관한 관리 기준을 제공하고 있음

- 고품질 순환골재의 안정적 생산 및 공급을 체계적으로 유지하기 위하여 ‘07년「순환골재 품질인증」제도를 시행하고 있으며, ’22년 1월 현재 약 400여개 업체가 인증을 부여 받음

- 표준시방서인 KCS 41 85 01, 02, 03 규정에서는 해체공사 및 자원 재활용에 관한 시방 기준을 수립하였으며, 일반사항, 분별해체공사, 해체 폐기물의 처리 및 자원재활용에 관한 규정을 하고 있음

- 해체공사의 공법 및 기술적인 사항은 해체 대상 건축물의 형태에 따라 사전 조사를 실시한 후 설계에 의한 해체를 하도록 규정하고 있음

- 따라서 국가에서 지정한 표준 해체공사 시방 기준은 없으며, 해체공사 발주 시 특기사항을 규정한 공사장별 시방서를 운영함

- 환경부는 건설폐기물의 적정 처리를 위하여「건설폐기물의 처리 등에 관한 업무처리 지침」을 제정하여 배출관리, 수집・운반관리, 보관 및 처리 등 건설폐기물의 친환경 적정 처리와 자원 재활용을 위한 전반적 관리 규정을 운영하고 있음

■ **(정보화 운영)** 대한민국 전자정부 구현을 위한 건축관련 행정 업무의 전산화 실시

- 「세움터」건축행정 관련 민원 등 행정 업무를 ONE STOP으로 처리하게 하는 국가 표준정보시스템으로 건축허가 /착공/승인, 건축신고관련, 건축물 해체허가 및 신고, 멸실신고 등 전반적 행정처리 전산화
- 시설물의 안전한 유지관리를 위한 「시설물통합정보관리시스템, FMS」시설물의 분류, 안전진단전문업체 및 유지관리업체, 사고사례 등의 DB화 및 신기술 신공법의 소개 등이 있음
- 「건설공사 안전관리 종합정보망, CSI」은 설계안전성검토, 안전관리 계획서, 건설사고의 DB, 현장점검 등 건설사고와 관련한 전반적인 DB 관리를 실시하고 있음
- **「All-baro System」** 폐기물관리 종합 정보망으로 환경공단에서 운영하고 있음. 폐기물의 배출 - 인수인계 - 최종 처리 단계까지 폐기물 관리의 전산화를 위한 종합 정보망임

## 2.2. 법·제도 개선 대안의 검토 결과

■ **(법·제도 대안의 한계점)** 법·제도 개선 대안의 핵심 내용과 대안의 성공적이 실행을 위해 요구되는 전제 조건 등을 검토하고 각 대안에서 R&D의 필요성을 검토 함

<표 4.4> 법・제도 대안의 한계점 및 R&C 지원 필요성 검토

| 법・제도 개선 사항 | 핵심 내용 | 대안의 한계점 및 R&D 지원 필요성 |
|---|---|---|
| 법령 개정을 통한 제도 개선 | 해체공사 재해 예방을 위한 관리 기준 강화<br>폐자원의 활용 강화를 방안 | **(한계점)** 해체대상 절대다수 점유하는 소규모 건축물 단순 신고대상으로 관리법령예외 대상이며, 외관 및 재료시험 등 한정된 점검에 의한 건축물 정보 수집, 구조안전 및 해체안전계획 수립에 관한 구체적 기술 및 연관 법규 부재<br>**(R&D 필요성)** 소규모 건축물의 신속 정보 습득을 통한 안전 해체설계 및 해체계획서 수립 기반 구축 |
| 공통 기준 제정 | 해체 공정별 안전관리 절차 및 작업 지침<br>자원화 제품의 품질 기준 | (한계점) 해체 대상 건축물의 조사 방법 및 안전관리 기준과 절차 중심의 기준. 안전관리 절차의 경우 고용노동부와 국토교통부 관리 지침의 중복성 등이 있음. 건축폐기물 자원화의 경우 순환골재 중심<br>**(R&D 필요성)** 구체적인 해체 설계 방안, 안전 해체 시공을 위한 무인/경량화 방안, 기계화 방안 등의 대안 필요. 순환체계 구축을 위한 시스템 구성 필요 |
| 정보화 운영 | 해체 현장 정보 개방 및 최소 안전 관리 기준<br>폐기물 배출 및 자원화 현황 공개 | **(한계점)** 현재의 건축물 정보 시스템에는 소규모 건축물에 대한 정보는 누락된 부분이 상당히 높음. 폐기물의 처리 과정도 사람에 의한 입력에 의존하고 있음<br>**(R&D 필요성)** 도면정보나 건축물의 수선 이력 정보 부재에 따라 이를 신속하게 구현할 수 있는 기술 필요 |

■ **(검토 결론)** 법·제도 개선을 통한 대안의 성공저인 실현을 위해서는 R&D 사업의 병행을 통한 기술적 지원이 반드시 필요

- R&D를 통한 기술지원 없이 법・제도 개선만을 통하여 해체안전과 건설폐기물 재활용 목표의 달성은 불가능하며, 형식적인 절차만이 반복될 것으로 예측됨
- 해체공사를 위한 현재의 기술적 한계*로 인하여 목표로 하는 소규모 건축물의 해체, 위험 건축물의 사전 위험도 분석을 통한 안전해체 등을 기대하기 곤란

* 기술적 한계 : 소규모 건축물의 정보 습득 방법 부재, 지하구조물, 공장 시설물 등 위험 건축물 위험도 분석을 위한 가상해체 기술의 부족 등

- R&D 이외의 대안으로 검토된 법・제도 개선을 통한 대안은 R&D 사업과의 병행 추진을 통해 한계점을 만회하고 기대 효과를 확보할 수 있음

# 3. 재정 투입을 통한 대안 검토

## 3.1. 재정 투입계획

■ **(안전투자 확대)** 산업 전체적으로 국가·지자체는 선제적 안전투자 확대를 중기재정계획에 반영하고, 공공기관·민간은 자율적 중장기 계획을 통해 안전투자 확대

- '20년~'25년 기반시설 관리 강화에 연평균 12조원 내외[국비 5조원 내외, 지방비(경기도 제외) 4조원 내외, 공공・민간 3조원 내외] 투자
- 관리감독기관은 향후 5년간 관리목표와 달성을 위한 중점 사업과 우선순위가 포함된 관리계획을 수립
- 관리감독기관이 기반시설 관리계획을 통해 계획 기간 내 우선순위를 선정
- 관리계획, 최소유지관리기준 등에 따라 관리주체(공공・민간)의 자율적 중장기계획 수립을 통한 안전투자 확대 유도

■ **(폐기물 자원화 투자 확대)** 자원 효율적 재활용을 위하여 생산단계, 소비단계, 관리단계, 재생 단계로 구분하여 '18년~'27년 까지 10년간 총 5조 6천억원의 재정 투입

- 재원은 신설 및 기존재원을 활용하며, 신규재원은 지자체 및 사업장폐기물배출자가 매립・소각하는 폐기물에 대한 폐기물처분부담금 부과・징수( '18~), 1회용 컵 보증금제 도입에 따른 미반환 보증금(' 19~) 등 신규재원 활용방안 마련하고, 기존재원은 폐기물부담금, 재활용부과금, 폐기물매립시설 사후관리이행보증금, 빈 용기 미반환 보증금, 폐기물수출입수수료 등은 관련 법령에서 정한 용도대로 최적 활용 추진
- 오염자부담원칙을 강화하여 종량제요율, 폐기물 분야 부담금 요율, 처리시설 반입수수료 등을 오염자 부담원칙에 부합하도록 지속 개선하고, 운영효율화를 통한 비용절감과 폐기물 처리시설 최적화, 기존시설 장수명화를 통한 시설 운영비와 신규시설 건설비용 절감하는 목표와 공공・민간 폐기물 처리시설 연계 확대로 최적 비용으로 관리 추진
- 민간부문 투자 유도를 위하여 폐기물처리시설, 에너지화 시설 등의 건설과 운영에서 수수료를 현실화함으로써 민간부문 투자 확대 유도

## 3.2. 재정 투입 대안의 검토 결과

■ **(재정 투입 대안의 한계점)** 재정 투입 대안의 핵심 내용과 대안의 성공적인 실행을 위해 요구되는 전제 조건 등을 검토하고 각 대안에서 R&D의 필요성을 검토함

<표 4.5> 재정 투입 대안희 한계점 및 R&D 지원 필요성 검토

| 법·제도 개선 사항 | 핵심 내용 | 대안의 한계점 및 R&D 지원 필요성 |
|---|---|---|
| 안전 투자 확대 | ’20 ~ 25 연평균 12조원의 안전투자비 투입 중점 사업의 우선순위 결정 | **(한계점)** 안전 투입 금액은 한시적인 기간에 기반시설물의 안전강화를 위해 투입되는 성격으로, 점차 증가하고 있는 노후 기반시설의 근본적인 대응책으로는 미흡한 상황임; 해체공사의 안전 부분은 별도의 분야로 분리되어 있지 않음. 즉, 노후건축물 또는 노후 인프라 시설의 안전관리에 집중<br>**(R&D 필요성)** BIM, AR/VA, 3D 스캐닝 등을 통한 해체설계 디지털화 및 신속한 건축물 해체정보 확보 기술 필요 |
| 폐기물 자원화 투자 확대 | ’18~27 5조6천억원 자원 순환 투자 중점 사업의 우선순위 결정 | **(한계점)** 건설폐기물이 국가 폐기물의 45%를 점유하고 있으나 사회적 문제가 되는 방치 생활폐기물 처리 등에 많은 예산 적용. 순환골재 이외의 건설 폐기물의 재활용 품질 고도화에 대한 예산 활용 미진<br>**(R&D 필요성)** 건설폐기물 배출량 95% 점유하는 해체과정에서 성상별 분별해체를 정착시킬 수 있는 연구개발 필요 |
| 재정 지원 정책 | 해체 현장 정보 개방 및 최소 안전 관리 기준 폐기물 배출 및 자원화 현황 공개 | **(한계점)** 현재의 건축물 정보 시스템에는 소규모 건축물에 대한 정보는 누락된 부분이 상당히 높음. 폐기물의 처리 과정도 사람에 의한 입력에 의존하고 있음<br>**(R&D 필요성)** 도면정보나 건축물의 수선 이력 정보 부재에 따라 이를 신속하게 구현할 수 있는 기술 필요 |

■ **(검토 결론)** 재정 투자 대안의 획기적인 재원 절감을 위해서는 R&D 사업의 병행을 통한 기술적 지원이 반드시 필요

- 재정 투입 대안은 한시적 지원을 전제한 대안으로, R&D를 통한 기술적 지원 없이 추진 될 경우, 지속가능한 대안으로 실현되기는 어려울 것으로 판단됨
- 노후 건축물의 증가, 정비사업의 증가, 리모델링의 증가로 인하여 급격한 해체·철거 공사의 증가와 이로 인한 폐기물 배출량 증가 추세를 감안할 때, 재정 투입을 통한 대안만으로 해체공사/폐기물 자원화 이슈/문제를 원천적으로 해결하고자 하는 시도는 실패할 가능성이 높으며, 막대한 예산 투입을 동반할 것으로 예상
- R&D 이외의 대안으로 검토된 재정 투입을 통한 대안은 R&D 사업과의 병행 추진을 통해 예산의 추가 절감 효과를 기대할 수 있으며, 지속가능성 확보가 가능함

# 4. 법/제도 개선 및 재정 투입 대안과 R&D의 시너지 효과

■ **(R&D 사업의 정책 근거)** 건축물 해체 기술고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발 사업의 추진은 국가 부처의 계획에 기 반영되어 있으며, 해체 기술 고도화를 통한 안전 확보, 폐기물의 자원화 이슈/문제 해결을 위해 반드시 수행하여야 하는 당위성이 있음

- **(건설산업 활력 제고 방안)** '19년 관계부처 합동으로 공표된 "건설산업 활력 제고 방안" 에서는 규제 개선과 함께, 공사여건 개선과 스마트 건설기술개발 항목이 있음. 공사 여건 개선은 적정 공사비 확보, 정정 공기 보장을 명시하고 있음. 지금까지의 해체 공사는 유형의 건축물을 무형으로 만드는 과정으로 적정 공기의 보장, 적정 해체공사비용의 반영 등이 어려웠음
- 불공정 입찰 기준의 개선 및 적정 비용 기반 하에 안전한 해체설계 기반 해체공사가 이루어질 수 환경 조성이 가능하도록 관련 설계 및 시공기술 및 공법의 개발 필요
- 3D 디지털 설계기반 무인 원격 모듈화 기술의 추진 필요성과 전 공정 스마트 기술을 종합 적용하는 건설 공사의 추진 필요성과 당위성을 강조

■ **(탄소중립 2050)** 2050년 탄소 중립 목표 달성을 위하여 에너지 전환, 산업 연료 개편, 건물에너지 절감, 수송 에너지 전환, 농축산 폐기물 관리, 폐기물 감량 및 바이오 플라스틱 등의 산업 개편 추진

- 국가 온실가스목표 감축량은 2018년 온실가스대비 2050년 46.8%를 감축한다는 목표를 수립, 폐기물 분야의 탄소 감축은 매립 소각 비중이 감축, 재활용 향상이 가장 중요한 이행 사항임

■ **(ESG 확산)** 기업의 ESG 경영은 선택이 아닌 필수로 되어가고 있음. 재활용 관련 산업의 M&A가 증가하고 있으며, 기업의 규모가 큰 대기업의 참여도 증가하고 있음. 관련 사업의 기술개발 요구가 증가할 것으로 예측됨

그림 4.22 법·제도 개선, 재정 투입 및 R&D 추진의 시너지 효과

# 4절. 중점분야 도출

## 1. 기술적 문제 해결을 위한 중점분야 도출

■ **(문제의 해결)** 이 사업의 문제/이슈에서 분석된 해체기술 및 자원화 기술 분야의 4대 문제를 해결하기 위해 기술 난제를 분석하고 이를 해결하기 위한 기술적 방안 도출

- 4대 문제 :

  ① 노후 건축물 및 리모델링 공사 증가에 따른 소규모 건축물 해체공사 증가

  ② 해체공사에 따른 안전사고 증가 및 폐기물 배출량 증가

  ③ 경험적·사후적 해체공사 및 폐기물 처리

  ④ 소규모 건축물 및 리모델링 공사 해체관리 사각지대

- 상기 4대 문제를 기반 2차 분류를 실시한 결과 아래와 같은 3가지 이슈와 해결 기술로 구분할 수 있음

- 문제별 기술적 난제와 발생 원인을 상세히 분석하고 기술적 해결방안과 기대효과 도출

<표 4.6> 기술적 난제 및 해결방안 검토

| 이슈 | 문제 | 기술적 난제/원인 및 해결방안 |
|---|---|---|
| 노후 건축물 및 리모델링 공사 증가에 따른 소규모 건축물 해체공사 증가 | 건축법에 따른 허가 건수 10.7%(3,111건) 대부분 신고 후 철거<br><br>전체건축물 30년 이상 노후건축물 38.8%로 매년 증가 추세<br><br>도심지 밀집 지역 소규모 건축물 해체 증가<br><br>1기 신도시 등 80년대 초중반부터 공급한 대단지 주거시설 재건축시행 및 예정 | **(기술적 난제)**<br>- 2001~2018년 해체 수행 건축물 중 500m$^2$ 미만 건축물 91.4% 점유하고 있으며 대부분 도면 미보유<br>- 국내 전체 723만동 건축물 중 500m$^2$ 미만 소규모 건축물의 비율 86%로 안전 해체 설계를 위한 건축물 정보의 부족<br>- 2019년 수행된 1만5천 건 분석 결과 규모와 해체공사 기간의 상관성 부족, 즉, 전도 붕과 방식의 해체로 기간차이 발생 없음<br>**(한계점)**<br>- 건축물 규모별 재료검사 기준 수립 필요<br>- 건축물 규모별 내구성 항목 및 적용 기준 필요(안전진단과 다른 성격)<br>**(기술적 해결 방안)**<br>**① 해체설계 관점**<br>- 해체 대상 건축물 정보 제공<br>- 신속하고 경제성 있는 해체건축물 도면 작성<br>- 도면 기반 해체 보강 설계 기술<br>- 전도 붕괴에 따른 인접 건축물 영향 분석<br>**② 해체 작업인력 관점**<br>- 작업자의 기술역량 강화 방안(작업의 표준화 및 단계별 관리 지침)<br>- 현장 해체 여건을 고려한 맞춤형 해체관리 매뉴얼 교육자료 제공<br>- 작업자 안전보호 장비 선진화<br>**(동 사업 기술도출)**<br>- 소규모 건축물 안전 해체설계 및 위험해체 공정 설계 기술 개발 |

| 이슈 | 문제 | 기술적 난제/원인 및 해결방안 |
|---|---|---|
| 해체공사에 따른 안전사고 증가 및 폐기물 배출량 증가 | 해체 철거 공사의 높은 재해비율, 사고대비 사망자 비율 7.0%로 중대재해 발생 위험 공사<br><br>건설공사 규모와상관성 부족, 소규모 건축물 재해 빈도 높음<br><br>실내 벽채의 전도 등 구조물 전체 붕괴 보다는 부분 전도 등에 의한 재해<br><br>연간 8천만톤 이상 배출, 국민 1인당 연간 1.6톤 배출 | **(기술적 난제)**<br>**① 해체 설계를 위한 건축물의 정보 획득의 부족**<br>- 도면 및 건축물의 구조, 내구성 등 해체 설계를 위한 정보 획득의 어려움<br>**② 노후 건축물의 성상별 건축자재의 해체 어려움**<br>- 비정형 건축물, 리모델링 등에 의한 설계 도면과 다른 구조 형식 등으로 해체 안전과 건축자재의 성상별 분리선령의 어려움<br>**③ 도심지 밀집 건축물의 해체**<br>- 인접 건축물의 안전 관리 어려움, 폐기물 적치 공간 확보의 어려움<br>**(한계점)**<br>- 소규모 건축물 해체를 위한 적정 프로그램 부재(일반 프로그램 활용 고비용)<br>- 민원 관리를 통한 해체 공정 관리(소음/분진/폐수)<br>- 최소의 시간을 활용한 해체공사 요구<br>- 무형의 성과물에 따른 공정 자체의 낮은 중요도<br>**(기술적 해결 방안)**<br>**① 무인 원격 해체 기술 개발**<br>- 통신 기술과 연계한 소형 해체 장비 기술개발 및 소규모 건축물 Top-down 시공이 가능한 원경 해체 기술<br>**② 3D 스캐닝, Drone, BIM을 이용한 가상해체 기술개발**<br>- 도심지 밀집 지역, 위험·장애 해체 건축물 대상 가상 해체 기술 적용, 신기술/신공법 적용, 안전사전 점검 . 위험요소 분석 등<br>**③ 무진동·저소음 건식 해체장비 개발**<br>- 해체공사의 친환경화 : 기계 장비 보완을 통한 개선, 미스트 분사, 거품 활용과 같은 공법 적용 등<br>- 무진동/무소음 해체공법(압석 파괘 등 사용)<br>**④ 도심지 밀집지역 지하구조물 해체 기술개발**<br>- 지하구조물 조사/보강설계/지하수 차단기술(모델링, 모듈화, 친환경 차수 시스템)<br>**(동 사업 기술도출)**<br>- 안전/친환경 해체를 위한 무인/원격/경량 해체장비 및 친환경 해체공법 기술개발 |
| 경험적 해체공사 및 폐기물 처리 | 해체 대상 건축물의 정밀조사 없이 경험적 계획 수립<br>신고 건축물 구조설계 없음<br>경제성 고려 Top-down 시공회피<br>건축자재 성상별 해체 계획 수립 없음<br>경험적인 폐기물 분 | **(기술적 난제)**<br>**① 해체공사 기간, 설계비용의 미반영**<br>- 소규모 건축물에 대한 설계 인식의 부족<br>- 해체계획서상 현장 조사와 이를 반영한 계획 수립의 정밀검토 부족<br>- 구조안전성 검토에 따른 설계 비용 상승 등으로 전도 방식의 해체 공법 선호<br>**② 분별해체 설계 미반영**<br>- 해체공사 기간의 부족, 비용의 미반영에 따른 전도 방식의 해체 |

| 이슈 | 문제 | 기술적 난제/원인 및 해결방안 |
|---|---|---|
| | 리-보관-배출 계획 | - 선해체 - 후 분별 방식 적용<br>**③ 폐기물의 분리 보관 공간의 부족**<br>- 도심지 밀집지역 공사의 한계<br>**(한계점)**<br>- 낮은 해체공사 비용 및 해체공사 기간의 부족<br>- 도심지 밀집 지역 공사에 따른 인접 건축물 영향 최소화<br>- 민원 등 환경 문제 최소화<br>**(기술적 해결 방안)**<br>- 소규모 건축물 위험도 분석을 기반으로 한 사전 조사<br>- 유형별 설계를 위한 사양 설계<br>- 분별해체 설계 이행을 위한 해체 장비 개발<br>**(동 사업 기술도출)**<br>- 위험도 분석 기반 유형별 사양설계 및 분별해체 기술 개발 |
| 소규모 건축물 및 리모델링 공사 해체관리 사각 | 수평증축 및 수직 증축 기반 리모델링 공사<br>환경 개선을 위한 내장재 해체형 리모델링 공사<br>건설폐기물 관리 사각지대 | **(기술적 난제)**<br>**① 구조물 존치 후 부분 해체**<br>- 절단 방식의 해체 공법 적용에 따른 환경 문제 발생<br>- 전단근 완전 절단에 따른 신규 보강근의 확보 방안<br>**② 리모델링 공사 폐기물 관리 어려움**<br>- 5톤 미만의 소규모 리모델링 공사 폐기물 관리 사각 지대<br>**(한계점)**<br>**① 철근 콘크리트의 부분 해체 공법의 부재**<br>- 철근 완전 절단 공법 활용의 불가피<br>**② 소규모 배출 폐기물 관리 방법의 한계**<br>- 신고 예외 대상<br>**(기술적 해결 방안)**<br>**① 철근 존치 부분 해체 기술 활용**<br>- 워터젯 및 레이저 활용( 폐수 처리 대책 수립)<br>**② 성상별 해체 기술 개발**<br>- 성상별 해체 기술<br>**(동 사업 기술도출)**<br>- RC 구조물의 부분 해체 기술 및 소규모 배출 폐기물의 보관 배출 관리 기술 |

## 2. 문제, 추진전략 및 핵심 기술 연계성

■ 동 사업의 이슈/문제는 SWOT 분석에서 도출된 추진 방향과 직접적인 연결 관계 형성

– 본 사업에서 해체결하고자 하는 각각의 문제는 국내외 환경과 역량을 감안한 최적의 추진 전략을 통해 중점분야 기술을 개발함으로써 해결 가능

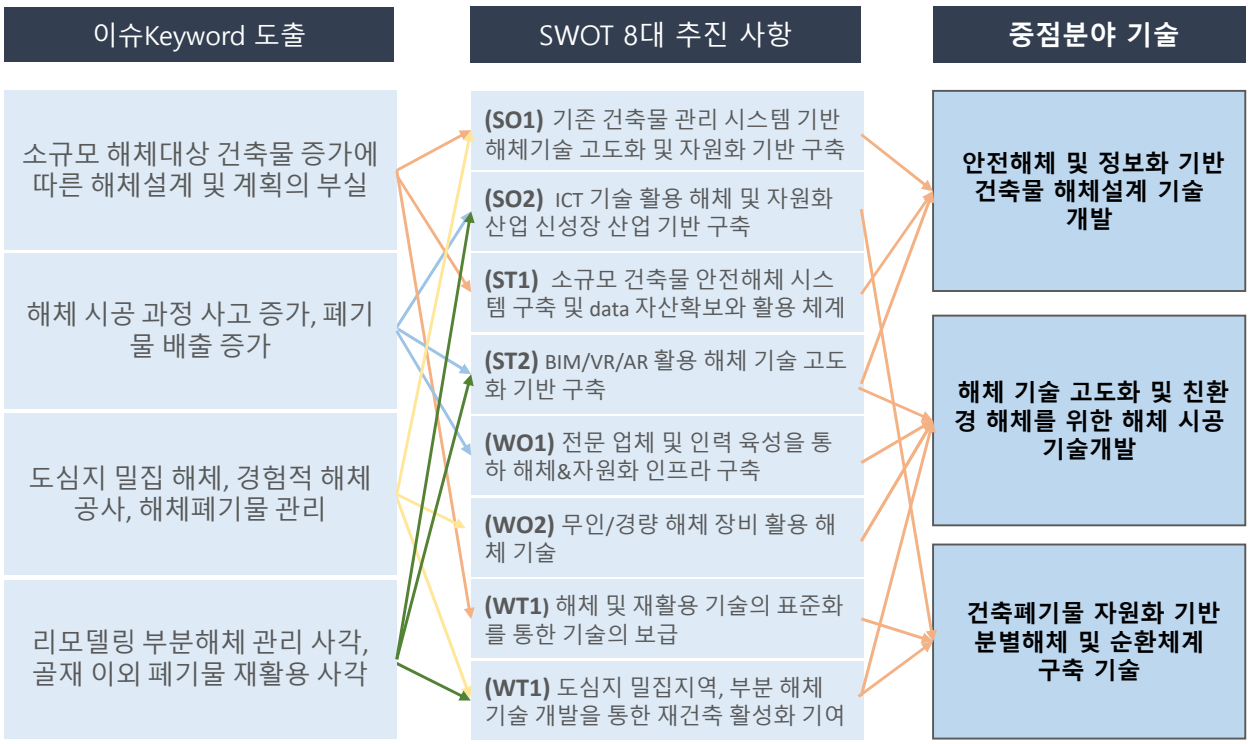



그림 4.23 문제/이슈, 추진전략 및 핵심기술 간 연계성

# 제 5장 구성기술 도출

## 1절. 기획수행 체계

■ 기획수행 체계는 국토교통부 주관 하에 총괄기획위원회 1개, 1개의 기획위원회로 구성되며, 기획위원회는 구성기술별 총 3개의 분야로 나누어짐

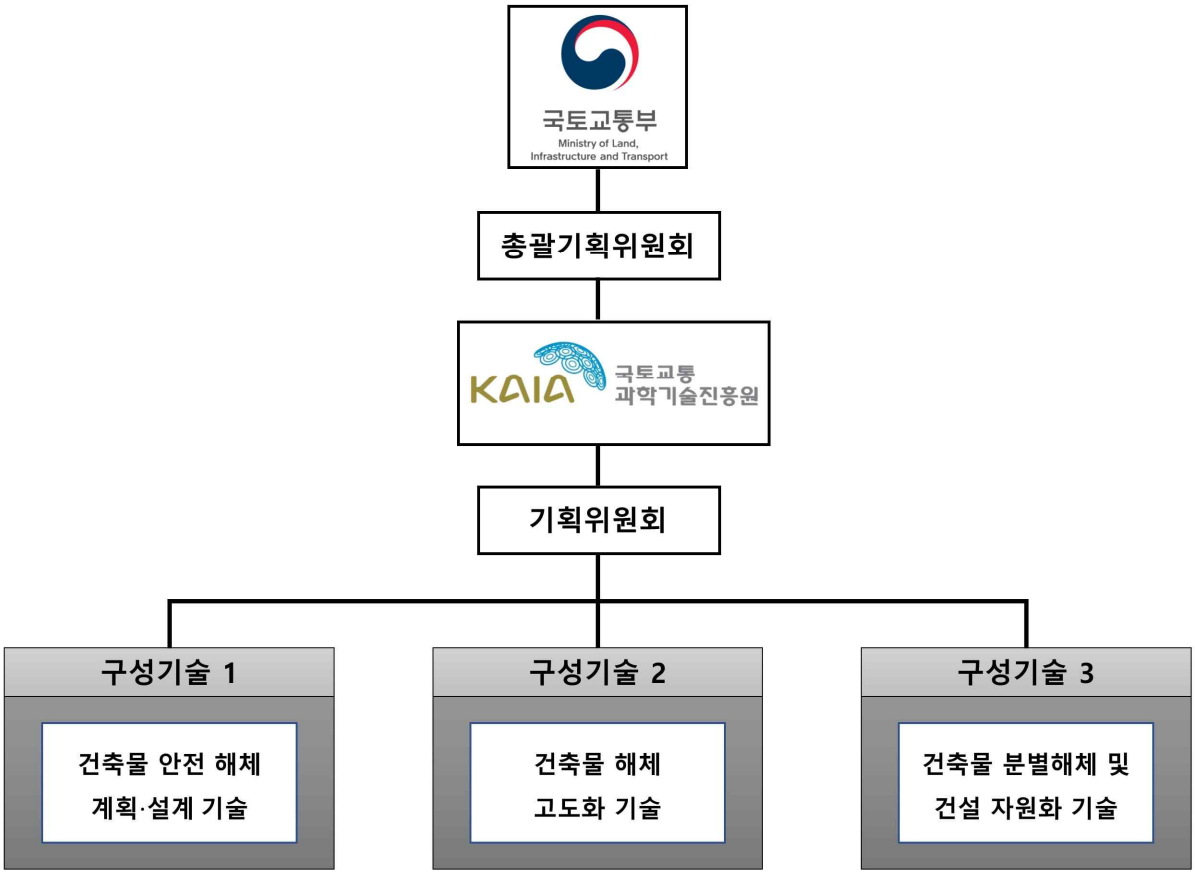



그림 5.1 기획수행 체계

■ **(총괄기획위원회)** 거시적 관점의 사업 추진방향 및 기획분과 세부기획 결과 등을 심의하며, 그 구성은 다음과 같음

〈표 5.1〉 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 총괄기획위원회

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 분야 | 기관구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 주관부처 | 김연희 | 국토교통부 | 과장 | 사업총괄 | 관 |
| | 이지연 | 국토교통부 | 사무관 | 사업총괄 | 관 |
| 간사기관 | 류상봉 | 국토교통과학기술진흥원 | 그룹장 | 기획총괄 | 공 |
| | 김태형 | 국토교통과학기술진흥원 | PD | 기획담당 | 공 |
| 외부위원 | 김효진 | 한국토지주택공사 | 실장 | 해체기술 | 공 |
| | 최영호 | 한국로봇융합연구원 | 센터장 | 로봇센서 | 연 |
| | 이원표 | 한국건설자원협회 | 본부장 | 순환자원 | 협 |

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 분야 | 기관구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 외부위원 | 박종훈 | 한국목재재활용협회 | 팀장 | 폐목재재활용 | 협 |
| | 정오진 | 한국바이닐환경협회 | 국장 | PVC재활용 | 협 |
| | 김영주 | 한국판유리창호협회 | 본부장 | 폐유리재활용 | 협 |
| | 박훈 | 코리아카코 | 수석연구원 | 해체설계 | 산 |
| | 신재경 | 선공 | 대표이사 | 해체설계 | 산 |
| | 박영준 | 성수프론티어 | 부사장 | 해체시공 | 산 |
| | 도형록 | 성도건설 | 부사장 | 해체시공 | 산 |
| | 이경수 | 신원이엔지개발 | 차장 | 해체설계 | 산 |
| | 하현석 | 하이테크알파 | 이사 | 해체설계 | 산 |
| | 김진관 | 진명산업개발 | 전무 | 해체설계 | 산 |
| | 최재수 | 옥당산업 | 차장 | 해체시공 | 산 |
| | 최연왕 | 한국건설순환자원학회 | 회장 | 폐기물자원화 | 학 |
| | 조원익 | 하나케이텍 | 소장 | 순환골재 | 산 |
| | 임홍락 | 홍진환경 | 대표이사 | 순환골재 | 산 |

■ **(기획위원회)** 구성기술을 도출하고 세부기획 보고서를 작성함

<표 5.2> 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 기획위원회

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 분야 | 기관구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 주관 | 송태협 | 한국건설기술연구원 | 선임위원 | 기획총괄 | 연 |
| | 채창우 | 한국건설기술연구원 | 선임위원 | 폐기물자원화 | 연 |
| | 장경필 | 한국건설기술연구원 | 박사후연구원 | 해체시공 | 연 |
| | 김상희 | 한국건설기술연구원 | 신진연구원 | 해체설계 | 연 |
| | 최기선 | 한국건설기술연구원 | 연구위원 | 해체안전 | 연 |
| | 이세현 | 한국건설기술연구원 | 선임위원 | 폐기물자원화 | 연 |
| | 윤상혁 | 한국건설기술연구원 | 박사후연구원 | 폐기물자원화 | 연 |
| | 서명배 | 한국건설기술연구원 | 연구위원 | 해체설계 | 연 |
| | 김도겸 | 한국건설기술연구원 | 선임위원 | 해체설계 | 연 |
| 공동 | 박남규 | 태성에스엔아이 | 연구소장 | 해체설계 | 산 |
| | 이정훈 | 태성에스엔아이 | 책임연구원 | 해체설계 | 산 |
| | 김승현 | 태성에스엔아이 | 책임연구원 | 해체설계 | 산 |
| | 김정수 | 태성에스엔아이 | 책임연구원 | 해체설계 | 산 |
| 외부 | 신재호 | 에스앤아이인스티튜트 | 대표 | 경제성평가 | 산 |

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 분야 | 기관구분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 외부 | 정상기 | 에스앤아이인스티튜트 | 대표 | 사업성평가 | 산 |
| | 김지영 | 힐엔지니어링 | 이사 | 연구개발컨설팅 | 산 |
| | 이준서 | 법무법인 케에씨엘 | 변리사 | 특허분석 | 산 |
| | 주백석 | 금오공과대학교 | 교수 | 해체장비, 로봇 | 학 |
| | 류동우 | 대진대학교 | 교수 | 폐기물자원화 | 학 |
| | 유무영 | 대진대학교 | 교수 | 해체설계 | 학 |

# 2절. 기술수요 조사 및 중점 연구 분야 도출

## 1. 조사 목적 및 방법

■ **(조사목적)** 기술개발 기획의 적절성 확보 및 구성기술 도출을 위해 산·학·연을 대상으로 기술수요 조사를 수행하였으며, 그 결과를 수요자 중심의 실효성 있는 기술개발 과제 발굴에 활용하고자 함

■ **(조사대상)** 국토교통 유관분야 연구책임자, 참여연구원, 기획위원회 위원, 해체 업체, 폐기물 자원화 관련 협회 등

- **(연구책임자)** 건설기술연구 등 국토교통 분야 유관사업 연구책임자
- **(참여연구원)** 건설기술연구 등 국토교통 분야 유관사업 참여연구원
- **(외부전문가)** 기획위원 등 해체설계, 해체시공, 폐기물 자원화 분야 전문가
- **(학회 및 협회)** 대한건축학회, 한국건설순환자원학회, 한국건축시공학회, 한국폐기물자원순환학회, 비계구조물해체공사협의회, 한국콘크리트학회, 한국구조물진단유지관리공학회, 한국건설자원협회, 한국목재재활용협회, 한국바이닐환경협회, 한국판유리창호협회

## 2. 기술수요 조사

■ **(조사기간)** 2021.07.14 ~ 2021.07.30

■ **(조사방법)** 이메일을 통한 서면조사

「건축물 해체기술 및 건축폐기물 자원화 기술개발 기획」
**기 술 수 요 조 사**

안녕하십니까?

본 조사는 한국건설기술연구원에서 국토교통기획연구 사업으로 수행중인 **"건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발 기획"**의 기술발굴을 목적으로 하고 있습니다.

본 수요조사를 통하여 선정된 기술에 대한 내용은 건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발사업이 실질적인 과제 추진 시 적극 반영될 예정입니다.

귀하께서 제출하신 내용은 국가연구개발사업의 연구과제를 도출하는 기초자료 이외에는 사용되지 않고, 절대 비밀이 보장되오니 바쁘시더라도 귀한 시간을 내시어 기술수요조사에 응해주시면 감사하겠습니다. 건축물해체기술고도화 및 건축폐기물자원화 기술개발사업의 기획·추진에 귀하의 소중한 의견이 유용하게 활용될 수 있도록 많은 협조와 지원을 부탁드립니다.

2021년 07월

[붙임자료]
1. 기술수요조사 대상 사업 범위
2. 기술수요조사서 양식
3. 기술수요조사서 작성 예시

[제출 및 문의]
□ 조사기관 : 한국건설기술연구원 / 국토교통과학기술진흥원
□ 제출기한 : 2021년 7월 30일
□ 제출방법 : 기술수요조사 양식(붙임 2) 작성 후 이메일 제출
□ 제출문의 : 한국건설기술연구원(031-910-0352, thsong@kict.re.kr)

개인정보 취급방침

1. 개인정보의 처리 목적
'건축물해체기술고도화 및 건축폐기물자원화 기술개발사업 기획'은 이용자 확인을 위한 목적으로 귀하의 개인정보를 수집·이용하고 있습니다. 수집방법에 따른 구체적인 수집 및 이용목적은 다음과 같습니다.
- '건축물 해체기술고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발사업' 제안자 본인 확인을 위한 정보 수집

2. 처리하는 개인정보의 항목 및 처리 방법
'건축물해체기술고도화 및 건축폐기물자원화 기술개발사업'은 서비스제공을 위하여 필요한 최소한의 범위 내에서 아래와 같이 개인정보를 수집하고 있습니다. (성명, 소속기관, 직위, 연락처, 이메일 주소)
본 설문에서 응답해주시는 정보는 법률 제11690호 개인정보보호법 제15조(개인정보 수집/이용)에 의거 보호 받을 수 있으며, 동법 제21조(개인정보의파기)에 의거 조사 종료 후 파기되오니 안심하시고 원활한 연구진행이 될 수 있도록 본 조사에 참여해 주시면 감사하겠습니다.

**붙임 1** 기술수요조사 대상사업의 범위

| 분 야 | 기술 정의 및 범위 | |
|---|---|---|
| ①건축물 해체 기술제도 | 기술정의 | ○ 국내 해체공사 특성 및 사고원인을 고려한 문제해결 및 안전확보를 위한 해체 진단·설계·시공·모니터링 등 전과정의 장비, 공법, 기술, 제도 개발 분야 |
| | 기술범위(예시) | ○ 해체 건축물 신속 진단 및 정보구축 기술<br>○ 해체 건축물 공정별 하중변화를 고려한 역설계 기술<br>○ 도심지 밀집 지역 안전해체를 위한 경량·소형 무인/원격 장비 기술<br>○ 위험·장애공정 가상해체를 통한 안전해체 기술<br>○ 지하구조물 안전해체 기술<br>○ 해체 건축물 수직·수평구조 전도·붕괴방지 보강기술<br>○ 해체 건축물 실시간 모니터링 기술<br>○ 소규모 건축물 안전해체 기술 등 |
| ②건축 폐기물 자원화 기술제도 | 기술정의 | ○ 건축물 해체단계부터 이물질 혼입이 없는 해체공정과 고품질 자원화를 위한 다양한 성상의 건축폐기물 재활용 기술과 이를 현장에서 건설자원으로 활용할 수 있는 순환체계 구축 기술 |
| | 기술범위(예시) | ○ 3D 스캔을 활용한 해체 건축물 내장재 성상별 신속 분류 기술<br>○ 건축 내장재 재사용을 위한 주요 내부 마감재 해체 장비 기술 개발<br>○ 폐유리(목재, 수지) 활용 건축자재 생산 기술 및 생산 표준화 기술<br>○ 순환골재 활용 증대를 위한 순환체계 구축 방안 및 시범사업 |
| ③기타 | 기술정의 | ○ 상기 건축물 해체 및 자원화 기술 정의에 포함되지 않은 관련 기술·제도 전 분야 |
| | 기술범위(예시) | ○ 도심지 해체공사 분진·소음·폐수 저감을 위한 친환경 구조물 해체기술 개발<br>○ 순환자원 활용한 건설 현장 품질관리 및 성능 확인 기술 |

그림 5.2 기술수요 조사서 양식 - 1

**붙임 2** 해체 기술고도화 및 폐기물 자원화기술개발 기술수요조사

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 과제명(기술명) | □ 000 기술<br>※ 제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현 | | | |
| 기술 분류<br>(해당란에 v표시) | 1 건축물 해체 기술제도 ( O )<br>2 건축 폐기물 자원화 기술제도 ( )<br>3 기타 ( ) | | | |
| 기술의 개요<br>(정의, 개념) | □<br>○<br>※ 제안하는 기술에 대한 정의 및 개념 소개 | | | |
| 필요성 | □<br>○<br>※ 기술을 제안하는 배경, 연구의 시급성 등을 구체적으로 기술 | | | |
| 연구개발 목표 | □<br>○<br>※ 제안하는 기술의 연구개발 최종 목표 및 결과물 | | | |
| 연구내용 및 범위 | □<br>○<br>※ 제안하는 기술에 대한 세부과제 수준의 내용 및 연구범위 제안(필요시 그림첨부 가능) | | | |
| 산출물 | | | | |
| 기대 및 파급효과 | 경제사회적 관점 | ※ 제안하는 연구개발 결과 얻어지는 효과 | | |
| | 과학기술적 관점 | ※ 제안하는 연구개발 결과 얻어지는 효과 | | |
| 예상 과제규모 | 연구비(연간) | 백만원 | 연구기간 | 년 |
| 제안자 인적 사항 | 성명 | | 소속기관 | |
| | 직위 | | 연락처 | |
| | E-mail | | | |
| 본 연구 참여의사<br>(해당란에 v표시)<br>※ 향후 "건축물 해체기술고도화 및 건축폐기물자원화 기술개발 연구단"에 참여 할 의사 표시 | □ 예 □ 아니오 | | | |

**붙임 3** 기술수요조사 작성 예시

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 과제명(기술명) | ooo 기술 | | | |
| 기술 분류<br>(해당란에 v표시) | □ 안전해체를 위한 해체설계<br>■ 경량소형, 원격무인 장비 개발<br>□ 분별해체 기술<br>□ 기타( ) | | □ 해체건축물 정보 획득<br>□ 지하구조물 등 애로공정<br>□ 자원화 및 순환체계 구축 | |
| 기술의 개요<br>(정의, 개념) | ○ 소형 건축물 Top down 시공이 가능한 소형 원격 압쇄장비 개발<br>- 6층 이하 소형 건축물 탐재를 위한 경량 소형 장치와 영상과 햅틱 기술을 적용한 원격 무인 해체 장비 개발 기술 | | | |
| 필요성 | ○ 지상 장비를 활용한 소형 건축물 해체 공법 적용에 따른 전도 붕괴에 따른 재해 사고의 증가<br>- 소형 건축물 해체 중 수직 구조물의 전도에 의한 사고비율 25% 점유<br>- 해체 대상 부위를 직접 확인하면서 해체가 가능한 장비 탑재 방식을 적용하되 소형 건축물 해체에 최적화 할 수 있는 경량성 장비 요구<br>- 기존 연구개발을 통하여 기본적인 햅틱 기술 보유, 5G 이용 실시간 대용량 햅틱 기술을 활용한 원격 무인 장치 개발 필요 | | | |
| 연구개발 목표 | ○ 소형 건축물 Top down 시공이 가능한 차체 중량 2톤 미만 경량 소형 무인 압쇄 장비 개발 | | | |
| 연구내용 및 범위 | ○ 5G 기술을 적용 실시간 대용량 운전 기술<br>○ 1개 층 해체 작업이 가능한 무인/원경 압쇄 장비 | | | |
| 산출물 | ○ Prototype 소형 경량 무인/원격 압쇄장비 | | | |
| 기대 및 파급효과 | 경제사회적 관점 | ○ 소규모 해체공사 안전해체 기반 구축<br>○ 소규모 건축물 적정 해체장비 활용에 따른 해체공사비용 경제성 확보<br>○ Top down 적용에 따른 해체안전 확보 및 직접 확인 해체를 통한 해체 효율성 증가 | | |
| | 과학기술적 관점 | ○ 5G 기술을 이용한 건설장비 실시간 대응 기술 확보<br>○ 스마트 기술 적용에 따른 해체 공사 고도화 | | |
| 예상 과제규모 | 연구비(연간) | 000 백만원 | 연구기간 | 0년 |
| 제안자 인적 사항 | 성명 | 홍 길 동 | 소속기관 | oo 대학교 |
| | 직위 | 교수 | 연락처 | 010-0000-0000<br>(031-000-0000) |
| | E-mail | oooo@oooo.ac.kr | | |
| 본 연구 참여의사<br>(해당란에 v표시)<br>※ 향후 "건축물 해체기술고도화 및 건축폐기물자원화 기술개발 연구단"에 참여 할 의사 표시 | ■ 예 □ 아니오 | | | |

그림 5.3 기술수요 조사서 양식 - 2

## 3. 기술수요 조사 결과

■ **(중점분야별 배분)** 수행된 기술수요 조가 결과에 대해 연구진으로 구성된 기획위원회에서 해체설계 분야, 해체시공 분야, 고품질 자원화 분야 3가지 기술로 분류

- 총 55건의 기술수요 조사서가 제출됨
- 해체설계, 해체시공, 고품질 자원화 3가지 기술로 분류한 결과를 <표 5.3>에 나타냄. 해체설계 분야에서 18개의 기술수요 조사서가 제출되었으며, 주요 키워드로는 3D 스캐닝, ICT 역설계, 잔존 내하력 진단 및 평가, IoT, BIM, 가상 시뮬레이션 등 안전한 해체시공을 위한 시스템을 구축할 수 있는 기술들이 많이 제출됨
- 해체시공 분야에서는 해체 작업장 근접 경고 시스템, 해체시공 장비, 안전 모니터링 기술, 모듈식 해체 등 19개의 기술수요 조사서가 제출됨. 고품질 자원화 분야에서는 18개의 기술수요 조사서가 제출되었으며, 폐콘크리트 및 폐건축자재 재활용 기술, 폐유리 재활용 내화 단열패널, 폐목재 및 폐합성수지 재활용 기술, AI 기반 스마트 자원순환 관리 플랫폼 등 다양한 항목으로 제출되었음

<표 5.3> 기술수요 조사 수집 결과

| 분야 | 수요조사 번호 | 제안 기술명 |
|---|---|---|
| 해체 설계 | 1 | 건축물 기본 정보 기반 소규모 건축물 유형 분류 및 해체 건축물 신속 진단 기술 |
| | 2 | 도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 및 사양적 해체 설계기술 |

| 분야 | 수요조사 번호 | 제안 기술명 |
|---|---|---|
| | | 개발 |
| | 3 | 드론 영상 분석과 3D 스캐닝을 이용한 건축물 안전 해체 모니터링 기술 |
| | 4 | 중소 건축물 잔존 내하력 진단평가 정량화 및 구성 재료 신속 분류 기술 |
| | 5 | 내력 부위 및 바닥 구성재료 신속 분류 기술 개발 |
| | 6 | ICT 역설계 기술을 활용한 건축물 해체 시뮬레이션 기술 |
| | 7 | 노후건축물 ICT 역설계모델 기반 가속 구조물해체 시뮬레이터 개발 |
| | 8 | 도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 개발 및 위험도 유형 분류 |
| | 9 | BIM 기반 해체 폐기물 산정 및 해체공사 원가 분석 기법 개발 |
| | 10 | 중소규모 해체공사 건축물의 잔존 내하력 진단평가 기술 개발 |
| | 11 | 건축물 해체 위험 공정 분석 기술 |
| | 12 | BIM 기반 해체계획서 자동화 작성을 위한 폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술 개발 |
| | 13 | IoT 기반 도심지 밀집지역 해체관리 시스템 개발 |
| | 14 | 3D·Virtual 시뮬레이션을 통한 위험/장애 공정 가상 해체 기술 개발 |
| | 15 | 해체 건축물 안전성, 환경성, 경제성 분석과 해체계획서 자동화를 위한 시스템 개발 |
| | 16 | 해체공사 BIM 기반 안전성, 환경성, 경제성 종합평가 및 성과관리 시스템 구축 |
| | 17 | 해체공정 3D 가상 Virtual 시뮬레이션 및 위험 예측 기술 |
| | 18 | BIM 기반 해체설계 모델 개발 |
| 해체 시공 | 19 | 해체 작업장 근접 경고 시스템 |
| | 20 | 5G(6G) 활용 실시간 연동 Haptic 해체장비 기술 개발 |
| | 21 | 위험/장애 공정 해체 시공을 위한 무인·원격 장비 개발 |
| | 22 | 위험/장애 공정 해체 시공 전용 시공장비 개발 |
| | 23 | 타임랙 최소화 센서/영상 기반 안전 모니터링 기술 개발 |

| 분야 | 수요조사 번호 | 제안 기술명 |
|---|---|---|
| | 24 | 개방형 모니터링 기술 개발 |
| | 25 | RC 구조물 모듈식 해체기술 및 양중 시스템 기술 개발 |
| | 26 | 모듈식 경량 서포트 및 가시설 기술 개발 |
| | 27 | RC 구조물 절단에 따른 소음・분진・폐수 관리 기술 및 외부 가시설 기술 개발 |
| | 28 | RC 구조물 모듈식 해체공법 및 모듈화 장비 기술 개발 |
| | 29 | 하중 구조 반영 가시설 실시간 내하력 평가 및 모니터링 연계 기술 개발 |
| | 30 | Saw 및 물 활용에 따른 소음/분진 관리 및 폐수 순환 활용 시스템 기술 개발 |
| | 31 | 분진・소음・진동 최소화 RC 구조물 절단 장비 기술 개발 |
| | 32 | 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발 |
| | 33 | 전단근 활용 RC 구조물 부분 절단 기술 개발 |
| | 34 | 콘크리트 절단부 신속 면취 기술 개발 |
| | 35 | 센서・영상 기반 안전 모니터링 기술 및 해체현장 개방형 모니터링 시스템 |
| | 36 | 부분해체 RC 구조물 취약화 기술 개발 |
| | 37 | 해체공사 시 발생하는 분진 제어를 위한 거품 분사공법 개발 |
| 고품질 자원화 | 38 | 고전압 펄스를 활용한 친환경 폐콘크리트 및 폐건축자재 재활용 기술 개발 |
| | 39 | 건축물 해체 폐유리를 재활용한 FAAB(Foamed Alkali-Activated Binder) 내화 단열패널 기술 개발 |
| | 40 | 건축물 해체 및 해체 폐기물 순환체계 구축을 위한 시범 사업 |
| | 41 | 건설 폐목재 및 폐합성수지를 재활용한 자원순환 합성목재 제조기술 개발 |
| | 42 | 순환골재의 모르타르 제거 기술 개발 및 제거된 모르타르의 활용기술 개발 |
| | 43 | 폐콘크리트를 이용한 콘크리트용 순환골재 생산시스템 구축 |
| | 44 | 초임계 CO2 탄산화 개질 순환골재를 사용한 30MPa급 콘크리트 제조기술 개발 |
| | 45 | 분별해체 목재 활용 합판 및 섬유판 제조기술 개발 |

| 분야 | 수요조사 번호 | 제안 기술명 |
|---|---|---|
| | 46 | 클라우드 AI기반 스마트 자원순환 관리 플랫폼 기술 |
| | 47 | 창호 프레임(합성수지/목재/알루미늄) 해체기술 및 해체현장 폐유리 회수 기술 개발 |
| | 48 | 건설 폐유리를 활용한 골재 및 단열·내화성능용 발포블록 기술 개발 |
| | 49 | 건식 보드류 및 섬유류 해체기술 및 현장 감량화 기술 개발 |
| | 50 | 5종 건축 내장재 분별해체 장비 개발 및 현장 감량화 시스템 개발 |
| | 51 | 유리/섬유/보드류 재활용 기술 개발(G to G) |
| | 52 | 건축물 안전·분별 해체 시범 시공 |
| | 53 | 순환골재 품질 고도화 기술 개발 및 콘크리트 활용 표준 개발 |
| | 54 | 중앙정부 - 지자체 - 해체발주자 - 자원화 - 재활용 연계 안전해체 및 자원화 구현 체계 구축 |
| | 55 | 30MPa 급 적용 가능 순환골재 품질 고도화 기술 개발 |

## 4. 연구 분야 세분화

■ 4장의 중점분야 도출과 기술수요 조사 결과를 바탕으로 해체설계, 해체시공, 고품질 자원화 3개 분야를 대분류로 하여 각 분야를 중분류·소분류로 나누고 세분화 함

<표 5.4> 연구 분야 분류

| 대분류 | 중분류 | 소분류 |
|---|---|---|
| 해체 설계 | 1 건축물 안전 해체계획·설계 기술 | 1-① 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술 |
| | | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 |
| | | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 |
| 해체 시공 | 2 건축물 해체 시공 장비 및 공법 | 2-① 원격 해체 장비 기술 |
| | | 2-② 모듈식 해체용 장비 및 공법 |
| | | 2-③ RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 |
| 고품질 자원화 | 3 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 | 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체 폐기물 현장 감량화 기술 |
| | | 3-② 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 |
| | | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 |

# 3절. 기술수준 및 예측조사

## 1. 개요

### 1.1. 기술수준 및 예측조사 목적

■ '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술 개발 기획' 연구의 기술수준 및 예측조사는 관련 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술혁신 동향을 정량적으로 평가하여 구성 기술 도출을 위한 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 함

- 산·학·연 전문가를 대상으로 해체계획, 해체설계, 해체시공, 분별해체, 건설폐기물 자원화 기술의 실현시기, 기술수준, 중요도 등을 조사
- 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 기술 개발의 방향을 설정

### 1.2. 기술수준 및 예측조사 절차

■ 기술수준 및 예측조사는 아래와 같은 순으로 추진

① 기술수준/예측조사 설계

② 기술수준/예측조사 수행

③ 기술수준/예측조사 결과 분석

④ 기술수준/예측조사 결과 활용

#### (1) 기술수준/예측조사 설계

■ 기술수준/예측조사서 항목을 결정하고 기술수준/예측조사 대상자 설정

- 조사항목은 기술수준/예측조사를 수행한 선행연구의 항목을 검토하여 기술개발 추진 방향 설정에 시사점을 줄 수 있는 항목으로 구성
- 세부 기술 분야별 세계최고 기술과 국내의 기술적/사회경제적 기술실현시기, 세계최고 기술 대비 국내 기술수준, 기술격차, 격차년도, 기술개발 성숙도, 기술적 중요도, 기술획득방식, 정부우선 시행방안 등을 조사항목으로 설정

#### (2) 기술수준/예측조사 수행단계

■ 기술수준/예측조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신하며, 설문조사를 두 차례 실시하는 미니 델파이 방법을 활용

- 두 차례에 걸친 설문조사에서는 응답자별로 본인의 1차 응답결과와 전체 조사대상자 응답 통계자료를 함께 제공하고 통계자료를 확인 후 1차 응답결과를 수정할 수 있도록 하여 조사 항목별로 전문가의 합의를 유도함

### (3) 기술수준/예측조사 결과 분석 단계

■ 기술 분류 체계별 조사 결과에 대한 통계분석과 기술수준-중요도, 기술격차-격차추세, 기술기반 성숙도-중요도의 포트폴리오 분석을 수행

### (4) 기술수준/예측조사 결과 활용

■ 분석 결과를 기반으로 세부과제 기획 또는 RFP 작성 시 연구개발추진전략 설정에 활용하고 사전타당성(기술수준 및 성공가능성, 사업추진의 시급성, 기술개발 계획의 적절성) 작성 시 근거 자료로 활용

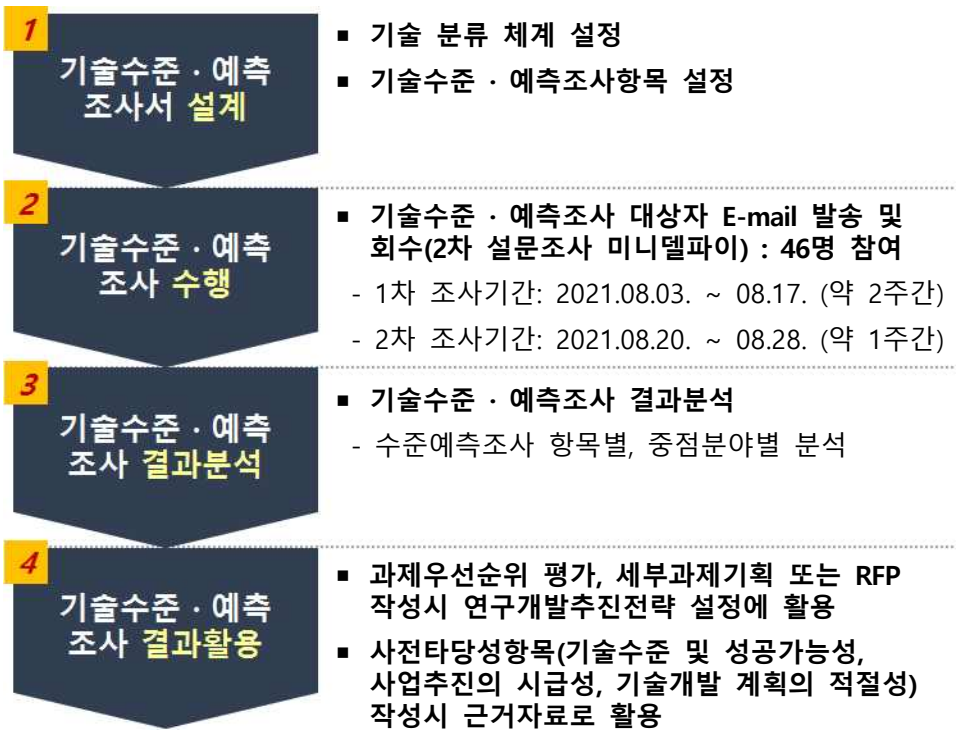



그림 5.4 기술수준/예측조사 프로세스

## 1.3. 기술수준 및 예측조사 항목 설정

### (1) 국내 기술수준 및 기술격차

■ **(국내 기술수준)** '22년 현재 시점에서 해당 기술의 최고기술 수준 대비 국내 기술수준으로 평가 기준은 다음과 같음

■ **(기술격차)** 국내 기술수준이 세계최고 기술에 도달하기까지 소용되는 시간(단위:년)

<표 5.5> 기술수준 평가 기준

| 기술수준 | 설명 |
|---|---|
| 100% | 독보적 세계최고 |
| 81% ~ 99% | 기술 분야 선도 |
| 61% ~ 80% | 선진기술의 모방개량이 가능 |
| 41% ~ 60% | 선진기술의 도입적용이 가능 |
| 1% ~ 40% | 연구개발능력이 취약 |
| 0% | 국내에서 관련 연구가 전혀 진행되고 있지 않음 |

### (2) 기술 실현시기

■ **(기술적 실현시기)** 해당 기술의 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점

■ **(사회경제적 실현시기)** 해당 기술의 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점

### (3) 기술기반 성숙도

■ **(기술기반 성숙도)** '22년 현재 시점에서 해당 기술과 관련된 국내 산업/기술 연구인력, 장비 등 인프라 수준을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시

- 기술기반 성숙도의 평가 기준은 다음과 같음

<표 5.6> 기술기반 성숙도 평가 기준

| 구분 | 설명 |
|---|---|
| 5 | 세계선도 연구인력 및 장비 등 확보 |
| 4 | 세계최고 기술수준과 동등한 수준 |
| 3 | 세계최고 기술수준보다 낮지만 자체연구개발 수행가능 인력 장비 확보 |
| 2 | 국내 관련 연구인력, 장비가 매우 적어 해외협력연구가 필요한 수준 |
| 1 | 국내 관련 연구인력, 장비 인프라 전무 |

### (4) 기술적 중요도

■ **(기술 핵심성)** 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시

- 기술 핵심성의 평가 기준은 다음과 같음

<표 5.7> 기술 핵심성 평가 기준

| 구분 | 설명 |
|---|---|
| 5 | 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 높음 |
| 4 | 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 높음 |
| 3 | 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 보통임 |
| 2 | 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 낮음 |
| 1 | 해당 기술이 '건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술' 내에서 차지하는 상대적인 중요도가 매우 낮음 |

■ **(시급성)** 해당 기술이 적정 수준을 구현해야 하는 시기를 고려하여 기술 개발이 시급한 정도를 나타내는 지표로 5점 척도로 제시

- 시급성의 평가 기준은 다음과 같음

<표 5.8> 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 매우 시급함 |
| 1 | 적정수준 구현시기를 고려 시 기술개발이 매우 시급함 |

■ **(과학기술적 파급효과)** 해당 기술이 타 요소기술 개발에 미치는 영향력을 나타내는 지표로 5점 척도로 제시

- 과학기술적 파급효과의 평가 기준은 다음과 같음

<표 5.9> 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 |

### (5) 기술획득 방식

■ **(기술획득 방식)** 해당 기술의 기술개발을 위해 적합한 연구 주체를 나타냄

- 기술획득 방식은 아래 4개 항목 중 하나를 선택하여 조사함

<표 5.10> 기술획득 방식 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 역할분담을 통해 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직함 |
| 기술도입 및 국제공동연구 | | 국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감할 수 있어 독자적 개발보다는 국제공동 개발 또는 해외 기술을 도입하는 것이 바람직함 |

### (6) 정부우선 시행방안

■ **(정부우선 시행방안)** 해당 기술의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 정책을 의미

- 정부우선 시행방안은 아래 5개 항목의 중요도 비중을 조사함

<표 5.11> 정부우선 시행방안 조사 항목

| 구분 | 설명 |
|---|---|
| 인력양성 | 해당 기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요 |
| 협력교류 활성화 | 기술의 성격상 다 학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요 |
| 인프라구축 | 기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축 필요 |
| 연구비확대 | 기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자 필요 |
| 제도개선 | 규제 완화, 정책 수립, 법규 제정, 표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선 필요 |

# 2. 기술수준 및 예측 조사 결과

## 2.1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

| 구분 | | 1. 건축물 안전 해체계획・설계 기술 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1-①<br>소규모 건축물<br>위험도 분석 및<br>사양설계 기반 기술 | 1-②<br>건축물 해체계획서<br>자동화 기술 | 1-③<br>고위험/장애 구조물<br>해체설계를 위한<br>가상해체 기술 |
| 국내기술수준 (%) | | 70.6 | 65.4 | 67.9 |
| 기술격차 (년) | | 2.65 | 3.15 | 3.07 |
| 기술적<br>실현시기<br>(년) | 세계최고기술 | ‘24 | ‘25 | ‘25 |
| | 국내 | ‘26 | ‘27 | ‘26 |
| 사회경제적<br>보급시기<br>(년) | 세계최고기술 | ‘25 | ‘26 | ‘26 |
| | 국내 | ‘27 | ‘28 | ‘27 |
| 기술기반 성숙도(5점 척도) | | 3.75 | 3.56 | 3.61 |
| 기술적<br>중요도 | 기술 핵심성<br>(5점 척도) | 4.56 | 3.42 | 4.56 |
| | 시급성<br>(5점 척도) | 4.71 | 3.25 | 4.56 |
| | 파급효과<br>(5점 척도) | 4.48 | 3.85 | 4.35 |
| 기술획득<br>방식<br>(%) | 민간 | 25.4 | 12.5 | 15.8 |
| | 정부 | 27.3 | 21.8 | 20.4 |
| | 정부/민간<br>공동 | 47.3 | 55.6 | 56.7 |
| | 기술도입 및<br>국제공동연구 | 0.0 | 10.1 | 7.1 |
| 정부우선<br>시행방안<br>(%) | 인력양성 | 13.5 | 15.3 | 16.5 |
| | 협력교류<br>활성화 | 19.6 | 19.1 | 17.4 |
| | 인프라구축 | 9.6 | 21.5 | 14.7 |
| | 연구비 확대 | 34.5 | 35.8 | 40.9 |
| | 제도개선 | 22.8 | 8.3 | 10.5 |

## 2.2. 건축물 해체 고도화 기술

| 구분 | | 2. 건축물 해체 고도화 기술 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 2-①<br>원격 해체 장비 기술 | 2-②<br>모듈식 해체용 장비 및 공법 개발 | 2-③<br>RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 |
| 국내기술수준 (%) | | 52.4 | 51.3 | 74.6 |
| 기술격차 (년) | | 3.56 | 2.59 | 3.45 |
| 기술적 실현시기 (년) | 세계최고기술 | ‘22 | ‘24 | ‘22 |
| | 국내 | ‘26 | ‘26 | ‘25 |
| 사회경제적 보급시기 (년) | 세계최고기술 | ‘22 | ‘25 | ‘23 |
| | 국내 | ‘27 | ‘27 | ‘26 |
| 기술기반 성숙도(5점 척도) | | 3.45 | 2.89 | 3.78 |
| 기술적 중요도 | 기술 핵심성 (5점 척도) | 4.35 | 3.41 | 4.15 |
| | 시급성 (5점 척도) | 3.85 | 3.35 | 3.72 |
| | 파급효과 (5점 척도) | 4.15 | 3.97 | 4.56 |
| 기술획득 방식 (%) | 민간 | 14.6 | 15.6 | 23.7 |
| | 정부 | 18.5 | 18.3 | 16.4 |
| | 정부/민간 공동 | 53.6 | 47.3 | 45.7 |
| | 기술도입 및 국제공동연구 | 13.3 | 18.8 | 14.2 |
| 정부우선 시행방안 (%) | 인력양성 | 15.1 | 13.4 | 20.6 |
| | 협력교류 활성화 | 20.5 | 24.5 | 25.1 |
| | 인프라구축 | 13.8 | 18.7 | 15.4 |
| | 연구비 확대 | 45.8 | 42.4 | 35.6 |
| | 제도개선 | 4.8 | 1.0 | 3.3 |

## 2.3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

| 구분 | | 3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술 | 3-② 골재/목재/합성수지/ 유리/섬유류 품질 고도화 기술 | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 |
| 국내기술수준 (%) | | 64.5 | 76.4 | 61.3 |
| 기술격차 (년) | | 3.46 | 2.61 | 3.16 |
| 기술적 실현시기 (년) | 세계최고기술 | ‘24 | ‘23 | ‘22 |
| | 국내 | ‘26 | ‘25 | ‘25 |
| 사회경제적 보급시기 (년) | 세계최고기술 | ‘25 | ‘24 | ‘23 |
| | 국내 | ‘27 | ‘26 | ‘26 |
| 기술기반 성숙도(5점 척도) | | 3.15 | 3.94 | 3.84 |
| 기술적 중요도 | 기술 핵심성 (5점 척도) | 4.31 | 4.25 | 4.16 |
| | 시급성 (5점 척도) | 3.78 | 4.13 | 3.82 |
| | 파급효과 (5점 척도) | 4.08 | 4.35 | 4.39 |
| 기술획득 방식 (%) | 민간 | 15.3 | 12.8 | 10.4 |
| | 정부 | 26.8 | 24.8 | 56.5 |
| | 정부/민간 공동 | 45.8 | 55.4 | 27.4 |
| | 기술도입 및 국제공동연구 | 12.1 | 7.0 | 5.7 |
| 정부우선 시행방안 (%) | 인력양성 | 15.1 | 5.6 | 8.4 |
| | 협력교류 활성화 | 16.8 | 17.9 | 15.5 |
| | 인프라구축 | 23.4 | 20.1 | 25.8 |
| | 연구비 확대 | 31.8 | 45.4 | 35.1 |
| | 제도개선 | 12.9 | 11.0 | 15.2 |

# 3. 기술수준 및 예측 분석 결과

## 3.1. 기술수준 및 기술격차

### 3.1.1. 해체 및 자원화 기술 전체

■ 전체 기술 관점에서 기술수준 평균은 64.9%, 기술격차는 3.08년으로 조사됨

- 기술수준이 상대적으로 낮은 분야는 건축물 해체 고도화 기술로 전체 평균 64.9%에 비해 약 5.5% 정도 낮은 것으로 예측됨
- 기술격차가 상대적으로 가장 작은 분야는 건축물 안전 해체계획·설계 기술로 약 2.96년의 기술격차가 보이는 것으로 예측되었고, 가장 큰 분야는 건축물 해체 고도화 기술로 3.20년의 기술격차가 있는 것으로 예측됨
- 향후 기술수준 향상 및 기술격차를 줄이기 위한 전략적 R&D 기획이 필요할 것으로 판단됨

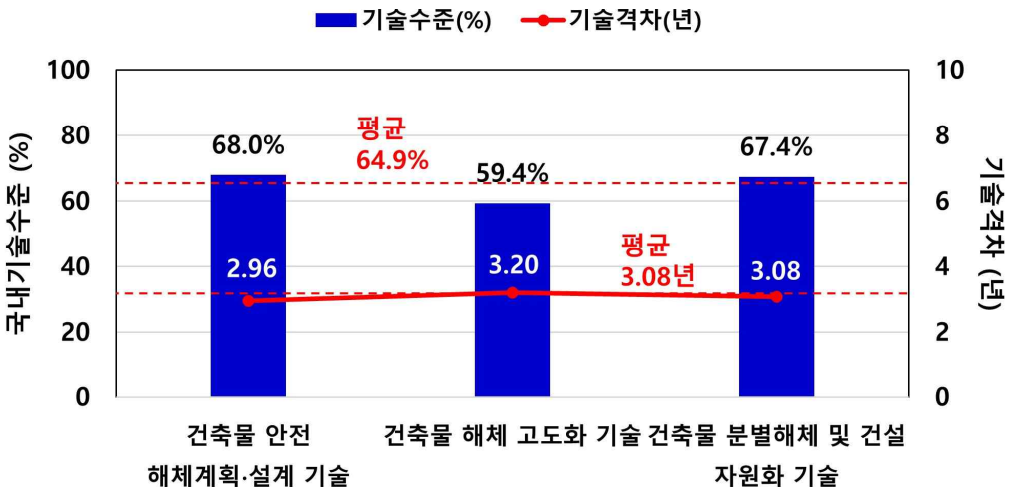



그림 5.5 해체 및 자원화 기술 전체에 대한 기술수준 및 기술격차

### 3.1.2. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점에서 기술수준 평균은 68.0%, 기술격차는 2.96년으로 조사됨

- 기술수준이 상대적으로 낮은 분야는 건축물 해체계획서 자동화 기술로 전체 평균 68.0%에 비해 약 2.5% 정도 낮은 65.4%인 것으로 예측됨
- 기술격차가 상대적으로 가장 작은 분야는 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술로 약 2.65년의 기술격차가 보이는 것으로 예측되었고, 가장 큰 분야는 건축물 해체계획서 자동화 기술로 약 3.15년의 기술격차가 있는 것으로 예측됨
- 향후 기술수준 향상 및 기술격차를 줄이기 위한 전략적 R&D 기획이 필요할 것으로 판단됨

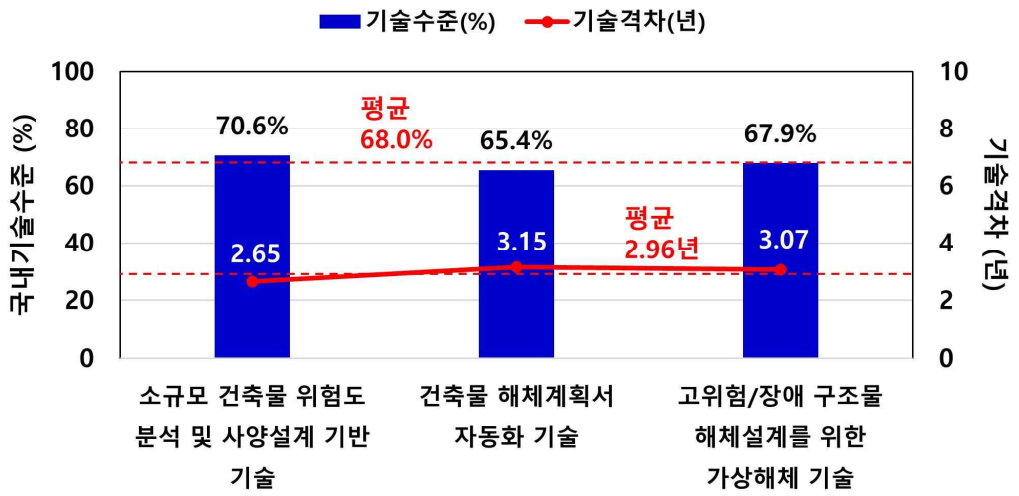



그림 5.6 건축물 안전 해체계획·설계 기술에 대한 기술수준 및 기술격차

### 3.1.3. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 관점에서 기술수준 평균은 59.4%, 기술격차는 3.20년으로 조사됨

- 기술수준이 상대적으로 낮은 분야는 건축물 해체계획서 자동화 기술로 전체 평균 68.0%에 비해 약 2.5% 정도 낮은 65.4%인 것으로 예측됨
- 기술격차가 상대적으로 가장 작은 분야는 모듈식 해체용 장비 및 공법 기술로 약 2.59년의 기술격차가 보이는 것으로 예측되었고, 가장 큰 분야는 원격 해체 장비 기술로 약 3.56년의 기술격차가 있는 것으로 예측됨
- 향후 기술수준 향상 및 기술격차를 줄이기 위한 전략적 R&D 기획이 필요할 것으로 판단됨

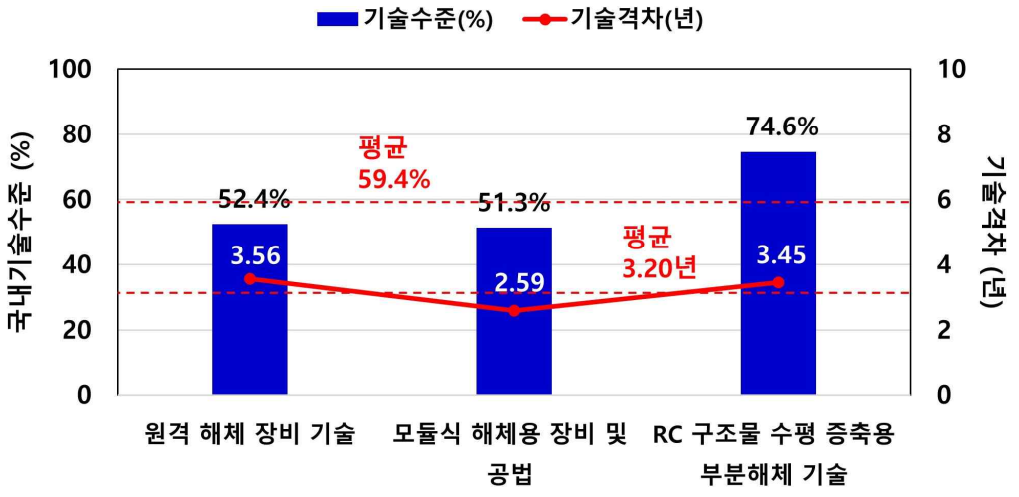



그림 5.7 건축물 해체 고도화 기술에 대한 기술수준 및 기술격차

### 3.1.4. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점에서 기술수준 평균은 67.4%, 기술격차는 3.20년으로 조사됨

- 기술수준이 상대적으로 낮은 분야는 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업으로 전체 평균 67.4%에 비해 약 6.1% 정도 낮은 61.3%인 것으로 예측됨
- 기술격차가 상대적으로 가장 작은 분야는 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술로 약 2.61년의 기술격차가 보이는 것으로 예측되었고, 가장 큰 분야는 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술로 약 3.46년의 기술격차가 있는 것으로 예측됨
- 향후 기술수준 향상 및 기술격차를 줄이기 위한 전략적 R&D 기획이 필요할 것으로 판단됨

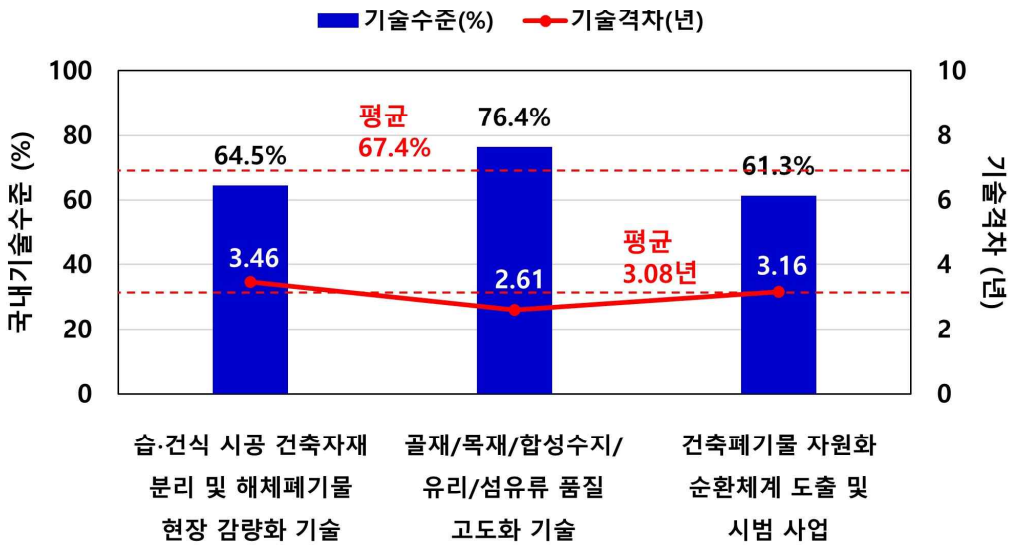



그림 5.8 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술에 대한 기술수준 및 기술격차

## 3.2. 국내·외 기술 실현시기

### 3.2.1. 해체 및 자원화 기술 전체

■ 전체 기술 관점에서 세계최고 기술수준은 국내보다 약 2년 앞서 기술이 실현될 것으로 보이며, 이후 약 1년 정도의 격차를 두고 사회경제적으로 실현될 것으로 예측됨

- 세계최고 기술수준의 기술적 실현시기는 2024년 전후로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2026년에서 2028년도가 응답수가 가장 많았음
- 세계최고 기술수준의 사회경제적 실현시기는 2025년 전후로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2027년 전후로 응답수가 가장 많았음
- 분석된 결과를 바탕으로 기술 개발 추진계획(기술로드맵) 수립 필요
- 상용화를 고려한 계획 수립을 통해 국내와 세계수준 사이의 격차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨

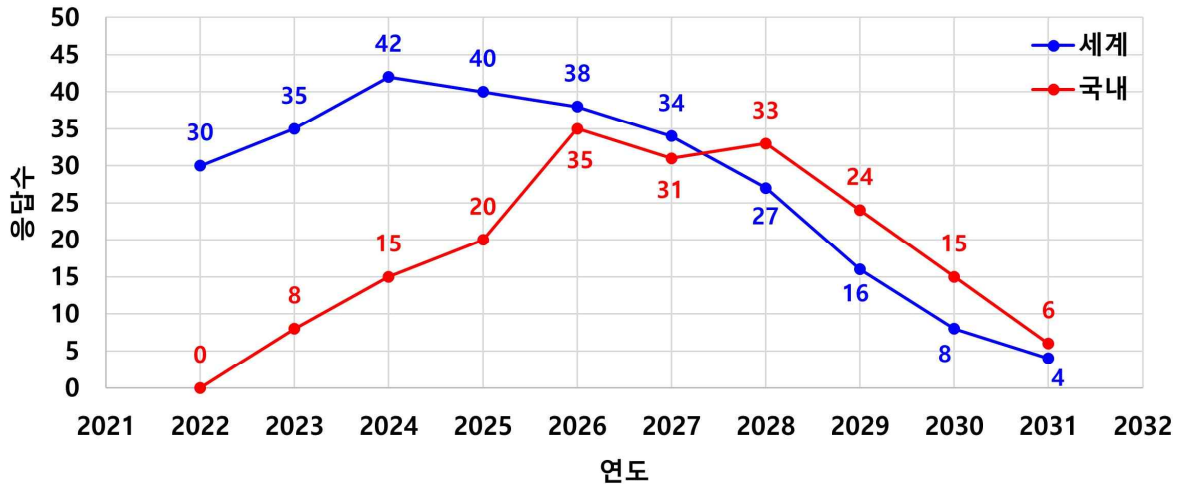



그림 5.9 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서 기술적 실현시기 예측 결과

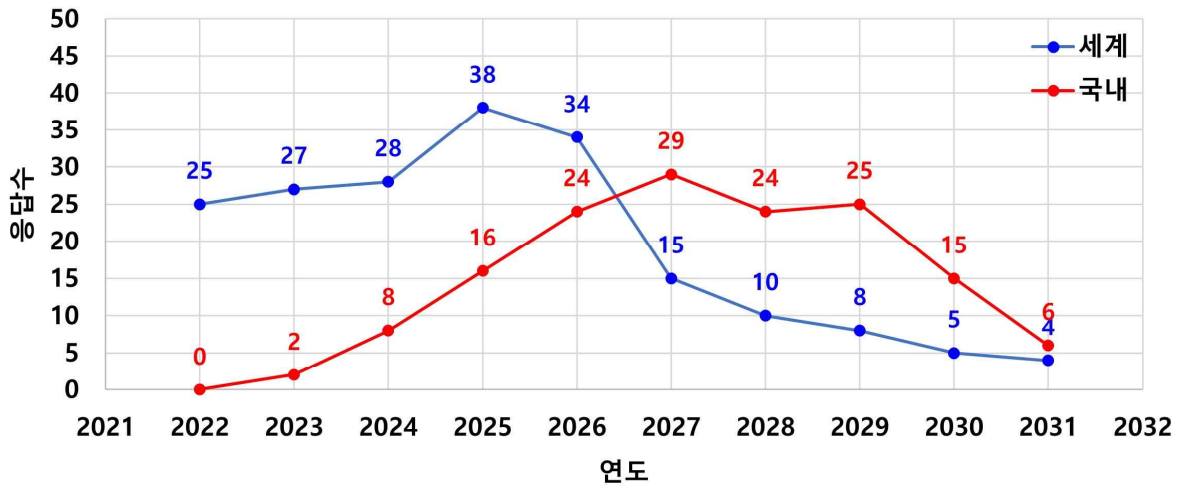



그림 5.10 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서 사회경제적 실현시기 예측 결과

### 3.2.2. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점에서 세계최고 기술수준은 국내보다 약 1년 앞서 기술이 실현될 것으로 보이며, 이후 약 1년 정도의 격차를 두고 사회경제적으로 실현될 것으로 예측됨

- 세계최고 기술수준의 기술적 실현시기는 2025년 전후로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2026년에서 2028년도가 응답수가 가장 많았음
- 평균적으로 기술적 실현시기는 세계최고 기술수준이 국내보다 약 2년 정도 앞서고 있는 것으로 예측됨
- 세계최고 기술수준의 사회경제적 실현시기는 2026년이 16건으로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2027년 전후로 응답수가 가장 많았음
- 사회경제적 실현시기도 기술적 실현시기와 마찬가지로 약 1~2년 정도 앞서 실현될 것으로 예상됨

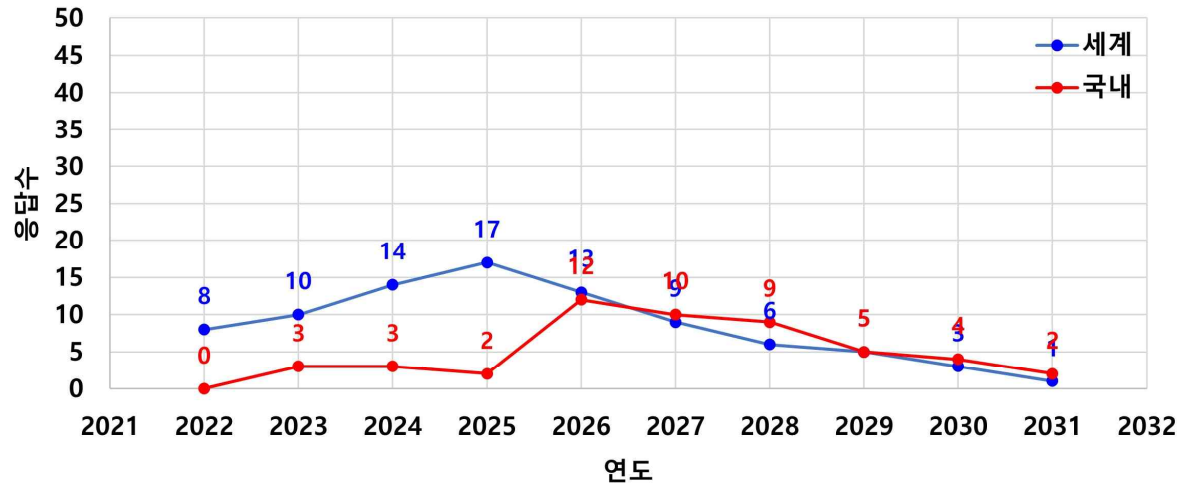



그림 5.11 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과

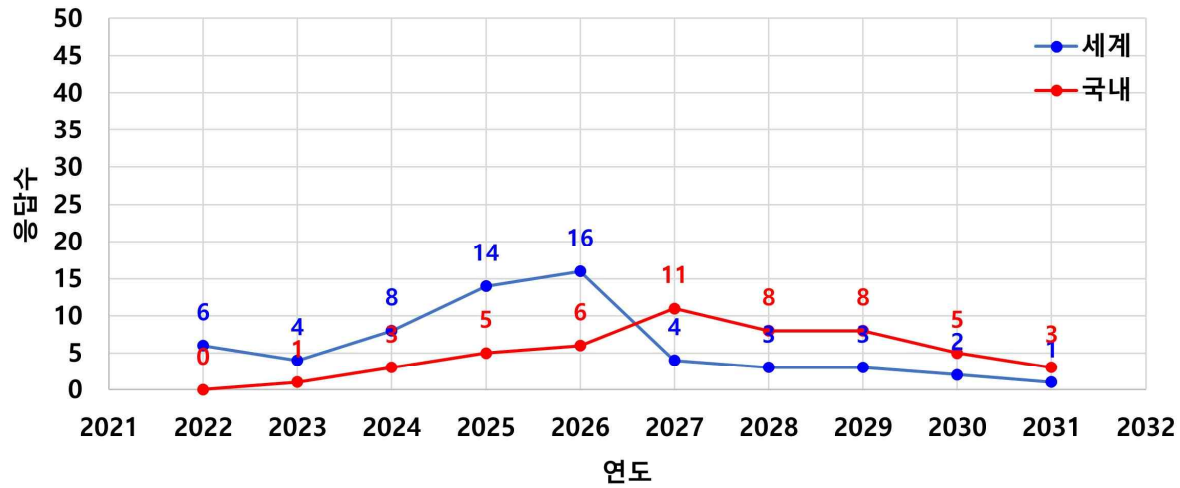



그림 5.12 건축물 안전 해체계획·설계 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과

### 3.2.3. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 관점에서 세계최고 기술수준은 국내보다 약 4년 앞서 기술이 실현될 것으로 보이며, 사회경제적으로도 약 4년 앞서 실현될 것으로 예측됨

- 세계최고 기술수준의 기술적 실현시기는 2022년이 14건으로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2026년 16건으로 응답수가 가장 많았음
- 2022년에 기술적 실현시기라고 응답한 경우 세계최고 기술수준이 현재 실현되고 있음을 의미하며, 국내에서는 선진기술 도입 및 연구 개발을 통해 격차를 줄이는 것이 시급한 것으로 판단됨
- 세계최고 기술수준의 사회경제적 실현시기는 2023년이 16건으로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2027년 전후로 응답수가 가장 많았음
- 건축물 해체 고도화 기술의 사회경제적 실현시기도 기술적 실현시기와 마찬가지로 상용화를 고려한 계획수립을 통해 세계최고 기술수준과의 격차를 줄이는 것이 중요하다고 판단됨

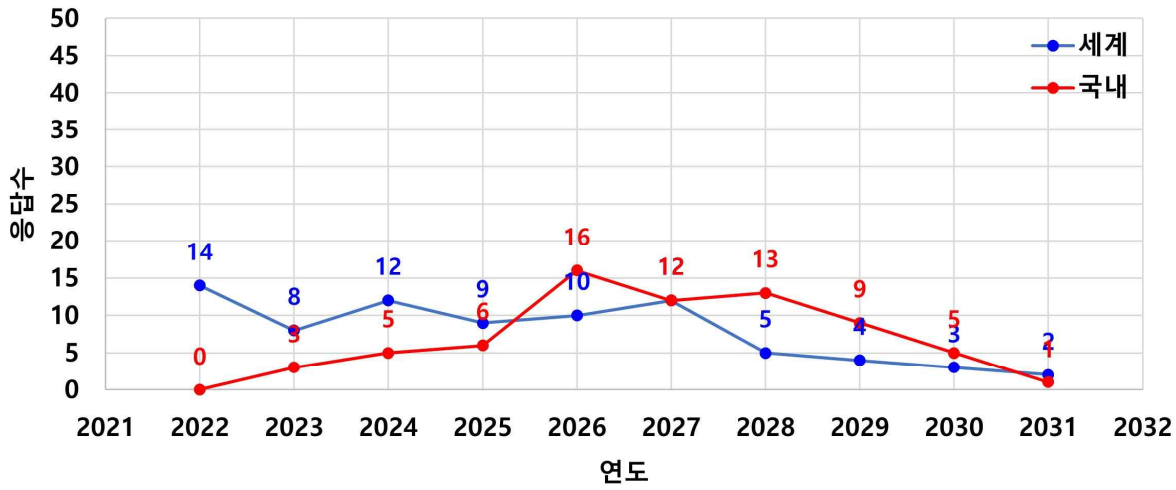



그림 5.13 건축물 해체 고도화 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과

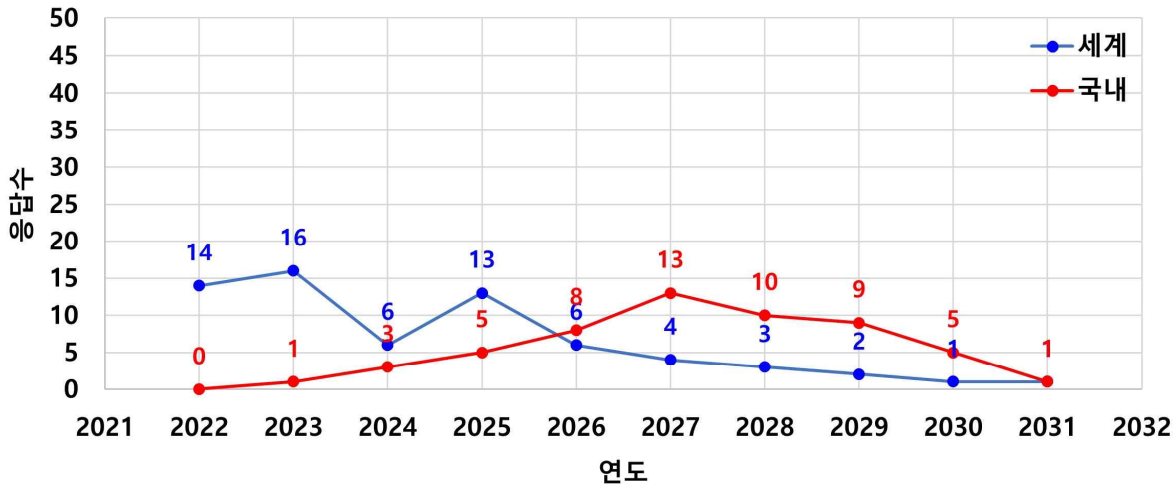



그림 5.14 건축물 해체 고도화 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과

### 3.2.4. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점에서 세계최고 기술수준은 국내보다 약 2년 앞서 기술이 실현될 것으로 보이며, 사회경제적 실현시기는 약 1년 정도의 격차를 보이는 것으로 예측됨

- 세계최고 기술수준의 기술적 실현시기는 2023년이 17건으로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2025년이 12건으로 응답수가 가장 많았음
- 평균적으로 기술적 실현시기는 세계최고 기술수준이 국내보다 약 2~3년 정도 앞서고 있는 것으로 예측됨
- 세계최고 기술수준의 사회경제적 실현시기는 2024년이 14건으로 응답수가 가장 많았고, 국내에서는 2026년 전후로 응답수가 가장 많았음
- 사회경제적 실현시기도 기술적 실현시기와 마찬가지로 약 2~3년 정도 앞서 실현될 것으로 예상됨

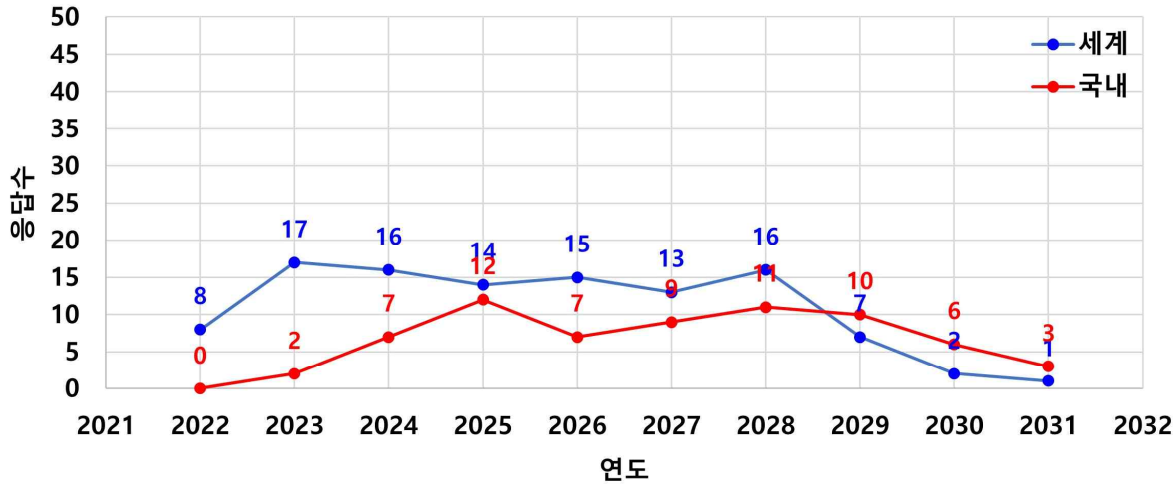



그림 5.15 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점 기술적 실현시기 예측 결과

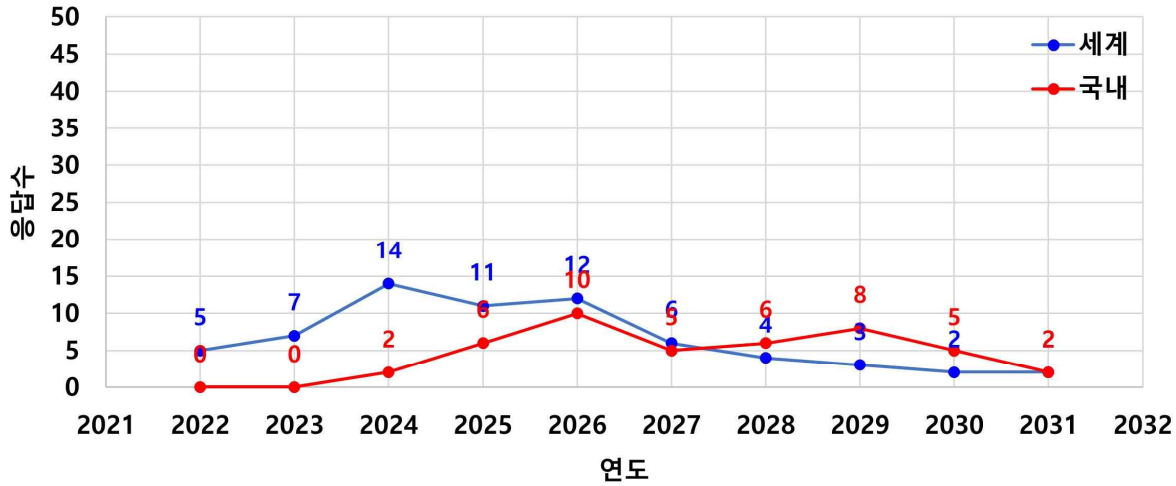



그림 5.16 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 관점 사회경제적 실현시기 예측 결과

## 3.3. 기술기반 성숙도

■ 기술기반 인프라(산업기술, 연구인력, 장비 등) 성숙도 분석 결과(중분류 수준) “건축물 안전 해체 계획·설계 기술”과 “건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술” 분야에서는 거의 우수한 수준에 근접하는 인프라를 보유하고 있는 것으로 확인됨

- “건축물 해체 고도화 기술” 분야는 자체적인 연구개발 수행이 가능한 인프라를 갖추었으나 아직 우수한 수준에는 못 미치는 것으로 나타났으며, 전략적인 R&D 기획과 연구 수행이 이루어진다면 효과적인 연구개발 진척이 가능할 것으로 예상됨
- 소분류 수준에서는 자체적인 연구수행이 가능한 수준에서 우수한 수준에 거의 근접한 연구 분야도 있는 것으로 확인됨
- “모듈식 해체용 장비 및 공법“의 경우 자체수행가능에 못 미치는 수준으로 조사되었으며, 이에 대비하여 전략적인 R&D 기획 및 해외와의 기술격차를 줄이기 위한 연구개발이 시급한 것으로 판단됨

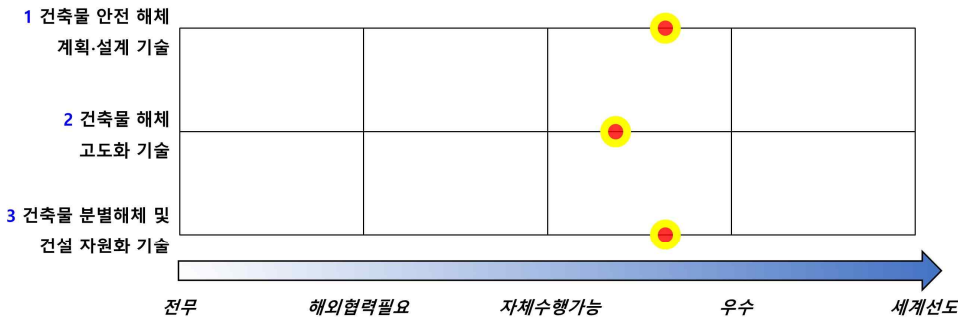



그림 5.17 해체 및 자원화 기술 중분류 기준 기술기반(인프라) 성숙도

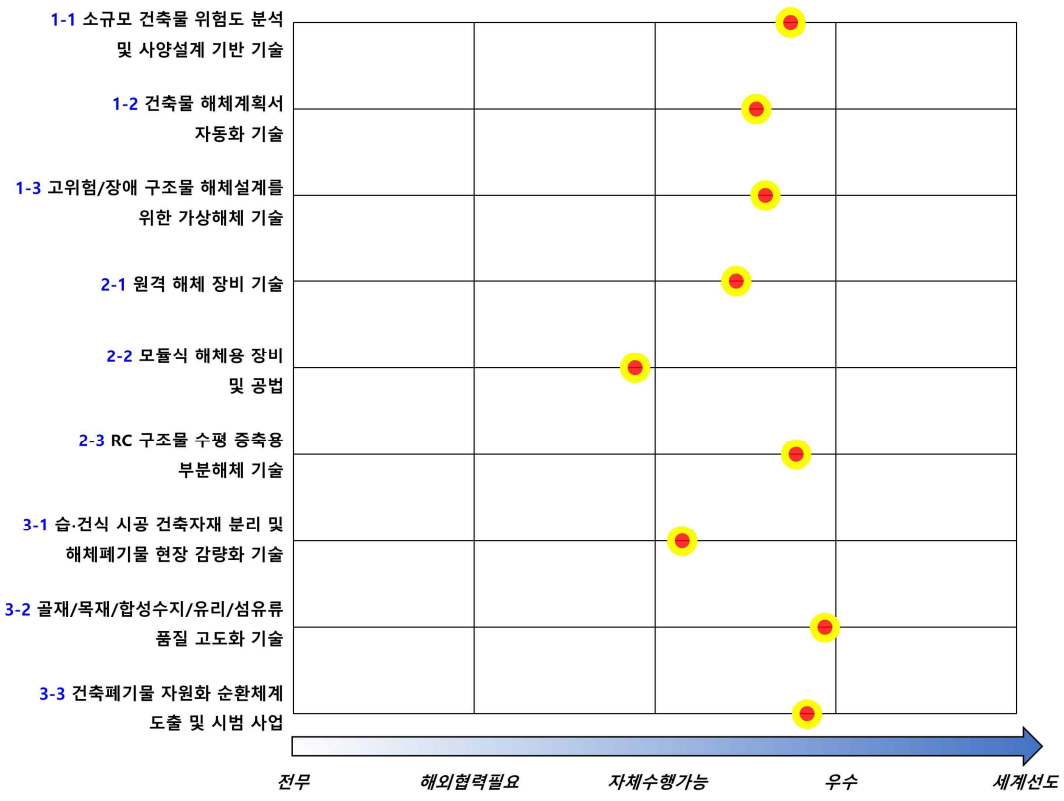



그림 5.18 해체 및 자원화 기술 소분류 기준 기술기반(인프라) 성숙도

## 3.4. 기술획득 방식

### 3.4.1. 해체 및 자원화 기술 전체

■ 해체 및 자원화 기술 전체 기술 관점에서 조사된 각각의 기술획득 방식을 평균하여 아래 차트에 나타냄

- 조사 결과 정부/민간 공동 연구가 48.0%로 가장 많았고, 다음으로 정부 주도, 민간 주도, 기술도입 및 국제협력 순으로 확인됨

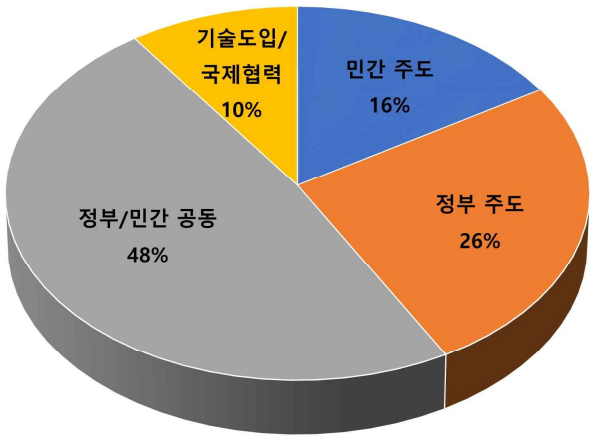



그림 5.19 해체 및 자원화 기술의 기술획득 방식 비중

### 3.4.2. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 정부/민간 공동이 53%로 가장 많았고, 다음으로는 정부 주도하에 추진되는 방식이 23%, 민간 주도 18%, 기술도입 및 국제협력 6% 순으로 조사됨

- 도면, 준공연도 등 건축물 정보와 안전사고 원인 및 사례 통계, 기타 관련 자료 확보 전반에 걸쳐 정부 차원에서 할 수 있는 부분과 세부 기술 개발 및 실용화 부분 등 민간에서 할 수 있는 부분을 협력하여 기술개발이 이루어져야 된다고 판단됨

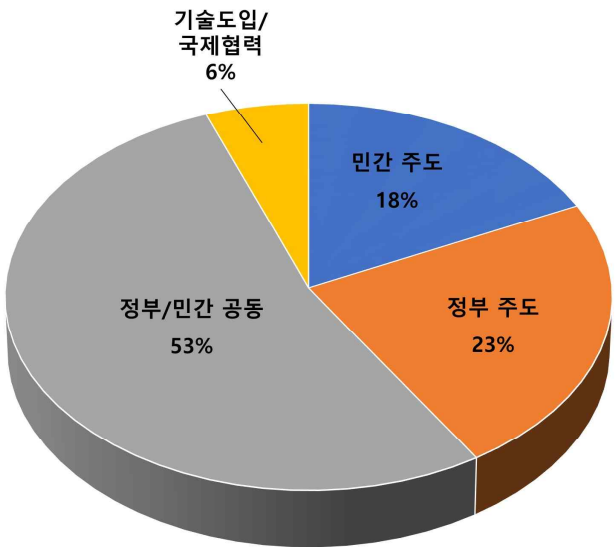



그림 5.20 건축물 안전 해체계획·설계 기술의 기술획득 방식 비중

<표 5.12> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과

| 소분류 | 기술획득방식 (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 민간 주도 | 정부 주도 | 정부/민간 공동 | 기술도입 및 국제공동연구 |
| 1-①<br>소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술 | 25.4 | 27.3 | 47.3 | 0 |
| 1-②<br>건축물 해체계획서 자동화 기술 | 12.5 | 21.8 | 55.6 | 10.1 |
| 1-③<br>고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 | 15.8 | 20.4 | 56.7 | 7.1 |

### 3.4.3. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 정부/민간 공동이 49%로 가장 많았고, 다음으로는 정부 주도하에 추진되는 방식이 18%, 민간 주도 18%, 기술도입 및 국제협력 15% 순으로 조사됨

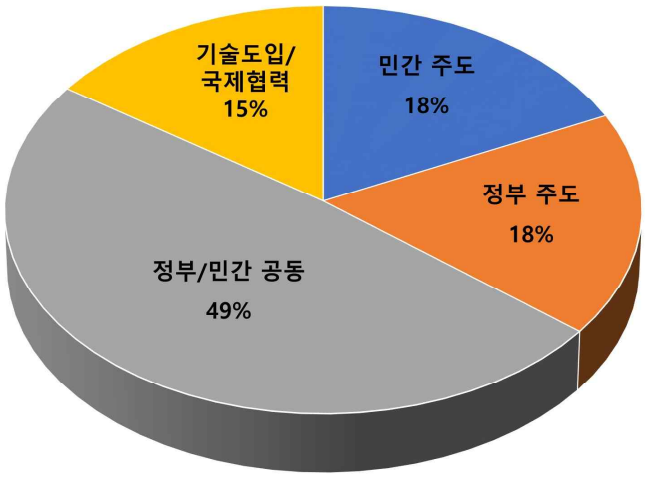



그림 5.21 건축물 해체 고도화 기술의 기술획득 방식 비중

<표 5.13> 건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과

| 소분류 | 기술획득방식 (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 민간 주도 | 정부 주도 | 정부/민간 공동 | 기술도입 및 국제공동연구 |
| 2-①<br>원격 해체 장비 기술 | 14.6 | 18.5 | 53.6 | 13.3 |
| 2-②<br>모듈식 해체용 장비 및 공법 | 15.6 | 18.3 | 47.3 | 18.8 |
| 2-③<br>RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 | 23.7 | 16.4 | 45.7 | 14.2 |

### 3.4.4. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과 정부/민간 공동이 43%로 가장 많았고, 다음으로는 정부 주도하에 추진되는 방식이 36%, 민간 주도 13%, 기술도입 및 국제협력 8% 순으로 조사됨

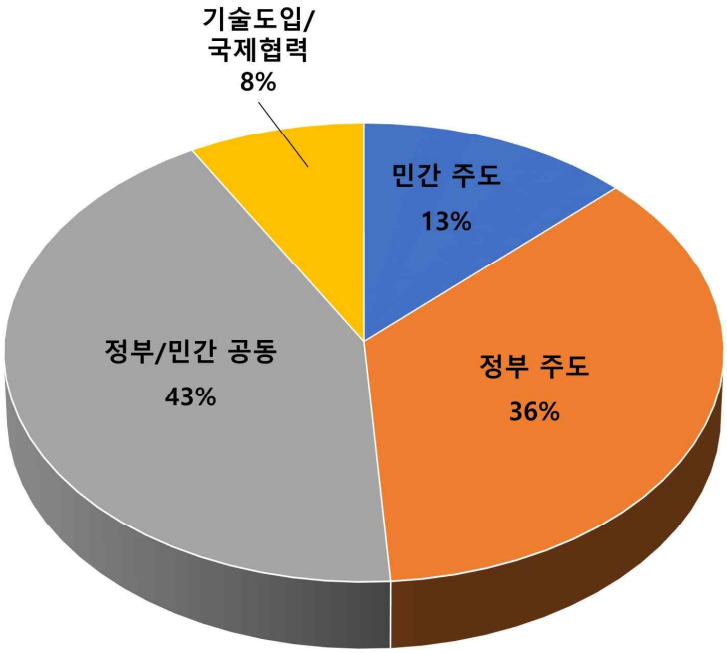



그림 5.22 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술의 기술획득 방식 비중

<표 5.14> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술획득 방식 조사 결과

| 소분류 | 기술획득방식 (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 민간 주도 | 정부 주도 | 정부/민간 공동 | 기술도입 및 국제공동연구 |
| 3-①<br>습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술 | 15.3 | 26.8 | 45.8 | 12.1 |
| 3-②<br>골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 | 12.8 | 24.8 | 55.4 | 7.0 |
| 3-③<br>건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 | 10.4 | 56.5 | 27.4 | 5.7 |

■ 건축물 해체 및 자원화 기술 전체적으로 정부/민간 공동 연구를 통해 기술을 획득해야 된다는 응답수가 가장 많았으며, 그 다음으로 정부 주도, 민간 주도, 기술도입 및 국제협력 순으로 중분류 소분류에서도 모두 동일한 결과를 얻어냄

## 3.5. 정부우선 시행방안

### 3.5.1. 해체 및 자원화 기술 전체

■ 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대가 38.6%로 가장 많은 것으로 조사됨

- 연구비 확대에 이어 협력교류 활성화 19.6%, 인프라 구축 18.1%, 인력양성 13.7%, 제도개설 10.0% 순으로 조사됨

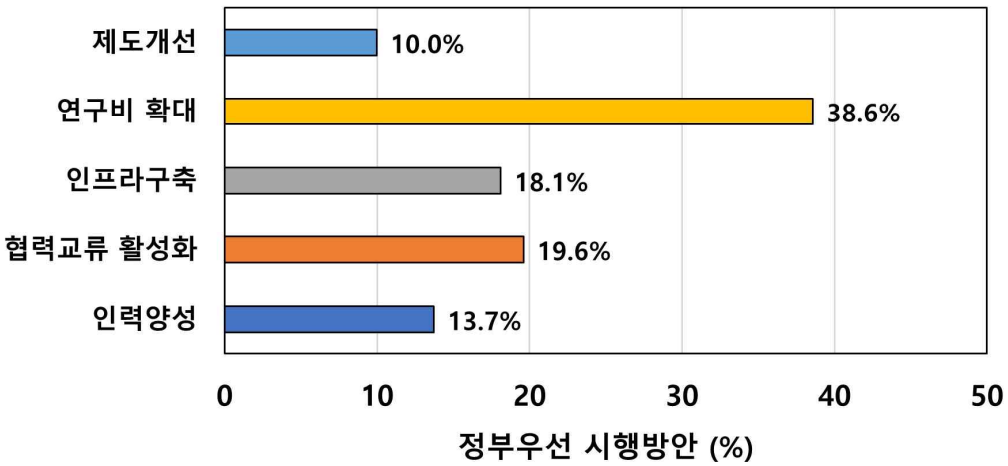



그림 5.23 해체 및 자원화 기술 전체 관점에서의 정부우선 시행방안 비중

### 3.5.2. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야에서 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대가 37.1%로 가장 많은 것으로 조사됨

- 연구비 확대에 이어 협력교류 활성화 18.7%, 인프라 구축 15.3%, 인력양성 15.1%, 제도개선 13.9% 순으로 조사됨

- 아래 소분류 기술 단계에서 조사된 표를 살펴보면, 건축물 안전 해체계획・설계 기술의 하위 단계에 있어서 모두 연구비 확대가 가장 시급한 것으로 나타남

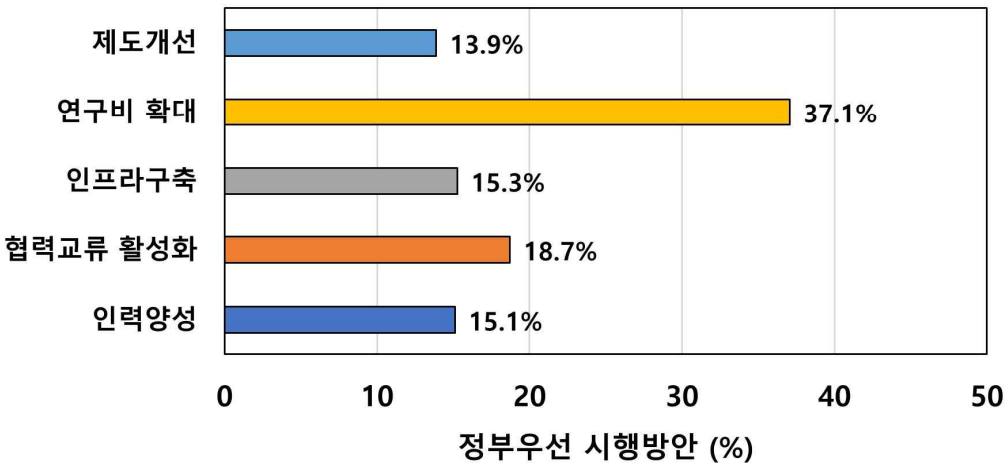



그림 5.24 건축물 안전 해체계획・설계 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중

<표 5.15> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과

| 소분류 | 정부우선 시행방안 (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 인력양성 | 협력교류 활성화 | 인프라 구축 | 연구비 확대 | 제도개선 |
| 1-① 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술 | 13.5 | 19.6 | 9.6 | 34.5 | 22.8 |
| 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 | 15.3 | 19.1 | 21.5 | 35.8 | 8.3 |
| 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 | 16.5 | 17.4 | 14.7 | 40.9 | 10.5 |

### 3.5.3. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 분야에서 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대가 41.3%로 가장 많은 것으로 조사됨

- 연구비 확대에 이어 협력교류 활성화 23.4%, 인력양성 16.4%, 인프라 구축 16.0%, 제도개선 3.0% 순으로 조사됨
- 아래 소분류 기술 단계에서 조사된 표를 살펴보면, 건축물 해체 고도화 기술의 하위 단계에 있어서 모두 연구비 확대가 가장 시급한 것으로 나타남

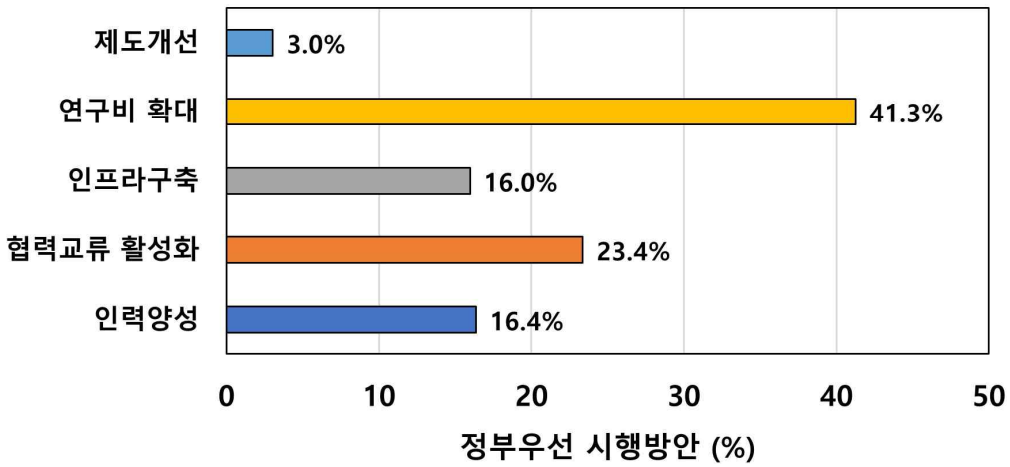



그림 5.25 건축물 해체 고도화 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중

<표 5.16> 건축물 해체 고도화 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과

| 소분류 | 정부우선 시행방안 (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 인력양성 | 협력교류 활성화 | 인프라 구축 | 연구비 확대 | 제도개선 |
| 2-① 원격 해체 장비 기술 | 15.1 | 20.5 | 13.8 | 45.8 | 4.8 |
| 2-② 모듈식 해체용 장비 및 공법 | 13.4 | 24.5 | 18.7 | 42.4 | 1.0 |
| 2-③ RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 | 20.6 | 25.1 | 15.4 | 35.6 | 3.3 |

### 3.5.4. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야에서 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 할 방안은 연구비 확대가 37.4%로 가장 많은 것으로 조사됨

- 연구비 확대에 이어 인프로 구축 23.1%, 협력교류 활성화 16.7%, 제도개선 13.0%, 인력양성 9.7% 순으로 조사됨
- 아래 소분류 기술 단계에서 조사된 표를 살펴보면, 분별해체 및 건설 자원화 기술의 하위 단계에 있어서 모두 연구비 확대가 가장 시급한 것으로 나타남

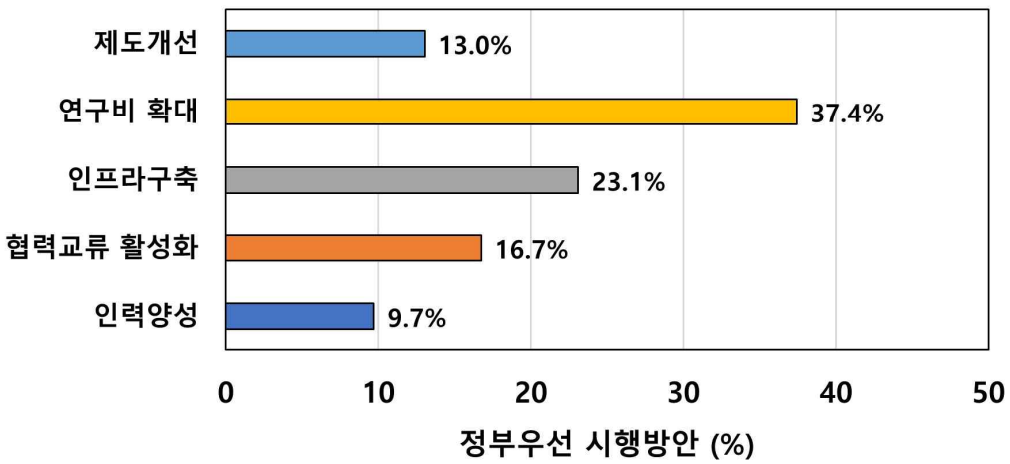



그림 5.26 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 정부우선 시행방안 비중

<표 5.17> 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 정부우선 시행방안 조사 결과

| 소분류 | 정부우선 시행방안 (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 인력양성 | 협력교류 활성화 | 인프라 구축 | 연구비 확대 | 제도개선 |
| 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술 | 15.1 | 16.8 | 23.4 | 31.8 | 12.9 |
| 3-② 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 | 5.6 | 17.9 | 20.1 | 45.4 | 11.0 |
| 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 | 8.4 | 15.5 | 25.8 | 35.1 | 15.2 |

## 3.6. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

■ 4분면별 전략을 통해 기술수준과 중요도 포트폴리오 분석 수행

■ 아래 그림과 같이 가로축을 기술수준, 세로축을 기술의 중요도 하여 4분면으로 영역을 나눔

- 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 높지 않으나 수익성이 양호하여 다른 핵심 기술과 연계성을 전략적으로 고려해야 하는 영역

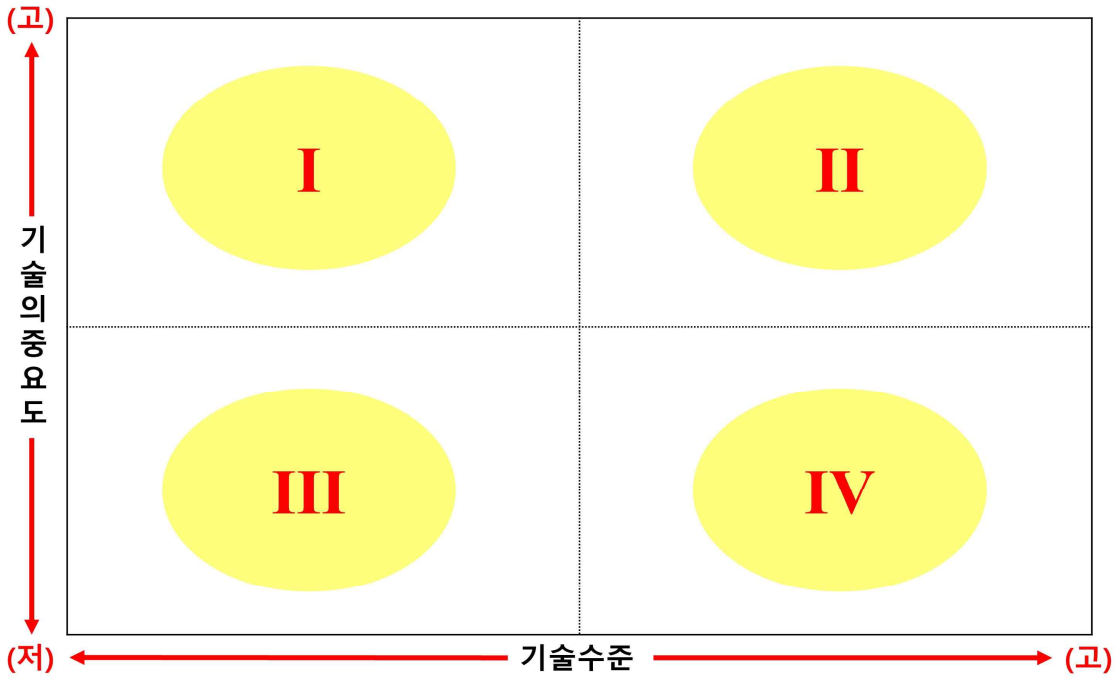



그림 5.27 기술수준-중요도 포트폴리오 영역 구분

### 3.6.1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- 아래 그림에서 A11은 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술, A12는 건축물 해체계획서 자동화 기술, A13은 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술을 의미함
- 중분류 1-건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술적 중요도 평균은 4.18, 기술수준 평균은 67.97%로 전체 기술에서 중분류 1이 차지하는 상대적 중요도는 높은 편이나 선진기술과의 기술격차를 줄이기 위한 연구개발이 필요한 실정임
- 소분류 A11, A12, A13 모두 I 영역에 포함되어 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 할 것으로 판단됨

<표 5.18> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과

| 구분 | 1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 1-① 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기술 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 |
| 국내기술수준 (%) | 70.6 | 65.4 | 67.9 |
| 기술 핵심성 (5점 척도) | 4.56 | 3.42 | 4.56 |

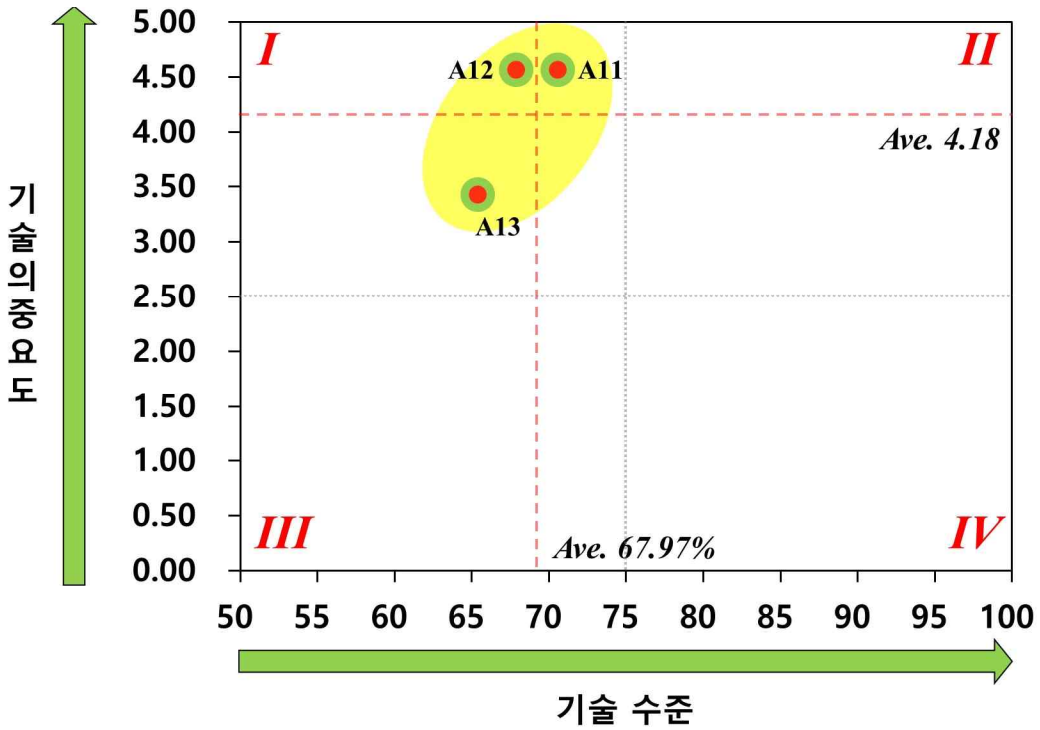



그림 5.28 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

### 3.6.2. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- 아래 그림에서 B21은 원격 해체 장비 기술, B22는 모듈식 해체용 장비 및 공법 개발, B23은 RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술을 의미함
- 중분류 2-건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술적 중요도 평균은 3.97, 기술 수준 평균은 59.43%로 B21과 B23의 경우 기술 핵심성은 높은 편이나 기술수준은 전체적으로 낮은 편임
- B22의 경우 기술 핵심성 및 기술수준 모두 가장 낮게 조사됨. 소분류 B21, B22, B23 모두 중분류 1과 마찬가지로 I 영역에 포함되어 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 할 것으로 판단됨

<표 5.19> 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과

| 구분 | 2. 건축물 해체 고도화 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 2-①<br>원격 해체 장비 기술 | 2-②<br>모듈식 해체용 장비 및 공법 개발 | 2-③<br>RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 |
| 국내기술수준 (%) | 52.4 | 51.3 | 74.6 |
| 기술 핵심성<br>(5점 척도) | 4.35 | 3.41 | 4.15 |

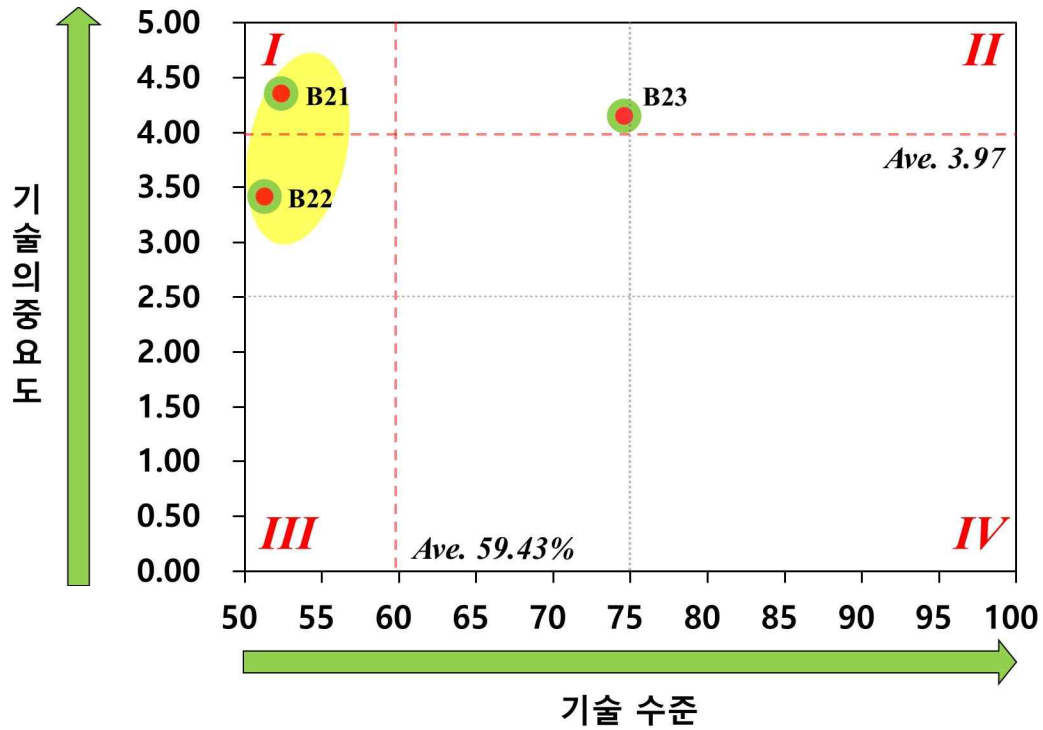



그림 5.29 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

### 3.6.3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- 아래 그림에서 C31은 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술, C32는 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술, C33은 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 기술을 의미함
- 중분류 3-건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술적 중요도 평균은 4.24, 기술 수준 평균은 67.40%로 전체 기술에서 중분류 3이 차지하는 상대적 중요도는 높은 편이나 선진기술과의 기술격차를 줄이기 위한 연구개발이 필요한 실정임
- 소분류 C31, C33은 Ⅰ 영역에 포함되어 적극적인 투자로 기술수준 향상을 추구해야 할 것으로 판단되며, C32는 Ⅱ 영역에 포함되어 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망성이 있는 것으로 판단됨

〈표 5.20〉 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술수준-중요도 조사 결과

| 구분 | 3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술 | 3-② 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 |
| 국내기술수준 (%) | 64.5 | 76.4 | 61.3 |
| 기술 핵심성 (5점 척도) | 4.31 | 4.25 | 4.16 |

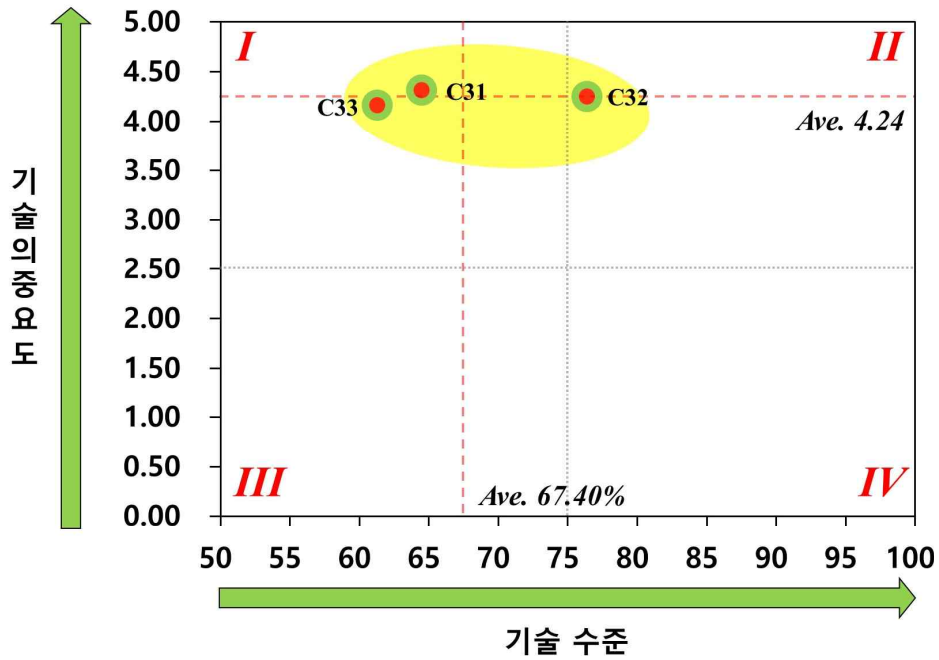



그림 5.30 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

## 3.7. 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석

■ 4분면별 전략을 통해 기술기반 성숙도와 기술 중요도 포트폴리오 분석 수행

■ 기술 중요도는 각 소분류 별로 조사된 기술 핵심성, 시급성, 파급효과 3가지 조사결과를 평균한 값으로 분석 수행

■ 아래 그림과 같이 가로축을 기술 중요도, 세로축을 기술기반 성숙도로 하여 4분면으로 영역을 나눔

- Ⅰ : 기술기반 관리-유지 영역
- Ⅱ : 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대해 나갈 필요가 있는 영역
- Ⅲ : 점진적으로 기술기반을 확보해 나가야 할 영역
- Ⅳ : 기술기반 확보가 시급한 영역

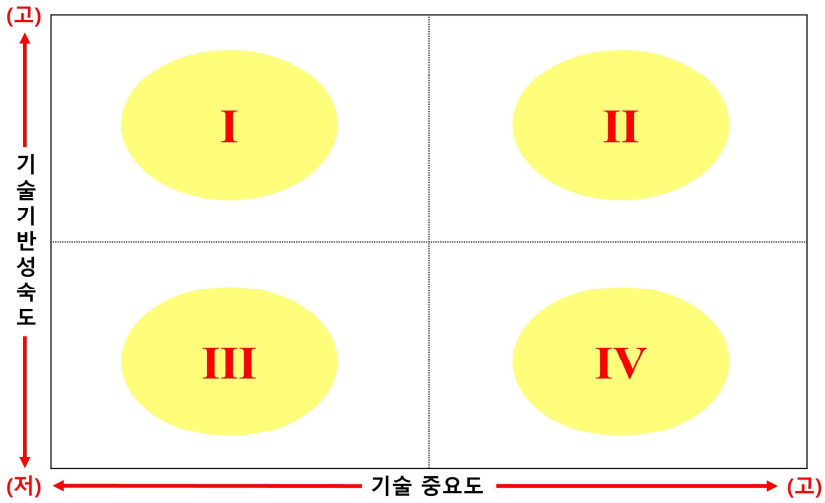



그림 5.31 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 영역 구분

### 3.7.1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술

■ 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- A11은 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술, A12는 건축물 해체계획서 자동화 기술, A13은 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술을 의미함
- 중분류 1-건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야의 기술기반 성숙도 평균은 3.64, 기술 중요도 평균은 4.19로 중요도가 높은 만큼 자체기술개발을 통해 기술성숙도를 높여 최고기술 수준과의 격차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨
- 소분류 A11, A12, A13 모두 II 영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대할 필요가 있을 것으로 분석됨

<표 5.21> 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과

| 구분 | 1. 건축물 안전 해체계획·설계 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 1-① 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기술 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 |
| 기술 중요도 (5점 척도) | 4.58 | 3.51 | 4.49 |
| 기술기반 성숙도 (5점 척도) | 3.75 | 3.56 | 3.61 |

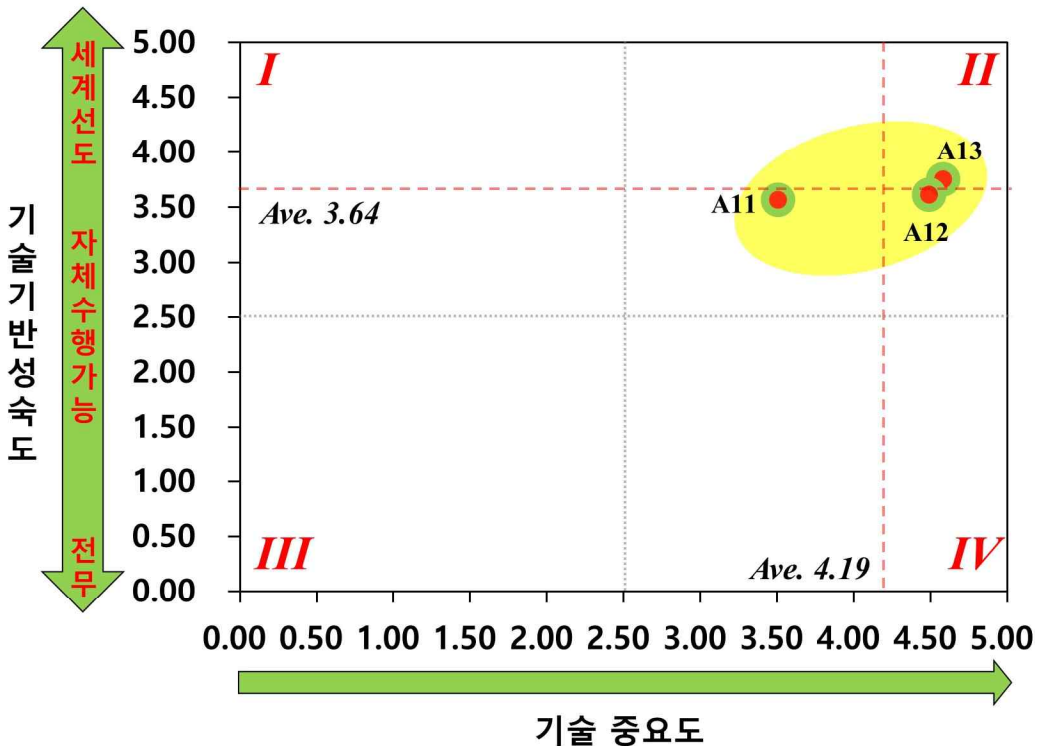



그림 5.32 건축물 안전 해체계획·설계 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석

### 3.7.2. 건축물 해체 고도화 기술

■ 건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- B21은 원격 해체 장비 기술, B22는 모듈식 해체용 장비 및 공법 개발, B23은 RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술을 의미함
- 중분류 2-건축물 해체 고도화 기술 분야의 기술기반 성숙도 평균은 3.37, 기술 중요도 평균은 3.95로 중요도가 거의 높음 단계로 분석된 만큼 기술개발에 투자하여 기술기반 성숙도를 높일 필요가 있을 것으로 판단됨
- 소분류 B21, B22, B23 모두 중분류 1과 마찬가지로 Ⅱ 영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대할 필요가 있을 것으로 분석됨

<표 5.22> 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과

| 구분 | 2. 건축물 해체 고도화 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 2-①<br>원격 해체 장비 기술 | 2-②<br>모듈식 해체용 장비 및 공법 개발 | 2-③<br>RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 |
| 기술 중요도<br>(5점 척도) | 4.12 | 3.58 | 4.14 |
| 기술기반 성숙도<br>(5점 척도) | 3.45 | 2.89 | 3.78 |

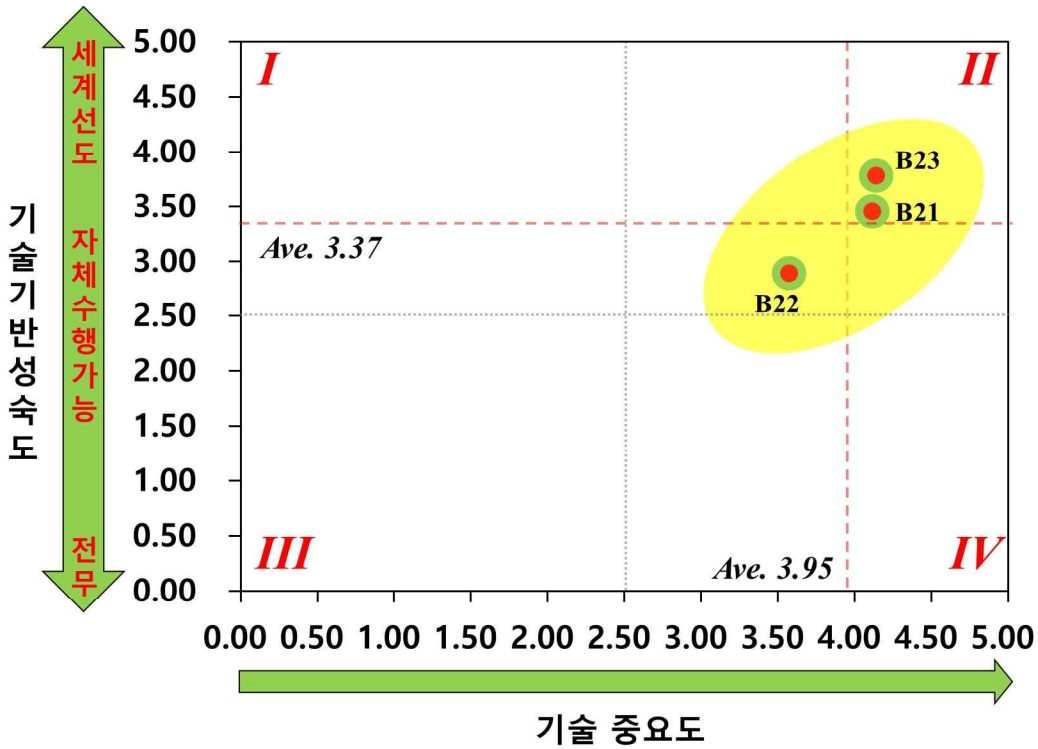



그림 5.33 건축물 해체 고도화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석

### 3.7.3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술

■ 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석 결과를 아래 그림에 나타냄

- C31은 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술, C32는 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술, C33은 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 기술을 의미함
- 중분류 3-건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야의 기술기반 성숙도 평균은 3.64, 기술 중요도 평균은 4.14로 중분류 1과 마찬가지로 중요도가 높은 만큼 자체기술개발을 통해 기술성숙도를 높여 최고기술 수준과의 격차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨 . 소분류 C31, C32, C33 모두 중분류 1과 마찬가지로 Ⅱ 영역에 포함되어 기술개발 추진과 동시에 기술기반을 지속적으로 확대할 필요가 있을 것으로 분석됨

〈표 5.23〉 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 조사 결과

| 구분 | 3. 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 | | |
|---|---|---|---|
| | 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체폐기물 현장 감량화 기술 | 3-② 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 |
| 기술 중요도 (5점 척도) | 4.06 | 4.24 | 4.12 |
| 기술기반 성숙도 (5점 척도) | 3.15 | 3.94 | 3.84 |

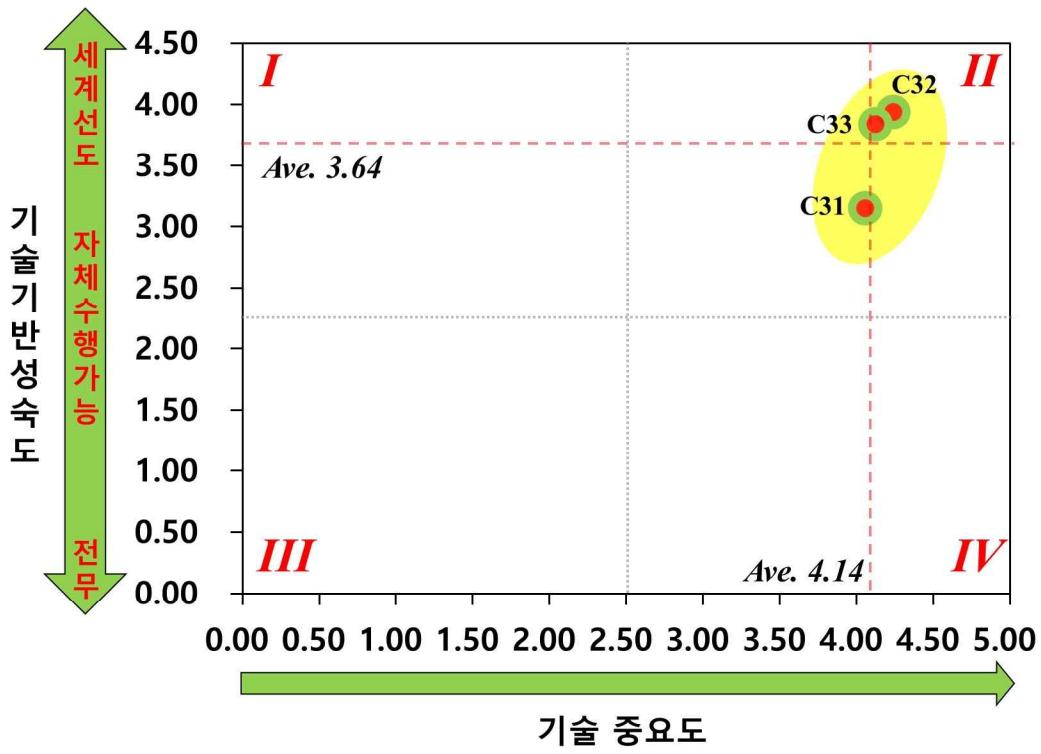



그림 5.34 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 분야 기술기반 성숙도-중요도 포트폴리오 분석

# 4절. 건축물 해체기술 관련 분야 종사자 설문조사

## 1. 설문조사 목적 및 방법

■ **(조사목적)** “건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발 기획”의 기술개발 방향 수립 및 개발·개선되어야 할 기술과 정책 등의 의견을 수렴하고, 이를 토대로 중점적으로 투자되고 개발되어야 할 기술과 정책 분야 도출을 목적으로 설문조사를 수행함

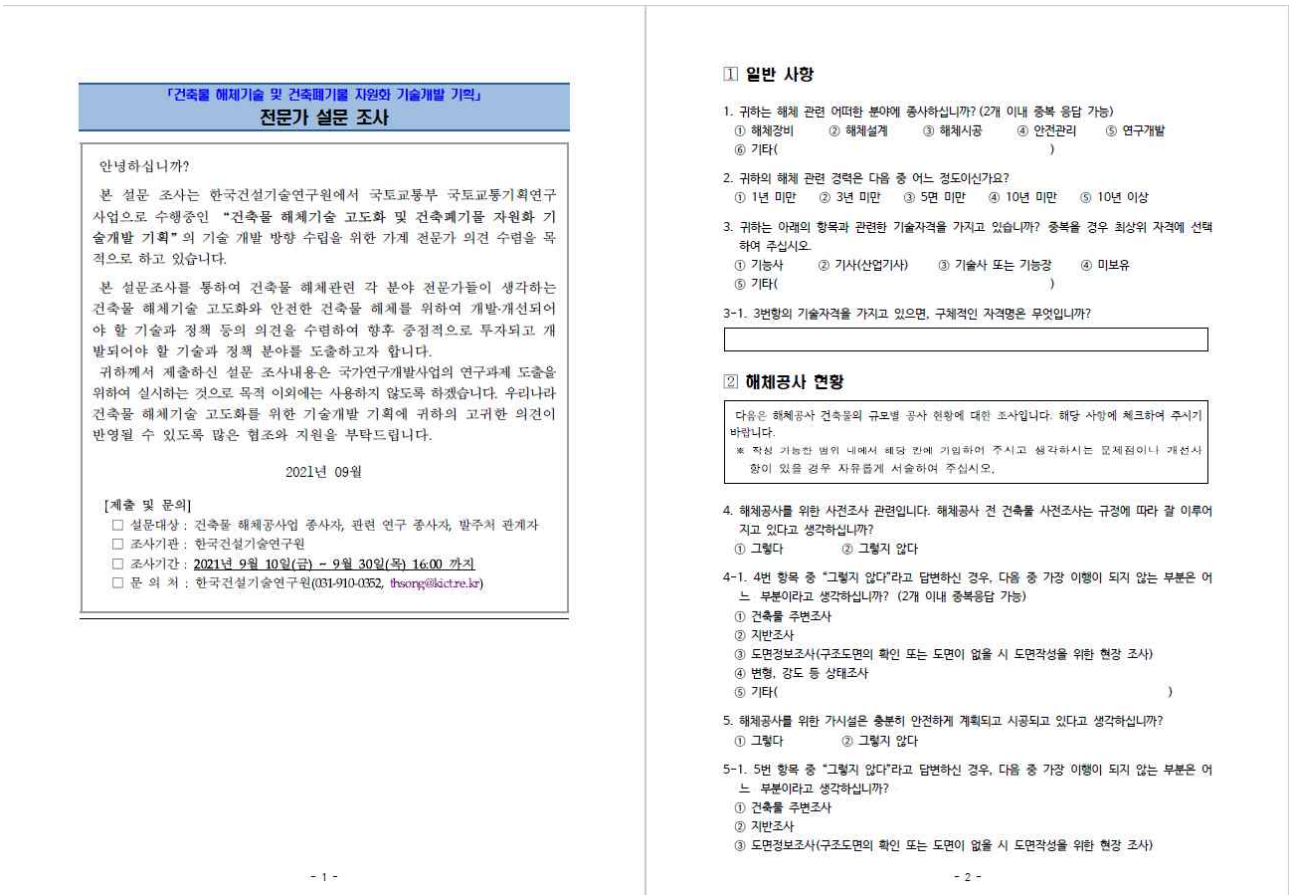
■ **(조사대상)** 건축물 해체공사업 종사자, 관련 연구 종사자, 발주처 관계자

■ **(조사기관)** 한국건설기술연구원

## 2. 설문조사 기간 및 방법

■ **(조사기간)** 2021.09.10 ~ 2021.09.30

■ **(조사방법)** 일반사항, 해체공사 현황, 해체공사 위험도, 해체 공정별 위험도, 해체공사 기술 개발 필요성 5가지 주제로 총 20문항에 대한 질문지를 작성하여 구글 설문지를 통해 온라인 조사를 수행하였음



「건축물 해체기술 및 건축폐기물 자원화 기술개발 기획」
전문가 설문 조사

안녕하십니까?

본 설문 조사는 한국건설기술연구원에서 국토교통부 국토교통기획연구사업으로 수행중인 “건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발 기획”의 기술 개발 방향 수립을 위한 가계 전문가 의견 수렴을 목적으로 하고 있습니다.

본 설문조사를 통하여 건축물 해체관련 각 분야 전문가들이 생각하는 건축물 해체기술 고도화와 안전한 건축물 해체를 위하여 개발·개선되어야 할 기술과 정책 등의 의견을 수렴하여 향후 중점적으로 투자되고 개발되어야 할 기술과 정책 분야를 도출하고자 합니다.

귀하께서 제출하신 설문 조사내용은 국가연구개발사업의 연구과제 도출을 위하여 실시하는 것으로 목적 이외에는 사용하지 않도록 하겠습니다. 우리나라 건축물 해체기술 고도화를 위한 기술개발 기획에 귀하의 고귀한 의견이 반영될 수 있도록 많은 협조와 지원을 부탁드립니다.

2021년 09월

[제출 및 문의]
□ 설문대상 : 건축물 해체공사업 종사자, 관련 연구 종사자, 발주처 관계자
□ 조사기관 : 한국건설기술연구원
□ 조사기간 : 2021년 9월 10일(금) ~ 9월 30일(목) 16:00 까지
□ 문 의 처 : 한국건설기술연구원(031-910-0352, thsong@kict.re.kr)

- 1 -

1 일반 사항

1. 귀하는 해체 관련 어떠한 분야에 종사하십니까? (2개 이내 중복 응답 가능)
① 해체장비 ② 해체설계 ③ 해체시공 ④ 안전관리 ⑤ 연구개발
⑥ 기타( )

2. 귀하의 해체 관련 경력은 다음 중 어느 정도이신가요?
① 1년 미만 ② 3년 미만 ③ 5년 미만 ④ 10년 미만 ⑤ 10년 이상

3. 귀하는 아래의 항목과 관련한 기술자격을 가지고 있습니까? 중복을 경우 최상위 자격에 선택하여 주십시오.
① 기능사 ② 기사(산업기사) ③ 기술사 또는 기능장 ④ 미보유
⑤ 기타( )

3-1. 3번항의 기술자격을 가지고 있으면, 구체적인 자격명은 무엇입니까?

2 해체공사 현황

다음은 해체공사 건축물의 규모별 공사 현황에 대한 조사입니다. 해당 사항에 체크하여 주시기 바랍니다.
※ 작성 가능한 범위 내에서 해당 란에 기입하여 주시고 생각하시는 문제점이나 개선사항이 있을 경우 자유롭게 서술하여 주십시오.

4. 해체공사를 위한 사전조사 관련입니다. 해체공사 전 건축물 사전조사는 규정에 따라 잘 이루어지고 있다고 생각하십니까?
① 그렇다 ② 그렇지 않다

4-1. 4번 항목 중 “그렇지 않다”라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까? (2개 이내 중복응답 가능)
① 건축물 주변조사
② 지반조사
③ 도면정보조사(구조도면의 확인 또는 도면이 없을 시 도면작성을 위한 현장 조사)
④ 변형, 강도 등 상태조사
⑤ 기타( )

5. 해체공사를 위한 가시설은 충분히 안전하게 계획되고 시공되고 있다고 생각하십니까?
① 그렇다 ② 그렇지 않다

5-1. 5번 항목 중 “그렇지 않다”라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?
① 건축물 주변조사
② 지반조사
③ 도면정보조사(구조도면의 확인 또는 도면이 없을 시 도면작성을 위한 현장 조사)

- 2 -

그림 5.35 설문조사서 질문 항목 - 1

6. 해체공사 구조설계는 충분히 안전하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?
① 그렇다 ② 그렇지 않다

6-1. 6번 항목 중 "그렇지 않다"라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까? (2개 이내 중복응답 가능)
① 강비/적재하중 고려한 설계
② 해체순서별 구조해석
③ 부재별 단면검토 및 보강설계
④ 보강 상세도면 작성 및 확보
⑤ 기타( )

6-2. 현재 해체공사의 구조설계에 대한 문제점 및 개선사항을 기재해 주십시오.

7. 해체공사 시공은 충분히 안전하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?
① 그렇다 ② 그렇지 않다

7-1. 7번 항목 중 "그렇지 않다"라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까? (2개 이내 중복응답 가능)
① 부적합한 해체장비 활용
② 해체장비 작업자 숙련도 부족
③ 내·외부 건축자재 철거 공사
④ 폐기물의 선별 처리
⑤ 기타( )

8. 해체공사 보강 및 안전관리는 충분히 안전하게 이루어지고 있습니까?
① 그렇다 ② 그렇지 않다

8-1. 8번 항목 중 "그렇지 않다"라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까? (2개 이내 중복응답 가능)
① 벽체/기둥/슬래브/보 등 구조부의 보강
② 해체 중 건축물 전도 방지 대책
③ 해체 과정에서의 구조물 변화에 대한 각종 계측
④ 작업자 및 보행자의 안전관리 대책
⑤ 기타( )



## 3 해체공사 위험도 조사

다음은 해체공사의 위험도와 관련한 조사항목입니다. 해당 사항에 체크 또는 중요도별 순서를 기입하여 주시기 바랍니다.

9. 해체 건축물의 구조형식과 해체사고와 연관성이 있다고 생각 하십니까?
① 있다 ② 없다

9-1. 상기 9번 중 "있다"로 응답하셨다면, 다음 구조물 중 사고위험이 가장 높은 유형은 무엇이라고 생각하십니까?
① 철근콘크리트조 ② 철골조 ③ 조적조 ④ 목구조
⑤ 기타( )

10. 해체 건축물의 규모와 해체사고와 연관성이 있다고 생각 하십니까?
① 있다 ② 없다

10-1. 상기 10번 중 "있다"로 응답하셨다면, 다음 건축물의 규모 중 사고위험이 높은 건축물의 규모는 어느것으로 생각하십니까?
① ( ) 3층 미만
② ( ) 3층 ~ 6층 미만
③ ( ) 6층 ~ 10층 미만
④ ( ) 10층 이상

11. 다음의 해체공사 전 과정 중 사고위험이 가장 높다고 생각하시는 분야를 선택하여 주십시오. (2개 이내 중복선택 가능)
① 가시설의 설치 및 해체공사
② 전도방식 지상구조물 해체공사
③ Top-down 방식 지상구조물 해체공사
④ 지하구조물 해체공사
⑤ 기타( )

## 4 해체 공정별 위험도 조사

다음은 해체공사의 각 공정별 위험도와 관련한 조사항목입니다. 해당 되는 칸에 체크하여 주시기 바랍니다.

12. 외부 가설물(방진막,방음벽) 설치/해체 작업

| 구분 | 매우높음 | 높음 | 보통 | 낮음 | 매우낮음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해발생 빈도 | | | | | |
| 재해 강도 | | | | | |
| 작업공정 난이도 | | | | | |



그림 5.36 설문조사서 질문 항목 - 2

13. 장비 인양작업

| 구분 | 매우높음 | 높음 | 보통 | 낮음 | 매우낮음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해발생 빈도 | | | | | |
| 재해 강도 | | | | | |
| 작업공정 난이도 | | | | | |

14. 지상구조물 일괄해체 작업

| 구분 | 매우높음 | 높음 | 보통 | 낮음 | 매우낮음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해발생 빈도 | | | | | |
| 재해 강도 | | | | | |
| 작업공정 난이도 | | | | | |

15. 지하구조물 해체 작업

| 구분 | 매우높음 | 높음 | 보통 | 낮음 | 매우낮음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해발생 빈도 | | | | | |
| 재해 강도 | | | | | |
| 작업공정 난이도 | | | | | |

16. 해체 잔재물 처리작업

| 구분 | 매우높음 | 높음 | 보통 | 낮음 | 매우낮음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해발생 빈도 | | | | | |
| 재해 강도 | | | | | |
| 작업공정 난이도 | | | | | |

## 6 해체공사 기술 개발 필요성

다음은 건축물 해체산업의 사고방지 및 선진화를 위하여 기술 개발이 필요한 사항에 대한 조사입니다. 해당 사항에 체크하여 주시기 바랍니다.

17. 현재의 해체공사에서 가장 기술개발이 필요한 분야는 무엇이라고 생각합니까? (2개 이내 중복선택 가능)
① 사전조사 및 해체설계 기술
② 보강 및 방진·방음시설 등 해체공사에 적합한 가시설 기술
③ 안전 해체계획 수립을 위한 구조안전설계 기술
④ 효율적이고 안전한 해체시공을 위한 시공기술 및 해체전용 장비 개발
⑤ 해체·철거 현장 안전관리를 위한 모니터링 기술
⑥ 기타( )



18. 건축물 해체·철거 공사를 위해 건축물 상세도면* 및 건축물이력** 등에 대한 구체적인 정보가 필요하다고 생각하십니까?
* 상세도면 : 벽, 기둥, 보, 바닥 등의 강도, 재료의 열화 상태
** 건축물 이력 : 리모델링 등 유지관리 정보
① 건축물 이력 및 CAD 등 디지털 상세도면이 반드시 필요하다.
② 상세도면(종이도면/CAD 도면) 정도만 있으면 된다.
③ 개략적인 도면만 있어도 충분하다.
④ 철거공사에서 해체도면은 중요하지 않다.
⑤ 기타( )

19. 안전한 해체를 위한 설계기술 개발이 필요하다고 생각하십니까?
① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요

19-1. 상기 19번 항 중 "매우 필요", "필요"하다고 응답하셨다면, 다음 중 기술개발이 필요한 분야는 어느 분야라고 생각하십니까? (2개 이내 중복선택 가능)
① 해체 순서별 강비, 하중 변경을 고려한 역설계 기술
② 소규모 해체 공사에 대한 사양설계(규격설계) 기준
③ 해체 공사의 구조설계 지침 및 기준화
④ 해체 공사 전용 공공 구조해석프로그램 개발
⑤ 위험 공정 사전 분석을 위한 가상해체 기술(VR 활용)
⑥ 기타 ( )

20. 해체공사의 효율성과 안전해체를 위한 무인/원격 장비 및 전용 가시설(방진·방음·보강)의 개발이 필요하다고 생각하십니까?
① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 불필요

20-1. 상기 20번 항 중 "매우 필요", "필요"하다고 응답하셨다면 다음 중 기술개발이 필요한 분야라고 생각하십니까? (2개 이내 중복선택 가능)
① 무인/원격 해체 장비
② 소형 건축물 Top down 해체 공사를 위한 경량 장비
③ 전도방지용 해체 전용 시스템 비계
④ 건축물 구조부재 보강기술 및 전도방지 보강기술
⑤ 위험사고 신속 인지 및 알림을 위한 모니터링 시스템
⑥ 기타 ( )

설문 조사에 적극적으로 참여하여 주셔서 감사합니다



그림 5.37 설문조사서 질문 항목 - 3

# 3. 설문조사 결과

## 3.1. 일반사항

■ 일반사항에서는 종사분야, 경력, 자격증 관련 질문을 하였으며, 총 125개의 응답이 제출됨

- 일반사항에 대한 설문조사 결과, 관련 분야에서는 해체시공이 47.2%, 경력은 10년 이상이 36%, 자격증 미보유가 46.4%로 가장 많은 것으로 조사됨
- 일반사항에 대한 응답으로 봤을 때 경력 10년 이상의 전문가들이 가장 많이 조사에 참여해 주었으며, 조사 결과에 대한 신뢰도를 일정수준 확보했다고 판단됨

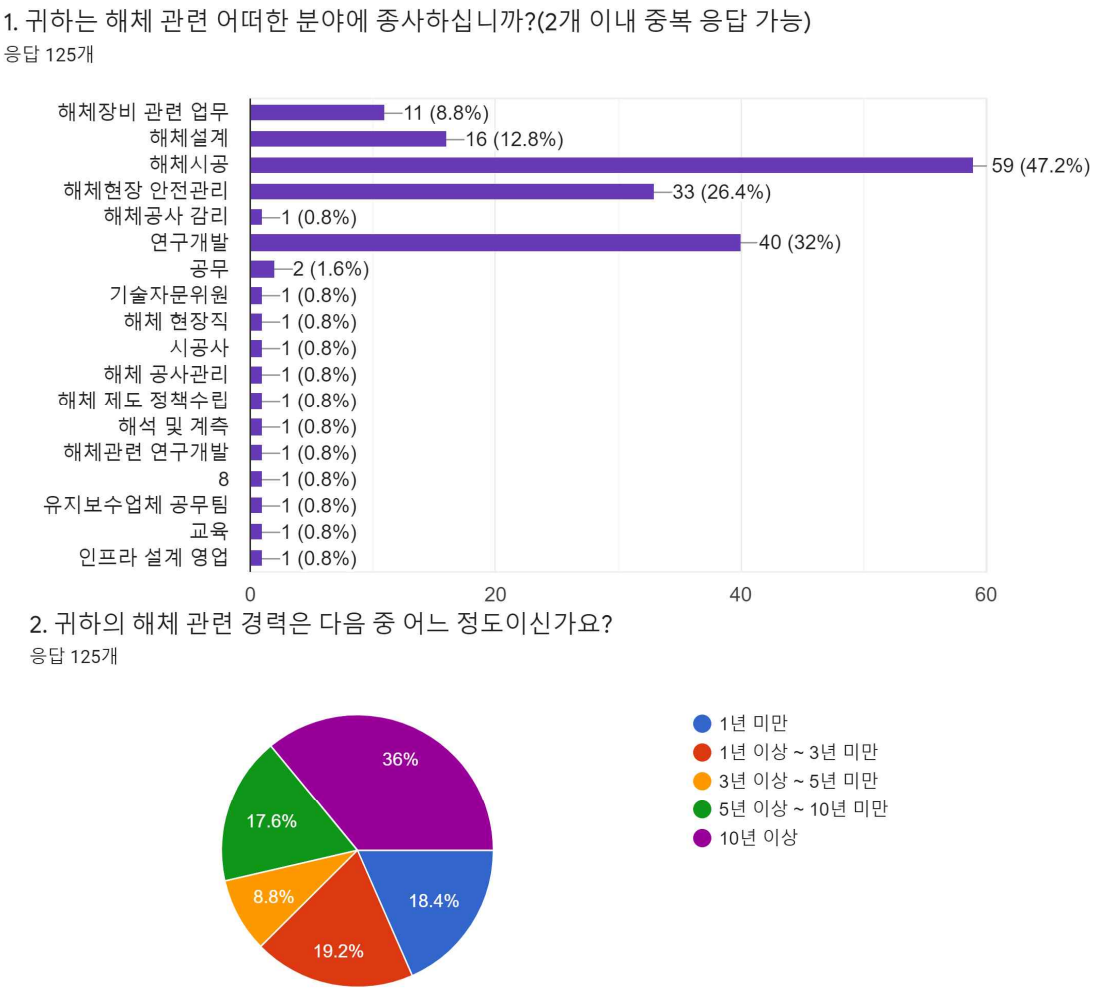


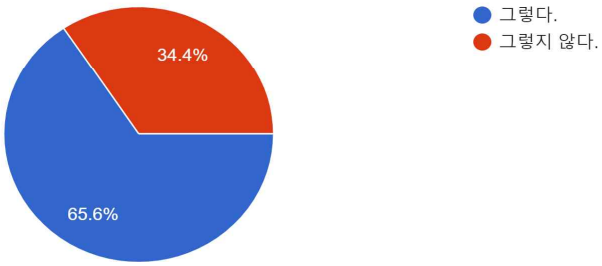

그림 5.38 일반사항 항목에 대한 설문조사 결과

## 3.2. 해체공사 현황

■ 해체공사 현황에서는 해체공사 전 건축물 사전조사, 가시설, 구조설계, 해체시공, 보강 및 안전관리에 대해 잘 이행되고 있는지, 그렇지 않다면 어떤 부분인지에 대해 조사함

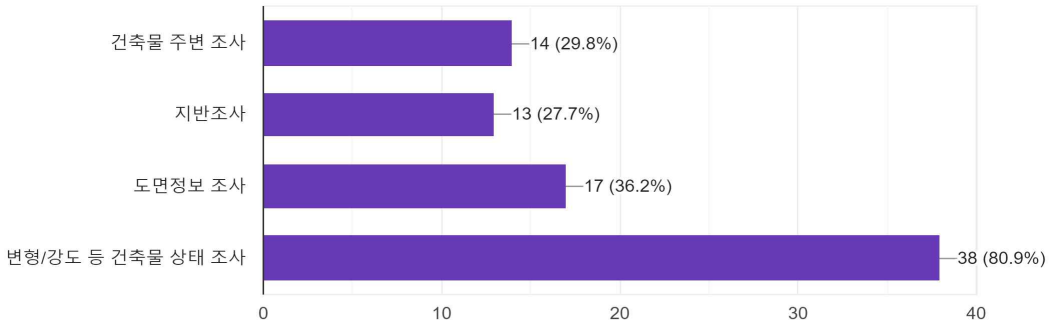
4. 해체공사를 위한 사전조사 관련입니다. 해체공사전 건축물 사전조사는 규정에 따라 잘 이루어지고 있다고 생각하십니까?

응답 125개



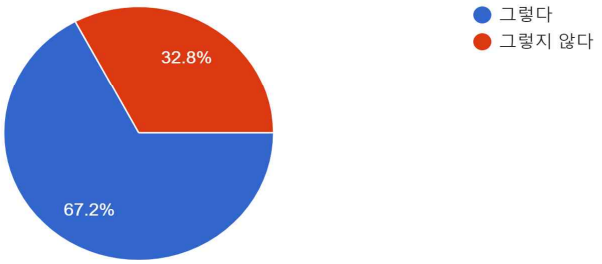

4-1. 4번 항목 중 "그렇지 않다"라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?(2개 이내 중복응답 가능)

응답 47개




5. 해체공사를 위한 가시설은 충분히 안전하게 계획되고 시공되고 있다고 생각하십니까?

응답 125개




5-1. 5번 항목 중 "그렇지 않다"라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?(2개 이내 중복응답 가능)

응답 43개

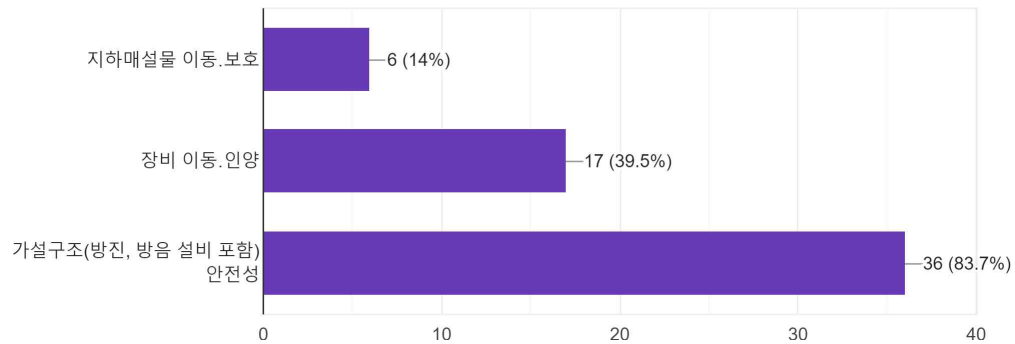
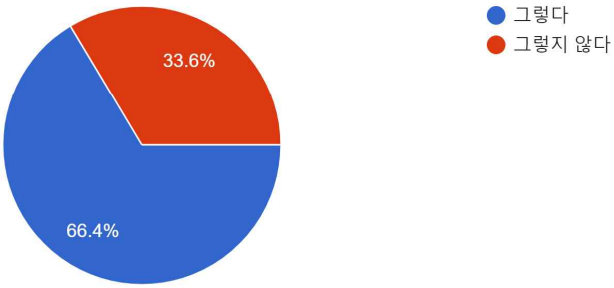



그림 5.39 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 1

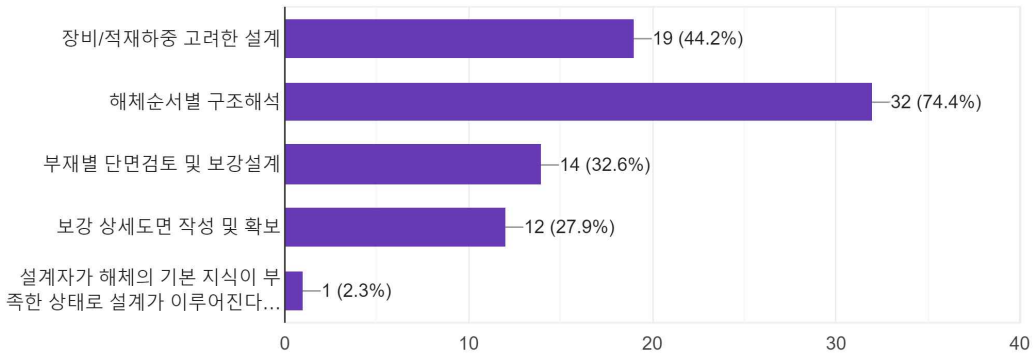
6. 해체공사 구조설계는 충분히 안전하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?

응답 125개



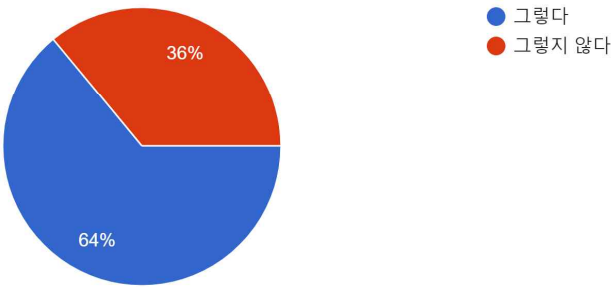

6-1. 6번 항목 중 “그렇지 않다”라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?(2개 이내 중복응답 가능)

응답 43개




7. 건축물 해체공사 시공은 충분히 안전하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?

응답 125개




7-1. 7번 항목 중 “그렇지 않다”라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?(2개 이내 중복응답 가능)

응답 44개

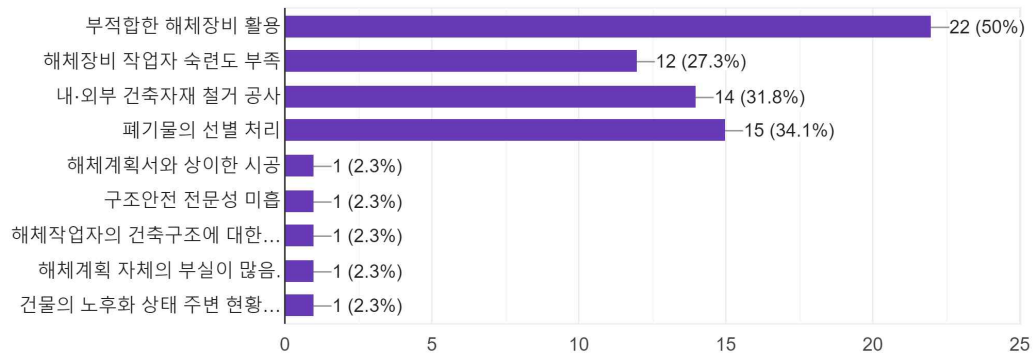
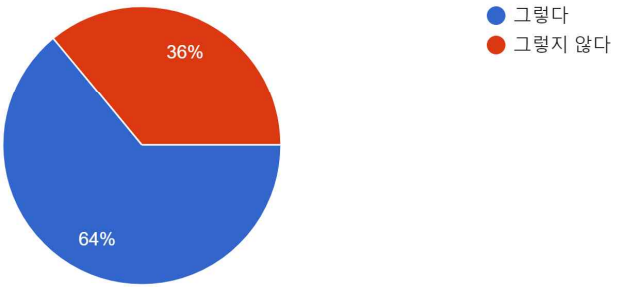



그림 5.40 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 2

8. 해체공사 보강 및 안전관리는 충분히 안전하게 이루어지고 있습니까?

응답 125개




8-1. 8번 항목 중 “그렇지 않다”라고 답변하신 경우, 다음 중 가장 이행이 되지 않는 부분은 어느 부분이라고 생각하십니까?(2개 이내 중복응답 가능)

응답 47개

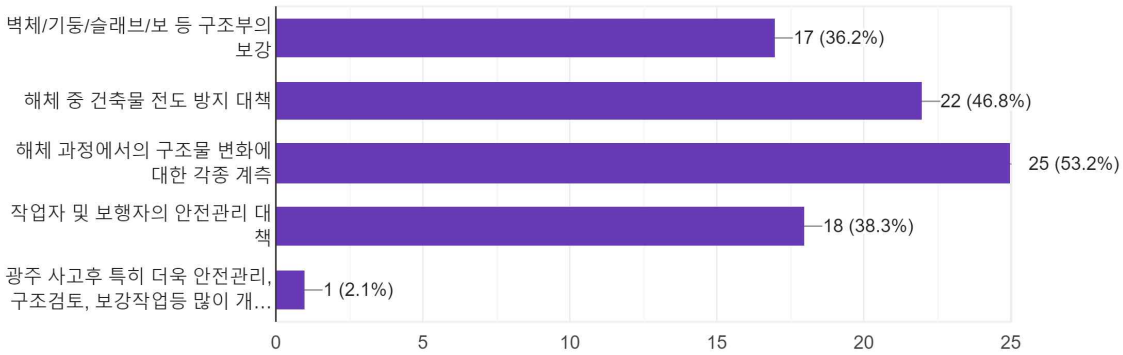
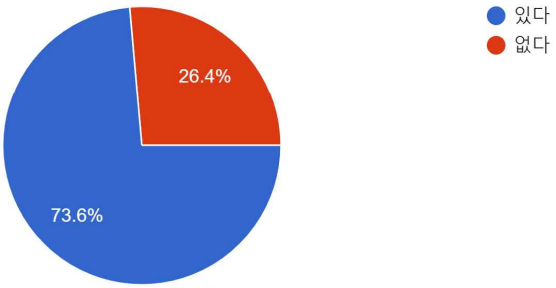



그림 5.41 해체공사 현황 항목에 대한 설문조사 결과 - 3

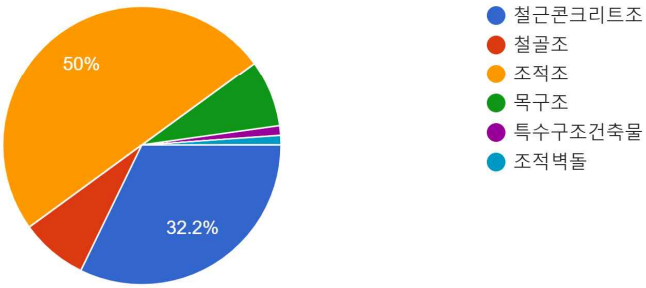
## 3.3. 해체공사 위험도 조사

■ 해체공사 위험도 조사 항목에서는 해체 건축물의 구조형식 및 건물 규모와 해체사고의 연관성, 그리고 해체공사 전 과정 중 사고위험이 가장 높다고 생각되는 분야에 대해 조사함

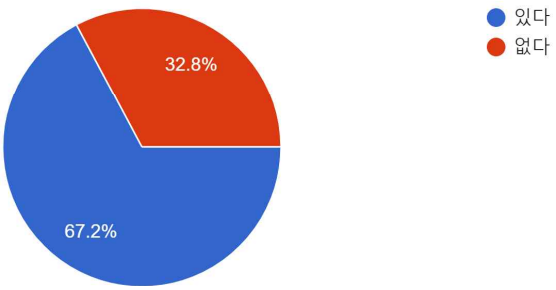
9. 해체 건축물의 구조형식과 해체사고와 연관성이 있다고 생각 하십니까?
응답 125개




9-1. 상기 9번 중 "있다"로 응답 하셨다면, 다음 구조물 중 사고위험이 가장 높은 유형은 무엇이라고 생각하십니까?
응답 90개




10. 해체 건축물의 규모와 해체사고와 연관성이 있다고 생각 하십니까?
응답 125개




10-1. 상기 10번 중 "있다"로 응답하셨다면, 다음 건축물의 규모중 사고 위험이 높은 건축물의 규모는 어느것으로 생각하십니까?
응답 85개

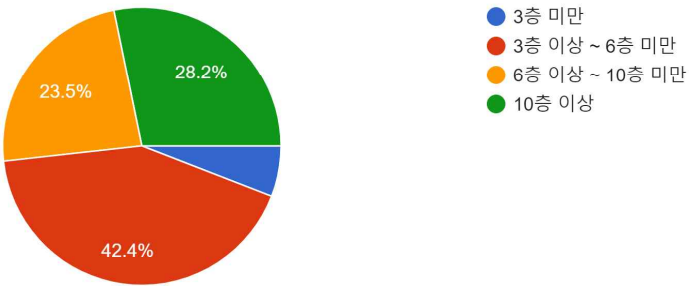



그림 5.42 해체공사 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1

11. 다음 해체공사 전 과정 중 사고위험이 가장 높다고 생각하시는 분야를 선택하여 주십시오.(2개 이내 중복선택 가능)

응답 125개

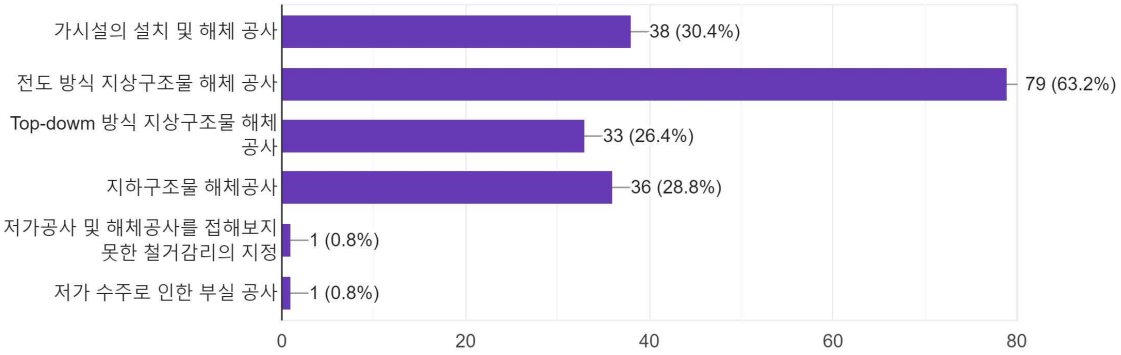
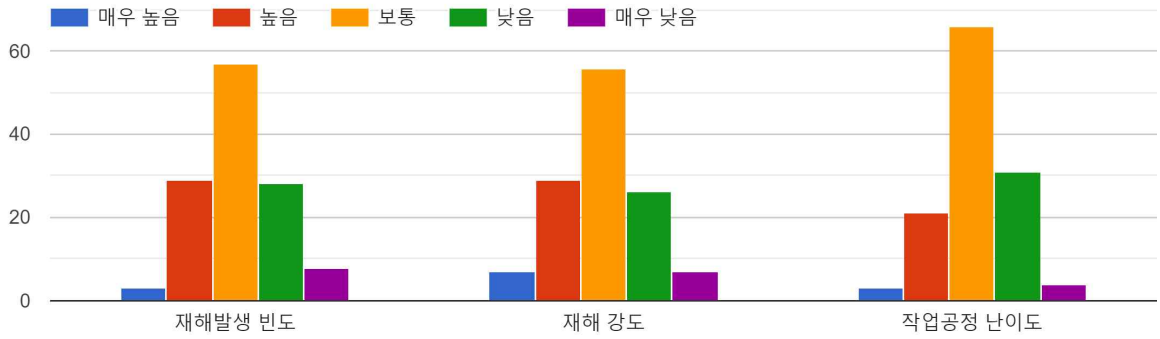



그림 5.43 해체공사 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2

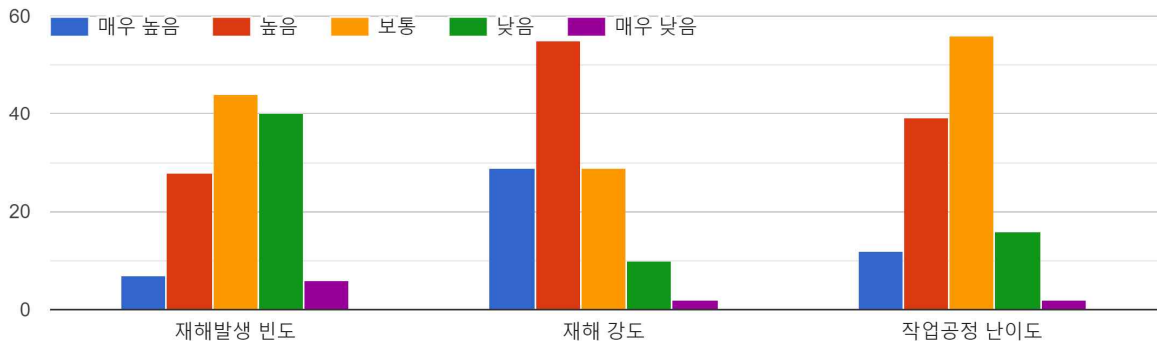
## 3.4. 해체 공정별 위험도 조사

■ 해체 공정별 위험도 조사 항목에서는 외부 가설물(방진막, 방음벽) 설치/해체 작업, 장비 인양 작업, 지상구조물 일괄해체 작업, 지하구조물 해체 작업, 해체 잔재물 처리작업에 대한 위험도 수준을 조사함

12. 외부 가설물(방진막,방음벽) 설치/해체 작업




13. 장비 인양작업




14. 지상구조물 일괄해체 작업

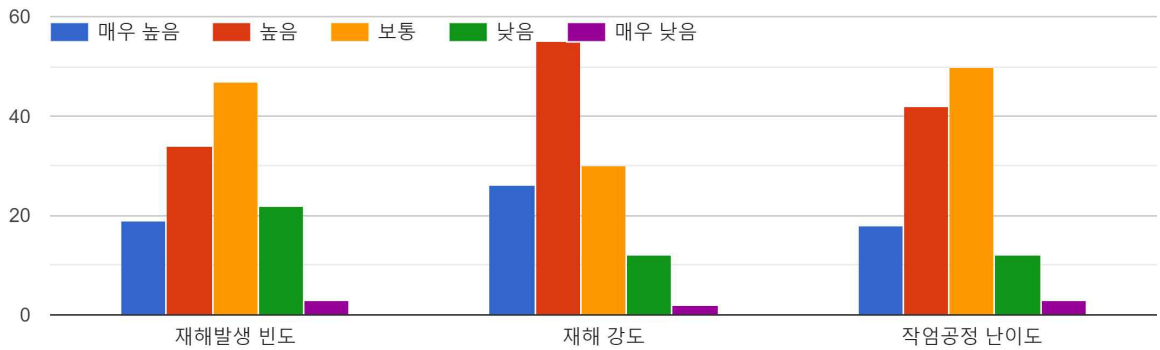
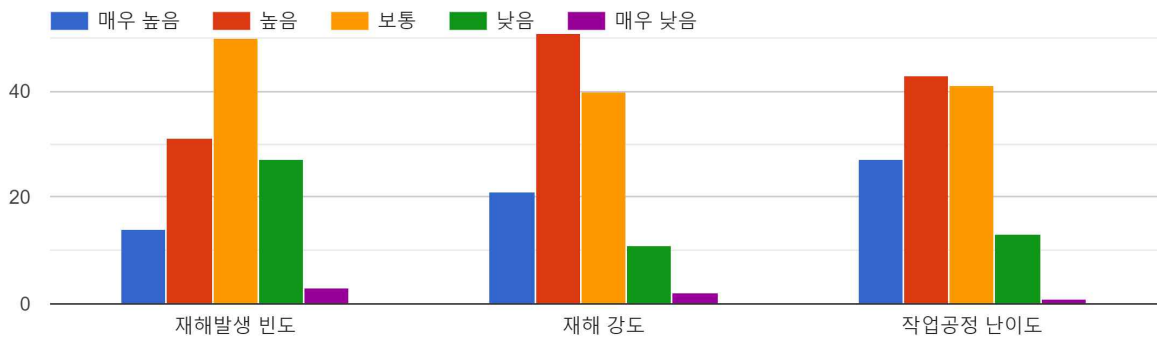



그림 5.44 해체 공정별 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1

15. 지하구조물 해체 작업




16. 해체 잔재물 처리작업

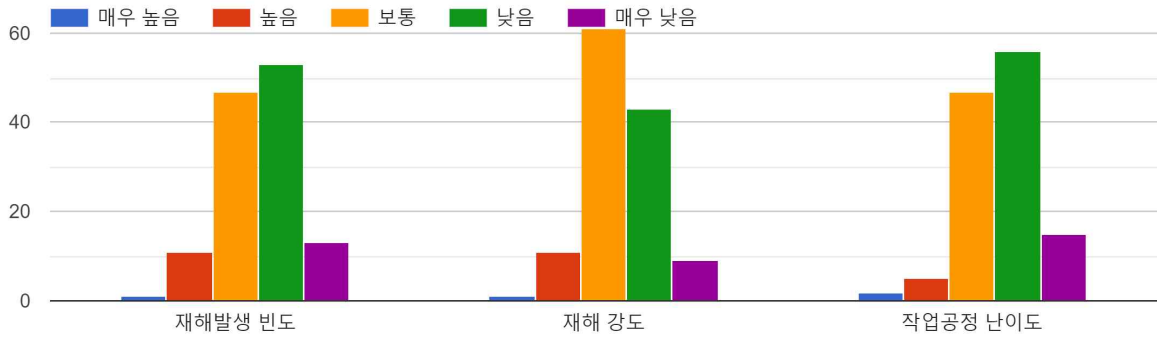


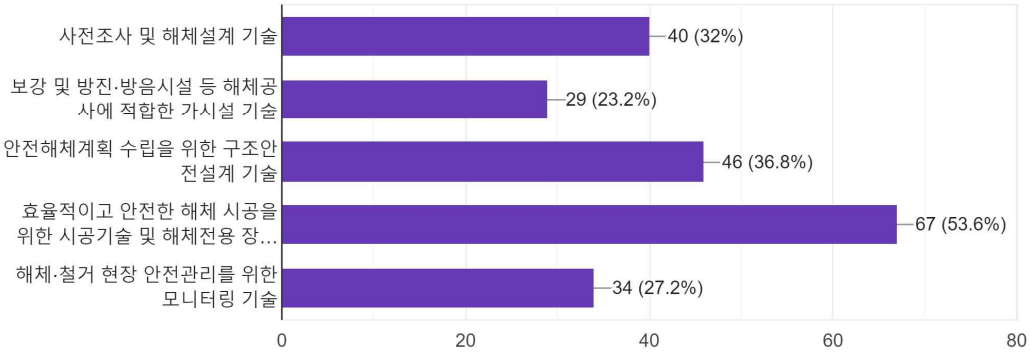

그림 5.45 해체 공정별 위험도 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2

## 3.5. 해체공사 기술 개발 필요성

- 해체공사 기술 개발 필요성 조사 항목에서는 가장 기술개발이 시급한 분야, 안전해체를 위한 설계 기술, 무인/원격 장비 및 전용 가시설 기술 개발 필요성에 대한 조사를 진행함
- 해체공사 기술 개발 필요성에 대한 설문조사 결과 효율적이고 안전한 해체 시공을 위한 시공기술 및 해체전용 장비 개발이 53.6%로 가장 많았고, 안전해체계획 수립을 위한 구조안전 설계 기술이 36.8%, 사전조사 및 해체설계 기술이 32% 순으로 가장 많은 응답수를 차지함

17. 현재의 해체공사에서 가장 기술개발이 필요한 분야는 무엇이라고 생각합니까?(2개 이내 중복선택 가능)

응답 125개




18. 건축물 해체·철거 공사를 위해 건축물 상세도면* 및 건축물이력** 등에 대한 구체적인 정보가 필요하다고 생각하십니까? * 상세도면 : 벽, 기둥, 보,...화 상태 ** 건축물 이력 : 리모델링 등 유지관리 정보

응답 125개

19. 안전한 해체를 위한 설계 기술개발이 필요하다고 생각하십니까?

응답 125개

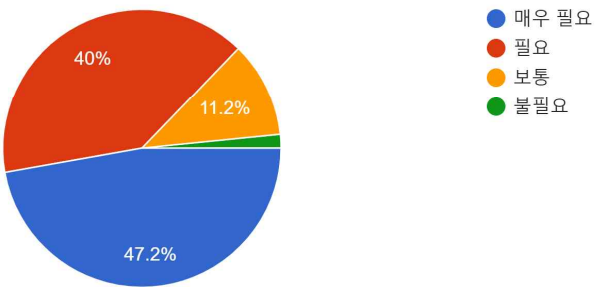
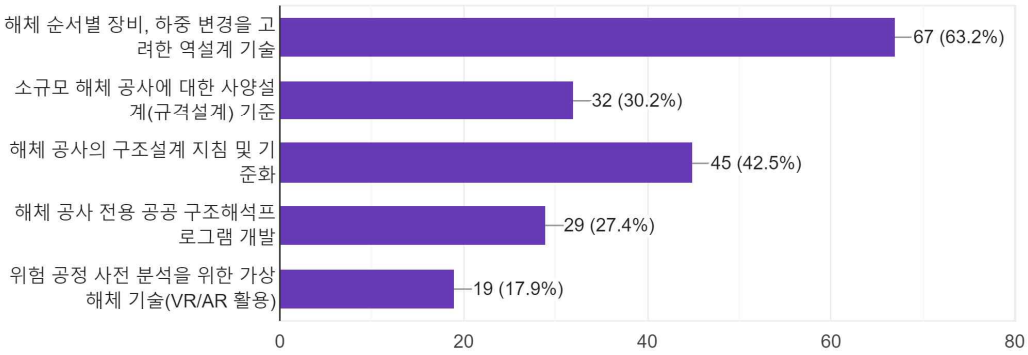



그림 5.46 해체공사 기술 개발 필요성 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 1

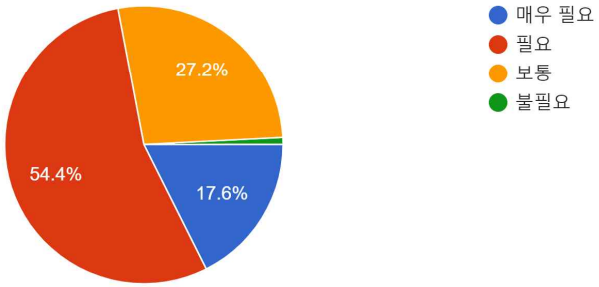
19-1. 상기 19번 항 중 “매우 필요”,“필요”하다고 응답하셨다면 다음 중 기술개발이 필요한 분야는 어느 분야라고 생각하십니까?(2개 이내 중복선택 가능)

응답 106개




20. 해체공사의 효율성과 안전해체를 위한 무인/원격 장비 및 전용 가시설(방진·방음·보강)의 개발이 필요하다고 생각하십니까?

응답 125개




20-1. 상기 20번 항 중 “매우 필요”,“필요”하다고 응답하셨다면 다음 중 기술개발이 필요한 분야는 어느 분야라고 생각하십니까?(2개 이내 중복선택 가능)

응답 90개

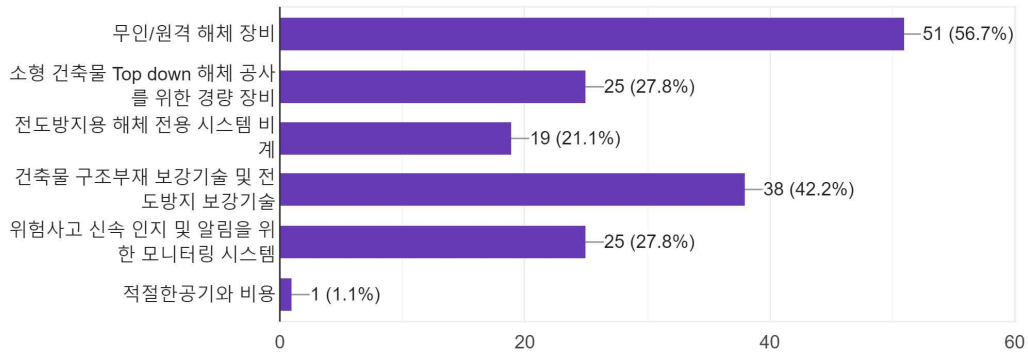



그림 5.47 해체공사 기술 개발 필요성 조사 항목에 대한 설문조사 결과 - 2

## 5절. 구성 기술 도출

■ 본 연구에서 수행한 기술수요 조사를 바탕으로 전체 과제를 대분류·중분류 각각 3분야, 소분류 9분야로 구분하였으며, 3절에서 수행한 기술수준 및 예측조사 결과 및 4절 설문조사 결과를 기반으로 아래 표와 같이 총 15개의 중점과제를 도출함

<표 5.24> 기술수요 조사 수집 결과

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 도출 과제 |
|---|---|---|---|
| 해체 설계 | 1 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발 | 1-① 소규모 건축물 위험도 분석 및 사양설계 기반 기술 개발 | 1-①-1 건축물 기본 정보 기반 소규모 건축물 유형 분류 및 해체 건축물 신속 진단 기술 |
| | | | 1-①-2 중소 건축물 잔존 내하력 진단평가 정량화 및 구성 재료 신속 분류 기술 |
| | | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발 | 1-②-1 도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 개발 및 위험도 유형 분류 |
| | | | 1-②-2 BIM 기반 해체계획서 자동화 작성을 위한 폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술 개발 |
| | | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발 | 1-③-1 3D·Virtual 시뮬레이션을 통한 위험/장애 공정 가상 해체 기술 개발 |
| 해체 시공 | 2 건축물 해체 고도화 기술 개발 | 2-① 원격 해체 장비 기술 개발 | 2-①-1 위험/장애 공정 해체시공을 위한 무인·원격 장비 개발 |
| | | | 2-①-2 센서·영상 기반 안전 모니터링 기술 및 해체현장 개방형 모니터링 시스템 |
| | | 2-② 모듈식 해체용 장비 및 공법 개발 | 2-②-1 RC 구조물 모듈식 해체공법 및 모듈화 장비 기술 개발 |
| | | | 2-②-2 RC 구조물 절단에 따른 소음·분진·폐수관리 기술 및 외부 가시설 기술 개발 |
| | | 2-③ RC 구조물 수평 증축용 부분해체 기술 개발 | 2-③-1 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발 |

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 도출 과제 |
|---|---|---|---|
| 고품질 자원화 | 3 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발 | 3-① 습·건식 시공 건축자재 분리 및 해체 폐기물 현장 감량화 기술 개발 | 3-①-1 5종 건축 내장재 분별해체 장비 개발 및 현장 감량화 시스템 개발 |
| | | 3-② 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 품질 고도화 기술 개발 | 3-②-1 30MPa급 적용 가능 순환골재 품질 고도화 기술 개발 |
| | | | 3-②-2 분별해체 목재 활용 합판 및 섬유판 제조 기술 개발 |
| | | | 3-②-3 건설 폐유리를 활용한 골재 및 단열·내화성능용 발포블록 기술 개발 |
| | | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업 | 3-③-1 건축물 해체 및 해체 폐기물 순환체계 구축을 위한 시범 사업 |

# 6절. 기술 중복성 검토

## 1. 기술 현황

■ **(현황)** 해체 관련 주요 기술 개발은 대형 건축물/구조물 해체기술 등에 집중

■ 해체관련 연구는 도심지 대형 건축물의 발파해체와 이와 관련한 환경관리 및 제어에 관한 연구 등이 수행됨

- 친환경 도시재생을 위한 첨단 해체기술개발(국가 R&D 연구단): 발파해체, 시뮬레이션 해석, 건식해체공법 등 도심지 밀집 지역의 친환경 해체 중심
- 친환경 해체를 위한 기계식 해체 문제점 보완 관련 연구 등

■ 2015년 이후 드론, 3D 스캐닝, BIM, 가상해체 등을 활용한 해체공사 분석 관련 연구 진행

- 3D 스캐닝과 BIM 기반 위험 구조물 해체 관련 연구: 국토교통 R&D, 산업자원부 원전 구조물 해체기술 개발 등

■ 건설폐기물 재활용을 위한 기반 연구 중심

- 국토교통연구개발사업 및 환경선진화기술개발 등을 통한 연구 진행
- 배출량이 가장 많은 폐콘크리트 자원화를 통한 순환골재 생산/활용 중심 R&D
- 2010년 이후 건설폐기물 활용 $CO_2$ 캡처 등 탄소 저감과 연계한 연구 진행

■ **(이슈·문제)** 해체 사각지대 건축물, 건설폐기물 배출단계 관리에 관한 연구 미진

- 안전해체를 위한 해체설계 및 장비개발 등에 관한 수요 증가
- 해체설계와 연계한 배출단계 건설자원 관리 기술 수요 증가

## 2. 유사기술 조사 및 중복성 검토 결과

### 2.1 조사 방법

■ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 및 국토교통 R&D사업 관리시스템에 수록된 R&D 사업/과제 조사를 통해 유사과제 대상 도출

■ 공통 키워드와 각 구성기술별 키워드를 달리하여 유사기술 도출

<표 5.25> 유사과제 도출 키워드

| 구성 기술 | 키워드 |
|---|---|
| 공통 | 해체사고, 구조물 해체, 부분철거, 리모델링, 해체(철거) 기술, 디지털 해체, 모듈해체, 폐기물 재활용, 순환건설 |
| 1 해체설계 | 해체설계, 해체계획서, 해체도면, 가상해체, BIM 해체, 해체 시뮬레이션 |
| 2 해체시공 | 무인 해체, 원격 해체, 해체장비, 소음 차단, 분진 차단, 시공성 평가, 해체 파쇄기, 햅틱 해체 장비, 해체 모니터링 시스템 |
| 3 고품질 자원화 | 분별해체, 성상별 분리 해체, 폐기물 분리보관, 재자원화, 건축 신소재, 건재 재활용, 폐기물 최소화, 해체 통합공정 |

## 2.2 중복성 검토 결과

■ NTIS 및 국토교통 R&D 사업관리시스템을 통해 도출된 각 구성기술별 유사 과제와 중복성 검토를 통해 기존 과제와의 차별성 및 연계방향 도출

<표 5.26> 타 연구과제의 한계점 및 개발 기술과의 차별성·연계 방안

| 타 연구과제명 | 사업주관기관 (지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| 환경위해요인 최소화를 위한 도심지 고층건물 유형별 최적해체 기술 개발 ( '03.12.30 ~ '06.12.29) | 국토 교통부 (한국건설교통 기술평가원) | • **(주요연구내용)** 현행 기계식 해체기술의 문제점 분석을 통한 기술개발<br>- 각종 실험 및 분석을 통한 발파해체 붕괴 시뮬레이션 프로그램 개발/검증<br>- 건물 양중장비 및 사전 취약화 구조안전성 평가 방안 수립<br>• **(주요성과물)** 발파해체 붕괴 시뮬레이션 프로그램 | • **(차별성)** 해당 연구는 기존의 경험적인 설계를 중저층 건축물에 정적 해석을 이용하여 구조 안전성 평가를 수행한 것으로, 본 연구에서 수행하는 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 건축물 해체 시 양중장비 에 대한 정적 해석을 비교함으로써 검증 대상으로 활용 가능 |
| 친환경 도시재생을 위한 첨단 해체기술 개발 ( '06.09.29 ~ '12.02.29) | 국토 교통부 (한국건설교통 기술평가원) | • **(주요연구내용)** 친환경 도시재생 수요에 대응할 수 있는 환경조화형 첨단 해체기술 개발<br>- 해체공사 관리 자동화 시스템 구축<br>- 부분해체 및 전면해체의 안전성 해석 및 판단기술 개발<br>- 소형/첨단 부분해체 장비 개발<br>• **(주요성과물)** 환경위해요인 저감요소기술 및 장치, 첨단 해체장비 및 공법 | • **(차별성)** 해당 연구는 기존의 경험적 설계를 고층 벽식 구조에 적용한 내용으로 정적해석을 이용한 구조 안전성 판단을 수행한 것으로, 본 연구에서 수행하는 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 부분해체 및 전면해체에 대한 안전성 해석 및 판단 기술에 대한 비교 검증대상으로 활용 가능 |
| 노후·위험 건축물 안전해체에 대응한 3D 디지털 정보 구축 기반 스마트 해체 시스템 통합기술 개발 | 국토 교통부 (한국건설교통 기술평가원) | • **(주요연구내용)** 노후·위험 건축물에 대한 실측기반 3D 공간정보 스마트 해체설계/해체공정 최적화 구축을 통해 건축물 해체 시 안전성 및 경제성을 확보<br>- 실측기반 노후·위험 건축물의 3D 디지털 공간설계 기술 개발<br>- 노후·위험 건축물 스마트 해체설계 및 해체공정 최적화 기술 개발<br>• **(주요성과물)** 3D 공간정보 구축 기술, 노후 위험 건축물 스마트 해체설계 | • **(차별성)** 해당 연구는 원전구조물 해체 등 작업자의 접근이 불가능한 고위험 구조물의 해체를 위한 디지털 도면 작성에 중점을 두고 수행한 것으로 본 연구에서 수행하는 도심지 밀집 지역의 소규모 건축물 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 건축물 정보 획득을 위한 3D 스캔 및 디지털 자료를 기반으로 한 소규모 건축물 해체 설계에 활용 |

| 타 연구과제명 | 사업주관기관<br>(지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| 거품을 이용한 콘크리트구조물 친환경 해체공법 개발 | 국토교통부<br>(한국건설교통기술평가원) | • **(주요연구내용)** 해체 현장에서 발생하는 분진을 제어하기 위하여 Foam 또는 Mist 공급 방식의 분진제어 기술 개발<br>- 거품 발생 장치의 고성능화 및 안정화 기술 개발<br>- 파쇄장비와 거품장치의 연계 기술개발<br>• **(주요성과물)** 기계식 해체공정 분진 제어 장치 개발 | • **(차별성)** 해당 연구는 해체공사 분진 발생이 높은 콘크리트 구조물의 친환경 해체를 위한 것으로 해체 고정에서 분진 발생 제어로 본 연구에서 수행하는 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 도심지 밀집지역의 소음, 진동, 분진을 최소화하기 위한 친환경 해체기술 관련 비교검토 기술로서 활용 가능 |
| 시공 및 철거 중 구조물 붕괴예측을 위한 영상분석 기반 실시간 모니터링 기술 개발 | 국토교통부<br>(한국건설교통기술평가원) | • **(주요연구내용)** 구조물의 시공 및 철거 시 붕괴사고를 방지하고, 안전성을 높이기 위해 가설 구조물의 거동 계측을 위한 영상분석 기반 구조물 모니터링 시스템 기술개발<br>- 가설구조물 경계선 분리인식 기법 개발<br>- 가설 구조물의 붕괴 시뮬레이션<br>- 무선네트워크 기반 실시간 위험경보시스템 개발<br>• **(주요성과물)** 기계식 해체공정 분진 제어 장치 개발 | • **(차별성)** 해당 연구는 해체현장의 가설 구조물의 붕괴 전도 예방을 위한 시뮬레이션 및 무선네트워크에 의한 위험경보 시스템 개발에 관한 기술로 본 연구에서 수행하는 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 도심지 소규모 건축물 해체 가설 구조 안정성 향상 방안과, 벽체 및 기타 구조물의 붕괴 예보 시스템의 구축에 연계 활용 가능 |
| 방사화콘크리트 구조물 해체 실증시험 기술개발 | 산업자원부<br>(한국에너지기술평가원) | • **(주요연구내용)** 원전구조물의 해체를 위한 BIM 적용 가상 워격 해체기술개발 여기에서 배출되는 방상화 콘크리트의 제염 기술개발<br>- 방사화 폐콘크리트의 제염 기술 개발<br>- 원전 콘크리트 구조물 해체 안전성 평가기술개발<br>- 원전콘크리트 구조물 해체 절차서 개발<br>• **(주요성과물)** BIM 기술 적용 원전 구조물 해체 작업공정 개발 | • **(차별성)** 해당 연구는 해체과정에서 위험성이 높은 원전구조물의 해체에 관한 연구로 해체과정에서의 위험요소 사전 예측을 위한 가상 해체 등 본 연구와 상관성이 부분적으로 있으나 본 연구에서 수행하는 소규모 건축물의 단계별 동적 해석 기술 및 deconstruction 시뮬레이션 기술과는 상이함<br>• **(연계방안)** 위험물 예측을 위한 가성해체 기술, BIM 기반 해체 설계기술, 위험구조의 원격 해체 기술 등 본 연구와 연계 활용 가능 |

| 타 연구과제명 | 사업주관기관<br>(지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| 무기계<br>건설폐기물<br>재자원화<br>기술을 이용한<br>환경 배려형<br>시멘트 제조<br>원천기술 개발 | 국토<br>교통부<br>(한국건설교통<br>기술평가원) | • **(주요연구내용)** 무기계 건설폐기물(타일, 유리, 벽돌, ALC, 석고보드, 콘크리트 미분말 등 CaO 및 SiO2를 다량 포함한 무기계 건설폐기물)의 시멘트 재자원화 기술개발<br>- 무기계 건설 폐기물을 활용한 시멘트 재자원화 기술개발<br>- 환경 배려형 시멘트 배합/제조 원천기술 개발과 성능평가 기술개발<br>• **(주요성과물)** 무기계 폐기물을 이용한 친환경 시멘트 기술개발 | • **(차별성)** 해당 연구는 폐타일, 유리 , 벽돌 등을 미분쇄하여 시멘트 제조 공정의 원료 사용을 위한 연구로서, 본 연구에서 수행하는 해체단계 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 상이함<br>• **(연계방안)** 본 기술에서 자원화를 위한 배출 폐기물의 이물질 함량을 최소화한 분별해체 기술 적용에 따른 무기계 시멘트 활용 경제성 평가 연계 가능 |
| 건설폐기물 및<br>산업부산물에<br>액상<br>촉진탄산화<br>기술을 적용한<br>pH 저감형<br>건설자재 개발 | 국토<br>교통부<br>(한국건설교통<br>기술평가원) | • **(주요연구내용)** Ash 및 순환골재 등에 이산화탄소 반응처리를 통한 이산화탄소 저장과 동시에 개질 후 건설재료로 활용하기 위한 기술로 국내에서 발생되는 산업부산물 및 건설폐기물을 CO2 저장원으로 활용 및 개질된 부산물을 산업용 건설재료로 활용하기 위한 기술<br>- CO2를 활용한 순환골재 및 애시의 개질처리기술개발<br>- 레미콘 회수수의 CO2 대량 고정화기술 개발<br>- 개질된 산업부산물 및 탄산칼슘의 활용기술<br>• **(주요성과물)** 순환골재 pH 저감 기술, 탄산칼슘 제조 기술 | • **(차별성)** 해당 연구는 건설폐기물 중 강알칼리인 폐콘크리트의 pH 저감을 목적으로 하여 CO2를 이용한 탄산화 기술개발과 이 과정에서 탄산칼슘 제조에 관한 기술로서, 본 연구에서 수행하는 해체단계 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br>• **(연계방안)** 본 기술에서 순환골재 고품질화와 인프라 구축에 부분적으로 연계 가능 |
| 건설폐기물<br>재활용 기술<br>개발 | 국토<br>교통부<br>(한국건설교통<br>기술평가원) | • **(주요연구내용)** 건설폐기물의 재활용률을 80% 이상으로 향상시키기 위하여 건설폐기물의 발생단계에서 최종 처리단계까지의 과정에서 실용적으로 가능한 건설폐기물의 재활용 기술을 개발 | • **(차별성)** 해당 연구는 건설폐기물 재활용을 위한 포괄적 연구단 중심의 연구로서 순환골재 제조단계 이물질 제거 등 재활용 제품 생산 단계 기술개발에 중점을 둔 연구로서 본 연구에서 수행하는 해체단계 이물질 혼입을 방지하는 자재의 성상별 분별해체 기술 |

| 타 연구과제명 | 사업주관기관<br>(지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| | | - 재활용 계획 및 설계단계 재활용 기반 구축 기술 개발<br>- 건설부산물 발생 및 처리단계에서의 선별 및 생산기술 개발<br>- 생산된 재생자재를 활용한 재생제품의 생산 및 적용기술의 개발<br>• **(주요성과물)** 이동식 순환골재 생산용 이물질 선별 장치, 재활용용 제품의 현장 시공 | 개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br><br>• **(연계방안)** 국내 최초 건설폐기물 관련 연구단 과제로서 다양한 분야의 연구가 포함되어 있음. 자원화를 위한 생산단계 기술개발에 연계 활용 가능 |
| 고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발 | 국토교통부<br>(한국건설교통기술평가원) | • **(주요연구내용)** 폐콘크리트를 활용한 순환잔골재 생산기술과 부산물인 건설폐토사 활용에 관한 개발로, 순환토사의 품질기준 제정, 순환골재의 사용량 증대 기술에 관한 연구<br>- 콘크리트용 순환잔골재 품질기준 제정에 관한 연구<br>- 순환잔토의 활용 및 품질 기준에 관한 연구<br>- 순환골재 관련 국가 기준 제정 및 사용 활성화 연구<br>• **(주요성과물)** 순환잔골재 품질기준, 순환토사 품질기준 등 | • **(차별성)** 해당 연구는 순환잔골재의 고품질화와 생산 과정에서 배출되는 순환토사의 재사용을 위한 연구로서 품질 기준 제정에 중점을 둔 연구임. 본 연구에서 수행하는 해체단계 이물질 혼입을 방지하는 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br><br>• **(연계방안)** 본 연구에서 분별해체를 통한 폐콘크리트 배출과 이를 활용한 순환잔골재 생산시 이물질 함유 비교 자료 연계 활용 가능 |
| 순환골재 콘크리트의 구조성능평가 및 사용지침 개발 | 환경부<br>(환경산업기술원) | • **(주요연구내용)** 순환골재의 품질등급 별 대량 활용을 위해 순환골재콘크리트의 재료 및 구조성능을 평가하고 이를 토대로 기준 개정안과 사용 개발 연구<br>- 순환골재 콘크리트의 재료 특성 평가 연구<br>- 순환골재 콘크리트의 구조성능 평가<br>- 순환골재 대량 활용을 위한 기준 개정안 제시<br>- 순환골재의 품질 등급화에 기반한 사용지침 개발<br>• **(주요성과물)** 순환골재 KS 개정안 제시, 사용 지침 등 | • **(차별성)** 해당 연구는 순환골재의 대량 활용과 고품질 활용을 목적으로 한 연구로서 교량 등 토목구조물에 순환골재 활용을 위한 품질기준 제정과 사용 지침 개발에 관한 연구로서 본 연구에서 수행하는 해체단계 이물질 혼입을 방지하는 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br><br>• **(연계방안)** 본 연구에서 분별해체를 통한 폐콘크리트 배출과 이를 활용한 순환골재 고품질 활용을 위한 기반 자료로 연계 활용 가능 |

| 타 연구과제명 | 사업주관기관<br>(지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| 등급화된 순환골재를 활용한 열섬저감블록 및 레미콘 개발 | 환경부<br>(환경산업기술원) | • **(주요연구내용)** 산업부산물과 순환골재를 활용하여 100% 순환자원 콘크리트 제조 기술 개발, 에코결합재 활용 도시 열섬 저감형 보수/투수 블록 제조 기술 개발 및 순환골재 대량 활용 콘크리트의 실증화 연구<br>- 100% 순환자원 콘크리트 제조 기술 개발<br>- 순환골재 대량 활용 콘크리트 실증화<br>- 열섬 저감 블록 개발<br>• **(주요성과물)** 순환골재 KS 개정안 제시, 사용 지고강도 콘크리트 제조 기술, 다기능 에코 결합재, 순환블록 등 | • **(차별성)** 해당 연구는 산업부산물과 순환골재를 활용하여 100% 순환자원에 의한 콘크리트 제조를 목적으로 하고, 이를 활용하여 레미콘 및 2차 제품 제조에 관한 연구로서 본 연구에서 수행하는 해체단계 이물질 혼입을 방지하는 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br>• **(연계방안)** 본 연구에서 분별해체를 통한 폐콘크리트 자원화와 이를 활용한 2차 제품 개발에 연계 활용 가능 |
| 순환골재의 pH 저감기술 실증화 | 환경부<br>(환경산업기술원) | • **(주요연구내용)** 순환골재의 알칼리성분을 저감시키고, 온실가스 저감측면에서 CO2를 이용한 촉진탄산화 반응을 활용, 순환골재의 pH를 저감시키는 기술 개발<br>- 순환골재 pH 저감 실증시설의 설치 및 운용<br>- 순환골재 pH 저감기술의 환경성, 경제성 분석 제시<br>- 순환골재 환경관리기준안 제시<br>• **(주요성과물)** 순환골재 pH 저감 실증 플랜트 | • **(차별성)** 해당 연구는 건설폐기물 중 강알칼리인 폐콘크리트의 pH 저감을 목적으로 하여 CO2를 이용한 탄산화 기술개발과 이 과정에서 탄산칼슘 제조에 관한 기술로서, 본 연구에서 수행하는 해체단계 자재의 성상별 분별해체 기술개발과 이를 활용한 재활용 인프라 구축과 상이함<br>• **(연계방안)** 본 기술에서 순환골재 고품질화와 인프라 구축에 부분적으로 연계 가능 |
| 구조물 보수해체를 위한 친환경 해체 로봇시스템 개발 (‘16.01.01 ~ ’16.12.31) | 미래창조과학부<br>(한국생산기술연구원) | • **(주요연구내용)** 구조물 취약화 및 안전해체 장비에 관한 연구로, 시공성/저비용/친환경성을 동시에 충족시키는 해체장비 개발<br>- 구조물 해체를 위한 듀얼커팅 어태치먼트 시스템 개발 (굴삭기)<br>- 콘크리트 구조물의 유압식 파쇄 기술개발 (브레이커)<br>• **(주요성과물)** 듀얼커팅 어태치먼트, 굴삭기형 해체로봇 | • **(차별성)** 해당 연구는 도로커팅 및 콘크리트 구조물 파쇄를 위한 저비용/고효율 장비 개발에 관한 연구로서, 본 연구에서 수행하는 건축물 안전해체를 위한 가상/무인/경량 장비 기술개발과는 상이함<br>• **(연계방안)** 본 연구에서 안전해체를 위한 장비 기술개발에 부분적으로 연계 가능 |

| 타 연구과제명 | 사업주관기관<br>(지원기관) | 주요연구내용 및 성과물 | 핵심과제와의 차별성 및 연계방안 |
|---|---|---|---|
| 도시재생을 위한 친환경 기계식 해체장비 설계플랫폼 기술개발 (‘15.01.01 ~ ’15.12.31) | 미래창조과학부<br>(한국생산기술연구원) | • **(주요연구내용)** 국소 건물해체를 위한 고효율/친환경 워터젯 해체장비 설계 기술 개발<br>- 워터젯 해체장비 설계플랫폼기술 개발<br>- 부분단면 해체장비 설계플랫폼 기술 개발 (로드헤더&커팅헤더)<br>• **(주요성과물)** 다관절 및 고성능 워터젯 해체장비 설계기술, 부분단면 해체장비 저소음 설계, 배열설계 및 최적설계기법 | • **(차별성)** 해당 연구는 워터젯 해체장비 및 부분단면 해체장비 설계플랫폼 기술 개발에 관한 연구로서, 본 연구에서 수행하는 건축물 안전해체를 위한 가상/무인/경량 장비 기술개발과는 상이함<br>• **(연계방안)** 본 연구에서 안전해체를 위한 장비 기술개발에 부분적으로 연계 가능 |
| 국부손상 RC 구조물 대응 급속해체 기술개발 (‘12.05.01 ~ ’15.12.31) | 교육부<br>(한국연구재단) | • **(주요연구내용)** 국부손상 RC 구조물의 2차 붕괴에 대응할 수 있는 급속해체 기술 개발<br>- 국부손상 RC 구조물의 2차 붕괴 가능성 평가 기법<br>- RC 구조물 연쇄붕괴 저항성능 평가<br>- 평가 등급에 따른 급속해체 설계기술<br>• **(주요성과물)** 구조물 부분해체와 긴급해체 시 사용되는 미니 블라스팅 공법, 단공용 급결 전색제 및 발파 파쇄 공법 | • **(차별성)** 해당 연구는 국부손상 RC 구조물의 연쇄붕괴 저항성능, 2차 붕괴 가능성 평가 및 급속해체 기술에 관한 연구로서, 본 연구에서 수행하는 해체설계를 위한 정보획득 기술 및 건축물 안전해체 기술개발과는 상이함<br>• **(연계방안)** 본 연구에서 안전 확보를 위한 건축물 정보 획득 및 설계 기술 개발과 부분적으로 연계 가능 |

# 제 6장 기술개발 계획

## 1절. (구성기술 1) 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발

### 1. 개념

■ **(목표)** 건축물 해체설계·해체계획서 작성 자동화 및 현장점검 서비스 기반 구축

■ **(기술개발)**

① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계* 기술 개발

*사양설계 : 건축물 유형별 위험도 분석을 통한 대표 설계도 작성 및 이를 활용한 해체설계

② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발

③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발

<표 6.1> 구성기술 1 - 개발 기술 및 개발내용 체계

| 구성 기술 | 개발 기술 및 개발 내용 |
|---|---|
| 1<br>건축물 안전<br>해체계획·설계 기술<br>개발 | **1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발** |
| | 1-①-1 건축물 기본 정보 기반 소규모 건축물 유형 분류 및 해체 건축물 신속 진단 기술 |
| | 1-①-2 중소 건축물 잔존 내하력 진단평가 정량화 및 구성 재료 신속 분류 기술 |
| | **1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발** |
| | 1-②-1 도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 개발 및 위험도 유형 분류 |
| | 1-②-2 BIM 기반 해체계획서 자동화 작성을 위한 폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술 개발 |
| | **1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발** |
| | 1-③-1 3D·Virtual 시뮬레이션을 통한 위험/장애 공정 가상 해체 기술 개발 |

그림 6.1 구성 기술 1 - 연구개발 전·후 환경 변화

# 2. 기술개발 내용

## 2.1 상세기술 개발 내용

### 2.1.1 [과제 1-①] 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발

**[과제 1 - ① - 1] 건축물 기본 정보 기반 소규모 건축물 유형 분류 및 해체 건축물 신속 진단 기술**

**1) 기술개발 목표**

- 500m$^2$ 이하 소규모 RC 및 조적조 건축물 유형 분류 및 대표 설계도서 작성

**2) 기술의 개요**

- 해체설계를 경제적이고 신속하게 수행하기 위한 기초도면 작성 기술
- 분류된 유형에서 해당 건축물에 맞는 기초 도면을 선택한 후 각 구조별 특성을 반영한 부위별 설계 모듈을 반영하여 해체 설계도면 작성

**3) 필요성**

- 소규모 건축물 해체설계 및 해체계획서 작성을 위한 도면정보가 필요하지만, 대부분의 소규모 건축물들은 도면 미 보유 또는 디지털 도면 확보가 미진함
- 소규모 건축물 해체공사의 대부분이 저가 비용에 의한 공사로 도면 작성을 위한 경제적 기반이 어려운 상태. 따라서 경제적인 도면 작성 환경 제공 필요
- 전도·붕괴 방식의 해체공사에서 해체설계도서 작성 필요성이 낮음. 그러나 유가성 폐자재의 해체, 석면 건축자재와 같은 지정 폐기물 해체, 향후 분별해체공사에 따른 내장재의 해체 시 해체설계도서 작성은 반드시 필요
- 소규모 건축물은 대부분 석면지도 의무 작성 대상에서 벗어나기 때문에 이와 병행하여 작성하는 방안 고려 필요

**4) 내용 및 범위**

- 구조 형식별 건축물 유형 분류 인자 도출

· 건축물 해체 설계를 위한 대표 유형 분류(구조일반 사항, 보·기둥의 형태, 지반 구조 형태, 인접 건축물 형태 등을 반영한 유형 분류)

- 각 유형별 설계 모듈의 작성

· 해체설계에 필요한 도면 작성을 위한 보·기둥·벽·바닥 구조물 설계모듈 작성

· 구조 형식에 따른 대표 기본도면 sorting 후 부분적 보완을 통한 해체 설계도면 작성

- 소규모 건축물 사양 설계 기초 설계도서 및 이를 활용한 설계 S/W

· 면적, 층고, 구조, 인접 건축물 영향 등을 고려한 설계 S/W

· 기초도면 및 간략한 현장 조사 정보를 활용한 도면 작성 프로그램

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 기존 세움터에 수록된 도면 활용

- 광역단위 디지털 서치에서 수립된 건축물의 개략적인 디지털 정보를 활용하여 설계를 위한 구체적 자료 작성
- 기존 설계 시스템의 모듈화 된 부위별 디지털 설계도서 작성 시스템 활용

### 6) 최종 성과물 및 활용 방안

- (최종 성과물) 건축물 유형별 사양설계 도면
  · 소규모 건축물 기초 설계를 위한 RC/조적, 층수 구별, 바닥 유형분류 별 선택 가능한 사양 설계 도면의 구축과 이를 활용할 수 있는 선택 기준 제시
- (활용 방안) 건축물 해체설계 도서 작성 → 해체설계 기반 시공 계획 수립 등 전반적인 해체 계획 수립 활용
  · 연구개발 결과물 활용 → 설계자 사양설계 단계 활용
  · 사양 설계 결과물 → 해체시공자 안전해체 계획 및 시공 단계 활용

### 7) 기대효과 및 파급효과

- 소규모 건축물 경제적 해체설계 가능
- 해체시공 감리 도서 활용
- 향후, 해체 건축물 DB정보 구축 및 이를 활용한 해체 사양 설계 유형 세분화 활용 가능

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 소규모 건축물 디지털 도면 無<br>- 해체설계 없는 경험적 해체 시공<br>- 선붕괴·후분별 관행적 해체공사 | - 사양적 설계도면 기반 해체설계<br>- 해체설계 기반 계획적 안전 해체 계획 수립<br>- 선분별·후해체 계획 수립 기반 구축 |

**[과제 1 - ① - 2] 중소 건축물 잔존 내하력 진단평가 정량화 및 구성 재료 신속 분류 기술**

**1) 기술개발 목표**

- 해체설계 반영을 위한 취약부위 판정 및 구성재료 신속 진단 기술

**2) 기술의 개요**

- 도면을 미보유한 해체 건축물의 잔존 내하력을 신속·정량적으로 진단 및 평가하는 기술

**3) 필요성**

- 중소규모 해체공사 건축물의 대부분 시공시의 도면을 미보유하고 있는 실정임
- 도면 미보유한 건축물은 사전 안전진단을 통해 해체 대상 건축물의 잔존 내하력을 검토하여 해체 순서를 선정해야 하지만, 예산과 공기 절감 등을 위하여 이를 생략하는 경우가 대부분임
- 정량화된 안전진단 및 평가 기술을 통해 해체 건축물의 잔존 내하력을 신속하게 진단하고 평가하는 기술 개발이 필요함

**4) 내용 및 범위**

- 해체공사 대상 건축물 내하력 취약부분 진단평가 알고리즘 개발
  · 시공 연도별, 건축물 양식별 내하력 취약 예상 부위 DB화
- 해체공사 대상 건축물의 내하력 취약부위 진단평가 정량화 기술
  · 콘크리트 품질 평가 진단 정량화 기술개발
  · 스캐닝 기반 철근 배근 진단 정량화 기술개발

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 건축물 안전관리 지침 및 구조안전 진단관리 지침을 활용한 소규모 건축물 진단
- 기존 진단관리 지침은 전체 구조물 안전성 평가이며, 본 기술 개발은 전체 구조물 중 사고 발생 빈도가 가장 높은 해체 단계에서의 ‘벽체전도’, ‘바닥 꺼짐’ 등 부분 안전 진단 지침 작성
- 부분 해체를 위한 안전진단 관리 분야 확대
- RC 벽체, 조적조 벽체의 구성 재료 확인 후 전도 가능성 판단 자료 활용

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 소규모 건축물 잔존 내하력 진단 평가 기술
  · 해체 대상 건축물 주요 구조물(벽, 보, 기둥, 바닥)의 내하력 신속 평가 기술
  · 해체 공정 사고 비율이 가장 높은 벽체의 전도사고 예방을 위한 분석 자료 활용
- (활용 방안) 해체계획서 작성 → 안전해체 계획 수립 활용
  · 연구개발 결과물 활용 → 해체 계획 수립을 위한 신속 정량화 진단 결과 도출을 위한 진단 기술자, 설계자 활용

· 신속 정량화 진단 결과물 → 설계 및 해체 시공 안전관리를 위한 현장 기술자 활용

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 소규모 건축물 신속 안전 진단 기술
- 해체 안전사고 빈도가 가장 높은 벽체 전도사고 예방을 통한 해체안전 사고 감소
- 향후, 해체 건축물 DB정보 구축 및 사양 설계 유형 구축 중 소규모 건축물 구조 안전성 유형 분류 자료 활용

| AS-IS | TO-BE |
|---|---|
| - 소규모 구조 안전성 검토 없이 굴삭기 등을 이용한 전도 붕괴 방식의 해체<br>- 소규모 건축물 구조 안전성 평가 자료 수입 無<br>- 선붕괴·후분별 해체공사에 따른 건축물 안전 진단 정보 필요 없음 | - 500m$^2$ 미만, 3층 미만 소규모 건축물 신속 구조 안전 진단 및 정량화 기술<br>- 해체시공 단계 안전사고 예방을 위한 취약화 부분 대책 수립 후 시공<br>- 건축물 내장재 해체를 위한 소형 장비 활용성 사전평가에 따른 분별해체 기계화 시공 기반 구축 |

## 2.1.2 [과제 1-②] 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발

**[과제 1 - ② - 1] 도심지 밀집 지역 건축물 위험도 분석 기술 개발 및 위험도 유형 분류**

**1) 기술개발 목표**

- 해체 설계 및 계획 수립을 위한 지상, 지하 구조물 및 인접 건축물 영향 분석 기술

**2) 기술의 개요**

- 해체 계획서 작성에 필요한 지상 및 지하구조물의 위험도 및 인접 건축물의 영향을 분석하여 안전 해체 계획서 수립 반영

**3) 필요성**

- 해체 건축물은 지상 및 지하 구조물의 유형에 따른 해체설계가 이루어져야 함
- 특히, 인접 건축물에 영향을 미칠 수 있는 사항의 사전 분석을 통한 해체 계획 수립 필요
- 해체 대상 건축물의 지상 지하 구조물 여부, 인접 건축물의 지상 지하 구조 형태 등의 분석을 통한 해체 계획 수립 필요
- 전기·상수·하수·가스 등 지하 인프라 시설물의 영향 분석 필요
- 밀집 지역 지하구조물 해체 시 붕괴 방지 설계 및 안전 모니터링을 위한 기본 정보 구축 필요
- 소규모 건축물 해체 공정의 위험 요소 분류 및 각 위험별 유형화 후 이에 대한 대책을 해체계획서에 반영할 수 있는 시스템 구축 필요

**4) 내용 및 범위**

- 해체 공사를 위한 건축물 지상 및 지하부분 위험도 분석 기술 및 유형별 위험도 분류
  · 건축물 자체 및 인접 건축물 영향에 따른 해체 단계 안전사고 위험성에 대한 분류
  · 위험도의 유형 분류에 따른 해체설계 및 계획서 반영 사항 도출
- 해체 계획서 작성단계 위험/취약 부위 연계 기술 개발
  · 위험/취약 부분 위험 유형 및 단계 구분을 통한 부위별 해체계획서 반영을 위한 연계기술개발
  · 해체공사 단계 기반 시설 인프라 안전관리 기술개발

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 소규모 건축물 설계도서 분석을 통한 위험도 분석 기술의 구조적 문제점 유형 분류 및 비율 연구 연계 기술 개발
- 지역 단위별 취약지구 위험도 분석, 리질리언스 분석 등의 활용 자료를 이용한 단위 건축물 → 지역단위 위험도 영향에 대한 조사 분석(지반 취약 지역 등 반영)
- 조적조 건축물의 구조 안전성 분석 자료 활용 등 [과제1- ① -2]에서 도출하는 구조물의 분위별 내하력 평가 기술 연계 활용

- 위험도 유형분류 시 - 화재안전 위험도 평가 분류 체계 참조

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 소규모 건축물 위험도 분류 체계 및 분석 방법
  · 해체 대상 건축물 및 인접건축물, 인프라 시설물 영향 등의 유형화 분류
  · 위험도 분류 유형을 적용한 해체 대상 건축물 부위별(요소별) 위험도 평가
- (활용 방안) 해체계획서 연계 시스템 구축 → 부위별 해체계획서의 설계도서 및 공정 단계별 위험도 표시(색상 또는 Level)
  · 연구개발 결과물 활용 → 해체 설계 및 계획 수립을 위한 사전 위험도 평가
  · 위험도 평가 결과물 → 해체시공 안전관리, 감리, 인·허가 지자체 관리 감독자 활용

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 지상 및 지하구조물 위험도 평가를 통한 안전 해체 시공 계획수립
- 감리 또는 안전관리 감독자의 공정별 중점 관리 요소 제공
- 단순 전도 및 붕괴, 지하구조물 해체공사에 따른 인접 건축물의 영향 인자 최소화

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 소규모 건축물 위험도 평가 없이 단순 붕괴·전도 해체공사<br>- 인접 건축물 영향(특히 지하구조물)에 대한 경험적 해체 시공 실시(단순 H 형강 보강 등 적정 설계 없이 반영)<br>- 가스·상하수도 및 지하 인프라 시설 위험도 분석 자료 없음 | - 공사 단계 및 부위별 위험도 분석을 통한 해체 안전사고 예방 계획 수립<br>- 해체공사에 따른 인접 건축물 영향 최소화를 통한 안전해체·인접 건축물 민원 최소화 해체 시공 가능<br>- 해체계획서 자동화 작성을 통한 해체 위험에 대한 감리 및 인허가 담당 공무원의 관리 감독 강화 |

## [과제 1 - ② - 2] BIM 기반 해체계획서 자동화 작성을 위한 폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술 개발

### 1) 기술개발 목표

- 건축물 해체에 따른 폐기물 배출량 예측, 해체공사 비용 산정과 해체공사에 따른 환경성 평가를 통한 친환경 해체 기술 적용 피드백

### 2) 기술의 개요

- BIM을 이용하여 해체 설계에 따른 건축물 해체 공사에 투입되는 장비 총량 및 정확한 배출 폐기물 예측을 통하여 해체공사 관리 실시
- 해체공사 환경 영향 분석을 위한 전 과정 연료 활용, 소음·분진·폐기물 관리에 따른 환경영향성 평가 → 향후 중대형 건축물 확대, 지자체 단위 또는 국가 단위의 해체공사에 따른 환경성 평가 자료 활용

### 3) 필요성

- 해체공사 건축물에 대한 경험적 해체 공사 투입 인프라 산출. 특히 소규모 건축물의 경우 단순 붕괴·전도 장비 및 외부 차단막 등의 시설 중심 산출
- 건설공사 표준품셈의 건설폐기물 배출 원단위를 기반으로 폐기물 배출량을 사전에 산정하고 있으나, 소규모 건축물의 경우 유형이 매우 다양하여 사전 산출량의 정확도가 낮아 계획 대비 실제 배출량에 차이 발생
- 위험도 분석, 분별해체 공사 등 해체 시공의 관리강화와 기술 진보에 따른 공정별 투입 건설장비의 정량적 관리 필요 - 환경성 평가 자료의 기반
- 해체공사의 환경 영향성 평가를 통한 온실가스 배출량 산정과 이를 기초로 한 개선 방안 수립 대책 자료 구성 필요
- 노후 건축물 증가, 재개발·재건축 증가로 해체공사가 환경영향에 미칠 수 있는 요인 증가하고 있음
- 따라서, 해체공사의 공사비용·단계별 투입 자원의 분석·폐기물 배출량 예측을 통한 환경성 평가 기반 구축이 필요하며, 이러한 환경성 평가 자료가 해체계획서에 반영되어 단위 건축물의 환경관리와 더불어 도시, 국가로 확대할 수 있는 기반 구축 필요

### 4) 내용 및 범위

- BIM 해체설계 기반 소규모 건축물 공정 별 해체 투입 장비 및 자원의 산출
  · 해체 공사비용 및 환경성 영향 분석을 위한 공정 수립 및 내장재 해체·구조물해체·해체관리 등에 필요한 자원 분석
  · 공정 및 각 투입 자원별 탄소배출 인벤토리를 활용한 작업의 환경성 분석
- 해체계획서 자동화 작성 연계 기술 개발
  · 투입자원의 예측, 폐기물 배출량 예측 자료에 대한 해체계획서 자동화 연계 프로그램 및 배출 폐기물 관리 계획 수립 기반 제공

· 해체계획서 상 단위 건축물 별 환경영향성 예측 자료 제시(공사 완료 후 투입된 자원의 정산 방식으로 재입력하여 정확한 환경영향 평가 → 건설공사 환경영향 평가 DB 구축 자료)

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- ’06 ~ ’11년 국토부 해체기술연구단에서 산출하였던 해체공사 용도별 폐기물 배출량 도출 자료 연계 및 국토교통부 건설공사 표준품셈 구조형식 및 용도별 배출량 산정 기준 연계
- BIM 활용 건축물 신축 설계 기술 연계 → 신축설계 역순으로 적용한 해체설계
- 환경부 건축자재별 탄소배출량 인벤토리 및 산업 생산별 온실가스 배출량 산정 프로그램 활용 연계

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) BIM 기반 소규모 건축물 해체계획서 작성 자동화 구축
  · 해체공사 투입 자원(장비·연료·인력) 및 배출 폐기물 산정 자동화 프로그램
  · 해체계획서상 단계별 투입 자원 및 폐기물 관리 단계 제시 및 관리 방안 수립
- (활용 방안) 해체계획서 작성 단계 활용 → 해체공사 투입 자원 및 현장 단계별 관리 요소, 배출 폐기물의 관리에 대한 단계별 수립
  · 연구개발 결과물 활용 → 해체계획 수립 단계 현장 관리 방안
  · 해체계획서 자동화에 따른 결과물 → 단계별 자원투입 관리, 폐기물 배출관리, 안전관리, 해체시공 담당자 및 폐기물 관련 지자체 공무원 활용

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 소규모 건축물 해체공사 투입 자원 계획 수립 및 단계별 자원 투입 방안
- 단계별 폐기물 배출량 관리 및 정확한 예측에 의한 설계변경 최소화
- 소규모 해체공사의 환경성 평가 → 향후 중대형 건축물, 도시 → 국가 단위 해체공사 환경성 영향 종합 평가 자료 도출 가능

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 품셈 방식에 의한 자원의 투입과 폐기물 배출량 산정 → 실제 투입량 및 배출량과 상이하여 설계 변경<br>- 환경영향 평가 없이 해체 공사(국내 30년 이상 노후 건축물 중 소규모 건축물 비중 94%임. 전체 규모 합산할 경우 환경영향 미치는 요인 매우 큼) | - 일괄 방식의 품셈 산출 자원의 투입에서 개별 건축물 해체설계 기반 자원투입 및 폐기물 배출관리 가능<br>- 공사 진행 중 설계 변경 최소화<br>- 해체공사의 환경성 평가 및 전문 업종으로 국가 환경관리 기여 |

## As-Is

**계획/실제 배출량 상이**

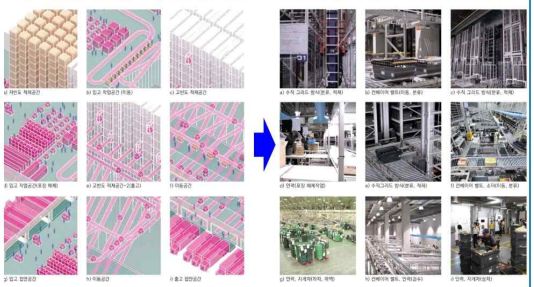
**투입 자원 및 배출량의 계획/실제 산출량 상이 → 해체공사 중 설계 변경**

- 품셈 방식에 의한 자원의 투입과 폐기물 산정 → 실제 투입량 및 배출량과 상이하여 설계 변경
- 환경영향 평가 없이 해체 공사
- 30년 이상 소규모 건축물 규모 94% → 환경에 미치는 영향 큼

## 개발기술

**폐기물 산정·비용분석 및 환경성 분석 기술**

<투입장비 및 자원 산출> <예측 기반 자원 투입>



BIM 기반 공정별 투입장비 및 자원 산출

해체계획서 자동화 작성 연계 기술 개발

해체시공 및 해체관리에 필요한 자원 분석

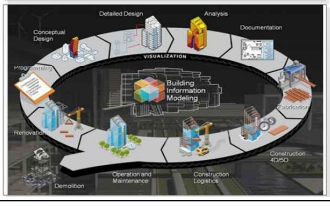
배출 폐기물 관리 계획 수립 기반 수립

## To-Be

**해체계획서 자동화 작성**

**BIM 기반 소규모 건축물 해체 계획서 작성 자동화 구축**

- 일괄 방식의 품셈 산출 자원의 투입에서 개별 건축물 해체설계 기반 자원투입 및 폐기물 배출관리 가능
- 공사진행 중 설계 변경 최소화
- 해체공사의 환경성 평가 및 전문 업종으로 국가 환경관리 기여



### 2.1.3 [과제 1-③] 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발

**[과제 1 - ③ - 1] 3D·Virtual 시뮬레이션을 통한 위험/장애 공정 가상 해체 기술 개발**

**1) 기술개발 목표**

- 위험·장애 공정 사전 분석 및 가상 해체설계를 위한 가상 구조물 해체 시뮬레이터 개발

**2) 기술의 개요**

- 해체계획서에 기초한 해체공정 가상(Virtual) 3D 시뮬레이션 및 위험 사전 예측
- ICBM(IoT/Cloud/BIM/Mobile) 정보 기반의 노후 구조물 역설계 및 진단결과를 활용한 해체공정별 대용량-초고속 해체/붕괴 시뮬레이터 개발
- 해체 대상 구조물의 역설계 및 진단결과를 활용한 해체공정별 해체 시뮬레이션 기술개발

**3) 필요성**

- 구조물 해체과정 중 붕괴에 의한 인명 및 물적 피해가 꾸준히 발생하고 있으며, 규정 이상의 철거 잔해물 적재하중에 따른 붕괴사고가 그 원인 중 하나임
- 이러한 사고를 예방하기 위해서는 준공도면(측량정보)을 기반으로 구조물에 대한 정밀한 형상 모델링과 해체과정별로 정밀한 변위, 폐기물 및 장비 하중 그리고 붕괴거동 분석이 이루어져야 함
- 해체공사의 현장 공정을 3차원 시각화함으로써 해체공사 참여자들에게 현장의 다양한 위험 사항들을 사전에 검토하고 현장인력의 안전교육훈련과 동시에 필요한 대응방안을 수행토록 함
- 실시간 구조물 진단과 구조물 해체 시 안전성 확보를 위한 예측 데이터 필요

**4) 내용 및 범위**

- 위성/드론/Lidar 3차원 공간정보데이터 자동 병합 알고리즘 개발
  · AI 접촉검색최적화를 적용한 3차원 FEDEM 하이브리드 소프트웨어 개발
- ICBM(IoT/Cloud/BIM/Mobile) 기반 실시간 구조물 역설계 및 해체 시뮬레이션 기술
  · 역설계 3차원 형상 정보 기반의 해체 시뮬레이션 기술
  · 해체공정별 장비 및 철거물 적재하중을 고려한 배치 시뮬레이션 기술
- 해체 공사 현장과 동일 조건의 3차원 가상현실 공간 구현 및 해체 시뮬레이터 개발
  · 공법별 해체 시나리오 기반 3차원 시뮬레이션을 위해 Asset Library 및 장비 아바타 구축

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- BIM/AI/VR 활용 건축물 해체 설계 기술
- 노후·위험 건축물 안전해체에 대응한 3D 디지털 정보 구축 기반 스마트해체 시스템 통합 기술개발(국토교통 R&D)

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) ICBM 정보기반 노후 구조물 해체설계 소프트웨어
  · 역설계/BIM설계 기반 Pre/Post Process 탑재한 3차원 해체/붕괴거동예측 소프트웨어
  · 해체 공사의 3차원 기반 가상 시뮬레이션 기술
  · 3차원 해체 시뮬레이션 기술 및 소프트웨어
- (활용 방안)
  · 연구개발 결과물 활용 → 위험 및 장애 건축물 사전 위험 분석과 최적 해체 공법 도출을 위한 가상 해체 적용

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 위험/장애 건축물 안전 해체 기반 구축
- 가상 해체 및 시뮬레이션을 통한 해체공사 전과정 사전 분석

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 오래된 노후 구조물에 대한 준공도면 자료 부족<br>- 숙련공 경험 의존적 해체공사 환경<br>- 돌발 안전사고에 대한 기능공의 인식부족 및 대응 미숙<br>- 철거 잔해물의 방치/과적에 따른 하중 집중으로 구조물 붕괴<br>- (선행기술) 원전 구조물 등 가상해체 기술 적용 | - 수치지형도, 광학 이미지, Lidar 자료 등을 반영한 최적의 구조물 형상 정보 구현<br>- 실측데이터 기반의 3차원 가상 해체 시뮬레이션을 활용한 사전 위험·장애요소 감지 및 대응책 마련을 통해 안전해체 실시<br>- 적정 장비 배치 및 철거물 적재/처리 시기 예측으로 선제적 붕괴 예방<br>- 시뮬레이션 결과를 반영한 최적 해체 계획서 작성<br>- 일반 건축물 적용 확산 기반 마련 |

## 2.2 성능지표 및 목표 성능

<표 6.2> 구성 기술 1 - 성능지표 및 목표성능

| 개발 기술 | 성능지표 | 현재 최고 기술수준 | | 개발 목표 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 해외 | |
| 1-①<br>소규모 건축물<br>유형분류 기반<br>사양설계 기술 개발 | 소규모 건축물 정보 신속 Data 구축 | 실험 기반 Data 구축 | Data 구축예측 설계 | 구조물 강도, 내구성 Data화 |
| | 소규모 건축물 사양설계 | 소규모 건축물 CAD 도면 10% 미만 | BIM 기반 해체 설계 | BIM 기반 사양설계 30종 |
| 1-②<br>건축물 해체계획서<br>자동화 기술 개발 | **소규모 건축물 유형분류** | **조적, RC, SRC, 목조 4종 구분** | **조적, RC, SRC, 목조 4종 구분** | **구조, 용도, 규모별 30종 유형분류** |
| | 해체계획서 자동화 | - | - | 사양설계/유형분류 기반 자동화 S/W |
| 1-③<br>고위험/장애 구조물<br>해체설계를 위한<br>가상해체 기술 개발 | BIM 기반 붕괴·거동 예측 SW 고도화 | PFC3D 발파해체 붕괴 시뮬레이션 | ELS AEM Solver | 예측 신뢰도 80% |
| | BIM 기반 4D 가상해체 동적 시뮬레이터 개발 | 가상건설 4D 시뮬레이터 | Autodesk Navisworks | 실제 해체 모사 정확도 80% |

### ☞ (1-①) 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발

■ 소규모 건축물 정보 신속 Data 구축

**- (설정 이유) 건축물 해체 설계를 위해서는 건축물을 구성하고 있는 재료의 성능 평가가 선행되어야 함. 이를 위하여 주요 구조부의 재료성능, 내하력 등의 정보 추출이 이루어져야 하지만, 소규모 건축물 해체 시공의 비용, 수행 사업자의 영세성 등으로 인하여 실질적으로 수행되기 어려운 상황임. 따라서 소규모 건축물의 구조, 용도, 주요 구성 재료에 대한 Data 구축을 실시하여 해체설계 자동화 데이터로 활용하여 안전해체를 위한 기본 자료 제공 필요**

**- (설정 근거) 소규모 건축물 구성 재료 및 구조의 한정**

· 3층 이하, 500m$^2$미만, 12m 미만의 소규모 건축물의 구성 형태는 조적, RC 등으로 한정되어 있음. 특히, 적용 재료의 강도 및 내구성 등의 평가를 위한 데이터는 주요 구조부인 기둥 및 보, 조적벽의 특성 형태 분석을 통하여 안정성 평가가 가능함

· 조적벽의 경우 부재의 크기 및 마감 재료의 특성 분석을 통하여 전도 등의 위험성 평가가 가능하며, RC 부재의 경우 대부분 24MPa 이하의 강도를 적용하기 때문에 위험도의 유형화가 가능함

· 소규모 건축물의 낮은 도면 확보율과 이에 따른 시공 당시의 정보 확보가 불가능하기 때문에 이를 유형화하여 해체 설계 자료 제공 필요

**- (국내 최고 기술수준) 건축자재 강도 및 내구성 예측 기술의 발전**

· 비파괴 검사 및 시료 채취를 통한 재료의 특성 분석을 실시하고 이를 유형화 하여 해체 안전 범위 설계 가능 데이터의 제공

· 건축물의 지역별 특성을 고려한 중성화, 동결융해, 염해 특성에 대한 내구성 평가 가능. 즉, 준공 년도를 확보할 경우 해당 소규모 RC 구조물의 잔존수명 예측 가능

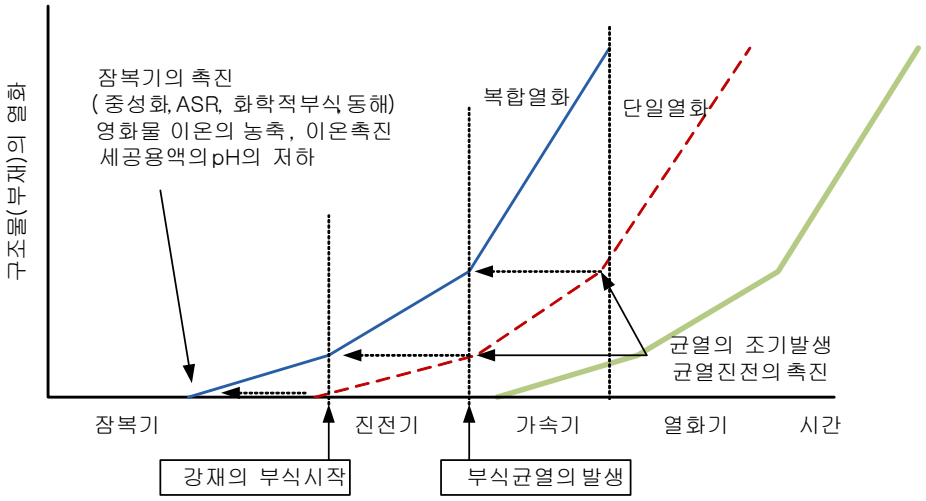



그림 6.2 건축재료 열화의 시간별 진전
<출처 : 한국건설기술연구원, 인공지반 구조물의 내구성 평가, 2013>

**- (해외 최고 기술수준)** ACI 내구성 설계 기준

· 매크로 모델은 콘크리트구조물이 충분한 사용기간 50년(ACI,BS, Eurocodes)에서 75년(AASHTO)) 내에서 구조적 관점에서의 안전성을 보장하도록 하는 수준에서 최소 콘크리트 피복 1두께 최대 물시멘트비 최소 시멘트량 허용 균열폭 등과 같은 제한 요소만을 고려한 deemed-to-satisfy rules(만족할 만한 수준의 규정)" 에 기초를 둔 것으로 ACI, AASHTO 및 Eurocode 같은 대부분의 설계기준에서 광범위하게 채택

· 메조 모델은 매크로 모델에 기초한 설계가 정확한 내구성의 평가에 근거하지 못한다는 점을 극복하기 위하여 콘크리트의 열화와 철근의 부식 그리고 이들 간의 상호작용을 지배하는 메커니즘 및 외부 열화환경에 대한 보다 상세한 분류와 정량적 규명을 통하여 메조모델을 내구성 설계에 활용하려는 시도가 이루어지고 있음. 다양한 열화 메커니즘의 대부분은 주위 환경으로부터 콘크리트 내부로 침투한 여러 열화 물질(염소이온 이산화탄소 등)들에 의하여 좌우되는데 이러한 전달 및 열화 메커니즘에 대한 이론적 수치해석 모델의 연구성과를 바탕으로 지금까지 대부분의 국가에서 사용하고 있는 규격, 즉 시방서 및 기준과는 다른 내구성 설계 접근 방법을 개발하게 되었으며 국제적으로 인정되고 확대 적용되고 있음

· 마이크로 모델은 메조 모델에 비해 구조물이 처한 환경적/재료적 특성에 대해 미세하게 접근할 수 있는 해석 기법임. 구조물의 미세환경(micro climate) 특성은 구조요소의 특정 표면에서 온도와 상대습도의 변화 간만대 혹은 비말대 등 노출주기의 변화, 강우 또는 태양 노출여부 및 흙 지하수 해수 등에 대한 접촉여부 등을 포함하며 재료적 특성으로는 시멘트의 수화반응과 이에 따른 미시공극구조의 변화 수화열 또는 건조수축에 의한 균열발생 기타 재료의 성능 저하나 시간에 따른 물성의 변화 등을 모두 포함

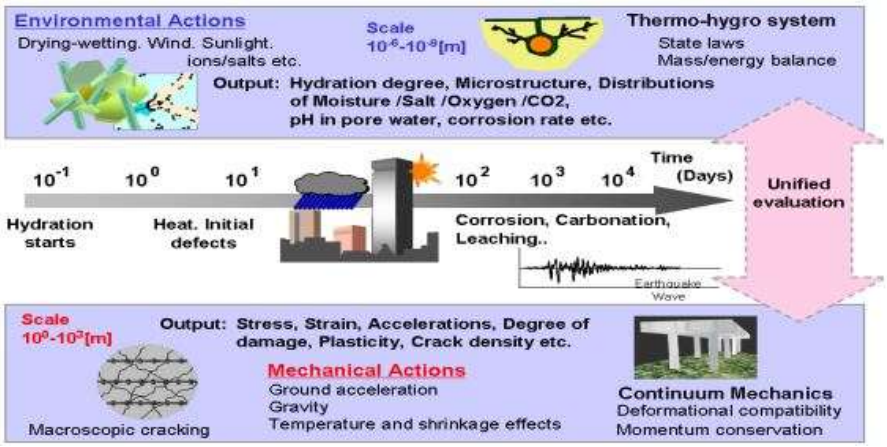



그림 6.3 다중 사케일 모델을 이용한 콘크리트 구조물 성능평가 개념
<출처 : 한국콘크리트학회, 내구성 해석기술, 2008.7>

■ 소규모 건축물 사양 설계

**- (설정 이유) 30년 이상 노후 건축물의 도면 비율은 30% 미만이고, CAD 도면 확보 비율은 5% 미만임. 특히, 소규모 건축물의 도면 확보 비율은 현저하게 낮은 상태임. '19년 기준 전체 해체공사에서 1,000만원 미만의 공사가 34.1%, 5,000만원 미만 공사가 40.4%를 점유하여 전체 74.5%가 소규모 건축물임. 따라서 해체설계를 위한 현장 사전 조사, 도면의 작성, 구조 안전성 검토, 해체 계획서 작성이 불가능한 실정임. 이러한 문제점 개선을 위해서는 소규모 건축물을 유형화 한 후 유형별 위험도 분석을 통하여 각 유형별 기본 설계 도면 제공이 필요함**

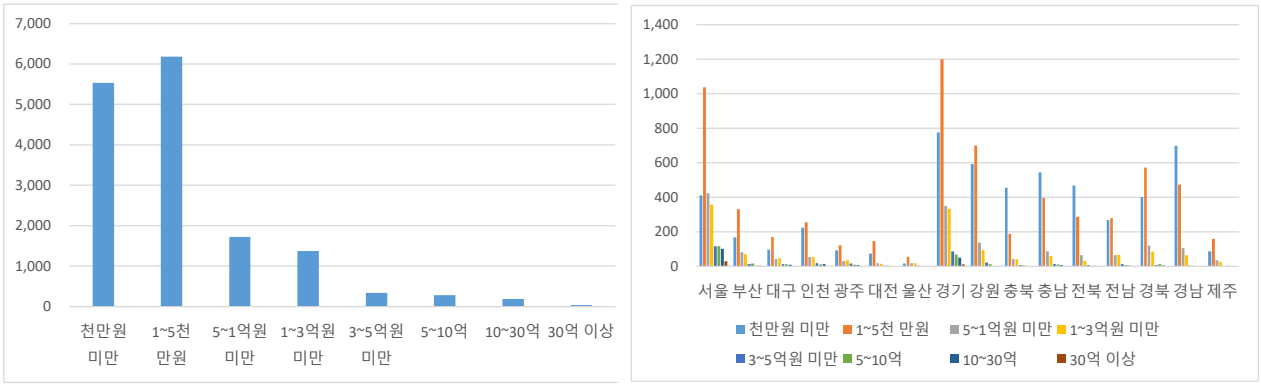



그림 6.4 2019년 해체공사 발주 금액 분류 및 지역별 공사 수행 현황

**- (설정 근거) 소규모 건축물의 유형분류 및 위험도 분석 가능**

· 소규모 건축물의 구성은 단독주택, 및 소규모 근린 생활 시설로 한정되어 있으며, 구성 형태가 한정적임

· 또한 인접 건축물에 영향을 줄 수 있는 지하구조층 및 지하굴착 등이 없는 상태에서 시공되어 있음

· 매트 기초에 의한 지반 설계 등으로 유형분류가 가능함. 다만, 건축물의 용도, 사용연한과 재료의 Data 수집 및 분석을 통한 내구성 특성을 반영하여 건축물의 안전성 평가가 가능함

·

- **(국내 최고 기술수준) 내화구조 사양 설계 기술**

  · 건축물의 내화구조 설계 시 다양한 구조형식 및 피난 설계를 고려하여 구조물의 형식, 규모, 공간의 구성, 화재 중량 등을 고려한 사양 설계 기준을 수립하고 있음

  · 현재는 건축물의 성능을 고려한 성능설계 기준이 적용되고 있으나 소규모 건축물의 경우 구조형식이 단순하고, 건축물의 하중 요소가 단순하기 때문에 소규모 건축물을 유형화하고 해체설계를 위한 사양설계는 충분히 가능함

  · 해체 건축물의 내화구조 설계와 달리 건축물 자체 하중이외에 별도의 하중이 존재하지 않으며, 소규모 건축물의 해체시 별도의 성능 보완을 위한 신기술, 신재료의 활용이 필요치 않음

<표 6.3> 내화설계법에 따른 장·단점

| 번호 | 내화설계법 | |
|---|---|---|
| | 사양적 내화구조 기준 | 성능적 내화설계법 |
| 장점 | · 설계가 용이하고 단순 | · 신기술 신재료의 도입이 용이<br>· 개개의 건축물 특성을 반영 |
| 단점 | · 사용용도, 수용품, 공간 조건에 따른 적정 화재위험도 설정 곤란<br>· 신기술 신재료의 도입이 곤란 | · 각 건축물마다 화재하중, 공간조건,<br>· 개구부 조건 등의 제반요소 검토에 따른 설계과정이 복잡<br>· 높은 수준의 설계기술 요구 |

<출처 : 방재정보, 성능위주 내화설계 개요 및 현황, 2007>

- **(해외 최고 기술수준)** 오토데스크 BIM 360

  · 건 프로젝트, 설계 및 시공 프로세스 통합을 지원하는 시공관리 솔루션,

  · 팀 엑세스를 제공하는 클라우드 기반 웹 서비스

  · 작업공유, 설계 검토, 조정, BIM, 시각화 변경, 품질 및 문제 관리

  · 안전 프로그램 체크리스트, RFI(Request for Information)

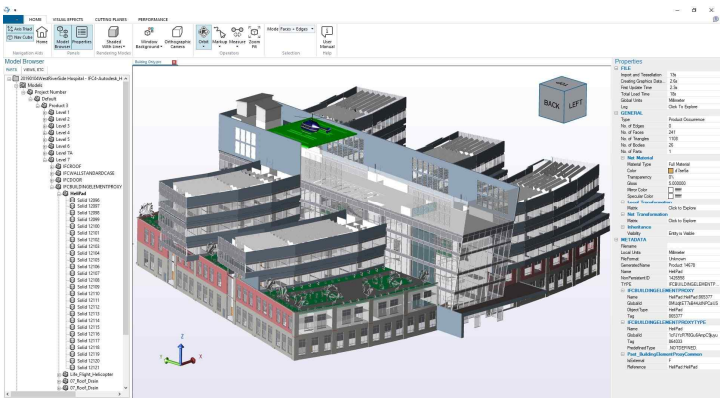


그림 6.5 오토데스크 BIM 360

## ☞ (1-②) 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발

■ 소규모 건축물 유형분류

- **(설정 이유) 소규모 건축물 해체 계획서 작성을 위해서는 현장조사, 구조물의 위험도 분석, 재료의 특성 분석 등 다양한 조건의 Data 확보가 필요함. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 해체공사비 및 시행 업체의 영세성, 건설공사 전 과정에서 해체공사 기간의 할당등을 고려할 때 소규모 건축물 단위별 Data 축적을 통한 해체계획서 작성은 어려운 것이 현실임. 따라서 공공 영역에서 해체공사 안전 기반 구축을 위한 기본 기술 및 Data의 제공이 필요함**
- **(설정 근거) 국내 건축물 현황 분석**
  - ’19년 기준 국내 건축물 720만동 중 주거용 건축물이 64.7%, 상업용 17.5%, 공압용 4.0%, 문교사회용 3.0%, 기타 10.7%로 점유하고 있음

<표 6.4> 건축물 용도 기준 건축물 현황

| | 주거용 | 상업용 | 공업용 | 문교사회용 | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|
| 동수 | 4,612,604 | 1,246,859 | 309,519 | 191,739 | 765,805 |
| 비율 | 64.7 | 17.5 | 4.3 | 2.7 | 10.7 |

<출처 : 국토교통 통계누리, www.molit.go.kr>

  - 전체 건축물에서 주거용 건축물이 64% 점유하고 있음. 이중 단독주택이 396만동을 점유하고 있으며, 공동주택은 16,258개 단지의 11만5천동 정도이며, 여기에 구성하는 세대수는 약 1,000만 가구 정도임. 이를 환산하면 아파트의 동당 평균 가구 수는 86세대이며, 단지별 평균 동수는 7개동에 615세대임
  - 공동주택은 아파트, 연립주택, 다세대주택의 형태로 구분하며, 아파트는 5층 이상이어야 하며, 연립과 다세대는 바닥면적의 합이 660m$^2$를 기준으로 이하이면 다세대, 초과하면 연립주택으로 구분

<표 6.5> 유형별 재고 주택 현황(단위 : 천호)

| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|
| 합계 | 6,104 | 9,205 | 13,223 | 16,367 | 17,123 |
| 단독 주택 | 4,719 | 4,337 | 4,264 | 3,974 | 3,963 |
| 아파트 | 822 | 3,455 | 6,963 | 9,806 | 10,375 |
| 연립 주택 | 350 | 734 | 559 | 485 | 503 |
| 다세대 주택 | - | 336 | 1,229 | 1,898 | 2,073 |
| 영업용 건물내 주택 | 213 | 343 | 209 | 204 | 209 |
| 빈집수 | - | 365 | 727 | 1,069 | 1,265 |

<출처 : 국토교통 통계누리, www.molit.go.kr>

  - 우리나라 층수에 의한 건축물 규모의 구분은 단층 건물이 61.6%를 점유하고 있으며, 31층 이상의 고층은 1,912동 정도 임. 특히 5층 미만의 건축물이 전체의 94.6%점유

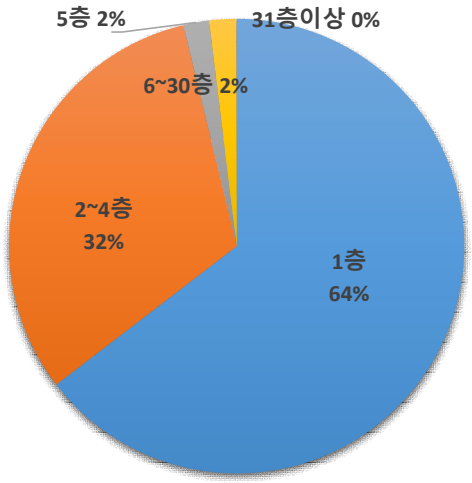



그림 6.6 건축물 층수별 점유 현황
〈출처 : 국토교통 통계누리, www.molit.go.kr〉

- **(국내 최고 기술수준) 소규모 건축물의 유형 분류에 대한 별도의 기준 없음**
- **(해외 최고 기술수준) 소규모 건축물의 유형 분류에 대한 별도의 기준 없음**

■ 해체계획서 자동화

- **(설정 이유) 건축물 안전 관리법 구정에 따라 소규모 건축물 해체공사는 해당 건축물의 구조도면이 없을 경우 현장 조사를 실시하도록 규정하고 있음. 현장조사는 건축물의 외관조사와 재료시험을 실시하고 실측 도면을 작성하며, 기울기, 내하력, 내구성 등을 평가해야 함. 이를 통하여 구조안전성 검토를 통한 검토 보고서가 첨부되어야 함. 이를 기반으로 해체계획서를 작성하도록 규정하고 있음. 그러나 소규모 건축물의 경우 현장 조사는 형식적으로 이루어지고 있으며, 경험에 의한 해체 설계와 계획서 작성이 이루어지고 있음. 따라서 대상 건축물의 건축물 대장, 기본도면 등을 기반으로 사양설계 도면을 적용하여 해당 건축물의 기본 설계를 실시하여 해체 계획서 작성 기반 해체계획이 수립될 수 있도록 하여야 함**
- **(설정 근거) 해체사고 주요 원인은 해체 계획서 작성을 전문가가 아닌 현장 철거회사가 경험에 기반한 계획 수립하기 때문임[73)]**
  - 해체공사에 필요한 적정 Data의 생상과 이를 적용하는 방법을 표준화 하여 계획서 작성이 해당 건축물의 특성을 반영할 수 있도록 하여야 함
  - 해체 대상 건축물의 지상 지하 구조물 여부, 인접 건축물의 지상 지하 구조 형태 등의 분석을 통한 해체 계획 수립 필요
  - 전기·상수·하수·가스 등 지하 인프라 시설물의 영향 분석 필요
  - 밀집 지역 지하구조물 해체 시 붕괴 방지 설계 및 안전 모니터링을 위한 기본 정보 구축 필요
  - 소규모 건축물 해체 공정의 위험 요소 분류 및 각 위험별 유형화 후 이에 대한 대책을 해체계획서에 반영할 수 있는 시스템 구축 필요

73) 서울특별시, 건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼, 2019

- **(국내 최고 기술수준)** 허가대상 건축물 해체계획서 작성

· 3층 이상, 12m이상, 500m$^2$ 이상의 건축물은 구조안전성 검토를 실시한 후 해체 계획서를 제출하여야 함. 인접건축물에 대한 안전성 평가, 지하층 구조물을 고려한 폐기물이 적치 계획, 비산먼지 예방 대책 수립 등 다양한 조건에 대한 검토와 확인 과정을 거쳐 인허가 기관의 승인을 받도록 규정

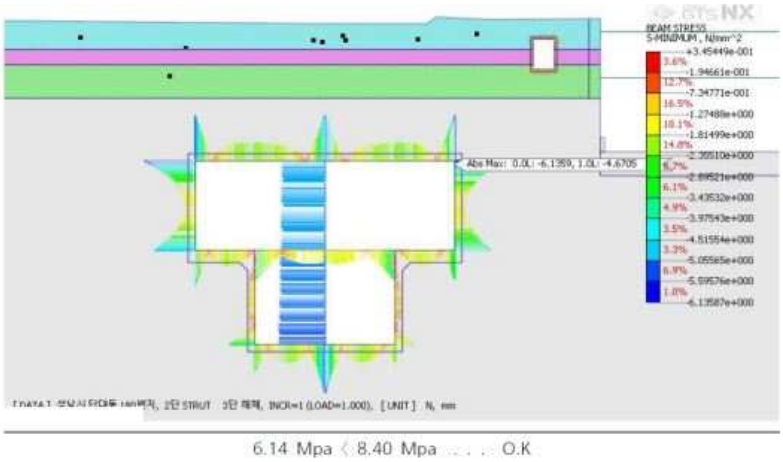



그림 6.7 해체계획서상의 인접건축물 안정성 검토

<출처 : 국토안전관리원, 건축물 해체계획서 검토 사례집>

- **(해외 최고 기술수준)** BIM 기반 해체 설계

· BIM을 시설물 유지관리 사례에 적용한 사례는 건축 구조물 중심. 건축 구조물은 토목 구조물에 비하여 BIM이 적용될 수 있는 범위가 넓고 FM Desktop, Archi FM, Bentley Facility등의 BIM기반의 유지관리 솔루션이 뒷받침 되고 있어 건축 분야의 BIM기반 FM 응용은 토목분야에 비하여 활발함

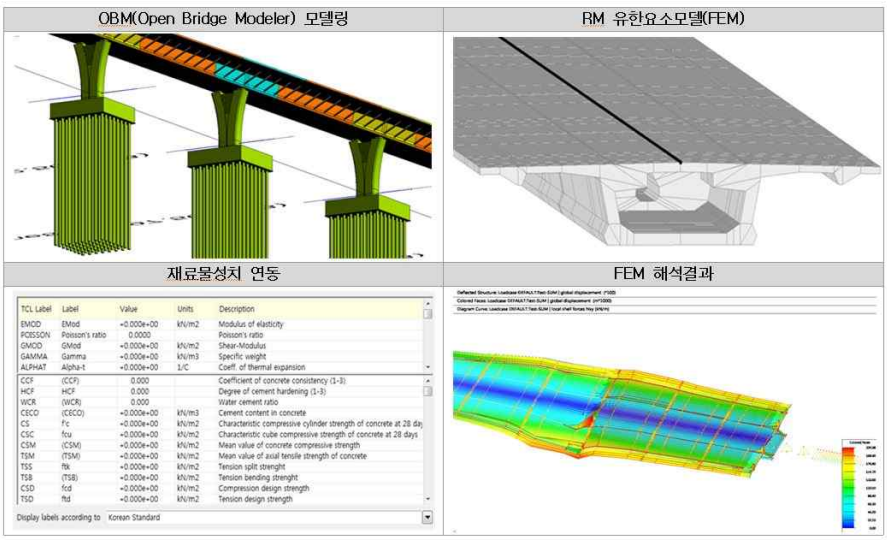



그림 6.8 Bridge Model기반의 FEM 해석 연계

☞ (1-③) 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발

역설계/BIM 기반 해체·붕괴거동 예측 소프트웨어 개발

- **(설정 이유) 사용연수가 30년 이상인 소규모 노후 건축물에 대한 건설정보(준공도면)가 대부분 부족하며, 주로 숙련된 업체의 경험을 바탕으로 해체계획서 작성 및 해체공사가 이루어지는 실정임. 이로 인해 발생 가능한 안전사고에 대한 불확실성 증가로 안전사고 건수 증가 및 기능공 사고대응 미숙 등이 해마다 발생·보고되고 있음. 따라서, 현장조건을 반영한 구조물 형상 구현, 해체공법별 붕괴 예측할 수 있는 소프트웨어 개발이 필요함**
- **(설정 근거) 3D 스캐닝 및 측량 장비를 활용한 데이터와 해체공법별 해체 시나리오 등을 바탕으로 정확한 대상 건축물 구현 및 주변여건을 고려한 최적 해체공법 제시되어야 함**
  - 수치지형도, 3D 스캐닝, Lidar 자료, 항공 측량, ICBM(IoT/Cloud/BIM/Mobile) 기술 등을 반영한 최적의 역설계 구조물 형상정보 구현이 필수이며, 이를 기반으로 다양한 붕괴거동 예측이나 가상해체 시뮬레이션 등을 수행할 수가 있음. 형상정보 구현은 「건축법」 제 2조 1항 7호에서 정의하는 '주요 구조부'를 대상으로 함
  - 건축물 해체공법에는 크게 발파해체공법과 기계식 해체공법으로 구분되며, 주변 환경, 인접 건축물 유무, 분진·소음 여부 등을 고려하여 최적의 공법을 제시할 수 있어야 함

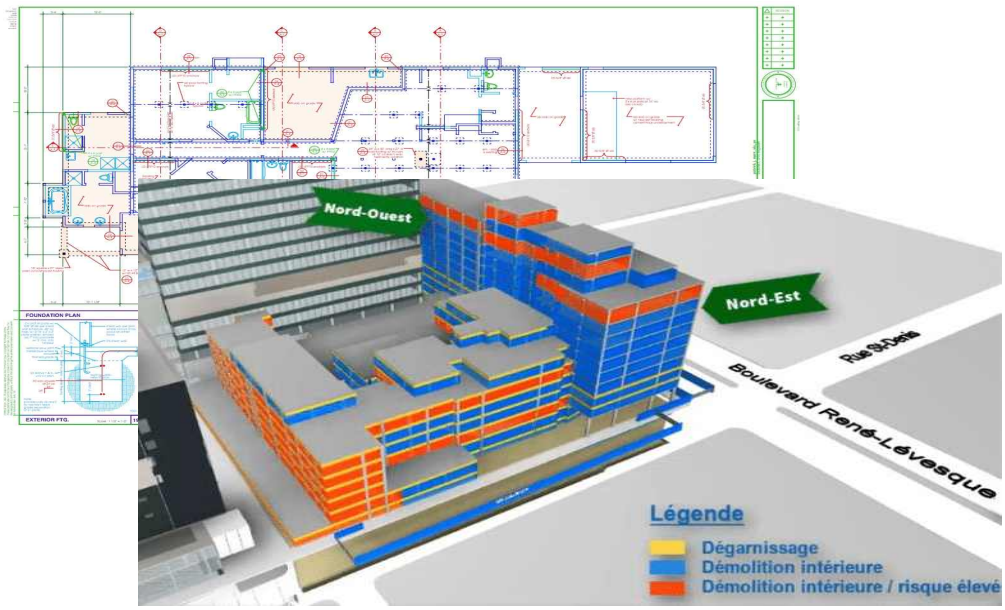



그림 6.9 실측데이터 기반 건축물 형상 정보 구현 및 붕괴 예측 SW 개발

- **(국내 최고 기술수준) 친환경 도시재생을 위한 첨단해체 기술 개발**
  - 유한요소기법(FEM)을 기반의 구조해석과 재하시험을 통해 도출된 물성치를 활용하여 PFC3D 발파해체 붕괴 시뮬레이션 기술을 개발함. 이를 통해 붕괴 진행 양상과 붕괴소요시간 등을 도출할 수 있으나, 해석에 용이하게 구조체 형상을 단순화시켜 실제 건축물 모사가 어려우며 층고가 높아지거나 바닥, 슬래브 수가 증가 시 연산시간이 기하급수적으로 증가한다는 단점이 있어 보 형태의 RC 구조물 붕괴 거동해석이나 단순 구조물 붕괴거동의 정성적 판단 시에 적합함

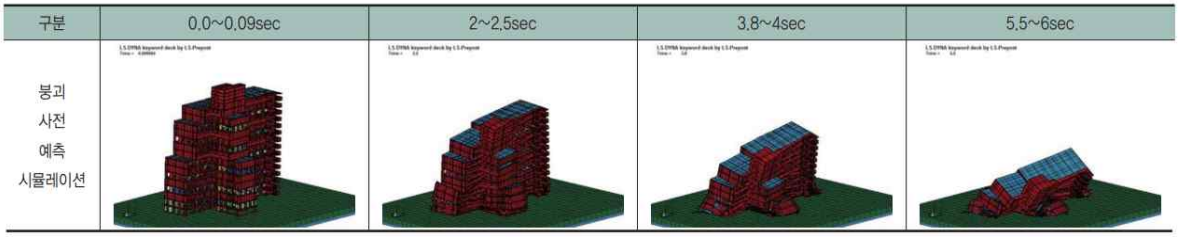



그림 6.10 발파해체 붕괴거동 사전예측 시뮬레이션
<출처 : 한국건설관리학회, 건설관리 기술과 동향 제 3권 제 6호, 2012>

- **(해외 최고 기술수준)** Extreme Loading for Structure(ELS)
  · 발파와 같은 붕괴 철거뿐만 아니라 수동해체에 대해 설계 및 평가할 수 있는 AEM(Applied Element Method) 기반의 소프트웨어. 건축물의 해체분석 뿐만 아니라 풍동, 지진 해석 등에도 사용이 가능함

그림 6.11 ELS의 철거 시나리오와 실제 철거와 비교
<출처 : ELS 공식 홈페이지, http://extremeloading.com>

■ 3D·가상현실 기반 해체공사 가상 시뮬레이터 개발

- **(설정 이유) 해체공사 시 철거잔해물 과적 혹은 해체장비 하중의 집중으로 인해 구조물 붕괴가 주로 발생하며, 이를 선제적으로 대응하기 위해 안전진단결과 기반 적정 장비 배치 및 철거잔해물 적재/처리 시기를 가상공간에서 시뮬레이션 함으로써 이를 반영한 최적 해체계획서를 도출할 수 있는 통합 시뮬레이터 개발이 필요함**

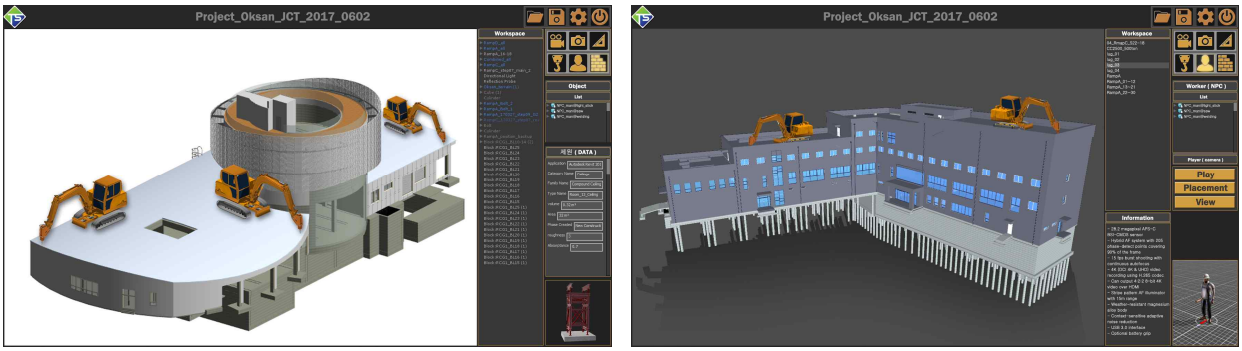
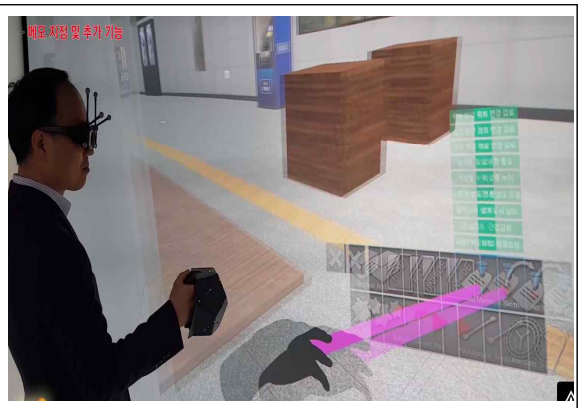



그림 6.12 3D 기반 가상 해체 시뮬레이터 예시

- **(설정 근거) 해체작업 시 위험·장애요인은 일반적으로 철거잔해물의 하중과 해체장비 하중이 슬래브에 집중되면서 붕괴 및 안전사고가 발생함. 이를 선제적으로 대응하기 위해 철거잔해물 허용적재 용량 및 처리시기, 해체부위에 적정 장비 배치를 할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발하여 해당 결과를 바탕으로 해체 작업계획서가 작성할 수 있는 통합 시스템으로 개발되어야 함**
  - ‘건축물 해체공사 안전관리 매뉴얼(서울특별시)’에 따르면 해체현장의 구조안전성을 확인하기 위한 점검항목은 해체순서, 잭서포트 배치, 장비 용량 및 동선, 철거잔해물 존재여부가 있으며, 이때 슬래브 위 철거잔해물 적재높이가 30cm 이하를 유지하도록 명시하고 있으나, 해체 건축물 조건을 고려한 허용 적재 하중은 점검항목에서 배제되어 있음. 이를 진단결과에 기반한 가상해체 시뮬레이션을 통해 철거잔해물 발생량, 슬래브 허용 하중, 철거잔해물 반출시기 등을 예측하여 하중에 따른 붕괴를 제어할 수 있음
  - 핸드 브레이커, 와이어 쏘우 같은 소형 해체장비는 슬래브 과하중에 미미하게 영향을 주나, 압쇄기나 백호 같은 중장비의 경우 슬래브 위에서 작업이 실시되며, 장비 하중, 잭서포트와 철거잔해물 적재 위치를 고려한 장비 배치 및 동선 계획 등을 시뮬레이션으로 제시할 수 있어야 함
- **(국내 최고 기술수준) BIM 표준 기반 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 시스템 기술**
  - 기존 BIM 데이터 활용에서 벗어나 게임엔진과 IFC 기반의 중립파일을 이용한 동적 시뮬레이션 기능을 제공함으로서 가상의 건설현장에서 건설장비의 이동 및 작업 반경, 현장 장애물, 작업자의 위치 및 동선 등을 분석할 수 있으며, 필요시 VR 기술을 이용한 체험 및 교육 기능을 제공함

건설장비 모의 주행/간섭검토



VR 기술을 활용한 시뮬레이션 결과 몰입감 극대화

그림 6.13 BIM 기반 동적 4D 가상건설 시뮬레이션 기술

- **(국내 최고 기술수준) 증강·가상현실 기반 재난대응 통합훈련 시뮬레이터 기술**
  - 유해화학물질 유출사고, 풍수해 댐 붕괴, 다중이용시설 붕괴 등 대표 재난 유형을 선정하여 이를 행정안전부의 재난대응 훈련시나리오를 기반으로 재난상황 생성부터 주요 시간대별 대응행동 등을 3차원 증강현실/가상현실 기술로 구현. 해당 개발기술은 실제 행정안전부의 2018/2019 안전한국훈련에서 활용하였으며, 이를 지자체/공기업 맞춤형식으로 전국 확대 중에 있음

<table>
<tr><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td>AR/VR 기반 재난대응 통합훈련 시뮬레이터 개발(행정안전부)</td><td>2019 안전한국 시범훈련(남부발전 외 유관기관)</td></tr>
</table>

그림 6.14 재난대응 통합훈련 시뮬레이터

**- (해외 최고 기술수준)**

· 해체단계에서 BIM을 적용한 연구사례는 있으나, 이론적인 프레임워크만 제시하는 수준이며 이를 현장에 적용한 사례는 거의 없음

· 따라서, 가상해체에 특화된 시뮬레이터 개발 시 세계 최초개발인 사례가 될 것으로 사료됨

## 2.3 연차별 연구내용 및 로드맵

<표 6.6> 구성 기술 1 - 연차별 기술개발 목표 및 내용

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 | **소규모 건축물의 유형 분류** | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>- 구조 형식별 건축물 유형 분류 인자 도출<br>- 건축물 해체 설계를 위한 대표 유형 분류(구조일반 사항, 보·기둥의 형태, 지반 구조 형태, 인접 건축물 형태 등을 반영한 유형 분류) |
| | 해체계획서 적용 Data의 분류 및 신속 정보 획득 기술 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>- 건축물 구조, 재료에 대한 기본 Data 분류<br>- 재료성능 및 내구성 지수를 연계한 위험도 분석 |
| | 형상 구현을 위한 해체공사 프레임워크 설계 및 해체장비 라이브러리 구축 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발<br>- ICBM 기술을 활용한 역설계 형상 구현 표준 포맷<br>- 주요 해체장비 Asset Library 구축 |
| 2차년 | **유형에 따른 위험도 분석 기반 기본 설계** | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>- 해체설계에 필요한 도면 작성을 위한 보·기둥·벽·바닥 구조물 설계모듈 작성<br>- 구조 형식에 따른 대표 기본도면 sorting 후 부분적 보완을 통한 해체 설계도면 작성 |
| | 해체계획서 작성 표준 양식 도출 및 프로그램 제작 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>- 위험/취약 부분 위험 유형 및 단계 구분을 통한 부위별 해체계획서 반영을 위한 연계기술개발 |

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| | | - 표준양식 도출 및 입력 Data 반영 프로그램 개발 |
| | 진단정보 반영한 3D 붕괴·거동 예측 SW 설계 및 프로토타입 개발 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발<br>- 3D 데이터 경량화 기술 개발<br>- 건축물 붕괴·거동 예측 SW 설계 및 프로토타입 개발 |
| 3차년 | **구조, 용도, 규모에 따른 유형별 사양설계 도면 도출** | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>- 면적, 층고, 구조, 인접 건축물 영향 등을 고려한 설계 S/W<br>- 기초도면 및 간략한 현장 조사 정보를 활용한 도면 작성 프로그램 |
| | 현장 수집 Data를 적용한 해체 계획서 자동 산출 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>- 자동화 프로그램 개발 및 산출 자료 분석을 통한 프로그램 수정<br>- 사양설계 및 기타 해체계획서 반영 Data 적용 다동하 프로그램 실증 |
| | 3D 붕괴·거동 예측 SW 고도화 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발<br>- ICBM 정보기반 구조적 취약부 리스크 평가 모듈 개발<br>- 해체공법별 붕괴 예측 평가 모듈 개발 |
| 4차년 | 사양설계별 해체 건축물과 연계성 분석 및 수정 보완 | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>- 구조 및 용도에 따른 해체 대상 건축물 적용 실증<br>- 실측 건축물과 사양설계 적용 차이점 분석을 통한 유형의 보완 |
| | 해체 건축물 대상 자동화 계획서 산출 현장 실측 건축물과의 비교 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>- 해체대상 건축물 적용 해체계획서 자동화 프로그램 실증<br>- 자동화 프로그램을 통한 해체 계획서의 기존 시스템과의 연계 방안 도출 |
| | 4D 가상해체 동적 시뮬레이터 개발 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발<br>- 적재 및 장비하중, 작업 동선 등을 고려한 가상해체 시뮬레이터 개발 및 해체 계획서 도출 |
| 5차년 | 사양설계를 적용한 해체설계 및 해체 실증 | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>- 유형별 사양설계 실증<br>- 해체계획서와 연계 실증 |
| | 해체대상 건축물 자동화계획서에 따른 현장 실증 | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>- 유형별 해체설계 연계한 실증 |
| | 건축물 가상해체 통합플랫폼 개발 및 실증화 | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발<br>- 가상해체 모듈 통합 플랫폼 개발 및 TB 실증화 |

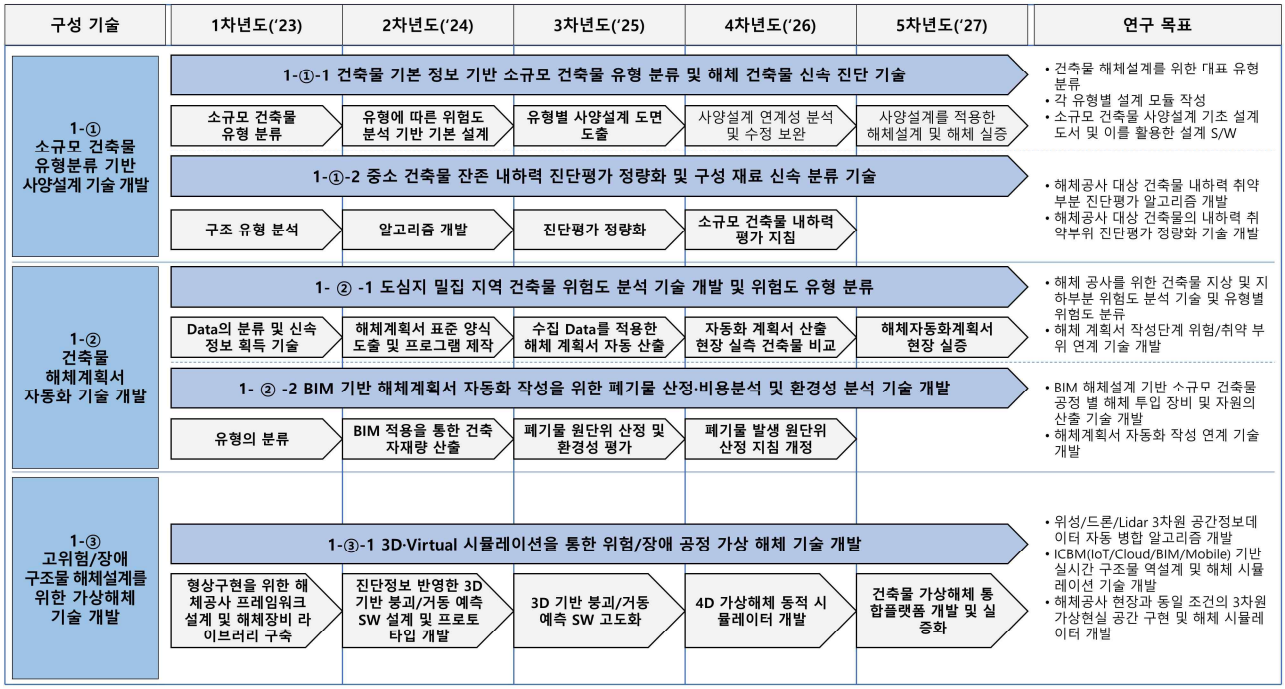



그림 6.15 구성기술 1 - 기술개발 로드맵

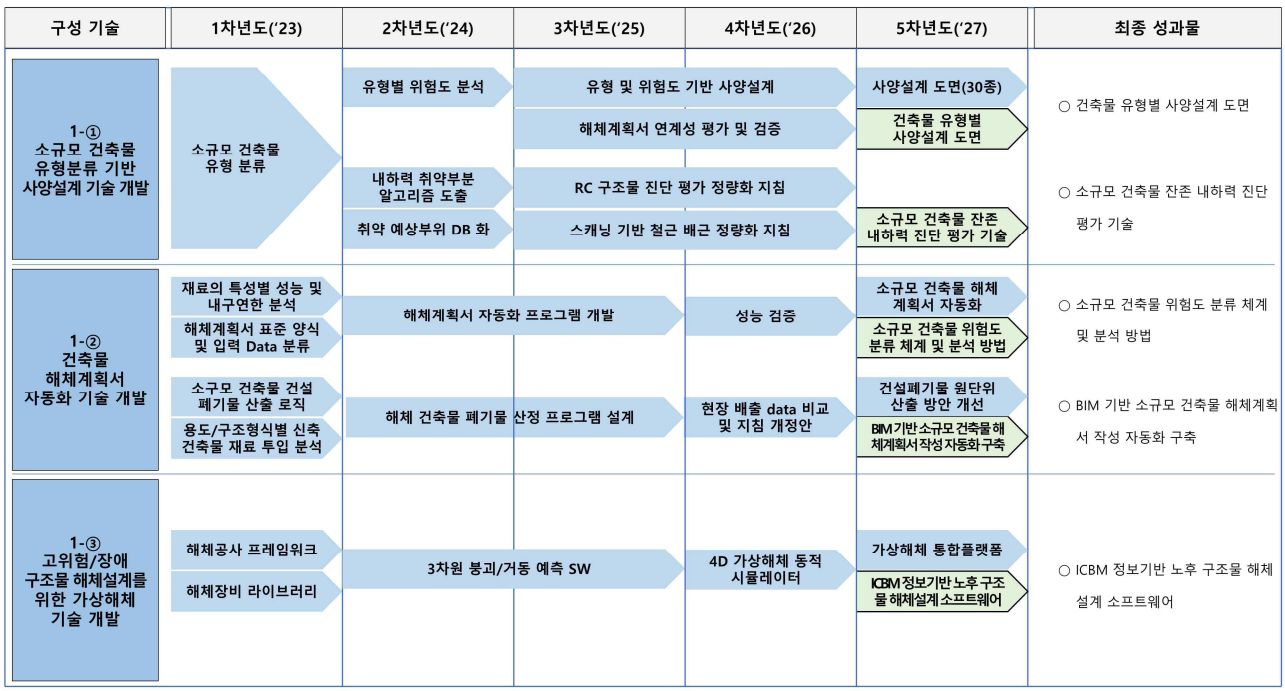



그림 4.16 구성기술 1 - 성과 로드맵

# 3. 기술 개발 전략

## 3.1 기술 확보 전략

■ 건축물 안전관리법에 의하여 시행하고 있는 허가 대상 건축물의 해체설계 및 해체계획서 작성 절차에 준용한 소규모 건축물 해체설계 및 해체계획서 자동화 프로그램 개발

- 건축사, 구조기술사, 감리 등의 해체 관련 전문가의 참여를 통한 현장 적용 가능한 사양설계 기술 및 해체계획서 작성 프로그램의 개발

■ 노후 건축물 정보를 수집하기 위해 ICBM 기술, 최신 측량 기술, 세움터 정보, 지자체 실시 '소규모 노후건축물 안전점검' 결과 등을 확보하기 위한 민관 MOU 추진

<표 6.7> 구성 기술 1 - 성능지표 및 목표성능

| 구성 기술 | 개발 기술 | 구성 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 해외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| (구성 기술 1) 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발 | 1-① 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발 | ◐ | ● | ◐ | ○ | ● | |
| | 1-② 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발 | ◐ | ● | ◐ | ◐ | ● | |
| | 1-③ 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발 | ◐ | ● | ◐ | ◐ | ○ | |

● : 핵심역할, ◐ : 보통, ○ : 부가역할

## 3.2 추진체계 및 협력 방안

■ 소규모 건축물 정보의 신속한 분석, 재료 성능 평가 및 내구성 평가 기술을 활용한 데이터의 생성과 이를 사양설계 도서와 해체계획서에 반영할 수 있도록 해체 관련 전문가의 적극적 기술개발 참여 유도

■ 또한, 해체관련 인허가 주체인 담당공무원 및 감리자의 활용도 제고를 위하여 기술개발 단계에 지자체 공무원, 감리원의 의견을 반영할 수 있는 기술 설명회 등의 개최, 기타 산·학·연 및 관리 주체와의 협력 체계 구축

- **(국외)** 미국, 일본, 유럽 공동연구 및 학술 심포지엄 개최
- **(국내)** 국토교통부, 지자체, 설계기업, 해체시공업체, 감리전문 기관 간의 지속적인 세미나·협의회를 통한 수요를 반영하고, 기술실시 주체가 되는 해체설계 및 시공 전문기업을 중심으로 산·학·연 공동연구 및 학술 심포지엄 추진

■ 주요 기술 및 데이터 활용을 고려한 공통 Framework 설계

- 세부기술 2에서 개발 예정인 해체장비를 세부기술 1 가상해체 시뮬레이터 내 Asset Library로 포함시켜 이를 가상해체 시 활용할 수 있도록 기관별 협업을 통해 정보교환 Framework 설계

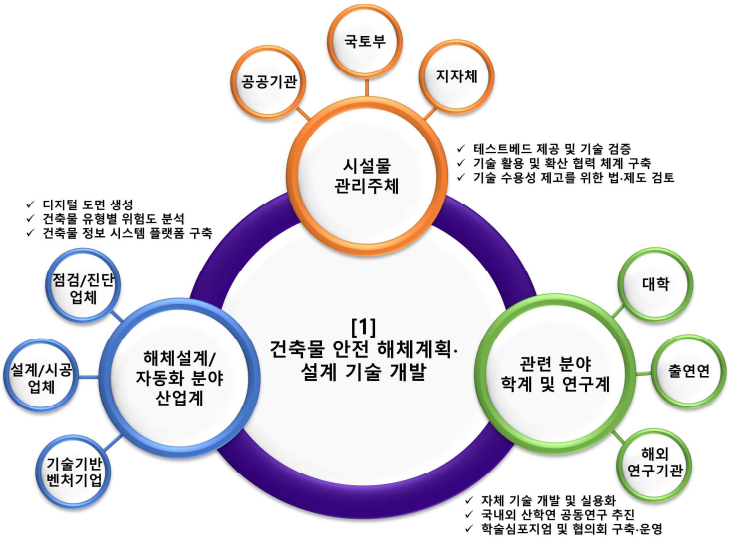



그림 6.17 구성기술 1 - 추진 체계 및 협력 방안

## 3.3 실용화 전략

■ 개발기술에 포함된 범용성이 높은 기술은 응용분야에 대한 상용화 연구개발 사업으로 연계하여 기술을 개선하여 활용범위를 확대

- 시험·평가, 시설물 관리 및 재해 분야 등 점검 분야 외 타 분야로 확대 적용을 위한 연구개발 사업을 지속적으로 발굴·추진

■ 현장 기술자들의 SW 도입 기술장벽을 낮추기 위한 활용 매뉴얼 제작

– 엔지니어/작업자들이 SW 도입 및 활용에 용이하도록 세부 절차 가이드라인 제작

– 사용자 의견수렴 및 버그사항 등을 지속적인 모니터링을 통해 정기적인 SW 업그레이드로 사용자 편의성 개선 및 시스템 안정성 지향

■ 개발 SW를 모듈화, 패키지화를 통한 SW 제작

- 최종 연구성과물은 가상해체 통합 플랫폼이지만, 사용자의 니즈에 부흥하여 이를 모듈화, 패키지화 제작을 통한 판매전략 구축

# 2절. (구성기술 2) 건축물 해체 고도화 기술 개발

## 1. 개념

■ **(목표)** 고층 및 도심지 밀집 지역 건축물 전면 또는 부분 해체를 위한 안전/환경 해체장비 및 시공기술 개발

■ **(기술개발)**

① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발

② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발

③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발

<표 6.8> 구성기술 2 - 개발 기술 및 개발내용 체계

| 구성 기술 | 개발 기술 및 개발 내용 |
|---|---|
| 2<br>건축물 해체 고도화 기술 개발 | **2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발** |
| | 2-①-1 위험/장애 공정 해체 시공을 위한 무인·원격 장비 개발 |
| | 2-①-2 센서·영상 기반 안전 모니터링 기술 및 해체현장 개방형 모니터링 시스템 |
| | **2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발** |
| | 2-②-1 RC 구조물 모듈식 해채공법 및 모듈화 장비 기술 개발 |
| | 2-②-2 RC 구조물 절단에 따른 소음·분진·폐수 관리 기술 및 외부 가시설 기술 개발 |
| | **2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발** |
| | 2-③-리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발 |

그림 6.18 구성 기술 2 - 연구개발 전·후 환경 변화

# 2. 기술개발 내용

## 2.1 상세기술 개발 내용

### 2.1.1 [과제 2-①] 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발

**[과제 2 - ① - 1] 위험/장애 공정 해체 시공을 위한 무인·원격 장비 개발**

**1) 기술개발 목표**

- 1세부 위험/장애공정 해체 시뮬레이션 등을 통하여 분석된 인력 투입 어려운 해체 공사 적용을 위한 원격 해체 공법 및 장비 개발

**2) 기술의 개요**

- 5G 활용을 통한 원격 압쇄 장비의 개발 (1차 국토부 개발 기술 연계)
- 중·소규모 건축물 내장재 및 비내력 벽체 해체를 위한 경량 장비 개발

**3) 필요성**

- 스마트 건설의 핵심 기술은 무인 원격에 의한 해체설계 및 시공관리에 있음, 이에 따라 재해율 25% 경감, 시공성 25% 향상의 목표 달성
- 건축물 해체 시 위험성(높은 벽체, 외벽 구조물, 분진 및 소음 영향)이 있는 공사 대상 무인 또는 유·무선 원격 해체 장비 활용하여 사전 취약화 등을 진행한 후 인력, 장비 활용 필요
- 국토부 해체기술 연구단에서 개발한 원격 무인 해체 압쇄 기술의 기술 향상 필요
- Time-lag 발생에 따른 안전성 문제 해결 필요
- 5G 통신 등 환경 변화에 따라 기존 기술을 연계한 진보된 기술개발 필요

**4) 내용 및 범위**

- 5G 통신 및 실시간 통신 기술 활용 무인 원격 해체 장비 기술 개발

· 압쇄·파쇄·절단·절취·취약화 등 RC 구조물 및 조적조 건축물의 내력·비내력 구조물의 해체 장비

- 해체장비 운용을 위한 경량 탑재 장비 개발

· 중·소규모 건축물 Top-down 해체 시공을 위한 경량 소형 해체 장비탑재 장치

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 국토부 무인 원격 해체 장비 기술 연계(Haptic 분쇄 기술)
- 산업통산자원부 원전구조물 원격 유선 무인해체 장비 기술개발 참조
- Time-lag 최소화를 위한 통신 관련 연구기관 및 기업 연계 개발

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 유·무선 원격 해체 장비 및 건축물 내부 해체 소형·경량 해체장비

· 인력에 의한 직접 시공 시 위험 상존 부분 해체를 위한 유·무선 원격해체 장비 개발

- (활용 방안) 무선 해체 장비는 Time-lag zero화를 통한 위험성 완전제거 장비로 벽체, 기둥 등의 구조물의 압쇄, 내장재의 분별해체 등에 활용

· 연구개발 결과물 활용 → 구조물 해체 시공, 내장재 분별해체 시공

· 구조물 해체 시공 → 완전분쇄 또는 사전 취약화 개념 해체공사

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 무인 원격 해체 공사를 통한 해체공사 안전사고에 따른 인명피해 감소
- 분진·소음·진동 등 환경 악조건 현장 해체 시공 관리
- 경량 해체 장비를 활용한 위험도 감소 Top- down 해체 시공
- Haptic 기술을 활용한 내장재 분별해체 기술 적용

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 인력 탑재형 해체장비 운용 - 안전사고 시 인명 피해<br>- 위험도 분류 없는 해체 시공<br>- 선붕괴·후분별 해체공사 | - 위험 구조물 원격 장비를 통한 해체 및 부분 선 취약화 공사<br>- 경량 소형 장비를 이용한 분별해체 및 부분 해체 시공 |

## [과제 2 - ① - 2] 센서·영상 기반 안전 모니터링 기술 및 해체현장 개방형 모니터링 시스템

### 1) 기술개발 목표

- 드론·영상 분석과 부착 및 매립 센서와 연계한 안전 모니터링 기술과 결과 개방형 모니터링 시스템 구축 기술

### 2) 기술의 개요

- 드론 촬영 영상에 Object Detection 기술을 적용한 해체 건축물의 실시간 광범위 변형 계측과 건축물 매립 및 부착 센서와 연계한 모니터링 기술
- 3D 스캐닝을 이용한 해체 건축물 위험 부재 균열과 변위 실시간 정밀 모니터링 기술
- 폐쇄형 해체 현장 관리 → 개방형 해체현장 관리

### 3) 필요성

- 건축물 해체 공사중의 대상 구조물 실시간 변위를 정밀 계측하고 시공자와 감독자가 실시간 모니터링하여 위험 인지와 작업 의사 결정 도구 필요
- 인력 중심 모니터링 및 계측 탈피
- 영상 계측자료와 같은 비접촉 데이터와 건축물 또는 인접 건축물과 지반 부탁 매립형 계측 자료 연계를 통한 정밀 모니터링 방법
- 시각 폐쇄형 해체 현장관리, 계획된 안전 및 환경관리 미이행 → 실시간 무작위 현장 점검이 가능한 현장 개방형 해체현장 관리 필요성 증가

### 4) 내용 및 범위

- 영상 기반 비 접촉 계측 자료와 센서 기반 접촉 계측자료 활용 안전 모니터링 기술
  · 드론 영상에서 대상 구조 부분 Detection과 변형 인지 기술 개발
  · 스캐닝 Point Cloud와 안전 변위 정합 기술 개발
  · 영상 - 센서 연계 기술 개발
- IoT 기반 해체 건축물 구조 거동 분석
  · IoT 센서 데이터 활용 도심 밀집지역내 건축물의 변형 분석
- 현장 개방형 모니터링 시스템 구축을 위한 관련 제도 개선
  · 의무화 방안 및 관련 가시설 개발

### 5) 기존 기술 연계 활용방안

- 드론을 활용한 영상 자료의 시각화 기술과 센서를 활용한 구조물의 변형, 침하 등의 자료를 상호 연계하여 종합적인 위험도 분석
- 3D 스캐닝을 이용한 부재의 균열과 변위를 실시간 모니터링 기술 등 활용
- 기존의 건축물 외관, 건축물 전체 중심 모니터링 기술 → 개발 기술은 건축물 내부 구조물의 침하, 전도 등의 예방을 위한 모니터링 기술의 추가

### 6) 최종 성과물 및 활용 방안

- (최종 성과물) 영상/계측 데이터 연계 건축물 내·외부 실시간 해체 안전 모니터링 기술
  - · 드론 등 영상 자료를 활용한 건축물의 구조 안전성 및 비산먼지 등 환경 모니터링 시스템 평가 기술
  - · 3D 스캐닝 및 IoT 센서 기반 건축물 내부 부재별 안전 모니터링 기술
  - · 건축물 내부 벽체 및 바닥재 전도 꺼짐 예방을 위한 실시간 계측 및 위험도 평가 후 알람 제공 기술
- (활용 방안) 해체 계획서 수립 및 해체 시공 단계 → 안전계획 수립 및 해체 시공 관리
  - · 연구개발 결과물 활용 → 모니터링 계획 수립 단계 활용
  - · 모니터링 시스템 결과물 → 해체현장 작업자 보호를 위한 확인 시스템 구축, 개방형 해체현장 관리를 통한 계획된 안전/환경관리 실시

### 7) 기대효과 및 파급효과

- 실시간 계측 및 알람을 통한 전도/붕괴 안전사고 사전 예방(위험 사전 인지 기술)
- 자동화 시스템을 통한 모니터링 신뢰성 향상 및 인력에 의한 모니터링 탈피
- 개방형 해체현장 관리를 통한 계획된 해체공사 실시

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 대형 건축물 시공 시 GPS, 매립 센서, 영상 연계한 시공 관리<br>- 대형 건축물 해체 시 - 기울기 및 인접 지반 침하 모니터링 실시<br>- 건축물 내부 및 해체 건축물 균열 등 영향 분석 미진<br>- 완전 폐쇄형 현장관리 | - 영상·계측 데이터 융합형 건축물 해체 모니터링 시스템 구축<br>- 건축물 내부 부재 모니터링을 통한 벽체 전도 등 위험요소 사전 인지<br>- 개방형 모니터링 시스템을 통한 해체현장의 투명한 관리 → 계획에 따른 해체시공관리, 인위적인 해체공정 지양 |

## 2.1.2 [과제 2-②] 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발

### [과제 2 - ② - 1] RC 구조물 모듈식 해체 공법 및 모듈화 장비 기술개발

**1) 기술개발 목표**

- 중·고층 RC 건축물의 해체공사에 일정한 부재 크기의 모듈식 절단 해체를 위한 공법 개발과 이를 구현하기 위한 현장 부재 절단 장비 관련 Total 기술 개발

**2) 기술의 개요**

- 압쇄·전도 방식의 RC 구조물의 해체·철거 방식에서 중·고층 RC 구조물의 모듈화 해체 방식 전환을 통한 예측 가능한 해체공사 실시(해체 건축물의 하중 분포, 균열관리 등 안전사고 예방 가능)
- 절단 방식 해체공사에 따른 모듈화 부재의 양중 시스템 및 폐기물 배출 관리 시스템 구축 필요

**3) 필요성**

- 장비 탑재 후 압쇄방식에 의한 RC 구조물의 해체 방식은 소음 저감과 부분 취약화를 통한 전도·붕괴 방식에 적합할 수 있으나, 해체 건축물의 안전관리 사각지대 존재함에 따른 안전 해체 사고 빈번히 발생
- 해체 공사에 따른 구조물의 취약성을 최소화 할 수 있는 안전 해체 공법 적용 필요
- 모듈 해체에 따른 해체공사 규모별 모듈의 크기, 해체현장 환경, 폐기물 배출 조건, 양중관리 등 관련 기술 및 관리 시스템 구축 필요
- 분진 및 소음 최소화 RC 구조물 절단 기술 개발 필요
- 해체 건축물은 신축 건축물과 달리 해체에 따라 건축물의 취약화가 부분적으로 진행되는 단계이므로 양중 장비의 고정 및 활용에 별도의 설계 및 계획 적용 필요

**4) 내용 및 범위**

- 건축물의 규모 및 현장 조건에 따른 모듈화 해체공정 설계기술
  · 모듈식 절단에 따른 인접 부재의 안전성 설계 및 기둥 보 바닥의 동적 하중 설계 기술
- 모듈 절단 기술 및 현장 안전 배출을 위한 시스템 개발
  · Wheel, Wire saw 등을 활용한 건·습식 콘크리트 부재 절단 기술 개발
  · 모듈별 양중 시스템 및 현장 배출관리 시스템 구축
- RC 구조물 절단 취약부 해체 기술 개발
  · 콘크리트 + 강구조 건축물의 절단 사각부위 해체 기술

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 철근콘크리트 구조물 해체공사 시방서의 절단 공법
- Wire saw를 이용한 RC 구조물의 절단 기술 및 건설 신기술 활용 연계
- 건축물 신축 시 양중 시스템

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 모듈식 RC 구조물 해체 공법 및 RC 구조물 절단 장비 개발
  · 단순한 절단 장비가 아닌 고층 건축물 이동 플랫폼 기술과 300mm 미만의 벽·바닥의 절단, 400~600mm의 기둥 및 보 절단 기술개발
  · 양중 및 배출을 위한 모듈의 단위 부재 설계기술
- (활용 방안) 중·고층 RC 구조물의 해체공사 적용 기술
  · 연구개발 결과물 활용 → RC 구조물의 일정 크기 모듈식 해체공사 활용
  · 모듈식 해체공사 → 도심지 밀집 지역 고층 건축물 해체(일본 Toda To-zero system)

**7) 기대효과 및 파급효과**

- RC 구조물 해체공사 붕괴·전도방식 → 모듈식 해체방식 고도화
- 모듈식 해체공사에 의한 폐기물 적치량 감소에 따른 하중 지지 서포트 가설 획기적 감소
- 해체 폐콘크리트 이물질 관리 향상 및 순환골재 품질 향상(모듈화 해체 → 분별해체 개념)
- RC 구조물 해체 절단 기술의 진보 → 교량 등 토목 시설물의 해체 기술적용

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 압쇄·붕괴 방식의 해체 현장 관리로 인한 해체 폐기물 관리의 어려움<br>- 해체 폐기물의 이물질 혼합으로 인한 자원화 제품의 품질 저하<br>- Top-down에 따른 장비 탑재, 폐기물 적치에 따른 동적하중 설계 및 과도한 하부 잭서포트 공사<br>- 해체현장 환경관리 악화에 따른 민원발생 | - 모듈화 방식 RC 구조물의 해체<br>- 배출 콘크리트 이물질 혼입 zero 화에 따른 순환골재 품질 향상 → 콘크리트용 골재 등 고품질 활용 증대(연간 2,300m$^3$)<br>- 적정 하중 지지 가설 장비(잭서포트) 활용에 따른 신속한 해체공사<br>- 해체현장 환경 및 안전관리 향상 |

## [과제 2 - ② - 2] RC 구조물 절단에 따른 소음·분진·폐수 관리 기술 및 외부 가시설 기술개발

### 1) 기술개발 목표

- 콘크리트 구조물 모듈 절단 환경관리 기술 및 모듈식 가시설 개발

### 2) 기술의 개요

- 콘크리트 구조물 절단에 따라 발생하는 소음·분진·폐수 관리를 위한 장비 개발로서 절단 시설에 일체형으로 부착된 장비 또는 분리형 방안의 소음의 저감, 분진의 포집 및 배출 억제, 폐수 정화를 통한 재활용 시스템 개발
- 모듈식 해체에 따른 경량 하부지지 모듈식 잭 서포트 및 외부 분리 차단 시설 개발

### 3) 필요성

- RC 구조물의 모듈식 해체를 위해서는 일정 부재의 크기로 절단해야 함. 절단 공법은 Saw 방식을 사용하여야 하며, 이 과정에서 분진·소음·폐수 배출이 예견됨
- 상기 항목은 건설현장의 주요 민원 사항으로 도심지 건설현장 환경관리 기준에 적합하여야 하며, 민원 관리 사항은 기준의 적합도를 떠나 심리적 영향까지 관리하여야 함
- 절단부재가 바닥, 기둥, 보 등 단면 부재가 다양하게 구성되어 있어 하나의 일정한 공법 하나의 적용으로 해체 불가능
- 콘크리트 + 철골 등과 같이 복합 부재, 모서리 및 비정형 건축물의 해체 등 모듈화 절단 사각 지대의 해체 방법 도출 필요
- 모듈화 해체공법과 연계한 외부 가시설 시스템(시공 시스템 비계 응용)

### 4) 내용 및 범위

- 해체 폐기물의 비산 및 낙하 방지를 위한 RC 구조물 모듈식 절단 환경 관리 기술
  · 소음 및 분진 차단을 위한 장비 보양 시설 활용
  · 거품 및 mist 활용 분진·소음 저하 기술
  · 폐수 슬러지 정화 기술을 통한 습식 절단 공사에서 폐수 재사용 기술
- 해체 건축물 연계한 자동화 가설 기술개발
  · 외부 차단·보양 시설 구축 및 해체 공사 연계 자동 설치 기술
- 하부지지 모듈식 경량 잭서포트 기술 개발
  · 하중 지지가 아닌 단순 낙하 방지용 모듈식 경량 서포트 장비

### 5) 기존 기술 연계 활용방안

- 국토교통 R&D 거품 이용 분진관리, mist 분사 분진 및 소음 관리 기술 응용 → 소음 분진 추적형 거품 및 mist 활용 제어 기술로 진보
- 석산 및 건설 폐기물 중간 처리 시설의 슬러지 탈수 및 폐수 처리 기술응용 현장 배출 폐수 제로화 기술 개발
- 가설 자동화 시설 → 신축 건축물 시스템 비계 응용

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) RC 구조물 절단공법 환경관리 기술 및 해체 건축물 가설 자동화 시스템 개발
  · 소음·분진·폐수 관리를 위한 환경관리 기술 → 법적 기준 충족, 민원 발생 제로화
  · 해체공사 연계 외벽 가설 자동화 이동 시스템(해체공사 진도 반영 가설물 이동)
- (활용 방안) 절단 공법을 이용한 RC 구조물의 해체 → 환경 관련 법적 기준 충족 및 폐수 재활용을 통한 시공성이 우수한 습식 절단 공법 적용
  · 연구개발 결과물 활용 → 중·고층 건축물 모듈식 절단 공법 설계 활용
  · 환경관리 공법 → 해체현장 소음·분진·폐수 관리 활용

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 중·고층 모듈식 해체공사 확산 및 이로 인한 해체공사 환경관련 민원 절감
- 해체기술 고도화를 통한 건설산업에서의 해체공사 위상 변화
- 외부 가시설 자동 연계 설비 활용에 따른 현장 관리 향상(건축물 전면 차단이 아닌 부분 차단형 가시설 )

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 콘크리트 절단 시 소음·분진·폐수 배출에 따른 도심지 해체 공사 적용 불가능<br>- 거품 및 mist 분사 관리 기술 개발단계<br>- 폐수 배출에 따른 습식 절단 공법 활용 감소<br>- 해체 건축물 전면 차단형 해체 공사 | - 도심지 콘크리트 구조물 해체 시 Saw 방식 해체 장비 활용 - 모듈식 해체 시공 가능<br>- 소음 및 분진 추적형 관리 기술(mist 분사)<br>- 절단 폐기물 단순 낙하 방지용 모듈식 경량 서포트 활용<br>- 해체 부위 포함 건축물 일부 부분 차단형 해체 건축물 차단 시설 |

### 2.1.3 [과제 2-③] 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분 해체 기술 개발

**[과제 2 - ③ - 1] 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술개발**

**1) 기술개발 목표**

- 리모델링 건축물의 수평 증축을 위한 RC 구조물의 부분 해체기술 및 전단근 활용 Block-out 기술 개발

**2) 기술의 개요**

- 수평·수직 증축 방식에 의한 리모델링 공사는 전면 철거에 의한 재건축 공사와 달리 구조물 철거를 실시하지 않고 활용함
- 다만, 수평증축 리모델링은 면적 확장을 위하여 구조물을 부분 절단 후 새로운 면적을 확장하는 공법 적용
- 따라서, 절단 과정에서 기존 구조물의 취약화 방지 및 전단근을 활용할 수 있는 절단 공법의 개발로 기존구조물과 확장 구조물의 연계성 강화(현재는 전단근 완전 절단 후 chemical 앵커 활용 증축 부위 연결 공법 적용)

**3) 필요성**

- 벽식 구조의 공동 주택에서 완전 절단을 통한 연결은 벽 및 바닥 부분과의 연결만이 가능
- 2000년대 이전 공동주택 바닥두께 → 130mm 미만으로 별도의 chemical 앵커를 이용한 공간 확보에 어려움 발생과 정기 내구성 확보 측면에서 신뢰성 미진
- 기존 전단근 활용을 통한 겹침 이음 또는 커플러, 압접 이음 등을 통한 전단근 내구성 확보
- Saw 방식의 절단은 철근 절단을 전제로 함. 따라서 철근을 회피한 부분 해체 기술 개발 필요

**4) 내용 및 범위**

- Water-jet 방식을 이용한 RC 구조물의 부분 해체 기술 개발
  · Water-jet 활용 콘크리트 절단 및 발생 폐수의 재활용 시스템 개발
- Water-jet을 이용한 콘크리트 면취기술 개발
  · 부분 Block-out이 가능한 면적 대응 콘크리트 파쇄 기술
- 사전 취약화를 통한 부분 해체기술
  · 정적파쇄 방법을 이용한 콘크리트 해체 부위 취약화 기술
- 슬러지 및 폐수 처리 기술 및 폐수 재활용 기술
  · [과제2 - ② - 2] 과제 폐수관리 부분 공동 진행, 단 시스템 연계의 경우 별도진행

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- Water-jet 활용 콘크리트 절단 기술 활용

- 콘크리트 구조물 수평 증축 시스템 분석 및 기술의 연계
- 석산 및 건설 폐기물 중간 처리 시설의 슬러지 탈수 및 폐수처리 기술 응용 현장 배출 폐수 제로화 기술개발

### 6) 최종 성과물 및 활용 방안

- (최종 성과물) 리모델링 수평 증축 해체공사 RC 구조물 부분 해체기술 개발
  · 기존 전단근 존치 RC구조물 절단 기술 개발
  · 폐수 재활용 시스템 기술
- (활용 방안)
  · 연구개발 결과물 활용 → 수평증축 RC 구조물의 부분 해체
  · 부분 해체기술 적용 결과물 → 기존 전단근 활용에 따른 수평증축 구조물의 안전성 향상

### 7) 기대효과 및 파급효과

- 기존 전단근 활용 및 이에 따른 수평 증축 부분 안전성 향상

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - Wheel saw 를 활용한 전면 절단 후 chemical 앵커를 활용한 기존구조물과 연결<br>- 기존 벽식 구조물의 바닥 두께가 일정치 않으며, 135mm 미만으로 chemical 앵커 활용의 어려움 발생 | - 전단철근 존치에 의한 확장 구조물 연계 활용 가능<br>- 구조 안전성 강화 |

## 2.2 성능지표 및 목표 성능

<표 6.9> 구성 기술 2 - 성능지표 및 목표성능

| 개발 기술 | 성능지표 | 현재 최고 기술수준 | | 개발 목표 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 해외 | |
| 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체 시스템 개발 | **무인 장비 실시간 연동성** | **90%** | **95%** | **- 99.5%** |
| | 자주 이동형 장비의 경량성 | 0.99 톤 | 0.6 톤 | 0.7 톤 |
| | IoT 기반 구조물 영상 모니터링 기술 | 82.9% | **100%** | **90%** |
| 모듈 해체공법 개발 | **모듈 해체 시스템 설계 자급률** | **50%** | **100%** | **90%** |
| | 친환경 절단 장비 분진 제어 자동화율 | **0%** | **40%** | **80%** |
| | 친환경 소음 제어 기술 | 65dB | 60dB | 50dB |
| RC 구조물 부분해체공법 개발 | **전단근 활용률** | **0%** | **0%** | **50%** |
| | 슬러지 분리 및 폐수 순환 | 100% 배출 | 100% 배출 | 70% 순환사용 |

### ☞ (2-①) 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발

■ 무인 장비 실시간 연동율

- **(설정 이유) Haptic 장비로 대표되는 무선·무인 장비는 실시간 연동성이 가장 중요함. 명령과 실행의 시간 차이가 발생할 경우 안전에 심각한 위험이 발생할 수 있으며, 제어 또한 어렵게 됨. 2007년 1차 해체 기술연구단에서 개발한 Haptic 장비의 경우, 이러한 연동 시간차이에 따른 문제로 인하여 사용성의 제한**
- **(설정 근거) 3G와 5G의 차이에 따른 실시간 연동성 확보 가능**
  - 1차 해체 기술 연구단 연구 시점인 2006~2011년의 무선 통신 기술은 3G의 상용화와 4G의 도입기 시기임. 4G를 적용한 전송 지연은 10ms로 5G의 1ms의 10%에 불과함. 따라서 5G를 적용할 경우, 시간 지연을 10배 이상 개선이 가능한 수준임.
  - 현재 기술개발과 사용화가 진행되고 있는 6G의 경우 1만분의 1초(100㎲)로, 5G가 목표로하는 1,000분의 1초(1ms)의 10분의 1 수준으로 줄어듬
- **(국내 최고 기술수준) 국토교통부 해체 기술연구단 개발 무인 장비**
  - 양방향 무선통신 시스템에서 시간지연을 줄이기 위한 새로운 통신 구조로서 통신의 전송률을 향상시키고 패시브한 시스템을 유지할 수 있는 연구내용으로 힘-위치 제어뿐만 아니라 마스터와 슬래이브 간에 속도신호를 따라 갈 수 있는 방법에 대해 다루고 있음
  - 성능 향상을 위한 3가지 단계로 속도 피드백을 주는 구조에서의 4채널 웨이브 전송 시스템의 활용과 가속도 조건에서의 웨이브 데이터를 제어하는 단계와 위치 명령 기반에서의 가속도와의 스케일링 단계로서 이전 연구와 비교하여 발전된 시스템을 보여줌

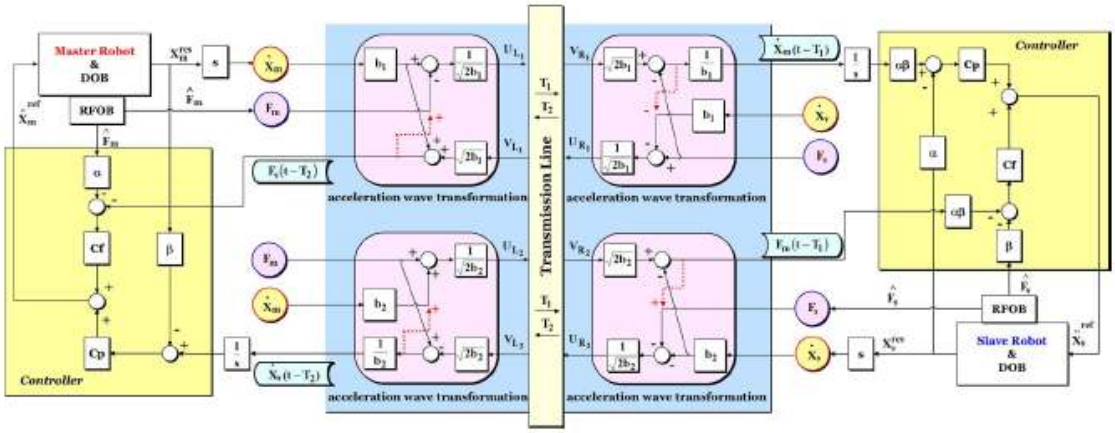



그림 6.19 양방향 무선통신 시스템 개념도

- **(해외 최고 기술수준)** Georgia Institute of Technology
  - · 굴삭기와 같은 유압기계에서 조종자에게 햅틱 장치 등을 이용하여 힘반향을 제공하면 작업 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 햅틱 장치는 인간과 기계 사이에 움직임을 제어하거나 힘반향을 제공하는 특징을 지니고 있음
  - · Haptic 장비의 개발 목표는 저렴한 비용으로 시스템과 함께 햅틱 제어 알고리즘의 운영 능력을 향상시키는 것이다. 이 연구에서는 상용화된 햅틱 장치를 이용하여 기구학, 동역학 분석을 바탕으로 디깅 작업에서 발생하는 힘 반향을 측정하고 있음

■ 자주 이동형 장비의 경량성

- **(설정 이유) 해체 공정 중 Top-down 해체 시공 공사 과정에서 자비 하중에 의한 붕괴 사고가 빈번하게 발생하고 있음. 또한 장비 하중이 높을수록 이를 지지하기 위한 하부 구조물의 보강이 밀실하게 이루어져야하고, 이에 따라 해체공사 비용 증가의 주요 원인으로 작용하고 있음**
- **(설정 근거) 경량 장비의 해체 중량을 감소하여 하부 동바리 감소, 실내 작업 범위 확대**
  - · 무인 미니 해체장비로서 세계 최고 수준인 Brokk 사의 제품을 모델로 한 목표 성능 설정. 현재 국내 장비는 대부분 작업자가 탑승하여 작업을 실시하며, 장비의 중량이 89kg 임. 여기에 해체 장비 등의 부착물 등과 작업자를 고려할 경우 1톤을 초과하는 중량을 가지고 있음. 이는 하중 설계에서 하부의 동바리 설치 간격이 증가하는 주요 원인임
  - · 해체 작업자의 고령화 또는 인건비 상승 등으로 작업자가 직접 해체를 위한 공사 수행에 한계가 있음. 또한 성상별 분별해체를 위해서는 다양한 어태치먼트를 부착하여 다양한 내장재의 해체 작업 활용이 용이할 수 있도록 하는 것이 본 기술개발의 목표 임
  - · 따라서, 장비의 작업 중량을 현재 국내 장비의 기본 중량에서 20% 이상 낮춘 장비를 개발하고 회전 작업반경, 높이, 부착 어태치먼트의 종류를 확대하는 기술 개발이 필요할 것으로 판단
- **(국내 최고 기술수준) 작업자 탑승형 1톤 중량의 미니 굴삭기**
  - · 해체작업이 가능한 국내 미니 굴삭기에 대한 국내 장비는 대부분 운전자 탑승형 유인 장비가 대부분임. 장비 중량은 990kg으로 1톤을 초과하지 않는 제원을 제시하고 있으나 어태치먼트 등을 고려할 때 장비 중량은 1톤을 초과하고 있음
  - · 미니 굴삭기에 부착하는 장비 중, 버켓, 브레이커 외에 블레이드, 니퍼, 크러셔, 그라프, 미

니쉐어 등이 있음. 스티로폼 등을 긁어낼 수 있는 장비 등이 필요함

- **(해외 최고 기술수준)** 560Kg 수준의 무인 작업형 미니 굴삭기

  · Brokk 사의 무인 굴삭기는 장비 중량이 560kg 미만이며, 동력원을 전기 작동 방식으로 채택하여 작업 과정에서 실내 매연 등의 오염 발생이 일어나지 않는 장점이 있음. 굴삭기의 어태치먼트 중 표면을 마무릴 할 수 있는 장비 등이 다양하게 구성되어 있어 구조물의 해체, 분별해체, 부분 해체에 적합한 구성을 하고 있음

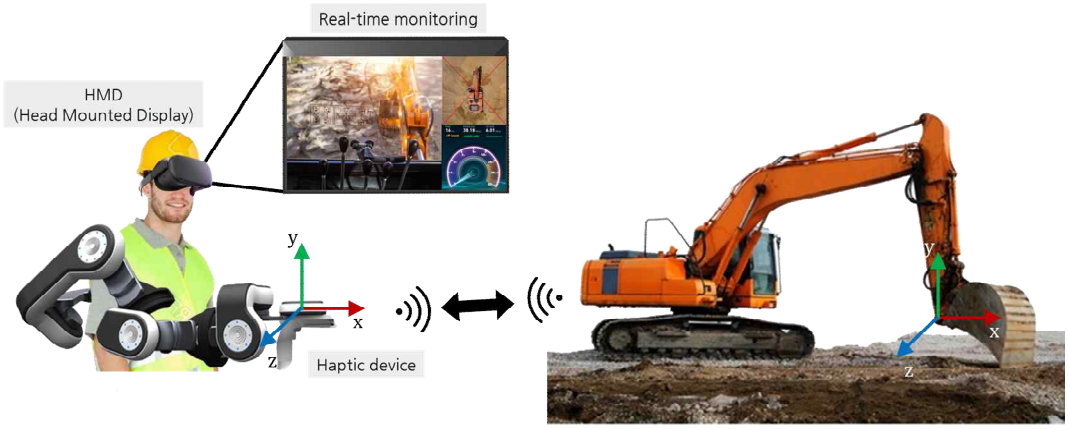



그림 6.20 쌍방향 몰입형 Haptic 제어 기술

■ 실시간 안전 모니터링 기술

- **(설정 이유) 현재 모니터링 기술은 단순히 센서가 제공하는 데이터를 수신/표출하는 기능뿐만 아니라 이를 데이터 분석을 통한 미래 예측, 이상감지 시 경고알람 등을 제공하여 안전사고 예방에 큰 역할을 하고 있음**
- **(설정 근거) 무인장비의 활용은 원격으로 현장상황을 정확하게 모니터링을 수행한 후, 이에 적합한 제어기능이 수반되어야 함**
- **(국내 최고 기술수준)**

  · 매주로 유지관리단계에서 IoT를 활용한 상시계측/유지관리시스템을 구축하여 시설물의 효율적인 관리, 비용절감, 유지보수 계획 등을 실시간으로 수립할 수 있음

  · (LTE 기반 굴삭기 원격조종시스템) 힘/토크센서를 굴삭기에 부착하여 충격력과 작업 반발력을 조종자에게 Haptic 디바이스에 전달하여 조종자의 손에 전달하여 상황을 파악할 수 있게 해주며, 부착된 카메라 영상정보를 조정자에게 전달하여 작업현황 파악 및 조정할 수 있게 해줌

  · 해체단계에서는 차세대융합기술원에서 하중 모니터링 시스템을 개발하였으며, 가시설의 일종인 ‘잭서포트’의 이상 여부를 블루투스 하중계측센서를 설치하여 5초 간격으로 계측값을 스마트 어플리케이션으로 전송해 실시간 모니터링이 가능함

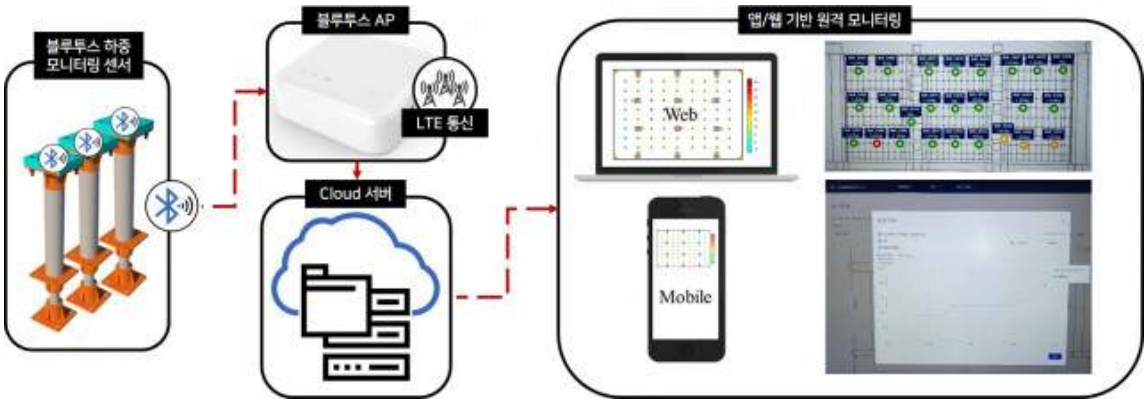



그림 6.21 블루투스 통신을 이용한 서포트 하중모니터링 시스템 개념도

- **(해외 최고 기술수준)** Komatsu社 Komtrax System
  - · Komatsu사는 자사의 건설기계를 원격으로 관리할 수 있는 시스템을 고안하여 기계마다 탑재, 기계의 위치와 가동상황을 파악 및 도난여부를 추적 시 활용함
  - · 더 나아가 전 세계적으로 판매된 Komatsu 장비로부터 수신한 데이터를 통해 특정 지역에서의 건설기계 가동률 증감을 분석하여 그 지역의 건설경기를 파악할 수 있었음. 이를 활용하여 국가별 건설경기 전망을 파악할 수가 있음

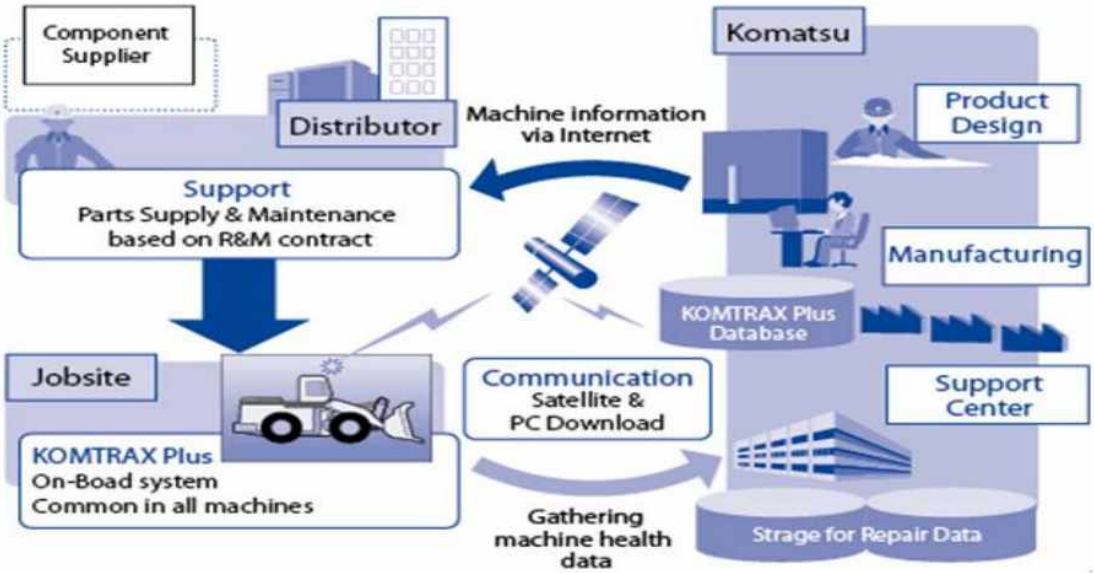



그림 6.22 Komatsu사의 Komtrax System

## ☞ (2-②) 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발

■ 모듈 해체 설계

- **(설정 이유) 해체 사고의 주요 원인인 압쇄 후 전도 방식의 해체 공법 개선을 위한 모듈식 해체 공법의 수행을 위해서는 해체현장의 규모와 환경을 분석하고, 사용 건설장비의 제원의 산출, 작업자의 배치 및 해체 모듈의 크기 등을 결정해야 함. 따라서 본 기술의 성능 지표는 양중 시스템을 포함한 모듈이 크기 설계 등을 실시하는 있는 설 계 능력으로 구분하였음**
- **(설정 근거) 모듈 해체는 RC 부재를 일정한 크기로 절단하여 해체를 실시하는 것임. 당초 Precast 공법으로 적용한 건축물은 시공과 역순으로 해체를 실시할 수 있으나, 현장 타설의 경우, 부재가 일체화 되어 있기 때문에 절단 크기를 결정하여야 함**
  - 일반적인 부재의 크기는 층고와 바닥면을 고려한 해체 설계로 구분할 수 있음. 절단의 효율성을 고려할 때, 최소의 절단 공정 작업이 이루어지도록 부재의 크기를 구성하여야 함
  - 신축과 마찬가지로 해체 공정을 위해서는 양중 시스템이 적용되어야 함. 양중 장비 적용 시 고정식 양중장비와 이동식 양중 장비 적용이 가능할 것으로 판단. 해체 공정과 작업의 효율성 등을 고려한 양중설계가 이루어질 수 있는 설계 필요

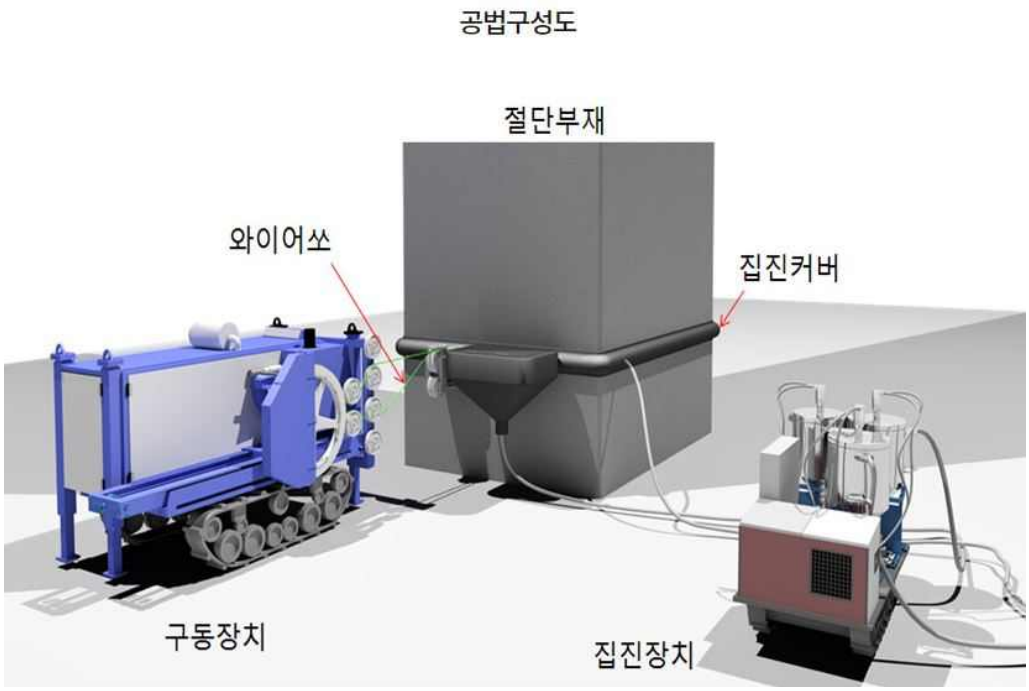



그림 6.23 건식 wire saw 공법

- **(국내 최고 기술수준) 건식 wire saw 절단장비 개발 활용 - 건설 신기술 717호**
  - 모듈식 해체는 절단 공법을 기반으로 하고 있음. Wire, wheel saw를 기반으로 하는 절단 공법은 물을 기본으로 사용하고 있기 때문에 현장 내 작업 환경이 매우 열악하고 폐수 배출 관리가 어려운 단점을 가지고 있음. 이를 보완하기 위하여 국내 I사에서 건식 wire saw 절단 장비를 개발하였음. 시간당 2000리터의 물을 사용하는 공정에서 물을 전혀 사용하지 않은 건식 공법을 적용하였음
- **(해외 최고 기술수준)** Toda 건설의 토탈 해체 기술

· 안전·환경을 동시 만족하고 경제적 해체가 가능한 통합 해체 기술로 해체 시 덩어리의 비산·낙하는 방지하고 강제적 해체가 가능한 모듈식 해체 및 자동화 가술 기술 개발. 구체적인 내용으로는 모듈식 절단 및 이송 기술, 본진억제 절단 기술, 자율 하강식 시스템 가설 기술, 서포트 free 해체 기술을 통합한 시스템 해체 기술 개발

그림 6.24 초고층 해체 To-Zero 공법

■ 소음·분진 Zero 친환경 절단 시스템 개발

- **(설정 이유) 해체공사 현장은 비산 먼지로 인하여 많은 민원을 유발하고 있음. 일반적인 비산 먼지는 국가 전체 발생 비산 먼지의 42%를 점유하는 최대 배출원임.[74] 이러한 비산 먼지를 국내에서는 인력을 활용한 살수, 해외에서는 단순 왕복형 억제장치를 활용하여 억제하고 있음. 국내 방식은 인력의 안전사고에 그대로 노출되고 해외 방식은 분진 발생 위치를 정확히 추적하지 못하여 비산하는 먼지를 억제하는 효율이 낮은 문제가 존재함. 따라서 비산 먼지 배출 공정이 많은 해체공정, 특히 콘크리트 구조물 절단 시 발생하는 소음·분진에 대한 효율적인 제어 방식이 필요**
- **(설정 근거) 소음·분진의 관리 요소로 현장 환경설계, 절단 장비의 성능, 분진·소음의 효율적인 제어 방식 등이 필요함, 따라서 모듈 해체과정에서 발생하는 소음과 분진 제어에 관한 성능 지표를 제시하며, 이를 통하여 민원 감소 항목을 설정**
  - · 기술개발 장비는 소음과 분진을 동시에 억제할 수 있는 기능을 가진 시스템 적용이 필요함. 또한 다양한 소음 발생원과 변화하는 위치에 맞게 대응하는 기술 방안이 필요하며, 2차 환경오염 발생이 일어나지 않게 하여야 함
  - · 기존의 습식 절단 방식을 이용할 경우 분진제어는 상대적으로 수월하게 진행할 수 있음. 그러나 부분적으로 구간에서 절단 공정에 따른 비산이 이루어질 가능성이 매우 높음. 따라서

74) 환경부, **2019 국가 대기오염물질 배출량(PM10 및 PM2.5) 분석**

분진 발생 지역을 인지하고, 이에 대해 최적의 분진 비산 방지 대책의 수립, 그리고 대응 기술이 가동할 수 있는 시스템의 구성 필요

- 국내 해체 현장에서 발생하는 분진 억제는 사람이 소규모 분사기(자동화율 0%)를 이용하여 좁은 지역만을 억제하기 때문에 낮은 억제 효율성과 인력사고에 노출될 위험성을 가지고 있어 무인화 및 자동화가 필요한 실정
- 해외 해체 현장의 경우 대규모 고압 물 분사 장치(자동화율 40%)를 사용하나 넓은 범위를 단순히 왕복시키는 방식으로 사용하기 때문에 비산 먼지 발생원과 분사 방향이 일치하지 않아 낮은 억제 효율성을 가지고 있음
- 따라서 비산 먼지 발생원을 인식하고 추적하여 억제하는 자동화 기술(자동화율 80% 수준, 비산 먼지 억제장비가 자율적으로 이동하며 분진을 억제할 경우 자동화율 100%)이 필요함

**- (국내 최고 기술수준) 인력 살수 방식**

- 국내에서는 현재까지 인력 살수를 사용하며 굴착기 작업 환경 근방에서 물을 분사하는 방식임
- 굴착기 작동 반경 내에 인력 살수 근로자가 있으므로 인력 살수 방식은 작업자를 위험에 그대로 노출시키는 분진 저감 방식이며, 인력 살수 시 물은 사람이 버틸 수 있도록 저압력으로 분사되므로 고압력 물 분사 및 고효율 분진 처리가 불가능함

그림 6.25 국내의 인력 살수 방식

**- (해외 최고 기술수준) Fog Cannon를 이용한 분진 저감 기술**

- 해외에서는 Fog Cannon Dust Suppression System을 통해 해체 현장에서 발생하는 분진을 저감시키고 있음
- 하지만 장비를 작동시키기 위해서 작업자가 직접 장비 근처에서 조종하기 때문에 건축물 잔해나 해체 장비와 충돌하여 인명 피해가 발생할 위험이 여전히 존재함
- 그리고 무인으로 움직이는 방식은 단순 왕복 방식 기능만을 가지고 있기 때문에 실제 분진이 발생하는 위치와 미스트가 분사되는 방향이 일치하지 않아 효율적인 분진 저감이 되지 않고 있는 실정임

그림 6.26 Fog Cannon을 이용한 분진 저감 기술

■ **절단장비에 의한 소음 발생 제어 기술 개발**

- **(설정 이유) 절단장비는 분진과 함께 소음이 주요 관리 항목임. 공사장에서 소음은 대부분 건설 기계에서 발생하며, 공사의 진행 상황에 따라 발생하는 소음의 음질과 음량이 다름. 특히, 절단장비의 소음은 다른 소음 발생 장비보다 월등하게 높은 수준으로 건설현장의 주요 민원 사항 중 하나임. 따라서 이를 제어하는 것은 공사의 원활한 진행을 위하여 필수적인 사항임**
- **(설정 근거) 공사장 소음 관리 기준은 시간대에 다른 기준을 적용하고 있음. 아침·저녁은 60dB 이하, 주요 작업시간인 낮에는 65dB, 아간은 50dB를 관리 기준으로 설정하였음. 따라서 이를 충족할 수 있는 기준의 설정이 필요함**
  - Saw를 이용한 절단 시 소음 발생은 80dB를 초과함. 따라서 건설 현장에서 집중적으로 발생하는 주요 민원 중의 하나임. 이를 제어하기 위하여 방음판의 설치, 장비 보호커버 등 다양한 공법을 적용하고 있으나, 도심지 밀집 지역이 경우 방음벽 등의 소음 저감 효과가 높지 않음. 따라서 본 연구에서는 장비 자체의 소음 제어와 함께, 분진과 같이 제어할 수 있는 시스템 구성을 이루고자 함
  - 주간 공사 시간대의 관리 기준이 65dB이며, 야간 소음 기준이 50dB인 점을 고려하여 장비 자체적으로 50dB를 유지하는 시스템 구성하고자 함
- **(국내 최고 기술수준) 인영건설 E.D.C.S 공법**
  - 기존의 와이어쏘를 이용한 기계식 콘크리트 구조물 해체공법은 콘크리트 절단 중에 발생하는 마찰열을 냉각하기 위해 냉각수를 이용하는데 절단 시 분진발생으로 환경을 오염시킴
  - I사에서 개발한 건식 절단공법은 물을 사용하지 않아 냉각수로 인한 환경오염이 전혀 없고, 공랭식에 필수적인 냉각 장치 없이도 콘크리트를 절단할 수 있으며, 절단 시 발생하는 분진을 집진장치를 이용하여 완벽히 수거할 수 있다는 장점이 있음

- **(해외 최고 기술수준)** Diamond wire sawing and Floor saws machine[75)]

75) foretec corporation 공법

· Diamond wire sawing machine 공법을 기본으로 하여 입력된 절단 부위에 따라 자동으로 이동하면서 절단을 실시하는 Mobile track wire saw machines 기능을 가지고 있음. 이 설비는 RC 구조물 및 철근의 절단을 동시에 수행함

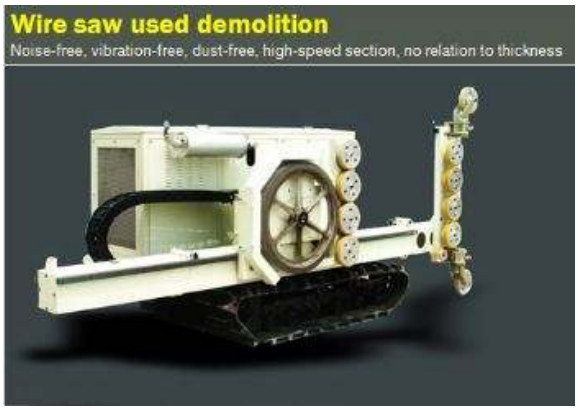



그림 6.27 Foretec 자동 wire saw 장비

## ☞ (2-③) 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발

■ 전단근 활용률

- **(설정 이유) 리모델링에 의한 수평 증축을 실시할 경우 기존의 RC 구조물에 부착되어 있는 전단근 활용이 필요함. 현재는 절단 공법에 의하여 전단근을 모두 자르고 별도의 앵커를 삽입하여 전단근을 대치사용 하고 있음. 이에 따라 공사비의 증가, 안정성의 부족 등의 문제가 발생하며, 공기의 증가로 인한 경제적 손실 또한 발생함. 따라서 본 기술개발 분야에서는 기존의 전단근 활용 비율을 성능 지표로 설정하였음**
- **(설정 근거) 전단근으로 사용하는 철근을 보존하고 절단을 실시하기 위해서는 철근을 존치한 후 콘크리트 부분만 분리하는 기술이 필요. 이를 위해서는 워터젯을 이용한 면취 개념이 적용되어 야 함**
  - · 절단 과정에서 기존 구조물의 취약화 방지 및 전단근을 활용할 수 있는 절단 공법의 개발로 기존구조물과 확장 구조물의 연계성 강화(현재는 전단근 완전 절단 후 chemical 앵커 활용 증축 부위 연결 공법 적용)
  - · 2000년대 이전 공동주택 바닥두께 → 130mm 미만으로 별도의 chemical 앵커를 이용한 공간 확보에 어려움 발생과 장기 내구성 확보 측면에서 신뢰성 미진, 기존 전단근 활용을 통한 겹침 이음 또는 커플러, 압접 이음 등을 통한 전단근 내구성 확보
  - · Saw 방식의 절단은 철근 절단을 전제로 함. 따라서 철근을 회피한 부분 해체 기술 개발 필요

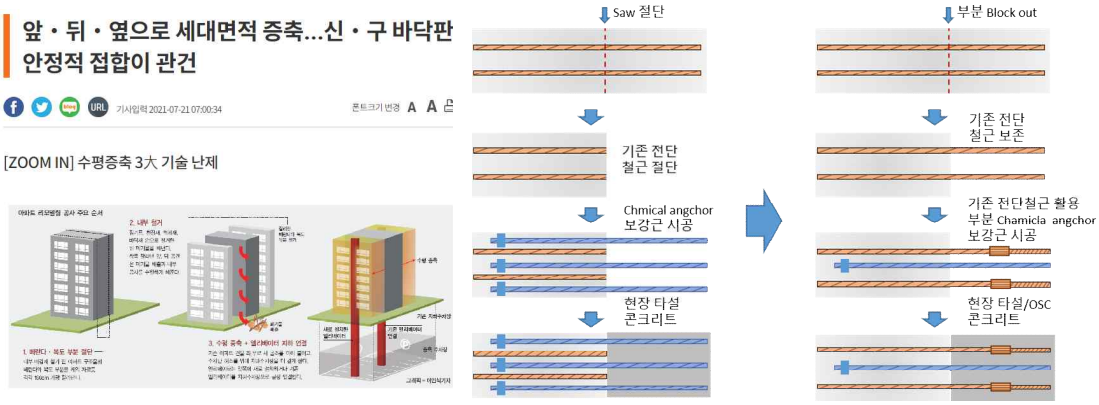



그림 6.28 리모델링 공사 기술 난제 및 기존 보강근 활용 해체 방안

**- (국내 최고 기술수준) 철근 존치 콘크리트 구조물 면취 기능**

· Water-jet 방식을 이용한 RC 구조물의 부분해체 기술은 콘크리트 구조물의 단면복구 등에 활용 되고 있음. 특히 동결융해, 염해 등으로 인하여 손상된 표면의 재시공을 위하여 손상된 부분을 제거하는데 사용되고 있음

· Water-jet 활용 콘크리트 절단 및 발생 폐수의 재활용 시스템 개발이 연계되어야 함. 절단 공법에 비해 더 많은 물을 사용하는 공정으로 물의 순환성 확보가 어려울 경우 현장 적용은 불가능함

· 또한 워터젯을 이용한 절단 과정에서 부분적으로 사전 취약화를 실시할 경우 공정의 속도 개선을 통한 경제성 확보가 가능함

· Water-jet을 이용한 콘크리트 면취기술 개발과 함께 국내에서 폐수 활용에 문제가 없는 현장에 한하여 활발하게 적용되는 기술

그림 6.29 워터젯을 이용한 콘크리트 면 부분 블록 아웃 기술

**- (해외 최고 기술수준)** Aquajet system

· 바닥, 벽, 천장 등 다양한 면을 한 대 장비로 cutting 할 수 있는 장비로 평균 57dB의 저 소음을 유지하는 장치.

그림 6.30 바닥, 상부, 벽면 절단이 가능한 워터젯 장비

■ **현장 슬러지 처리 및 폐수 재활용 기술 개발**

- **(설정 이유) 모듈식 해체 공법과 워터젯에 의한 부분해체 기술은 현장에서 물을 매개체로 하여 해체를 실시하는 공법임. 현장에서 폐수 배출 시 별도의 폐수 처리 시설을 설치 운영할 수 있는 환경 조성이 어려움. 따라서 현장에서 발생하는 슬러지를 처리하고 폐수를 현장에서 다시 재활용 하는 기술의 적용이 필요**
- **(설정 근거) 관리 요소는 현장 환경설계, 절단장비의 성능, 분진·소음의 제어 등이 필요함, 따라서 모듈 해체 과정에서 발생하는 소음과 분진 제어에 관한 성능 지표를 제시하여 관리하며, 이를 통하여 민원 감소 항목 설정**
  - 습식 공법에 의한 콘크리트 구조물 절단 시 배출하는 폐수에는 물과 시멘트 미분이 혼합되어 있으며, 물을 재활용하기 위해서는 물과 슬러지 미분을 분리하여야 함. 특히, Saw 장비의 마찰열 제어, 워터젯 분사를 위한 물의 분진 함유율을 최소화하기 위해서는 시멘트 입자를 거를 수 있는 필터를 활용하여 야 함. 시멘트 입자의 크기는 평균 21㎛이기 때문에 이를 걸러내는 기술이 적용되어야 함
  - 현장 내 순환시스템을 구축하여 슬러지를 최대한 집정한 후 이를 순환 시스템에서 분리 할 수 있도록 하여야 함. 분리된 슬러지의 함수율을 30% 이하로 낮추고, 물에 포함된 미세 입자의 기존이 습식 절단 방식을 이용할 경우 분진제어는 상대적으로 수월하게 진행 할 수 있음
- **(국내 최고 기술수준) 구조물 철거 시 오염물질 배출 최소화 기술**
  - 코어드릴(Core Drill) 천공장치와 다이아몬드 와이어쏘(Diamond Wire Saw)를 이용한 절단 구동장치, 비산먼지 집진장치, 슬러지 정화처리장치로 구성되어 구조물 철거 시 오염물질의 비산 및 오염수의 2차 오염을 예방할 수 있는 신개념의 친환경 콘크리트 구조물 절단 및 해체공법[76)]
  - 밀폐커버, 최소량의 냉각제를 사용하여 콘크리트 구조물을 천공, 절단하는 방식으로 소음 및 분진을 최소화 할 수 있고, 육상의 모든 토목 및 건축 구조물뿐만 아니라 수상 구조물에도 적용성이 우수한 공법

76) 세종이엔씨, C.D.W.S 공법

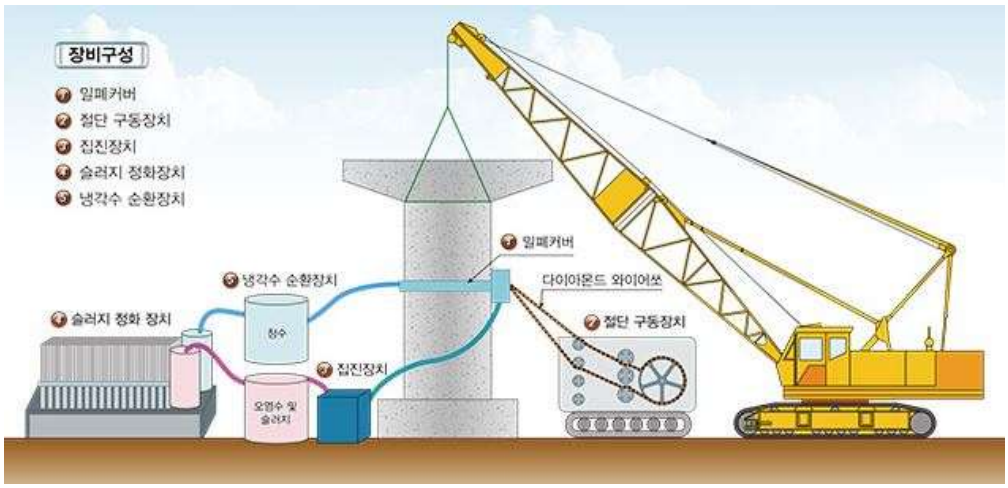



그림 6.31 습식 절단 공사 폐수처리 시스템

- **(해외 최고 기술수준)** Swiss reprotex

· Reprotex의 이동식 슬러지 탈수는 액체 슬러지를 최대 12m³ /h까지 농축한 다음 처리하는 완전 자동화된 소형 장치. 20’ 컨테이너에 설치된 시스템은 액체 슬러지에서 고형물과 물을 잔류 물을 분리. 그 결과 매립/소각이 가능한 소형 슬러지가 Big Bag을 사용하여 쉽게 폐기될 수 있음.

· 이 장치는 주로 고압 제거에서 발생하는 산업 폐수를 완전 자동 통합 공정으로 세척하고 재사용 가능한 맑은 물과 슬러지로 분리하는 이동식 폐수 처리장 MFD_R200에 대한 이상적인 보완 장치.

그림 6.32 슬러지 혼합 폐수 이동식 처리장치
<출처 : reprotex자료, www.reprotex.com>

## 2.3 연차별 연구내용 및 로드맵

<표 6.10> 구성 기술 2 - 연차별 기술개발 목표 및 내용

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 | 무인/원격장비 설계 및 운용 시스템 설계 | 2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>- 원격 제어 및 모니터링을 위한 통신 시스템 구축<br>- 통신 장치 내장형 컨트롤러 제작<br>- 원격 모니터링을 위한 비전 센서 기반 기술 구축 |
| | RC 구조물 모듈 해체 시스템 구성 | 2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>- 해체 건축물 규모에 따른 모듈 단위의 설정<br>- 모듈 단위에 따른 양중 시스템 및 RC 구조물 양중 연결방법 도출 |
| | RC 구조물 부분해체를 위한 워터젯 설계 | 2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발<br>- 수평 증축에 따른 구조물 면적 및 구조 형식 기반 부분 절단 설계<br>- 부분 해체를 이한 기존 건축물 Data 수집 기술 설계 |
| 2차년 | 시작품 개발 및 운용 시스템 개발 | 2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>- 비전 센서기술이 적용된 모니터링 장치 개발<br>- 파쇄 장비 제어를 위한 유압/전기 시스템 개발<br>- 원격 제어 및 모니터링 기술 검증 |
| | RC 구조물 모듈 해체를 위한 절단 및 환경 제어 시스템 구성 | 2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>- RC 구조물의 두께 및 강도에 따른 절단 효율성 분석 및 적정 절단 공법 적용 방안<br>- 절단 장비의 분진 제어 방안 도출<br>- 절단 과정에서 소음 제어 방안 도출 |
| | 폐수 순환 활용 시스템 구성 및 장비 개발 | 2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발<br>- 워터젯 장비 사용에 따른 단위 면적 및 두께별 물 사용량 설계<br>- 기존 장비를 활용한 다기능(바닥, 벽, 천장) 부분 절단 시연 및 장비 설계 |
| 3차년 | 시작품 개발 및 운용 시스템 검증 | 2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>- Force/Torque Feedback을 위한 파쇄 장비 상태 인식 기술 개발<br>- Haptic Device 개발을 위한 기초 기술 획득<br>- 다 자유도 고출력 Cartesian Haptic Device 개발 |
| | 소음/분진 제어 단계 RC 구조물 절단 시스템 구축 | 2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>- 분진/소음 제어 공정을 통한 RC 구조물의 최적 절단 시스템 구축<br>- 건축물의 규모, 콘크리트의 두께 등의 조건에 따른 절단 과정에서의 환경 영향 도출 및 제어 방안 수립 |

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| | 순환 시스템이 적용된 RC 구조물 부분 해체 시스템 구축 | 2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발<br>- RC 구조물 절단을 위한 Data 기반 다기능 워터젯 장비 개발<br>- 폐수 순환 설비 및 슬러지 정화 시스템 개발 |
| 4차년 | 무인/원격 장비 시제품 운용 시스템 시험운용 및 개선 | 2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>- Haptic Device Force/Torque Feedback 로봇 제어 기술 구현<br>- 속도/위치 Hybrid Haptic Device 개발<br>- Haptic Device 제어 기술 파쇄 장비 적용 |
| | 절단 효율성 및 분진/소음 제어 시험운용 및 개선 | 2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>- 단위 구조물 적용 현장 성능 평가 및 외부 보양과 연계한 절단 공법 확립<br>- 단위부재의 크기에 따른 양중 시스템 시연 및 안전 성능 검증<br>- 단위 부재 크기 및 중량에 따른 적정 양중 체결 방안 및 장비 활용 Table 도출 |
| | RC 구조물 두께 및 철근 배근 형태에 따른 현장 시험 적용 및 개선 | 2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발<br>- 워터젯 장비 및 폐수 순환 시스템을 활용한 RC 구조물 두께별 부분 해체 기술 시연<br>- 폐수 활용, 소음 등 환경성 평가 |
| 5차년 | 상용품 개발 및 현장 실증 | 2-① 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>- 원격 제어 및 모니터링 기술과 Haptic 기술 연동<br>- Haptic 기반 무인 파쇄 장비 현장 검증<br>- Haptic 기반 무인 파쇄 장비 최적화 |
| | 모듈 시스템 상용화 및 현장 실증 및 환경성 평가 | 2-② 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>- 단위 부재별 RC 구조물 절단 현장 실증<br>- 절단 방법 별 분진·소음 관리 기술 실증<br>- 현장 밀집도 상황에 따른 모듈식 구조물의 분리 및 폐수 현장 배출 효율성 비교 실증 |
| | 부분 해체 공법 현장 실증 및 환경성 평가 | 2-③ 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발<br>- 수평 증축 구조물 대상 부분 절단 실 증 및 전단근 성능 평가<br>- 현장 실증에 따른 경제성 효과 분석 |

그림 6.33 구성기술 2 - 기술개발 로드맵

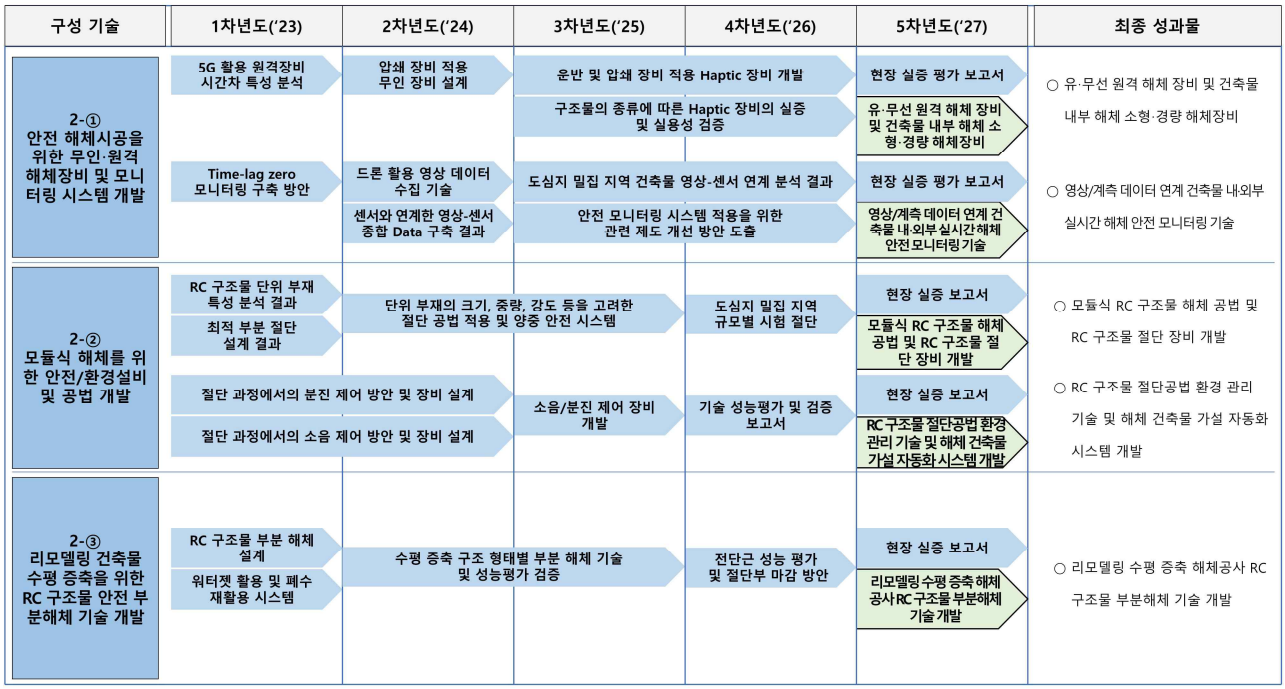



그림 6.34 구성기술 2 - 성과 로드맵

# 3. 기술 개발 전략

## 3.1 기술 확보 전략

■ 국내외 보유 기술을 적극적으로 활용하고, 패키지화되는 최종 성과물은 민간 협력을 통해 사업화 추진

- 선행 연구 사업 및 국내 기술개발 인프라와 연계한 기술 개발.
- Haptic 기술, 3D 공간정보 구축 기술, 로봇 해체 장비 등 선행 개발 기술 분석과 관련 연구진을 연계한 기술 개발 실시
- 기존 모니터링 시스템의 시간차이 극복 방안 및 개방형 해체현장 관리 시스템을 도입하여 해체현장의 안전관리를 위한 기반 구축

■ 패키지화되어 현장에 적용되는 최종성과물은 기존의 유관 기업과의 공동개발을 통해 사업화를 추진

- 개발 기술의 현장 적용성 확대를 위해 해체공사 관리 주체(지자체, 발주자)의 점검/진단 업무 프로세스를 고려한 기술 개발이 되도록 협의체 구성을 통해 필요 수요를 반영. 초기단계부터 제도·지침 개선, 검증 계획과 관련한 협력 추진
- 아직까지 상용화 단계에 이르지 못한 국내 미보유 센싱 기술과 영상-센싱 연계 정보 기반의 분석 기술은 국내 자체 개발을 추진

<표 6.11> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능

| 구성 기술 | 개발 기술 | 구성 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 해외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| (구성 기술 2) 건축물 해체 고도화 기술 개발 | (2-1) 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발 | ● | ● | ● | ◐ | ◐ | |
| | (2-2) 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발 | ● | ● | ● | ○ | ◐ | |
| | (2-3) 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발 | ● | ● | ● | ○ | ◐ | |

● : 핵심역할, ◐ : 보통, ○ : 부가역할

## 3.2 추진체계 및 협력 방안

■ 새로운 계측 및 데이터 분석 기술을 효과적으로 도입하고, 건축물 해체의 패러다임 전환에 필요한 모듈식 해체기술의 정립을 위하여 시방서·기술지침·관련 제도의 개선을 연계하는 방안 도출. 산·학·연 및 관리 주체와의 협력 체계 구축

- **(국외)** 일본, 유럽 기술자문 및 학술 심포지엄 개최
- **(국내)** 국토교통부, 지자체 등의 건축물 해체 안전관리 주체 간의 지속적인 세미나·

협의회를 통한 수요를 반영하고, 기술실시 주체가 되는 해체공사 및 해체설계 전문 기업을 중심으로 해체설계·시공·유지관리·장비개발 분야 산・학・연 공동연구 및 학술 심포지엄 추진

■ 기술의 현장 적용성을 확보하기 위하여 건축물 해체 및 건축 폐기물 자원화와 순환사용 주체와의 Test-bed 구축 협력

- 해체 현장의 적용성이 확보된 완성도 높은 기술의 개발을 위해서는 개발단계 및 완성 단계에서 기술을 실증·보완할 수 있는 개발기술별 Test-bed 및 종합 Test-bed 구축 필요
- 해체 대상 건축물별로 가장 적합한 해체 환경 조성을 위해서는 개발 단계에서부터 기술의 적정성을 평가할 수 있도록 개발 기술에 대한 Test-bed가 필요
- 최종적으로 완성된 기술이 전체 해체공법 내에서 기여할 수 있는지를 판단하고 보완하기 위해서는 종합 Test -bed 구축 필요

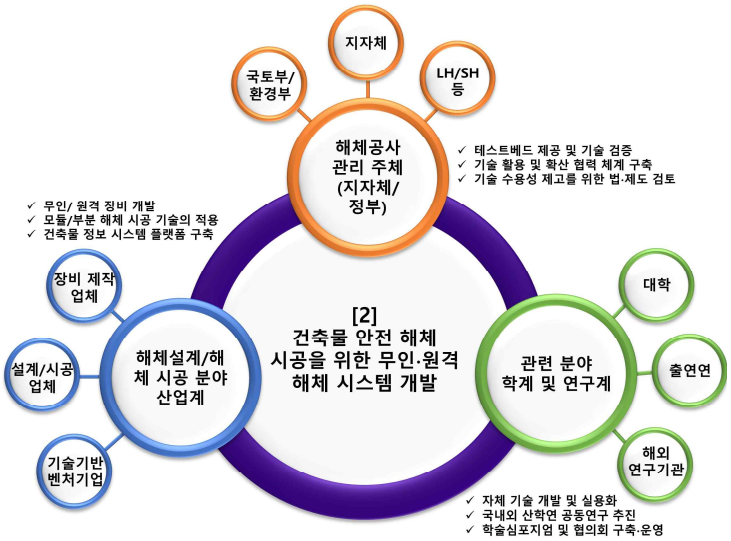



그림 6.35 구성기술 2 - 추진 체계 및 협력 방안

## 3.3 실용화 전략

■ 모듈해체와 부분해체를 대상으로 한 기술은 개발 과정에서 검증 자료를 확보하고 기술 적용을 제한하는 관련 지침/기준을 개선하여 기술 개발 이후 해체공사 전문 기업을 통해 해체공사에 적극 활용할 수 있도록 추진

- 모듈해체는 RC 구조물의 전면 재건축을 전제로 한 해체 공사에 적용하며, 부분해체는 수평 증축에 의한 리모델링 공사에 적용함. 이러한 해체공사에 필요한 환경 및 안전 관련 규정을 연계하여 개선함으로써 기술의 확산할 수 있는 기반 구축

■ 개발기술에 포함된 범용성이 높은 기술은 응용분야에 대한 상용화 연구개발 사업으로 연계하여 기술을 개선하여 활용범위를 확대

- 시험・평가, 시설물 관리 및 재해 분야 등 점검 분야 외 타 분야로 확대 적용을 위한 연구개발 사업을 지속적으로 발굴・추진

■ 패키지화가 가능한 기술을 대상으로 기업 창업 유도

# 3절. (구성기술 3) 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발

## 1. 개념

■ **(목표)** 건축물 내부 구성자재 성상별 해체기술과 자원화 제품 품질 고도화

■ **(기술개발)**

① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발

② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발

③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업

<표 6.12> 구성기술 2 - 개발 기술 및 개발내용 체계

| 구성 기술 | 개발 기술 및 개발 내용 |
|---|---|
| 3<br>건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발** |
| | 3-①-1 5종 건축 내장재 분별해체 장비 개발 및 현장 감량화 시스템 개발 |
| | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발** |
| | 3-②-1 30MPa급 적용 가능 순환골재 품질 고도화 기술 개발 |
| | 3-②-2 분별해체 목재 활용 합판 및 섬유판 제조 기술 개발 |
| | 3-②-3 건설 폐유리를 활용한 골재 및 단열·내화성능용 발포블록 기술 개발 |
| | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업** |
| | 3-③-1 건축물 해체 및 해체 폐기물 순환체계 구축을 위한 시범 사업 |

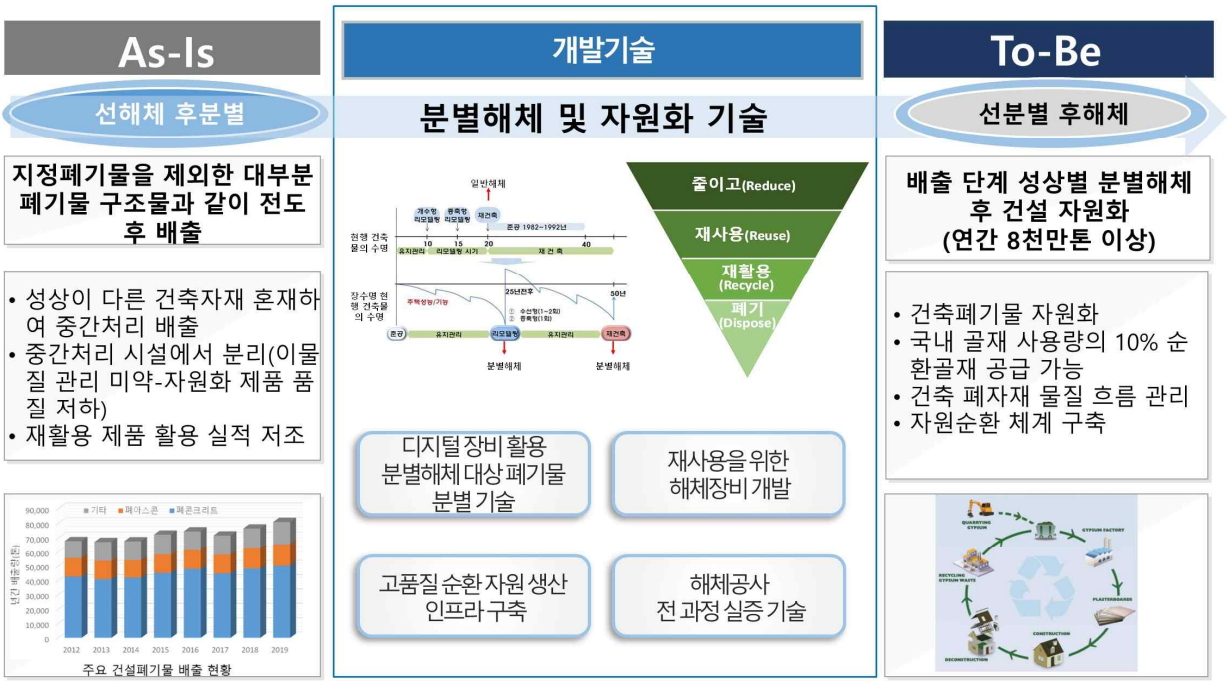



그림 6.36 구성 기술 3 - 연구개발 전·후 환경 변화

# 2. 기술개발 내용

## 2.1 상세기술 개발 내용

### 2.1.1 [과제 3-①] 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발

**[과제 3 - ① - 1] 5종 건축 내장재 분별해체 장비 개발 및 현장 감량화 시스템 개발**

**1) 기술개발 목표**

- 골재/목재/합성수지/유리/섬유류 건축 내장재 분별해체를 위한 해체장비 개발 및 현장 감량화 설비기술 개발

**2) 기술의 개요**

- 5종 건축자재의 현장 분리해체를 위한 장비 개발

(목재 : 바닥재, 천장반자, 목·창문틀 등의 해체장비, 합성수지 : 습식 부착 바닥재, PVC 창호 등의 해체장비, 유리: 창호 프레임 제거 기술, 섬유류 : 유리면 제거 기술)

- 해체 폐기물 현장 파쇄 및 감량화 기술(건폐법 개정 사항)

**3) 필요성**

- 건설폐기물 배출량 ’19년 기준 8천1백만톤으로 국민 1인당 연간 1.6톤 배출
- 자원순환기본법 제정, 탄소 중립 2050 달성 등을 위하여 재활용 강화 필요
- 매립 및 소각에 의한 건설 폐기물 최종 처리 한계
- 건설폐기물 재활용 제품의 낮은 품질과 균질성 부족으로 사용 한계
- 고품질 활용이 가능하나 단순 매립용 등으로 활용(골재)
- 물질 재활용을 통한 목재 2차 제품 가공이 가능하지만 연료로 활용(목재)
- 이물질 및 부착 필름, 색상 등으로 물질 재활용 비율 낮음(유리)
- 최종 처리 방법의 모호성, 현장 환경관리 문제 등으로 해체현장 관리 취약(유리섬유, 암면)

**4) 내용 및 범위**

- 해체 → 감량 → 분리 배출 시스템 구축
- 건축물 내장재 분별해체를 위한 해체장비 개발 및 이와 연계한 감량화 설비 개발

· 경량 칸막이 심재 및 천장 판자 심재, 창틀, 문틀과 같은 선형 목재 건식결합 목재 해체 장비

· 마루 바닥, 경량 벽체, 천장 반자 등으로 사용된 판재형 목재 해체 장비

- 해체현장 유리 파·분쇄 장비 및 감량화 장비 개발

· 유리는 현장에서 파쇄한 후 콘크리트 구조물과 동일하게 배출

· 별도의 파쇄를 실시한 후 보관 배출시 재활용 용도확대

- 유리면·암면 등 환경 유해 폐기물의 철거 장치

· 별도로 분리 해체하여 현장 감량화, 배출 관리를 실시하여 해체현장 환경 관리 강화(인

체 유해한 유리섬유 분진 비산 방지)

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 국토부 자원 재활용 기술개발, 환경부 환경산업선진화 기술개발 등 국가 R&D → **폐콘크리트(배출 건설폐기물 총량의 68%) 사용 순환골재 고품질 자원화 기술개발 중심** → 배출 단계 성상별 분별해체 기술에 대한 연구개발 없음 → 사유 : 구조물의 선해체·후분별 방식의 구조물 해체공사에 대한 개념 변화 없음 → 해체현장 이물질 혼입 증가, 후분별 시 이물질 선별의 어려움, 비용 증가, 품질 저하, 사용 저하 등 악순환 반복
- 연계 기술 없음

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 5종 건축 내장재 분별해체 장비 및 감량화 장비 개발
  · 분별해체를 통한 자원재활용 효율성 향상을 위한 성상별 해체 장비
  · 해체 효율성 및 품질 향상을 위한 기계화 분별해체 시공 필요
  · 해체·철거 후 이물질 혼입 방지를 위한 현장 부피 감량화 및 포장 후 배출 시스템 구축
- (활용 방안) 대·중·소 건축물 규모에 관계없는 분별해체 장비. '21년 분별해체 의무화 대상공사 적용($500m^2$ 이상 공공발주 해체 공사)
  · 연구개발 결과물 활용 → 건축물 분별해체 공사 설계 및 시공
  · 분별해체 폐기물의 활용 → 자원화 제품 품질 고도화 및 다양한 용도 재활용 기반 구축

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 연간 8천만톤 이상의 건설 폐기물 중 7천만톤 이상(골재/목재/수지/유리/섬유류) 건설폐기물 품질 고도화 기반 구축
- 폐기물 자원화에 따른 탄소중립 2050 기여, 순환경제 구축, ESG 경영 기여

| AS - IS | TO - BE |
|---|---|
| - 선해체·후분별 방식의 재활용 체계로 인하여 자원화 제품 품질 및 가격 경쟁력 하락<br>- 별도의 분별해체 장비 없음(시장 수요 없음)<br>- 현장 혼합 배출 | - 재활용 가능 주요 5대 건축 내장재 재활용 기반 구축<br>- 현장 감량화 및 배출로 인한 자원화 비용 감소<br>- 고품질 자원화 제품 품질 및 가격 경쟁력 확보 |

## As-Is

**폐기물 혼합 배출**

**매립·소각에 의한 건설 폐기물 최종처리 한계, 재활용 제품의 품질·균질성 부족→사용한계**

- 선해체·후분별 방식의 재활용 체계로 인하여 자원화 제품 품질 및 가격 경쟁력 하락
- 별도의 분별해체 장비 없음(시장 수요 없음)
- 현장 혼합 배출

## 개발기술

**내장재 분별해체 장비 및 현장 감량화**

폐콘 소할(브레커)

토분 분리(그믈망)

철근 분리(영구자석)

폐목재 분리(소형트롬멜)

해체→감량→분리배출 시스템 구축

내장재 분별해체 장비 및 감량회 설비

해체현장 유리 파분쇄 장비 및 감량화 장비

유리면, 암면 등 환경유해 폐기물의 철거 장치

## To-Be

**성상별 분리 배출**

**해체공사 건설폐기물 현장 파쇄 및 감량화**

- 재활용 가능 주요 5대 건축 내장재 재활용 기반 구축
- 현장 감량화 및 배출로 인한 자원화 비용 감소
- 고품질 자원화 제품 품질 및 가격 경쟁력 확보

## 2.1.2 [과제 3-②] 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술개발

### [과제 3 - ② - 1] 30MPa급 적용 가능 순환골재 품질 고도화 기술개발

**1) 기술개발 목표**

- 콘크리트용 굵은골재(KS F 2527) 적용 가능한 순환 굵은골재 생산기술 및 순환골재 품질 기준 개정(콘크리트용 순환골재 사용 범위 및 사용량)

**2) 기술의 개요**

- 콘크리트 내구성 설계 기준 및 장수명 건축물 내구성 평가 기준의 설계기준 강도 변경에 따른 순환골재 사용 범위 확대를 위한 기술개발

(현재 27MPa 이하 적용, 굵은골재 기준 골재사용 총량(용적) 중 60% 적용 → 설계 기준 강도 및 사용량 제한 규정 삭제를 위한 골재 품질 및 사용에 따른 구조 안전성 검증)

**3) 필요성**

- 전체 건설폐기물 중 폐콘크리트는 '19년 기준 62.6%를 점유하고 있으며, 이를 순환골재로 생산할 경우 도로공사용으로는 연간 4,500만톤, 콘크리트용 골재는 연간 3,200만톤의 골재 생산 가능
- '21년 1월 국토교통부 콘크리트 내구성 설계기준 개정에 따라 주요 구조물의 설계 강도 기준이 30MPa로 상향, 그러나 국토교통부 제정 순환골재 품질 기준에서는 사용 설계기준 강도를 27MPa까지로 한정하고 있음
- 콘크리트 생산 단계에서 골재의 이원화 관리는 생산성 및 경제성에 영향을 미침
- 따라서, 순환골재의 품질을 30MPa까지 사용할 수 있는 범용적인 골재 생산 기술과 이를 활용한 콘크리트 구조체의 내구성 30년 사용 적합성 평가 필요

**4) 내용 및 범위**

- 물리적·화학적 처리 방법을 이용한 개질 순환골재 제조 기술 개발

· 파분쇄, 분리선별, 화학적 처리 방법 등을 이용한 순환 굵은골재의 품질 향상 기술개발 (KS F 2527 굵은골재 기준 충족)

- 순환골재를 사용한 30MPa급 콘크리트 제조 및 내구성 평가 및 기준 개정

· 순환골재를 사용한 30MPa급 콘크리트의 역학적 성능(압축강도, 탄성계수, 건조수축 등) 평가

· 개질 순환골재를 사용한 30MPa급 콘크리트의 내구성(중성화 저항성, 염해저항성 등) 확보

· 순환골재 품질기준, 콘크리트 표준시방서 등 순환골재 사용강도 제한 및 최대 사용량 제한 규정 개정(강도 및 사용량 제한 규정 삭제 → 모든 설계기준 강도, 100% 단독사용 등)

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 국토부 R&D 사업으로 진행한 건설폐기물 재활용 기술개발, 고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용 기술개발 등의 처리공정 및 설계기술 연계

### 6) 최종 성과물 및 활용 방안

- (최종 성과물) 30MPa 이상 사용 가능한 순환 굵은골재 생산 기술개발 및 관련 기준 개정
  · 골재의 물리·화학적 처리에 의한 품질 향상 기술
  · 대량 생산이 가능한 실용화 기술
  · 투입 폐콘크리트의 종래 강도 등과 상관없이 일정한 품질 생산 가능한 기술
- (활용 방안) 내구성 콘크리트 생산 활용
  · 연구개발 결과물 활용 → 30MPa 이상 콘크리트 생산용 굵은골재 공급
  · 기준 개정 → 순환골재 품질기준 및 콘크리트 표준시방서 개정(KCS)

### 7) 기대효과 및 파급효과

- 연간 약 2,000만$m^3$(중량 기준 3,200만톤)의 콘크리트용 골재 공급 기반 구축(’ 22년 국토교통부 골재수급계획량 2억3천만$m^3$의 약 8.7% 공급 가능
- 환경파괴를 전제로 한 산림골재 채취 감소

| AS-IS | TO-BE |
|---|---|
| - 내구성 설계 콘크리트에 순환골재 사용 불가(내구성 설계 1, 2등급)<br>- 장수명 설계 주택 적용 불가(설계 기준 강도 30MPa)<br>- 용적 기준 최대 사용량 60% 한도, 생산관리 차원에서 생산 골재 이원화 관리 어려움 → 생산 비용 및 관리 비용 상승, 품질관리 어려움 | - 사용제한 없이 콘크리트용 굵은골재 활용<br>- 국내 총 골재 사용량의 8.7% 대체, 단순 골재 가격으로 4천억원의 판매 이익 발생<br>- KCS 및 국토교통부 제정 순환골재 품질 기준 개정(사용 제한 폐지) |

**[과제 3 - ② - 2] 분별해체 목재 활용 합판 및 섬유판 제조 기술개발**

**1) 기술개발 목표**

- 분별해체 폐목재 활용한 재활용 함유율 50% 이상의 합판·섬유판 제조 기술개발

**2) 기술의 개요**

- 목재의 자원 순환성 및 지속적인 반복 사용을 위한 순수 목재 재활용 제품 생산
- 건설폐목재의 등급 분류에 따라 1등급 분류 건설폐목재 100% 활용 선재 및 판재 생산 기술

**3) 필요성**

- 건설공사 및 건축물 해체 시 발생되는 폐목재 발생량은 연간 목재 소비량의 약 40% 정도에 달하여 연간 소각 및 매립되는 폐목재량 150만톤 이상임
- 목재 가공 산업의 부산물인 폐목재를 제외하면 아직 재활용률이 매우 낮으며 특히 생활폐목재는 대부분 소각 또는 매립 처분되고 있는 실정
- 폐목재를 처리할 매립지 및 중간처리장의 확보가 점차 곤란해지고 있으며 이로 인한 불법처리가 이루어지고 있음
- 분별해체에 의한 폐목재 배출 시스템이 구축되고, 현장 부분감량 및 분리배출 시스템이 구축될 경우 합판 및 파티클 보드 생산 원료로 활용 가능

**4) 내용 및 범위**

- 건설 폐목재 이물질 제거기술 개발
  · 생산 공정 목재 폐기물의 중금속, 수지 등 이물질 분리 선별 기술개발
  · 방부처리 목재 재활용을 위한 전처리 기술 개발
- 건설 폐목재 칩 제조기술 개발
  · 합판 및 칩보드 생산을 위한 폐목재 분쇄기술 및 사전처리 기술개발

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 목재 재활용은 건설폐기물의 순환 체계 중 가장 순환성을 높일 수 있는 품목임. 즉, 반복적인 재활용이 가능한 폐기물로 국내 지자체 재활용 제품 사용 인센티브, GR 인증제도, 환경표지 인증 제도를 활용한 기술개발 실시
- 생산된 제품의 GR 및 환경표지 인증 획득

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) KS F 3104(파티클 보드), KS F 3022(목재 집성판), KS F 3021(구조용 집성재) 기준에 적합한 재활용 판재 생산 기술개발
  · 자원 순환성 강화를 위하여 재활용 목재 파쇄분 50% 이상을 함유한 판재 생산 기술
  · 방부처리 목재 사전처리 기술개발

- (활용 방안) 재활용 합판 및 파티클 보드 제조기술 확보 → GR, 환경표지 인증 획득

· 연구개발 결과물 활용 → 기업체 생산 연계 → 순환체계 구축(지자체 연계)

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 재활용 목재 50% 이상 함유 보통합판 및 파티클 보드 생산 기술
- 연간 150만톤 건설폐목재 순환활용 기반 구축

| AS-IS | TO-BE |
|---|---|
| - 양질의 건설 폐목재 연료용 목재 활용<br>- 분별해체 미실시에 따른 이물질 다량 혼합 폐목재 재활용 → 재활용 비용 상승, 품질 저하<br>- EL 723 환경표지 인증기준(목재 성형제품) | - 함유율 50% 이상 목재 재활용 제품 생산기술 축적 및 KS 표준에 적합한 제품 생산<br>- 건설현장 내부 판재 사용<br>- 가구용 목재 사용 |

**[과제 3 - ② - 3] 건설폐유리를 활용한 골재 및 단열·내화 성능용 발포블록 기술개발**

**1) 기술개발 목표**

- 해체 현장 폐유리 활용 물리·화학적 처리를 통한 골재 사용 기술 개발
- 단열용 판재(Foamed Block & panel) 생산 기술 개발

**2) 기술의 개요**

- 건설용 폐 판유리를 활용한 판유리 생산은 불가능 함. 따라서 유리를 적정 크기로 분쇄 가공하여 단순 첨가제 형태의 골재 활용분야가 가능 재활용 효율성이 높은 분야임
- 고온 내열성이 요구되는 분야에 실리카 발포블록이 사용되고 있음. 폐유리를 녹여 Foamed Block 생산 후 산업용 단열 블록 및 건축용 고온 내화 패널 사용이 가능함
- 배출되는 유리의 양을 고려할 경우 골재 대체 활용 등의 분야가 가장 용이한 개발 용도임

**3) 필요성**

- 국내 발생 폐유리의 사용률은 '10년 75%에서 '16년 76.5%로 연도별 큰 변동 없이 일정 수준을 유지하고 있으나, 이물질 제거를 위한 수작업 공정으로 재활용 효율이 낮으며, 건설 폐유리의 경우 연간 발생량 중 약 30% 수준이 매립되고 있는 실정으로 재활용성 확대를 위한 기술개발 필요
- 국내 기존 건축물에 적용되어 온 외장 마감재의 경우 경제성 및 시공성이 확보된 유기계 재료를 심재로 사용하고 있으나, '21년 화재 안전 관련 건축법 개정으로 건축물 패널 심재의 불연성능 확보 기술 개발 필요

**4) 내용 및 범위**

- 건설용 유리 골재 생산 기술 및 유리 활용 블록 생산 기술개발
  · 건설용 골재 활용 가능한 KS 표준 적합 입형 및 입도 생산 기술개발
  · 파쇄 및 표면 처리 기술개발
- 폐유리를 재활용한 에너지 절감형 폐유리 분말 제조기술 개발
  · Foamed glass 제조를 위한 분말화 기술 및 용융 성형 기술
  · KS M ISO 9774(건물용 단열재), 건축용 내화구조 구성을 위한 구성재로 활용 가능한 보드 생산

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 국외의 경우 Micro-sizer 및 VSI(Twister Vertical Shaft Impact) 분쇄기 사용으로 재활용 효율을 향상시켜 폐유리 재활용 산업에 광범위하게 사용되고 있으며, 이러한 기술을 응용하여 고효율 파분쇄 기술 개발
- 환경표지 인증 및 GR 인증의 경우 유리 재활용에 대한 기준이 없음. 따라서 유리 재활용 제품 50% 활용을 통한 관련 표준 제정

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 건설용 골재 활용 고효율 입상형 골재 기술개발 및 단열 불연성능을 확보한 Foamed Block 기술개발

· 골재 활용을 위한 고품질 유리 골재 생산 기술

· 단열/내화 성능을 충족할 수 있는 폐쇄 공극형 유리 기포블록 제조 기술개발

- (활용 방안) 유리 잔골재 → 물리적 결합에 의한 유리 투수 블록. 야간 시인성 개선을 위한 기능성 블록 제조 기술 활용

· Foamed block 활용 → 건축물 내화 단열 복합자재, 산업용 단열재료

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 연간 150만톤 이상의 유리 폐기물 재활용 기반 구축
- 기능성 건축자재 생산 기술 구축(투수 및 야간 시인성 개선 블록)
- 단열 및 내화성능이 우수한 패널 생산 → 화재확산 방지를 위한 내화보강 공법 활용 건축자재(내수성 및 수분 저항성 우수, 실내 적용 시 곰팡이 등 오염 제로 건축자재)

| AS-IS | TO-BE |
|---|---|
| - 건축용 유리 폐기물 전량 폐콘크리트 혼합 처리<br>- 유리 활용 2차 제품 개발 및 활용 실적 미흡(결정질 재료로 반응성이 없음)<br>- 환경표지 및 GR 인증 유리 재활용 관련 기준 없음 | - 연간 150만톤 폐유리 건설자재용 골재 활용 기반 구축<br>- 기능성 건축자재 활용<br>- 단열/내화 성능 확보 가능한 복합 건축자재 생산 및 활용 |

### 2.1.3 [과제 3-③] 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범사업

**[과제3 - ③ - 1] 건축물 해체 및 해체 폐기물 순환체계 구축을 위한 시범 사업**

**1) 기술개발 목표**

- 소규모 건축물 해체를 위한 해체계획서 자동화 작성, 중·고층 건축물 모듈화 해체, 건축 내장재 분별해체 및 감량화 배출, 자원화 제품 생산 및 신축 건축물 건축자재 활용 등 전 과정 순환체계 적용 시범사업 실시

**2) 기술의 개요**

- 중앙정부-지자체-해체발주자-자원화-재활용 연계한 시범 사업

· 해체공사 인허가 주체인 기초 및 광역지방 자치 단체가 참여하는 해체공사 전 과정 시범 사업(T/B 및 리빙랩 개념 적용)

· 소규모 건축물 사양 설계에 의한 유형분류 및 사양설계 도면을 활용한 신속한 도면 작성 가능성 분석

· 신속한 위험도 분류 프로그램을 활용한 소규모 건축물 해체 안전성 평가기술 적용

· 해체계획서 자동화 작성 프로그램을 활용한 설계·위험도 분석·자원의 투입 및 배출 폐기물 산정·환경성 평가 등 종합적 이행 사항 확인

- 모듈식 전면해체 기술 및 리모델링 부분 해체 기술의 적용성 평가

· 절단 및 환경관리 기술의 제도적 사회적 관리 기준 한도 내 도달 가능성 평가

· 전단근 활용 RC 구조물의 부분해체 기술 및 이를 활용한 수평 확장 건축물 시범 공사

- 분별해체공사 및 고품질 자원화 생산 기술

· 5종 건축 내장재 해체를 위한 분별해체 장비 활용 성능 평가 및 현장 감량 후 배출

· 현장 감량 및 분리 배출에 따른 효용성 평가

- 30MPa 급 순환 굵은골재, 파티클보드 및 집성목, 기능성 유리 골재 및 Foamed block의 생산 및 현장 재활용 기술

· 공공기관 의무재활용, GR, 환경표지 인증, 지자체 재활용 의무화 시스템을 활용한 순환사용 체계(서울시 사전환경영향평가 - 신축 건축물 총 사용 건축자재 중 재활용 건축자재 15% 이상 재활용

**3) 필요성**

- 개별 단위기술을 종합한 기술개발 성능 평가
- 해체 및 재활용 정책의 실행 기관은 기초 지자체임. 따라서 중앙정부의 정책과 지자체의 실행을 연계하여 민간사업 중 시범사업을 선정하여 실시
- 해체공사는 소규모, 중·대규모로 분리하여 진행
- 분별해체 공사는 공공발주 공사 또는 민간발주 공사로 법적인 규모를 고려하여 시행

**4) 내용 및 범위**

- 500m$^2$ 미만 소규모 건축물 시범사업 5종
- 10층 이상 중고층 건축물 모듈식 해체 시범 사업 3회
- 수평 증축 RC 구조물 부분 해체공사 3회
- 500m$^2$ 이상 분별해체 공사 5회
- 각 해체 공사 기술개발 적용
- 지자체 순환 체계를 활용한 재활용 제품 적용 및 평가 → 지자체 협력 10개 이상 건축물 적용

**5) 기존 기술 연계 활용방안**

- 기존 국가 R&D T/B 활용 지침 적용
- 리빙랩 적용을 위한 지자체, 공공 발주기관 및 민간 발주기관 협력
- 수평 증축 리모델링 부분 해체 공사 해당 조합 협력 3회(층 개념 적용)

**6) 최종 성과물 및 활용 방안**

- (최종 성과물) 건축물 해체 및 재활용 전 과정 실증 시범 사업
  · 테스트베드 및 리빙랩 개념 적용을 통한 실증사업
  · 해체 건축물은 대상물이 사라지는 형태이기 때문에 T/B 개념 적용
  · 자원화 제품 사용은 실제 적용 건축물 대상 리빙랩 개념 적용
- (활용 방안) 테스트베드 및 리빙랩 결과 분석을 활용한 건축물 해체 및 자원화 종합 순환 체계 도출
  · 연구개발 결과물 활용 → 해체 및 자원화 건축물 적용
  · 요소 기술 → 시방서 및 표준 제정

**7) 기대효과 및 파급효과**

- 노후 건축물 증가, 멸실 건축물 증가에 대비한 안전 해체 기반 구축
- 도심지 밀집 지역 친환경 해체기술 적용
- ’30년 29조 시장의 리모델링 해체·건축 시장 대비
- 폐기물 자원화에 따른 탄소중립 2050 기여, 순환경제 구축, ESG 경영 기여

| AS-IS | TO-BE |
|---|---|
| - 선해체·후분별 방식의 재활용 체계<br>- 자원화 제품 품질 저하로 실질 활용 비율 낮음<br>- 발파해체를 제외한 친환경 해체 시범사업 적용 전무<br>- 건설산업에서 해체공사 기술진보성 후발 | - 선분별·후해체 방식의 정착<br>- 소규모 건축물 안전해체 기반 구축<br>- 모듈식 해체공법 및 폐기물 고품질 자원화 기반(골재)<br>- 시범사업을 통한 대국민 인식 개선 |

## As-Is

**개별 단위기술 개발**

**해체설계 기술 미흡**
**일괄해체 방식 적용으로**
**재활용 효율성 저조**

- 선해체·후분별 방식의 재활용 체계
- 자원화 제품 품질 저하로 실질 활용 비율 낮음
- 발파해체를 제외한 친환경 해체 시범사업 적용 전무
- 건설산업에서 해체공사 기술 진보성 후발

## 개발기술

**건축 폐기물 자원화 순환체계**

| | |
|---|---|
| 500m² 미만 소규모 건축물 시범사업 | 500m² 이상 분별해체 공사 |
| 10층 이상 중·고층 모듈식 해체 시범사업 | 지자체 순환체계를 활용한 재활용 제품 적용·평가 |

## To-Be

**단위기술 통합 순환체계**

**건축물 해체 및 자원화**
**전과정 종합 순환체계 구축**

- 선분별·후해체 방식의 정착
- 소규모 건축물 안전해체 기반 구축
- 모듈식 해체공법 및 폐기물 고품질 자원화 기반(골재)
- 시범사업을 통한 대국민 의식 개선

## 2.2 성능지표 및 목표 성능

<표 6.13> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능

| 개발 기술 | 성능지표 | 현재 최고 기술수준 | | 개발 목표 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 해외 | |
| **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발** | **4종 폐기물 분별해체 비율** | **5%** | **40%(일본)** | **50%** |
| | 4종 폐기물 현장 감량화 | 10% | 10% | 70% |
| **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발** | **순환잔골재 밀도 2.5g/cm$^3$, 흡수율 3% 미만** | **2.3g/cm$^3$, 4%** | **-** | **2.5g/cm$^3$, 3%** |
| | 목재 재활용 | 40% | 85% | 85% |
| | 폐유리 재활용 | 5% | 30% | 30% |
| **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업** | **재활용 제도 연계 정책** | **-** | **-** | **3종** |
| | Test 베드 구축 | - | - | 개별 3건 종합 1건 |

### ☞ 3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발

■ 4종 폐기물 분별해체 비율

**- (설정 이유) 현재 구조물 해체는 석면 건축자재와 같은 지정 폐기물과 전선, 황동 등 유가성 자재를 선 분별해체 한 후 일괄 해체 방식을 적용한 해체공사를 실시하고 있음. 즉 선해체·후분별에 의한 해체 공정을 적용함에 따라 서로 다른 성상의 건축자재가 혼재되어 배출됨**

**- (설정 근거) 건설폐기물 배출량 ’19년 기준 8천1백만톤으로 국민 1인당 연간 1.6톤 배출**

· 자원순환기본법 제정, 탄소 중립 2050 달성 등을 위해 재활용 강화가 필요하며, 매립 및 소각에 의한 건설 폐기물 최종 처리 한계

· 건설폐기물 재활용 제품의 낮은 품질과 균질성 부족으로 사용 한계가 있으며, 고품질 활용이 가능하나 단순 매립용 등으로 활용(골재)되는 건설 자재의 고효율 활용 필요

· 물질 재활용을 통한 목재 2차 제품 가공이 가능하지만 연료로 활용(목재)하는 문제 해결을 통한 활용제고와, 이물질 및 부착 필름, 색상 등으로 물질 재활용 비율 낮은 유리 활용성 제고

· 또한, 최종 처리 방법의 모호성, 현장 환경관리 문제 등으로 해체현장 관리가 취약한 유리섬유, 암면 등의 사전 분별을 통하여 2차 환경오염 방지 필요

**- (국내 최고 기술수준) 콘크리트용 순환골재 생산 및 폐목재를 활용한 파티클 보드의**

**생산**

· KS F 2527에서 규정하는 콘크리트용 굵은 순환골재는 일반 천연골재와 동등한 품질 기준을 유지하고 있음. 그러나 국내 생산 연간 6천만톤의 순환골재 중 콘크리트용 골재 활용은 0.7%인 40여만톤에 불과함

· GR 인증제도 및 친환경마크 인증제도에 따라 콘크리트용 2차 제품의 활용은 확대되고 있음

폐콘크리트 발생 폐콘크리트의 파쇄, 선별 순환골재 생산

그림 6.37 순환골재 생산 과정
<출처 : pH 저감 건식 순환골재의 대량생산 공정 실증화 연구, 2015>

**- (해외 최고 기술수준) 일본 콘크리트 재활용 97% 이상, 폐목재 재활용률 85% 이상, 유럽 Gypsum to Gy[sum, Glass to Glass 제도를 통하여 물질 재활용 확대**

■ 4종 폐기물의 분별해체 후 현장 감량화

**- (설정 이유) 건설폐기물의 배출량 중 해체현장 배출량이 95% 점유하고, 신축현장은 5% 정도에 불과함. 해체현장은 건설폐기물 처리에 있어서 여러 가지 조건이 좋지 않은 상황에서 이루어짐. 짧은 해체 공정, 뒤섞여 있는 잡자재, 공간의 협소 등으로 인하여 성상별 분리 보관 및 야적이 불가능한 상황임. 특히, 도심지 밀집 지역의 해체 같은 경우에는 해체 후 바로 배출이 이루어져야 함. 따라서 분별해체를 실시한 건설자재를 성상별 배출을 위해서는 해체한 폐기물을 바로 감량하고 이를 포장하여 배출하여야 함**

**- (설정 근거) 골재를 생산하는 건설 폐재류는 내장재 해체가 완료된 후 철거됨. 따라서 건설 폐재류 이외에 내장재 해체 단계에서 별도로 분리가 가능한 목재, 합성수지, 유리, 섬유류의 분별해체 및 현장 감량 후 배출을 유도함**

· 목재는 문틀, 천장 반자, 반자를 매달고 있는 목재, 마루 바닥 등이 대부분임. 현장에서 별도 분리 후 소분하여 감량화 후 배출하도록 함. 감량화 방법은 이동식 현장 분쇄기(소형 슈레더 등)를 사용하여 분쇄 후 별도 포장하여 배출

· PVC 창호와 장판, 상수용 파이프 등으로 대표되는 합성수지는 대부분 선형 부재로 이루어짐. 일정한 길이로 절단한 후 묶음단위로 배출할 수 있도록 유도 필요

· 유리는 무게가 많이 나가며 현장에서 분쇄하는 과정에서 위해성을 가지고 있음. 따라서 틀과 분리 후 현장에서 일정 단위 크기로 절단하여 적층 후 배출하는 방법으로 유도 가능

**- (국내 최고 기술수준) 스티로폼 단열재 및 유리섬유 단열재의 감량화 배출. 다만 열에 의한 배출로 인하여 현장 유독성 물질의 배출을 제어할 수 있는 시스템이 구축**

**되어 있지 못함으로 인하여 현장 활용이 저조함. 다만, 석면 건축자재의 경우 현장에서 해체 후 별도의 이중 포장을 통하여 배출관리 실시**

그림 6.38 석면 건축자재 해체 후 현장 포장 후 배출

**- (해외 최고 기술수준) 석면 건축자재의 분별해체 후 배출 공정. 뿜칠 석면 건축자재에 대하여 별도의 합성수지 포장에 밀폐 포장한 후 소각 처리**

## ☞ (3-②) 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발

■ 콘크리트 잔골재용 고품질 순환잔골재 생산기술 개발

**- (설정 이유) 건설폐기물 총 발생량 중 약 65.1%가 순환골재로 소비되고 있으나 이중성·복토용 및 도로공사용 등 부가가치가 낮은 용도로 84.3%가 사용되고 있음. 상대적으로 부가가치가 높은 콘크리트 제조용 골재로의 활용은 11%에 불과하며 특히 순환잔골재의 경우 품질관리가 체계적이지 못한 관계로 안정적인 품질관리 방안 및 성능확보(밀도 2.5g/cm$^3$, 흡수율 3% 미만)가 요구됨**

**- (설정 근거) 매년 허가 및 신고 채취로 공급되는 골재량이 약 2억m$^3$ 수준으로 향후 70년 후 천연골재의 채취가 불가능할 것으로 예측되므로 지속가능한 건축생산을 위한 천연골재 대체 골재자원의 개발이 시급한 상황임**

· 2019년도 전국 골재수요는 253,045천㎥으로, 모래 121,462천㎥(48%), 자갈 131,583천㎥(52%)를 점유할 것으로 예측, 천연골재 부족현상과 골재채취에 따른 환경적문제와 사회적 갈등 심화

· 폐콘크리트를 골재로 재자원화 할 경우 국내 골재 공급량의 20% 점유

· 건축물에서는 순환잔골재의 높은 흡수율, 낮은 밀도, 품질편차 등으로 인하여 사용이 기피되고 있는 실정임

· KS F 2527 『콘크리트용 골재』에서는 순환잔골재의 품질기준을 강화하고 있으나 설계기준강도 21MPa 미만의 비구조용에만 사용가능하고 설계기준강도 21~27MPa에서는 순환굵은골재만 사용할 수 있어 자원 재활용 측면에서 순환잔골재의 품질확보 및 사용범위 확대가 시급함

· 순환골재는 골재 표면에 부착된 모르타르 함량에 따라 밀도 및 흡수율이 변동되는데 모르타르 함량이 높아지면 밀도는 낮아지고 흡수율이 높아지므로 품질이 악화되는 원인이 됨

그림 6.39 순환골재에 포함된 이물질 및 부착모르타르

· 순환굵은골재는 여러 종류의 충격·마쇄방식에 의해 순환골재 표면에 붙어있는 모르타르를 제거하는 노력을 하지만 순환잔골재의 경우는 모르타르 제거를 위한 별도의 공정이 없고 추가 공정인 파쇄기를 통해 여러 차례 분쇄하여 양질의 순환잔골재를 생산하는 방법을 사용하여야 하나 이는 추가 공정이 필요하고 소량 생산 또는 부지가 넓은 곳에서만 가능하며 실효성이 떨어짐

그림 6.40 순환골재 생산설비 전경

- **(국내 최고 기술수준)** 현재 순환잔골재의 품질기준인 밀도 2.3g/cm$^3$, 흡수율 4.0% 미만의 기준을 확보하고 있는 순환잔골재 품질인증업체는 다수 존재하고는 있으나 경제성 등의 이유로 생산량은 매우 미미한 실정임. 또한 건설현장 관리의 어려움 등으로 인하여 혼합건설폐기물 형태의 배출이 많아 비닐, 목재, 스티로폼 등 이물질 함유가 많고 우천 시 잔골재 뭉침 현상이 발생하여 생산공정 개선을 위한 플랜트 설비 구축에 다대한 노력이 필요함

그림 6.41 순환골재 품질인증 현황(2017년 12월 기준)

- **(해외 최고 기술수준)** 일본의 경우 재생골재(순환골재)의 품질에 따라 콘크리트용 재생골재H(JIS A 5021: 모든 개소에 사용가능), 콘크리트용 재생골재M(JIS A 5022: 건조수축이나 동결융해작용을 받기 어려운 개소에 적용가능), 콘크리트용 재생골재L(JIS A 5023: 높은 강도, 내구성이 요구되지 않는 개소, 버림콘크리트 등에 적용가능) 등으로 구분하고 있으며 고품질 재생골재인 재생골재H의 품질기준은 표OO와 같음

<표 6.14> 재생골재H의 물리적 성질

| 항목 | 재생굵은골재H | 재생잔골재H |
|---|---|---|
| 절건밀도 | 2.5 이상 | 2.5 이상 |
| 흡수율 | 3.0 이하 | 3.5 이하 |
| 마모감량(%) | 35 이하 | - |
| 미립분량(%) | 1.0 이하 | 7.0 이하 |

■ 재활용 목재 파쇄분 50% 이상을 함유한 판재 생산 기술

- **(설정 이유) 2018년 기준 국내 폐목재 발생량은 226만톤이나 재활용량은 154만톤으로 폐목재의 재활용률이 저조한 편임. 재활용되지 않은 폐목재의 경우 대부분 폐목재 고형연료로 사용되는 것으로 추정되고 있으며, 표면코팅이 적용된 폐목재의 경우 소각시 유독가스 등의 발생으로 인해 대기오염을 유발할 수 있음**
- **(설정 근거) 재활용되지 않은 폐목재의 대부분은 폐목재 고형연료로 소각되고 있는 실정이며 자원 순환성 강화를 위해서는 재활용 목재의 사용량을 증대시킨 판재 생산기술 개발이 필요함**
  - 2020년 기준 국내 목재이용량은 27,265천$m^3$이며, 이중 국산목재는 4,283천$m^3$으로 국산목재의 이용률은 15.7%로 목재 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정임

· 국내의 경우 ‘2050 탄소중립’을 위한 다양한 정책을 실시하고 있으며 이를 실현하기 위해서는 폐목재의 고형연료의 사용으로 인한 유독가스 및 온실가스 등의 배출을 저감하는 것이 중요함

· 기존의 건설 폐목재의 경우 분별해체 미실시로 인해 이물질이 다량 혼입되어 있음. 폐목재의 주요 재활용 방안으로는 목재 판재로 사용되는 합판, 파티클보드(PB), 섬유판(MDF)을 들 수 있으나 이물질의 혼입은 제조된 제품의 품질저하를 유발하는 문제점을 가지고 있음

· 폐목재 활용 판재 생산 기술의 개발을 위해서는 목재 폐기물의 이물질 분리 선별 기술 개발이 중요하며 제조조건의 최적화 등을 통해 고품질의 목질 판재 생산 기술 개발이 가능함

그림 6.42 폐목재 재활용 처리과정

- **(국내 최고 기술수준)** ㈜심텍21에서 폐목재와 팽연왕겨를 활용한 친환경 난연천장재 개발(2017년)

· 폐목재와 팽연왕겨를 주재료로 하여 난연성이 뛰어나고 기존의 석면함유천장재를 대체할 수 있는 천장재 개발 및 제작을 위한 기반 마련

· 특히 1급 발암물질인 석면함유천장재를 대체할 수 있는 친환경적인 제품 개발로 인해 석면 피해에 대처 가능하며 높은 강도와 방염성이 우수한 난연 천장재를 개발하였음

· 폐MDF를 대상으로 섬유화 및 재생보드 재생기술 개발(2018년)에 관한 R&D 연구가 수행된 이력이 있으나 본 연구에서는 폐MDF의 이물질 선별공정은 제외하고 연구를 수행하였음

그림 6.43 폐MDF 재활용 과정

- (해외 최고 기술수준) 영국(스코틀랜드) 및 캐나다에서는 폐목재를 분쇄하여 합판을 제작하거나, 노르웨이의 경우 폐목재를 자체 분류기술로 순도 높은 목재를 분류하여 보드를 제작하는 등의 상용화를 진행하고 있음

■ 폐쇄공극형 유리 기포블록 제조기술 개발

- (설정 이유) 건축물의 단열시스템은 주로 EPS, XPS 등 유기계 소재나 글라스울 등의 무기계 섬유류 소재가 주로 사용되며 외벽을 마감하고 있음. 드라이비트 공법에 적용된 유기계 소재는 화재안전성(화재의 수직확산)이 문제가 되어 무기계 섬유소재로 대체되고 있으나 미네랄울이나 글라스울은 소재 특성상 수분에 취약하고 단열성능이 떨어지는 단점이 있음

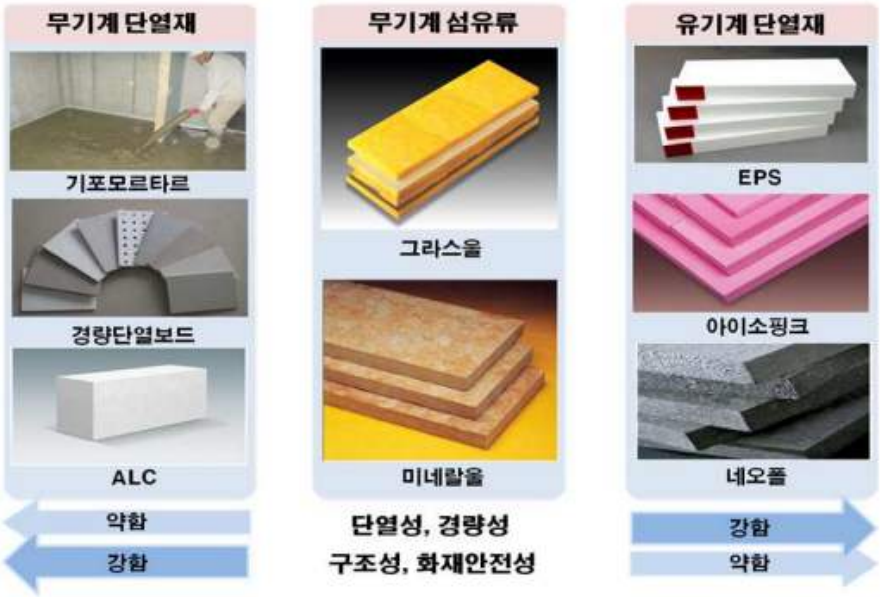



그림 6.44 기존 유·무기 단열소재의 특성

- **(설정 근거) 건설 폐유리의 경우 연간 발생량 중 약 30% 수준이 매립되고 있는 실정으로 재활용성 확대를 위한 기술개발 필요**
  - 국내 건축물 냉·난방 분야에서 소비되는 에너지는 총 에너지의 25%로 18.6조원 수준이며, 건축물 냉·난방 에너지 중 약 40%는 벽체 등의 외피를 통해 열손실이 발생함
  - 건축물의 에너지절약설계기준(국토교통부고시 제2017-71호) 및 제로에너지 의무화(2025년 민간부분 건축물로 확대) 규정이 강화됨에 따라 건축물의 단열성능 강화가 요구됨
  - [열관류율 강화(외벽기준) : 0.270W/($m^2$·K) → 0.210W/($m^2$·K) → 0.150W/($m^2$·K)]
  - 단열성능 향상을 위해 외단열 시공 시 단열재는 건축물의 외장재로 분류되어 준불연 이상의 내화성능 요구됨
  - 경량이면서 단열성과 불연성, 내구성, 시공성이 매우 우수한 폐쇄 공극형 유리 기포블럭 및 패널은 고기능성 제품으로 정부의 에너지 저감 대책 강화에 따른 외단열 시장이 확대됨에 따라 그 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상됨 건설폐유리로 폐쇄 공극형 유리 기포블럭 및 패널을 제조하기 위해서는 파분쇄한 유리 분말을 가열(800~900℃ 정도) 연화시키고 발포제(탄산염, 카본 등)를 사용하여 독립 공극을 균일하게 형성시키는 것이 중요하기 때문에 배합 및 발포 공정을 최적화하여 대형패널 사이즈(600×1,200mm, 1,200×1,200mm)의 생산이 가능함
- **(국내 최고 기술수준) 한국발포유리(주)에서 발포글라스비드(formed glass bead) 실증기술 확보(2019년)**
  - 폐기물로 매립되던 폐유리 연간 9,000톤을 폐유리병의 재활용 실증시스템을 구축하여 건축자재 등 재활용기술 기반확보. 향후 발포유리비드 4,410톤, 인공모래 4,410톤 생산을 목표로 하고 있으며 고부가 가치화로 발포유리비드를 블록화하여 건물 내부 방음 및 내외부 보온 단열재 생산 등을 위한 연구가 진행 중임

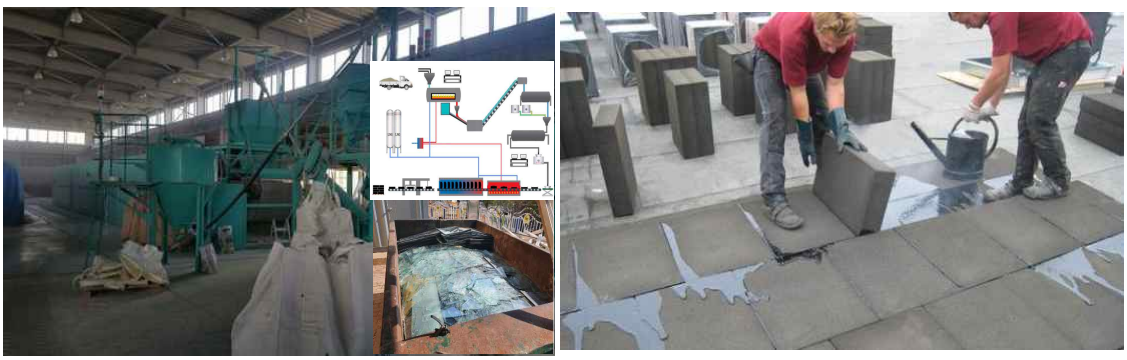


그림 6.45 발포유리 단열재 생산 과정

- **(해외 최고 기술수준) 유럽(독일, 스위스, 오스트리아 등), 미주(미국, 캐나다), 일본 등에서는 폐유리 분말을 주원료로 하는 발포유리 골재 및 경량 블록 등의 제품을 이미 1990년 후반부터 상용 생산하고 있음. 특히, 유럽연합의 경우 현재 유리생산에 쓰이는 재료의 약 52%를 폐유리로 재활용하고 있으며, 2030년까지 이 비율을 90%까지 높일 예정임**

## ☞ (3-③) 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업

■ 재활용 제도 연계 제도 개발

- **(설정 이유) 건축물 관리법에 의한 해체 및 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률에 따른 재활용 등이 이루어지고 있음. 해체공사는 건축물 관리법에 따라 허가대상과 단순신고대상으로 분류되고 있음. 단순 신고대상도 현장조사에 근거한 해체 계획서를 작성하도록 규정화 하고 있으나, 낮은 해체 공사비용 및 영세한 해체 업체의 능력 부족 등으로 제도가 현장에서 제대로 지켜지지 않는 부분이 있음**
- **(설정 근거) 건축물 안전관리법에 의한 소규모 건축물 해체계획서 작성 관련 제도, 도심지 밀집 지역 및 재건축, 재개발 현장의 모듈화 해체 공법의 적용, 수평 증축 리모델링 공사이 부분 해체 공법, 분별해체 공사의 확대 방안 등의 정책 개발과 제도 반영이 예상 됨**

· 소규모 건축물 해체 계획서 작성, 건축물 해체공사에서의 안전사고는 건축물의 규모 보다는 현장 관리 여부에 더욱 밀접한 영향을 받음. 따라서 소규모 해체 현장이라 할지라도 해체계획수립을 철저히 하여 관리를 실시하여야 함. 현재 500m$^2$ 미만, 3층 미만, 12m 미만의 건축물은 해체계획서를 작성하여 단순히 관리 지자체에 신고만 하도록 규정되어 있음

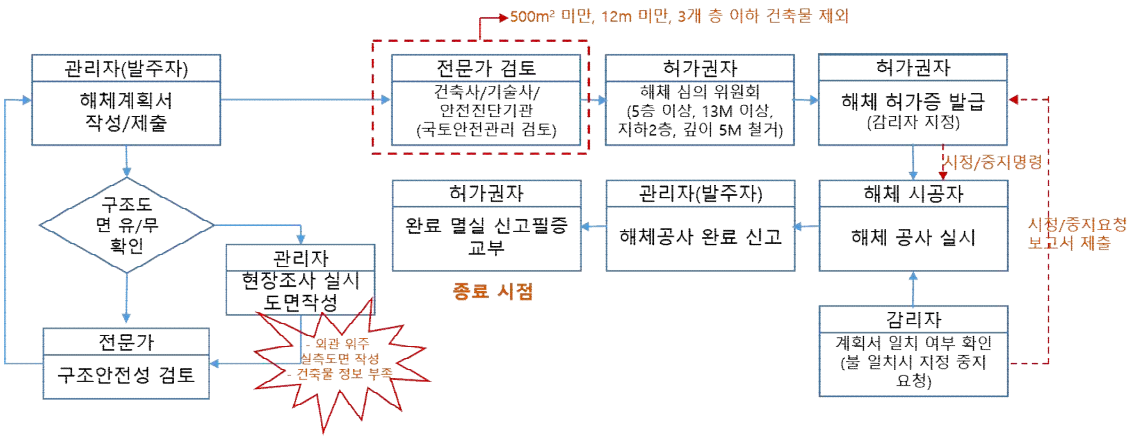



그림 6.46 건축물 관리법에 따른 건축물 해체공사 허가 절차

· 압쇄·전도 방식의 해체공사는 벽체의 붕괴, 상부 탑재 장비의 추락 등으로 안전사고가 상존하고 있음. 또한 압쇄 방식에 따른 해체 폐기물의 적치 및 비산먼지의 발생 등으로 환경관련 현장 민원 발생이 높음. 따라서 모듈식 해체에 따른 폐기물 적치 환경의 개선, 비산의 억제 등으로 깨끗한 현장 관리가 가능하며, 안전사고 예방 또한 가능함. 따라서 일정 규모 이상의 건축물 해체 공법 적용 시 모듈 식 해체공사 적용 범위를 넓힐 수 있는 제도 개선이 필요함

· 수직 증축에 의한 부분해체 공사의 경우 전단근 제거 후 케미컬 앵커 등을 사용한 공사 진행이 이루어지고 있음. 해체공사의 경제성 확보, 수평 증축 건축물의 안전성 확보를 위하여 전단근을 활용하는 부분해체 기술의 활용 범위 확대 관련 제도 개선이 필요함

· 분별해체 공사 의무화 제도는 500m$^2$ 이상의 공공발주 건축물에 한정하고 있음. 전국 720만 동의 건축물 중 공공 건축물은 19만 동으로 2.63%에 불과함. 따라서 분별해체 공사 관련 세부 기술 개발과 보급으로 분별해체 공사를 민간 영역으로 확대하는 제도 개선이 필요함.

- **(국내 최고 기술수준) 건폐법에 의한 공공 건축물 분별해체 제도의무화, 석면안전관리법에 의한 석면 건축자재의 사전 분별해체 제도 의무화**
  · 민간영역에서 특정 기술의 사용을 의무화 할 수 없음. 따라서 안전관련 규정, 환경 관련 규정 및 현장 내 폐기물 보관 및 배출 관련 기준의 개선을 통한 기술사용 확대 방안 도모 필요
- **(해외 최고 기술수준)** 일본 80m$^2$ 이상 모든 건축물의 분별해체 공사 실시, 석면 건축자재는 모든 국가에서 사전 분별해체 제도 도입 중

■ 해체-자원화 전과정 Test - bed

- **(설정 이유) 본 연구의 구성기술은 3개 영역으로 구분되어 있음. 소규모 건축물의 해체계획서 자동화 프로그램 작성 기술에 해당하는 해체설계 분야, 모듈화 및 부분 해체 시공을 위한 장비개발 및 시공 기술 개발 영역의 해체 시공 분야, 건축물 내장재의 분별해체를 통한 건축 폐기물의 고효율 자원화 촉진의 분별해체 공사 분야임. 이러한 모든 부분의 공사는 현장 적용을 통한 적용 가능성 및 문제점 분석을 통한 상용화, 실용화 기반이 이루어져야 함**
- **(설정 근거) 개별단위 및 종합 Test-bed의 구축**
  · 개별 Test-bed : 기술영역 1은 소규모 건축물의 해체 계획서 자동화를 목표로 하고 있음. 따라서 500m$^2$ 미만, 3층 미만, 12층 미만의 주거용, 상업용, 교육시설용 등 용도의 구분과, 조적, RC 구조물의 구성 주요 자재를 대상으로 Test bed 적용이 필요함. 기술영역 2는 재건축 사업에 적용이 가능한 모듈식 해체와 수평증축 공사에 적용 가능한 부분 해체 기술로 구성되어 있음. 이 건축물은 모두 RC 건축물을 대상으로 하고 있음. 따라서 각각 1개 이상의 현장 Test-bed 구축이 필요함. 내장재 해체를 대상으로 하는 분별해체 공사의 경우에는 1, 2 영역과 연계하여 사전 내장재 분별해체 공사의 적용이 가능함, 따라서 기술구성 1영역의 3개, 2영역의 5개에 대한 분야별 Test-bed 구축 예정
  · 종합 Test-bed : 기술영역 1과 2는 서로 다른 대상을 목적물로 하고 있기 때문에 동시에 적용이 불가능한 사항임. 다만, 해체공사에서부터 자원 재활용까지 전과정에 대한 Test-bed 구축이 필요함. 동일 건축물이 아닌 사업 지구를 대상으로 해체 영역에 대한 종합실증을 수행한 후 배출한 폐기물의 자원화를 통하여 동일 지자체의 활용으로 종합 Test-bed 구축을 실시할 예정임
- **(국내 최고 기술수준) 탄소 저감형 건축물 실증**
  · 개별 탄소 저감형 건축자재의 사용을 위하여 별도의 건축물을 구축하여 다양한 저감 자재의 활용을 실시함
  · 리빙랩을 통하여 사용자가 직접 자재의 성능을 평가하는 제도의 확산이 이루어지고 있음
- **(해외 최고 기술수준) Gypsum to Gypsum, Glass to Glass 제도를 통하여 해체현장에서 배출한 건설 자재의 자원화를 통한 고효율 건축 자재의 적용**

Gypsum to Gypsum

건설 분야의 순환경제 개념

그림 6.47 유럽에서의 건설폐기물 재활용 정책
<출처 : G to G project & Veed project in EU

## 2.3 연차별 연구내용 및 로드맵

<표 6.15> 구성 기술 3 - 연차별 기술개발 목표 및 내용

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| 1차년 | 내장재 종류별 분별해체 공법 개발 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>- 4종 내장재 대상 건축물 종류 및 용도에 따른 해체공법 도출<br>- 성상별 분별해체 대상 건축자재의 해체 후 순환 시스템 구성<br>- 4종 분별해체에 따른 경제적 효과 분석 |
| | 순환골재 콘크리트 30MPa 적용 설계 및 순환골재 품질기준 개정 제안 | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>- 고품질 순환골재 활용 30MPa 성능평가(KS F 4009 성능 평가)<br>- 내구성 평가(동결융해, 염해, 중성화 등) 국토부 내구성 설계 기준 및 장수명 주택 1등급 적용 콘크리트 설계<br>- 순환골재 품질 기준 개정 실시(현행 27MPa 이하 → 30MPa 이하 또는 강도 제한 규정 삭제) |
| | - | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>- 해당사항 없음 |
| 2차년 | 4종 주요 폐기물 현장 감량화 방안 및 장치 설계 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>- 4종 건설 폐기물 철거 직 후 현장 감량화 방안 도출<br>- 감량화 방안에 따른 최적 장비 설계(기존+신규 장비)<br>- 성상별 최대 감량화 설계 제시 |

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| | 유리/목재 분별해체 및 현장 관리를 위한 장치 설계(감량화 방안) | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>- 건축용 판유리 현장 철거 및 분쇄 방안 설계<br>- 유리의 별도 분리 보관 및 현장 감량화 장치 설계<br>- 창틀 등 습식 고정 목재류 분별해체 공법 및 현장 감량 설비 개발 |
| | - | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>- 해당사항 없음 |
| **3차년** | 해체현장 분별해체 시공 및 현장 감량화 장치 적용성 평가 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>- 4종 건축자재 분별해체 시공 및 현장 감량화 성능 평가<br>- 건축물의 규모, 구조, 용도별 감량화 적용성 평가<br>- 감량 후 현장 배출 설계 |
| | 유리/목재 분별해체 및 감량화 장비 성능 평가 | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>- 목재/유리 100% 분별해체 및 현장 감량화 50% 달성<br>- 분별해체·감량화 장비 성능 평가 및 검증 |
| | 해체 폐기물 분리배출 시스템 개선을 위한 지자체 조례 개정 | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>- 해체현장 5종(건설폐재류, 목재, 합성수지, 유리, 섬유류) 건축자재 분리 배출 지침 제정(안) 도출 및 현장 시범사업<br>- 건폐법 개정 및 참여 지자체 조례 개정(서울시, 광주시) |
| **4차년** | 감량화 장비 성능 인증 및 관련 제도 개선 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>- 분별해체 장비 및 감량화 장비 성능 검증<br>- 4종 내장재 분별해체 90% 실시 및 해체 성능 평가<br>- 분별해체 설계 - 배출 전 과정 평가 |
| | 분리 배출 재활용 제품 2차 제품화 및 성능 인증 | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>- 유리 및 목재 현장 파쇄분 성능 평가 및 물질 재활용 제품 생산<br>- 유리 골재/단열블럭, 파티클 보드류의 성능 평가<br>- 관련 KS 또는 GR 성능 인증 |
| | 배출자 책임 활용 제도 관련 제도 개선 | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>- 분별해체 의무화 대상 범위 확대 제도 개선(안) 도출, 현행 공공발주 500$m^2$ 이상 → 민간영역 및 면적 기준 확대<br>- 건축물 시공 단계 자원 재활용 비율 확대 제도 개선 |
| **5차년** | 분별해체 공사 현장 실증 | **3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발**<br>- 일반 해체공사 연계(소규모, 중고층 대규모)한 전 과정 실증<br>- 분별해체와 일반 해체 비교성능 평가<br>- 분별해체에 따른 혼합 건설 폐기물 배출량 일반해체 대비 50% 감축 |
| | 고효율 분별해체 자원재활용 제품 현장 적용 | **3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발**<br>- 성능 인증 자원 순환 제품의 신축 현장 적용(해체공사 별도 |

| 연 차 | 연차 목표 | 기술개발 내용 |
|---|---|---|
| | | Test-bed 또는 Living Lab 개념 현장 실증)<br>* 해체공사 Test-bed는 소멸 개념의 건축물로 신규자재 적용은 별도 T/B 운영 필요 |
| | 종합 Test-bed | **3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업**<br>- 내장재 중심 규모(소규모, 중·고층)의 분별해체 공사 실시<br>- 건축물 용도 및 구조 형식별 실증<br>- 1, 2 연구 분야와 연계한 실증 대상물 선정 및 동일 건축물 실증 추진<br>- 자원 재활용 제품의 적용은 Living Lab 개념 적용 |

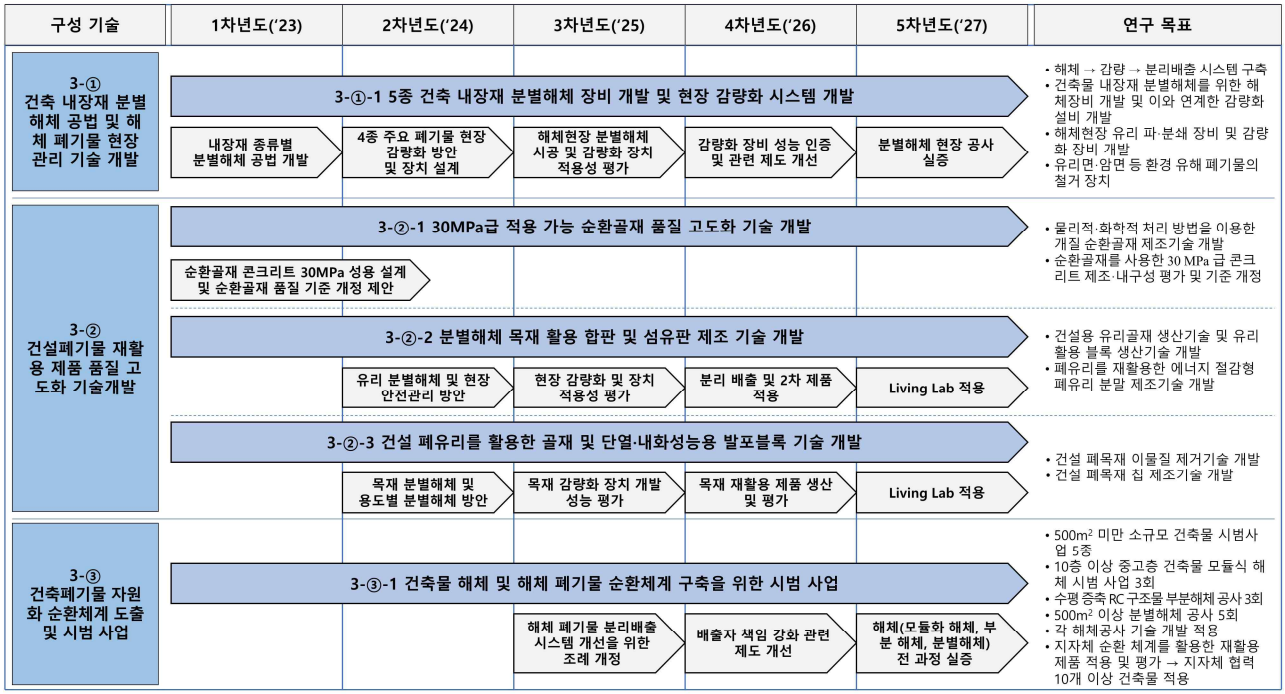



그림 6.48 구성기술 3 - 기술개발 로드맵

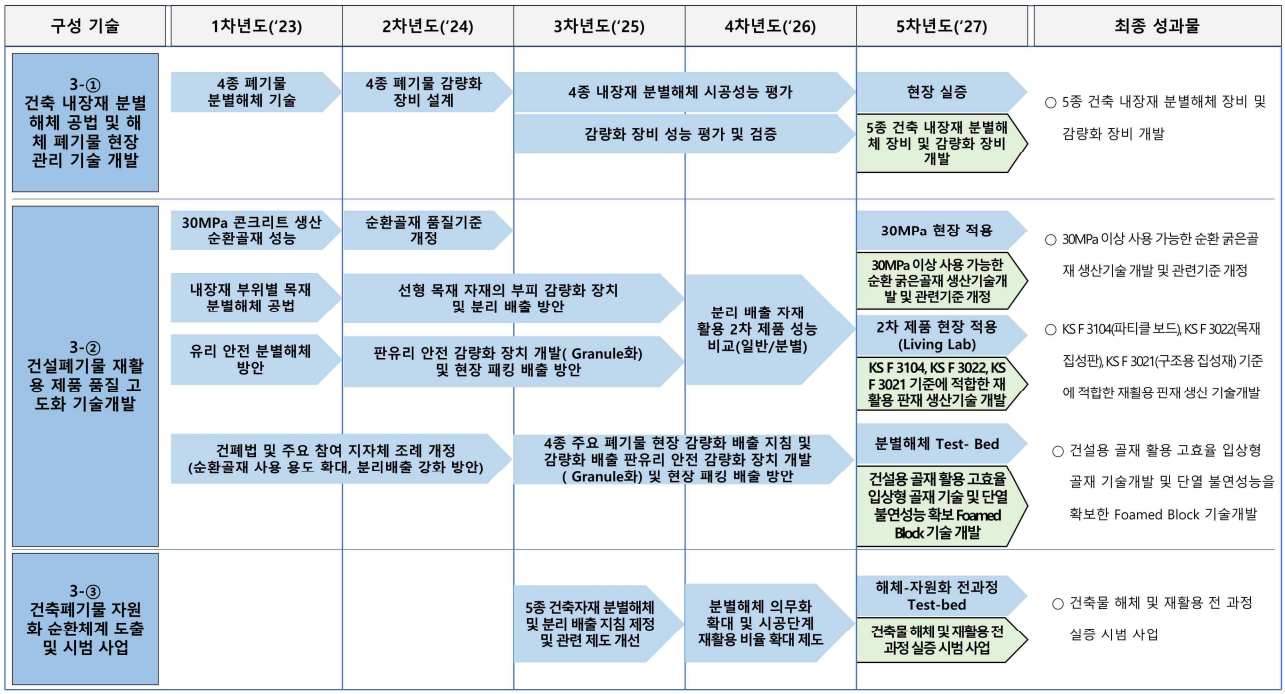



그림 6.49 구성기술 3 - 성과 로드맵

# 3. 기술 개발 전략

## 3.1 기술 확보 전략

■ (분별해체 기술) 5종 건축자재의 분별해체 기술은 국내·외 건축자재 해체 사례를 중심으로 기술개발 실시 예정. 다만, 국내 주거용 건축물과 다른 국가의 주거 형태 및 건축자재 시공 방법 등이 상이 하여 주거용 건축물의 경우 국내 해체 시공 기술을 접목하여 기술 개발 추진

- 1990년 건설 리싸이클링법 제정에 따른 분별해체공사 실시 사례 분석을 통하여 일본의 적용현황 및 현재의 성과 분석을 실시하여 반영 예정
- 분별해체 대상 면적, 대상 폐기물의 경우 기존 환경부 “ 분별해체 공사 의무화 방안 도입 연구”를 참조하여 단계별 적용. 용도 및 대상 자재 확대에 따른 기술 개발을 연계하여 추진

■ (순환골재 사용 확대) 30MPa 설계기준 강도 적용성 평가를 통하여 현행 순환골재 품질 기준의 27MPa 제한 규정을 별도의 제한 규정 없이 개정하는 방향으로 연구개발 추진

- 순환 잔골재의 품질 성능 개선을 통하여 골재 사용 용도 제한 규정을 삭제할 예정. KS F 2527 관련 규정 및 순환골재 품질 기준, KCS(콘크리트 표준시방서) 관련 규정 개정

■ (유리/목재 자원화 기술) 유리와 목재 자원화를 위한 현장 분별 해체 기술은 창호 및 판유리 협회 및 폐목재 재활용 협회 등 관련 협회와 연계하여 기술개발 추진 예정

- 유리 해체는 안전사고 위험성이 매우 높은 건축자재임. 목재의 경우도 방부목, 페인트 도장 등에 따라 재활용 용도가 다르기 때문에 이를 고려한 재활용 용도 개발 추진

<표 6.16> 구성 기술 3 - 성능지표 및 목표성능

| 구성 기술 | 개발 기술 | 구성 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 해외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| (구성 기술 3) 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발 | 3-① 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발 | ◐ | ● | ◐ | ○ | ◐ | |
| | 3-② 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발 | ◐ | ● | ◐ | ◐ | ◐ | |
| | 3-③ 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범사업 | ● | ● | | ○ | ○ | |

● : 핵심역할, ◐ : 보통, ○ : 부가역할

## 3.2 추진체계 및 협력 방안

■ 구성 기술 3은 해체-자원화 전 과정을 반영한 기술개발 임. 즉, 해체단계에서 이물질이 포함되지 않은 자재의 배출을 위하여 모듈해체, 분별해체 공사를 실시하며, 이를 활용하여 기존과 품질이 다른 고품질 자원화 제품 생산 기반으로 활용하는 것임. 이와 관련하여 순환체계 구축이 이루어져 있는 일본 및 유럽의 사례 도입을 통한 효율적 기술개발 방향으로 추진

- **(국외)** 일본, 유럽 전문가 초청 및 학술 심포지엄 개최
- **(국내)** 국토교통부 건설산업과의 골재 자원 수급계획과 연계하여 순환골재의 장기적 활용 방안 제시. 환경부 분별해체 공사 확대를 위한 기술 지침 개발, 지자체 자원순환 체계 구축을 위한 협력을 위하여 산·학·연·정· 공동연구 및 학술 심포지엄 추진

■ 분별해체 공사는 구성기술 1과 2에서 추진하는 소규모 건축물 해체, 중고층 모듈해체 및 부분 해체 적용 시 사전 단계로 적용하는 것으로 Test-bed 구축 예정

■ 5종 폐기물의 자원 재활용에 관한 실증은 해체공사와 같이 수행할 수 없음. 따라서 기존 건축물 신축 또는 개축 시 적용하여 자원 재활용

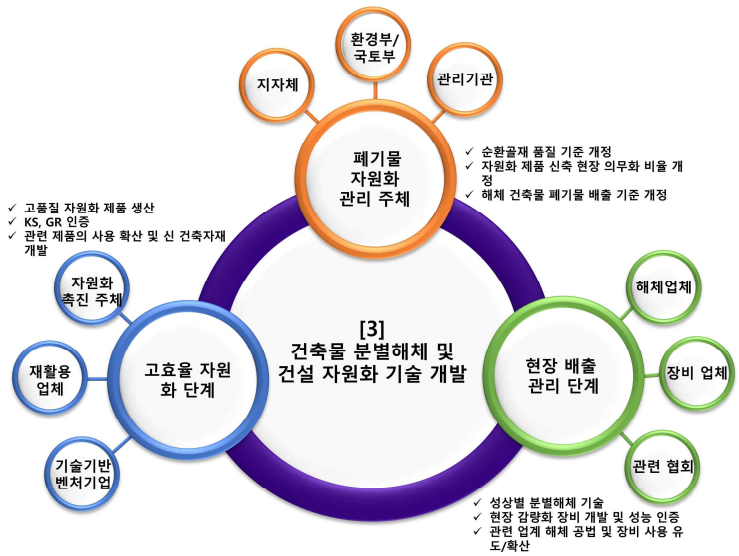



그림 6.50 구성기술 3 - 추진 체계 및 협력 방안

## 3.3 실용화 전략

■ (분별해체 공법) 장비 활용을 기반으로 하는 성상별 분별해체 공법은 해체업체 사용 확산 유도 방침. 기술에 대한 사용 확산을 위하여 관련 협회의 참여를 통한 기술개발 실시 예정

- 건설자원협회, 폐목재 재활용협회, 판유리 창호협회, 바이닐 협회 등 골재, 목재, 유리, 합성수지 활용 실용화 협력 예정

■ (Test-Bed) 지자체인 서울시, 광주시 등과 협력하여 해체 대상 건축물 선정과 지자체 협력 하에 폐기물 흐름 추적

- 재활용 제품 사용은 Living lab 개념으로 적용

# 제 7장 사업운영 및 예산투입 계획

## 1절. 사업목표 체계 및 추진 전략

### 1. 목표 체계

<table>
<tr><td>사업명</td><td colspan="3">건축물 해체기술 고도화 및 건축폐기물 자원화 기술개발</td></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">안전한 해체공사와 건설폐기물의 자원화 기반 구축</td></tr>
<tr><td>사업목표</td><td colspan="3">소규모 건축물 해체 계획서 자동화 적용 50%, 재해율 50% 절감<br>모듈화(부분) 해체 시공 5%, 해체현장민원 50% 감소, 운반민원 90% 감소<br>순환골재 이물질 0.3%, 고품질 순환골재 활용률 20%</td></tr>
<tr><td>(최종)<br>성과목표</td><td colspan="3">건축물 해체·철거 공사 시 안전향상 및 폐기물 자원화를 위한 해체공사 토탈관리 서비스 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="7">단계별<br>성과목표</td><td colspan="2">1단계(’ 23 ~ ’ 24)</td><td>2단계(’ 25 ~ ’ 27)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소규모 건축물 안전해체 기반 구축 및 위험해체공정 사전 예측</td><td>소규모 건축물 해체계획 자동화 및 가상 해체 기술</td></tr>
<tr><td colspan="2">해체 시공 기술 고도화/선진화 기반 확보</td><td>모듈화/부분 해체 시공 기술</td></tr>
<tr><td colspan="2">분별해체 공사를 통한 건축폐기물 자원화 기반</td><td>고효율 건설 자원화 현장 실증</td></tr>
<tr><td colspan="2">안전해체 및 자원화 제도 개선</td><td>해체공사/자원화 실증 기반 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>해체/자원화 사업목표 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">과학기술적 수준 제고</td><td>과학기술적 수준 제고</td></tr>
<tr><td rowspan="3">구성 기술</td><td>① 건축물 안전 해체 설계 기술</td><td colspan="2">[1-1] 소규모 건축물 유형분류 기반 사양설계 기술 개발<br>[1-2] 건축물 해체계획서 자동화 기술 개발<br>[1-3] 고위험/장애 구조물 해체설계를 위한 가상해체 기술 개발</td></tr>
<tr><td>② 건축물 해체 시공 기술개발</td><td colspan="2">[2-1] 안전 해체시공을 위한 무인·원격 해체장비 및 모니터링 시스템 개발<br>[2-2] 모듈식 해체를 위한 안전/환경설비 및 공법 개발<br>[2-3] 리모델링 건축물 수평 증축을 위한 RC 구조물 안전 부분해체 기술 개발</td></tr>
<tr><td>③ 분별해체 및 자원화 기술</td><td colspan="2">[3-1] 건축 내장재 분별해체 공법 및 해체 폐기물 현장관리 기술 개발<br>[3-2] 건설폐기물 재활용 제품 품질 고도화 기술 개발<br>[3-3] 건축폐기물 자원화 순환체계 도출 및 시범 사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">수혜자 및<br>성과 활용</td><td>수혜자</td><td colspan="2">성 과 활 용</td></tr>
<tr><td>해체/폐기물 관리주체<br>(정부/지자체/공공기관)</td><td colspan="2">해체 공사 선진화 및 폐기물 자원화 향상 기술 활용</td></tr>
<tr><td>민간 기업</td><td colspan="2">해체공법의 선진화 기술(압쇄→모듈)</td></tr>
</table>

그림 7.1 사업 목표 및 체계도

## 2. 전략 목표

| 전략 목표 | 안전한 해체공사와 건설폐기물의 자원화 기반 구축 |
|---|---|

■ **(설정 원칙)** 국가정책 및 상위계획의 방향성과 국내 역량을 고려하여 도전적이면서도 실현 가능한 비전 설정

- 해체공사의 안전·환경 여건 조성, 안전사회 구현, 건설산업 선진화 전환, 신정부 공약 이행, 해체공사 기술, 자원의 효율적 활용, 국토환경 보전, 노후 시설물 급증, 멸실 건축물 증가, 효율적인 도시개발, 해체 및 자원의 효율적 활용에 관한 국민의 신뢰 등을 반영할 수 있는 비전 설정

■ **(정책적 부합성) 해체공사의 안전, 노후 건축물 효율적인 재개발, 건설폐기물의 재활용, 지속 가능한 건설 사업의 확보, 순환사회의 구축 이행을 위한 비전 설정**

- 법적 근거
  - **「건축물관리법」** 제35조(건축물관리 연구·개발) 건축물관리기술 향상을 위해 건축물관리기술의 연구·개발 사업을 실시할 수 있으며, 필요한 경우 연구·개발 성과의 이용·보급을 위해 건축물관리 시법사업 수행
  - **「건설폐기물재활용촉진에관한법률」** 제9조(연구개발 등의 지원) 환경부장관과 국토교통부장관은 건설폐기물의 친환경적인 처리와 재활용을 촉진하기 위하여 기술연구개발단을 구성·운영
- 법정 계획
  - 「신정부 공약」 재개발·재건축·리모델링 활성화에 연계된 건설공사 안전관리 체계의 개선 및 안전 확보 강화(국민의 힘 공약집), 안전(재해율 감소)·환경(민원 최소화)·폐기물관리(매립·소각 제로화) 기반 재개발·재건축·리모델링 활성화 기반
- 부처 계획
  - **「재난 및 안전관리기술개발 종합계획 '18~'22」** 국민안전 확보를 위한 맞춤형 서비스 개발, 미래·신종재난대비 재난안전기술 선진화, 현장 실용화 중심의 안전생태계 구축 등
  - **「건설기술진흥기본계획 '18~'22」** 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성과 건설 안전 강화를 위한 건설의 안전·환경관리 기술 개발
  - **「제1차 자원순환기본계획 '18~'27」** 자원의 선순환을 통한 지속가능한 순환경제 실현을 위하여 폐기물의 감량, 순환이용률 향상, 최종처분율 감축 등의 목표 수립
- 국가 로드맵
  - 관계부처 합동 「2050 탄소중립」 추진전략('20.12) 신유망 저탄소 생태계 조성의 방안으로 폐자원의 수거·선별 인프라 개선을 통한 "순환경제 활성화"로 탄소중립 기여

■ **종합 의견**

- 상기 책무와 배경 하에 해체 기술의 패러다임 전환과 건설 현장 배출 폐기물의 효율적인 활용을 위한 기반 기술의 개발 및 제도 개선을 통하여 안전한 건설 산업 전환, 지속 가능한 건설 실현을 이 사업의 전력 목표로 설정

# 3. 성과 목표 및 지표

<표 7.1> 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">안전한 해체공사와 건설폐기물의 자원화 기반 구축</td></tr>
<tr><td>(최종)<br>성과목표</td><td colspan="3">건축물 해체·철거 공사 시 안전향상 및 폐기물 자원화를 위한 해체공사 토탈관리 서비스 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="20">단계별<br>성과<br>목표 및<br>지표</td><td colspan="3">1단계(’ 23 ~ ’ 24)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과 목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">소규모 건축물 안전해체 기반 구축 및 위험해체공정 사전 예측</td><td rowspan="2">0.3</td><td>해체 계획서 자동화 적용비율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체공사 재해율 감소</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">해체 시공 기술 고도화/선진화 기반 확보</td><td rowspan="2">0.3</td><td>모듈해체/부분 해체 적용률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체현장 민원 감소</td><td>양</td></tr>
<tr><td rowspan="2">분별해체 공사를 통한 건축폐기물 자원화 기반</td><td rowspan="2">0.2</td><td>현장 이물질 함유율 및 감량률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>순환골재 이물질 함유율 및 고품질 활용률</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">안전해체 및 자원화 제도 개선</td><td rowspan="2">0.1</td><td>해체/자원화 제도 개선 건</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체/자원화 기술 지침 제정 건</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">과학기술적 수준 제고</td><td rowspan="2">0.1</td><td>학술지 게제 논문 지수</td><td>질</td></tr>
<tr><td>특허 등급지수</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계(’ 25 ~ ’ 27)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과 목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">소규모 건축물 해체계획 자동화 및 가상 해체 기술</td><td rowspan="2">0.2</td><td>해체 계획서 자동화 적용비율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체공사 재해율 감소</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">모듈화/부분 해체 시공 기술</td><td rowspan="2">0.2</td><td>모듈해체/부분 해체 적용률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체현장 민원 감소</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">고효율 건설 자원화 현장 실증</td><td rowspan="2">0.2</td><td>현장 이물질 함유율 및 감량률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>순환골재 이물질 함유율 및 고품질 활용률</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="3">해체공사/자원화 실증 기반 구축</td><td rowspan="3">0.2</td><td>해체공사 설계/시공 정확도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>경제성 예측 정확도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체공사/자원화 정보연계 건수</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="3">해체/자원화 사업목표 달성</td><td rowspan="3">0.1</td><td>해체공사 비용 절감율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>해체공사 시간 단축율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>자원화 모델 구축 건수</td><td>양</td></tr>
<tr><td rowspan="2">과학기술적 수준 제고</td><td rowspan="2">0.1</td><td>학술지 게제 논문 지수</td><td>질</td></tr>
<tr><td>특허 등급지수</td><td>질</td></tr>
</table>

<표 7.2> 1단계 성과목표

| 단계 (평가주기) | 1 단계 | 기간 | 2023~2024 |
|---|---|---|---|

| 단계별 성과 목표 | | | | | | 관련 내역사업명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 성과 목표-1 | 소규모 건축물 안전해체 기반 구축 및 위험 해체공정 사전 예측 | 가중치 | 0.3 | 설정 근거 | ·1단계에서는 소규모 건축물 해체 계획서 작성을 위한 대상 건축물의 유형분석, 위험도 분석, Data의 분류 및 입력 방법과 위험/장애 공정 대상 선정 등 국내외 기술 수준으로 해당 기술을 확보하였는지의 여부를 성과 목표로 설정 | 건축물 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 기술개발 |
| 성과 목표-2 | 해체 시공 기술 고도화/선진화 기반 확보 | 가중치 | 0.3 | 설정 근거 | ·1단계에서는 모듈/부분 해체를 위한 국내외 기반 기술의 조사, 관련 장비 필요 수준의 분석, 장비 개발 로드맵 및 관련 설계도서의 도출 여부를 주요 성과 목표로 설정 | |
| 성과 목표-3 | 분별해체 공사를 통한 건축폐기물 자원화 기반 | 가중치 | 0.2 | 설정 근거 | ·건설폐기물 고효율 자원화를 위한 배출단계 분리 배출 폐기물의 분류와 세부 자재별 해체 방법의 수립<br>·해체장비 및 감량 장비의 설계 성과를 목표로 설정 | |
| 성과 목표-4 | 안전해체 및 자원화 제도 개선 | 가중치 | 0.1 | 설정 근거 | ·1단계 해당 기술 예상 성과를 기반으로 해체계획서의 자동화, 재건축 및 리모델링 공사의 효율성 개선을 위한 해체 공사의 적용 확산 방안 | |
| 성과 목표-5 | 과학기술적 수준 제고 | 가중치 | 0.1 | 설정 근거 | ·해체설계, 해체시공, 건설폐기물 자원화 분야 핵심 기술 확보 과정에서 도출되는 과학적, 기술적 성과(논문, 특허)의 질적 수준 제고를 성과목표로 설정 | |

<표 7.3> 1단계 성과지표

| 단계별 성과목표 | | 가중치 | 성과 지표명 | 단위 | 구분 | 실적 및 목표치 | | 지표 유형 | 질적 지표 | 성과지표 설정사유 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 연도 | 2023 | 2024 | | | |
| 성과목표-1 | 소규모 건축물 안전해체 및 위험공정 사전예측 | 0.3 | 해체 계획서 자동화 정확도 | % | 목표 | - | 50 | 산출(질) | ∨ | · 해체계획서 작성 프로그램을 개발하고, 소규모 건축물에 적용하는 비율 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| | | | 해체공사 재해율 감소 | % | 목표 | - | 20 | 산출(질) | ∨ | · 소규모 건축물 해체 계획서 자동화 및 서례를 통하여 19년 대비 20% 감소 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| 성과목표-2 | 해체 시공 기술 고도화/선진화 기반 확보 | 0.3 | 모듈해체/부분 해체 적용률 | % | 목표 | - | 3 | 산출(질) | ∨ | · 전체 해체공사에서 모듈, 부분해체공사 건수를 전체 공사 중 적용 비율로 0%에서 1단계 종료 후 3% 적용 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| | | | 해체현장 민원 감소 | % | 목표 | - | 20 | 산출(양) | | · 모듈, 부분해체를 통하여 현장 환경민원, 운송 민원 등을 고려하여 19년 대비 20% 감소 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| 성과목표-3 | 분별해체 공사를 통한 건축폐기물 자원화 기반 | 0.2 | 현장 이물질 함유율 및 감량율 | % | 목표 | - | 50 | 산출(질) | ∨ | · 분별해체 공사를 통하여 배출되는 폐기물의 이물질 성상 혼입율을 19년 대비 50% 감소 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| | | | 순환골재 이물질 함유율 및 고품질 활용률 | % | 목표 | - | 5 | 산출(질) | ∨ | · 현재 콘크리트용 골재 이물질 함유율이 1% 임. 1단계 종료 후 0.5% 목표 달성 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| 성과목표-4 | 안전해체 및 자원화 제도 개선 | 0.1 | 해체/자원화 제도 개선 건 | 건 | 목표 | - | 2 | 산출(질) | ∨ | · 해체계획서, 모듈해체, 분별해체 확대 부분의 제도 개선 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| | | | 해체/자원화 기술 지침 제정 건 | 건 | 목표 | - | 2 | 산출(질) | ∨ | · 해체계획서, 모듈해체, 분별해체 확대 부분의 기술 지침의 제정 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| 성과목표-5 | 과학기술적 수준 제고 | 0.1 | 학술지 개제 논문 지수 | - | 목표 | - | | 산출(질) | ∨ | · 1단계 성과목표인 요소기술 개발 수준 제고 정도 측량을 위한 과학적 성과지표로 학술지게재 논문지수를 성과지표설정 |
| | | | | | 실적 | | | | | |
| | | | 특허 등급지수 | - | 목표 | - | | 산출(질) | ∨ | · 1단계 상과목표인 요소기술 개발 수준 제고 정도 측량을 위한 과학적 성과지표로 특허 등급지수를 성과지표 설정 |
| | | | | | 실적 | | | | | |

<표 7.4> 1단계 성과지표 설정방법 및 근거

| 성과 지표명 | 목표치 설정방법 및 근거 | 측정산식 및 방법·시기 | 자료 출처 |
|---|---|---|---|
| 해체 계획서 자동화 적용비율 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 소프트웨어 개발 및 이를 활용한 해체계획서 내용과 수작업 비율의 매칭율<br>- 22년 현재 소규모 건축물 디지털 도면확보율 15%, | **[측정산식]**<br>·해체계획서 자동화 산출을 위한 data의 입력방법, 종류, 연계된 위험도 분류를 통한 실제 현장 답사 자료와의 정확성 비교<br>· 단독 단층 구조를 제외한 지하, 2층3층 구조물 해체계획서 자동화(전체 소규모 건축물의 50%)<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(해체계획서 자동화 프로그램 적용 효용성 분석 보고서) |
| 해체공사 재해율 감소 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 해체설계 자동화 및 사양설계를 통한 소규모 해체공사 재해율 감소 비율로 설정 | **[측정산식]**<br>·해체계획서 작성을 통한 위험도 분석 등을 적용하여 재해율이 감소되는 비율을 19년 대비 감소율로 산정하며, 재해사고 중 전도/붕괴 사고 감소를 목표로 하여 20% 설정<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(해체계획서 자동화 프로그램 적용 위험도 감소 분석 보고서) |
| 모듈해체/ 부분 해체 적용률 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 모듈 해체 시공을 위한 해체 프로세서 분석과 이를 구현할 수 있는 설계 방안 | **[측정산식]**<br>·모듈 해체를 위한 해체방법, 양중방법 등을 통하여 프로세스 정립과 이를 적용하는 해체공사 수량으로 설정<br>·전체 건축물 중 10층 이상 고층 건축물, 이 중 RC 구조물, 도심지 밀집 지역 등을 고려하여 대상 건축물 5% 설정<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(모듈 해체 설계 및 적용을 통한 분석 보고서) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 해체현장 민원 감소 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 모듈해체는 현장의 환경문제 해결에 많은 기여가 가능함 | **[측정산식]**<br>·19년 나타난 민원건수 대비 민원 발생률로서, 건설현장 민원 50%, 운반민원 90% 감소를 통하여 전체 평균 60% 소음, 분진 민원 감소<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(해체현장 발생 환경문제 분석 보고서) |
| 현장 이물질 함유율 및 감량률 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 분별해체를 통한 현장 배출 이물질 함유량을 줄이는 비율 | **[측정산식]**<br>·5대 폐기물에 대한 현장 배출시 이물질 함유량 비율(현재는 100% 혼합 상태로 배출)<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(해체현장 발생 환경문제 분석 보고서) |
| 순환골재 이물질 함유율 및 고품질 활용률 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 현재 1%인 순환골재 유기이물질 기준을 점차 낮추어 품질 고도화 | **[측정산식]**<br>·유기이물질 1%는 부피 비중이기 때문에 양이 많음. 따라서 품질 유지를 위해서는 0.3% 미만으로 감소<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(해체현장 배출 폐기물 이물질 혼입량 조사 비율) |
| 해체/자원화 제도 개선 건 | ·('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>·('24년 목표) 제도 개선 사항으로 해체설계/시공/자원화 분야 관련 개정안 도출 | **[측정산식]**<br>·해체계획서 적용 의무화, 일정 규모 및 환경 조건상 환경문제 다량 배출 공사 지정, 고효율 자원화를 위한 분별해체 의무화 방안<br>**[측정방법 및 시기]**<br>·(측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>·(측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시) | ·연차보고서 증빙자료(순환골재 유기이물질 함유량 조사 보고서) |

<table>
<tr>
<td>해체/자원화 기술 지침 제정 건</td>
<td>· ('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>· ('24년 목표) 설계, 시공, 자원화 관련 제도 개선</td>
<td>[측정산식]<br>· 해체계획서 자동화 적용 관련 제도 1건, 시공현장 환경문제 개산 방안 1건, 분별해체 확대 제도 1건<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(제도 개선안)</td>
</tr>
<tr>
<td>학술지 개제 논문 지수</td>
<td>· ('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>· ('24년 목표) 국토교통 R&D 전체 사업의 최근 3년('18~'20) 실적의 평균값으로 24년 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>18년</td><td>19년</td><td>20년</td><td>평균</td></tr>
<tr><td>실적</td><td>63.25</td><td>61.25</td><td>59.85</td><td>61.45</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 학술지 게재 논문지수 = $\frac{\Sigma(\text{표준화된 순위 보정 영향력 지수})}{\Sigma(SCI(E)\text{ 논문 건수})}$<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 국토교통 R&D 사업관리시스템<br>· 과학기술지식정보서비스(NTIS)</td>
</tr>
<tr>
<td>특허 등급지수</td>
<td>· ('23년 목표) '23년 신규 사업으로 기술수준 확보에는 일정기간이 소요되므로 '24년부터 목표치 설정<br>· ('24년 목표) 국토교통 R&D 전체 사업의 최근 3년(18~20) 실적의 평균값과 최대값을 비교하고 그 중 최대값의 100%를 '23년 목표치로 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>18년</td><td>19년</td><td>20년</td><td>평균</td></tr>
<tr><td>실적</td><td>3.98</td><td>3.98</td><td>3.99</td><td>3.98</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 특허등급 지수 = $\frac{\Sigma(A_i \times B_i)}{(\text{특허등록건수})}$<br>(Ai : 등급별 국내외 특허등록 건수, Bi : 특허등급별 가중치)
<table>
<tr><td></td><td>AAA</td><td>AA</td><td>A</td><td>BBB</td><td>BB</td><td>B</td><td>CCC</td><td>CC</td><td>C</td></tr>
<tr><td>등급별 가중치</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr>
</table>
[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) NTIS 에 등록 및 검증된 특허등록 실적을 대상으로 Smart 등급(한국발명진흥회) 확인 후 측정<br>· (측정시기)NTIS에 성과입력 완료시험(다음해 1월 말)</td>
<td>· 국토교통 R&D 사업관리시스템<br>· 과학기술지식정보서비스(NTIS)</td>
</tr>
</table>

<표 7.5> 2단계 성과목표

| 단계 (평가주기) | 2 단계 | 기간 | 2025~2027 |
|---|---|---|---|

| 단계별 성과 목표 | | | | | | 관련 내역사업명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 성과 목표-1 | 소규모 건축물 해체계획 자동화 및 가상 해체 기술 | 가중치 | 0.2 | 설정 근거 | · 소규모 해체에 따른 낮은 공사비, 영세한 해체업체의 능력을 고려하여 해체계획서 자동화 작성 프로그램 개발을 통한 소규모 건축물 해체계획서 작성과 관리감독 강화 프로세스 정립<br>· 소규모 건축물 해체계획서 자동화 산출 지침 | 건축물 해체기술 고도화 및 건축 폐기물 자원화 기술개발 |
| 성과 목표-2 | 모듈화/부분 해체 시공 기술 | 가중치 | 0.2 | 설정 근거 | · 해체공사 패러다임 전환을 위한 모듈해체 및 부분 해체공사 관련 기술 개발을 통하여, 환경문제, 안전문제의 개선. 이를 통한 전문업종 전환을 위한 해체 시공 기술개발<br>· RC 구조물의 모듈해체 및 부분해체 시방서 | |
| 성과 목표-3 | 고효율 건설 자원화 현장 실증 | 가중치 | 0.2 | 설정 근거 | · 고효율 자원화 제품 생산을 통한 순환경제 기반 구축. 건설 산업의 지속 가능성 확보를 위한 자원 재활용 및 건설 산업의 지속가능성 확보 기반 기술<br>· 순환 자원 활용한 건축물의 경제성 분석 비교 및 탄소저감효과 분석 | |
| 성과 목표-4 | 해체공사/자원화 실증 기반 구축 | 가중치 | 0.3 | 설정 근거 | · 해체부터 자원화 전 과정에 걸쳐, 인허가 관리 주체, 해체업자, 배출자, 재활용 업자, 운반, 재사용자 등을 대상으로 개발 기술의 실증 및 효율성 분석을 통하여 경쟁력이 있는 최종 기술 도출을 목표로 함<br>· 건설폐기물 자원화를 위한 지자체별 순환시스템 구성 지침 | |
| 성과 목표-5 | 해체공사 및 자원화 분야 과학기술적 수준 제고 | 가중치 | 0.1 | 설정 근거 | · 1단계 기술개발 성과를 근간으로 2단계에서는 개발 기술의 기술적 수준을 제고해야 할 필요성이 있으므로, 해체/자원화 분야 과학·기술적 수준 제고를 성과목표로 설정 | |

<표 7.6> 2단계 성과지표

| 단계별 성과목표 | | 가중치 | 성과 지표명 | 단위 | 구분 | 실적 및 목표치 | | | 지표 유형 | 질적 지표 | 성과지표 설정사유 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 연도 | 2025 | 2026 | 2027 | | | |
| 성과목표-1 | 소규모 건축물 해체계획 자동화 및 가상 해체 기술 | 0.2 | 해체 계획서 자동화 정확도 | % | 목표 | 70 | 80 | 90 | 산출(질) | ∨ | · 해체계획서 작성 프로그램을 개발하고, 소규모 건축물에 적용하는 비율 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 해체공사 재해율 감소 | % | 목표 | 35 | 40 | 50 | 산출(질) | ∨ | · 소규모 건축물 해체계획서 자동화 및 서례를 통하여 19년 대비 감소율 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| 성과목표-2 | 모듈화/부분 해체 시공 기술 | 0.2 | 모듈해체/부분 해체 적용률 | % | 목표 | 5 | 7 | 10 | 산출(질) | ∨ | · 전체 해체공사에서 모듈, 부분해체공사 건수를 전체 공사 중 적용 비율로 0%에서 2단계 종료 후 전체 공사 수량의 10% 적용 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 해체현장 민원 감소 | % | 목표 | 35 | 40 | 50 | 산출(양) | | · 모듈, 부분 해체를 통하여 현장 환경민원, 운송 민원 등을 고려하여 19년 대비 하여 감소한 비율 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| 성과목표-3 | 고효율 건설 자원화 현장 실증 | 0.2 | 현장 이물질 함유율 및 감량률 | % | 목표 | 70 | 85 | 100 | 산출(질) | ∨ | · 분별해체 공사를 통하여 배출되는 폐기물의 이물질 성상 혼입률을 19년 대비 하여 감소한 이물질의 양 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 순환골재 이물질 함유율 및 고품질 활용률 | % | 목표 | 10 | 15 | 20 | 산출(질) | ∨ | · 현재 콘크리트용 골재 이물질 함유율이 1% 임. 2단계 종료 후 0.3% 목표 달성 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| 성과목표-4 | 해체공사/자원화 실증 기반 구축 | 0.3 | 해체공사 설계 시공 정확도율 | % | 목표 | 50 | 70 | 90 | 산출(질) | ∨ | · 실증 사업을 통하여 설계 시공과 현장 적용성 부분을 점검 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 경제성 예측 정확도율 | % | 목표 | 50 | 70 | 90 | 산출(질) | ∨ | · 실증 사업을 통하여 설계 시공과 현장 적용성 부분에 대한 경제성 분석 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 해체공사/자원화 정보연계 비율 | % | 목표 | 50 | 70 | 90 | | | · 고효율 자원화를 위한 생산-활용 연계 비율에 대한 정보 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 성과목표-5 | 해체공사 및 자원화 분야 과학기술적 수준 제고 | 0.1 | 학술지 개제 논문 지수 | - | 목표 | - | | | 산출(질) | ∨ | ·2단계 성과목표인 요소기술 개발 수준 제고 정도 측량을 위한 과학적 성과지표로 학술지게재 논문지수를 성과지표설정 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |
| | | | 특허 등급지수 | - | 목표 | - | | | 산출(질) | ∨ | ·2단계 성과목표인 요소기술 개발 수준 제고 정도 측량을 위한 과학적 성과지표로 특허 등급지수를 성과지표 설정 |
| | | | | | 실적 | | | | | | |

<표 7.7> 2단계 성과지표 설정방법 및 근거

<table>
<tr><th>성과<br>지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법·시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>해체<br>계획서<br>자동화<br>정확도</td><td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정<br><table><tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr><tr><td>목표</td><td>70</td><td>80</td><td>90</td></tr></table></td><td>[측정산식]<br>· 해체계획서 자동화 산출을 위한 data의 입력방법, 종류, 연계된 위험도 분류를 통한 실제 현장 답사 자료와의 정확성 비교 준석<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td><td>· 연차보고서 증빙자료(해체계획서 자동화 프로그램 적용 효용성 분석 보고서)</td></tr>
<tr><td>해체공사<br>재해율<br>감소</td><td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정<br><table><tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr><tr><td>목표</td><td>35</td><td>50</td><td>50</td></tr></table></td><td>[측정산식]<br>· 해체계획서 작성을 통한 위험도 분석 등을 적용하여 재해율이 감소되는 비율을 19년 대비 감소율로 산정하며, 1단계는 19년 대비 20% 재해건수 20% 감소를 목표로 설정함<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td><td>· 연차보고서 증빙자료(해체계획서 자동화 프로그램 적용 위험도 감소 분석 보고서)</td></tr>
<tr><td>모듈해체/<br>부분 해체<br>적용률</td><td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정<br><table><tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr><tr><td>목표</td><td>5</td><td>7</td><td>10</td></tr></table></td><td>[측정산식]<br>· 모듈 해체를 위한 해체방법, 양중방법 등을 통하여 프로세스 정립과 , 이를 적용하는 해체공사 수량으로 설정<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td><td>· 연차보고서 증빙자료(모듈 해체 설계 및 적용을 통한 분석 보고서)</td></tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>해체현장<br>민원 감소</td>
<td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>35</td><td>40</td><td>50</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 19년 나타난 민원건수 대비 민원 발생률로서, 현장에서 환경문제, 운반 과정에서 발생하는 민원 등을 감소하는 것<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(해체현장 발생 환경문제 분석 보고서)</td>
</tr>
<tr>
<td>현장<br>이물질<br>함유율 및<br>감량률</td>
<td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>70</td><td>85</td><td>100</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 5대 폐기물에 대한 현장 배출 시 이물질 함유량 비율(현재는 100% 혼합 상태로 배출)<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(해체현장 발생 환경문제 분석 보고서)</td>
</tr>
<tr>
<td>순환골재<br>이물질<br>함유율 및<br>고품질<br>활용률</td>
<td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 유기이물질 1%는 부피 비중이기 때문에 양이 많음. 따라서 품질 유지를 위해서는 0.3% 미만으로 감소<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(해체현장 배출 폐기물 이물질 혼입량 조사 비율)</td>
</tr>
<tr>
<td>해체공사<br>설계 시공<br>정확도율</td>
<td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>50</td><td>70</td><td>90</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 해체계획서 적용 의무화, 일정 규모 및 환경 조건상 환경문제 다량 배출 공사 지정, 고효율 자원화를 위한 분별해체 의무화 방안<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(순환골재 유기이물질 함유량 조사 보고서)</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>경제성<br>예측<br>정확도율</td>
<td>· 동 사업 1단계 기술개발을 기반으로, 기술 고도화 수준을 매년 제고하여 최종 목표 기술 수준에 도달할 수 있도록 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>50</td><td>70</td><td>90</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 해체계획서 자동화 적용 관련 제도 1건, 시공현장 환경문제 개산 방안 1건, 분별해체 확대 제도 1건’<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 연차보고서 증빙자료(제도 개선안)</td>
</tr>
<tr>
<td>해체공사/<br>자원화<br>정보연계<br>비율</td>
<td>· ‘24년 목표치를 기준으로 매년 1% 씩 상향하여 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td><td>증가율</td></tr>
<tr><td>실적</td><td>62.06</td><td>62.68</td><td>63.31</td><td>1.0%</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 학술지 게재 논문지수 = $\frac{\Sigma(\text{표준화된 순위 보정 영향력 지수})}{\Sigma(SCI(E)\ \text{논문 건수})}$<br>[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) 연차보고서 증빙자료로 제출된 자동화율 적용 결과 등을 기준으로 함<br>· (측정시기) 연도별 연구개발 기간 종료율(연구보고서 제출 시)</td>
<td>· 국토교통 R&D 사업관리시스템<br>· 관학기술지식정보서비스(NTIS)</td>
</tr>
<tr>
<td>학술지<br>개제 논문<br>지수</td>
<td>· ‘24년 목표치를 기준으로 매년 1% 씩 상향하여 목표치 설정
<table>
<tr><td>구분</td><td>25년</td><td>26년</td><td>27년</td><td>증가율</td></tr>
<tr><td>실적</td><td>4.02</td><td>4.06</td><td>4.10</td><td>1.0%</td></tr>
</table>
</td>
<td>[측정산식]<br>· 특허등급 지수 = $\frac{\Sigma(A_i \times B_i)}{(\text{특허 등록 건수})}$<br>(Ai : 등급별 국내외 특허등록 건수, Bi : 특허등급별 가중치)
<table>
<tr><td></td><td>AAA</td><td>AA</td><td>A</td><td>BBB</td><td>BB</td><td>B</td><td>CCC</td><td>CC</td><td>C</td></tr>
<tr><td>등급별 가중치</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr>
</table>
[측정방법 및 시기]<br>· (측정방법) NTIS 에 등록 및 검증된 특허등록 실적을 대상으로 Smart 등급(한국발명진흥회) 확인 후 측정<br>· (측정시기)NTIS에 성과입력 완료시험(다음해 1월 말)</td>
<td>· 국토교통 R&D 사업관리시스템<br>· 관학기술지식정보서비스(NTIS)</td>
</tr>
</table>

## 4. 종합 추진전략

■ 시장 및 기술 변화 상황을 능동적으로 고려하기 위해 단계별로 사업을 추진하고, 해체공사 및 자원화 주무부처의 정책방향 및 선행 연구사업과의 연계, 해체공사/자원화 실행 주체인 지자체와의 협력을 통해 R&D 사업의 적용성 및 파급 효과를 극대화

| 추진 전략 | | | |
|---|---|---|---|
| **단계별 추진** | **해체/자원화 주체 협력체계 구축** | **선행 연구사업 및 정부 정책 연계** | **지자체 중심 실증화** |

■ (추진전략 1) 단계별 추진

- 사업기간(5년) 내, 2단계(2+3)로 사업을 추진하고 단계별로 사업 방향 점검
  - 기술개발을 신속히 수행하고 기술의 적용성 검토 기간을 충분히 분배하여 개발 기술의 활용성을 제고, 해체공사와 자원화를 연계하는 실용화 기술 기간을 충분히 확보
  - 단계평가 시, 기술 환경 및 시장변화 등을 고려하여 연구내용 변경·개선
  - 최종 성과의 기술적·경제적 효과를 극대화할 수 있도록 단계별로 사업 목표와 방향을 수정하는 등 유연한 R&D 추진 체계 구성

<표 7.8> 단계별 사업 추진 방향 및 내용

| 구분 | 1단계(’ 23 ~ ’ 24) | 2단계(’ 25 ~ ’ 27) |
|---|---|---|
| 추진 방향 | 해체설계·해체시공·분별해체 분야 핵심 기술 확보 및 실증화 방향 설정 | 해체설계·해체시공·분별해체 현장 적용성 평가를 통한 기술 고도화·확산 |
| 추진 내용 | · 과제추진 로드맵에 따라 중점분야별 기술 개발<br>· 구성 기술의 검증을 위한 테스트베드 설계 | · 구성기술 1~3의 파일럿 테스트 검증 및 실제 테스트 베드 순차적 적용<br>· 개발 기술의 적용성 제고를 위한 기술 성과물 보완<br>· 해체계획서 자동화/모듈해체/부분해체/분별해체 모델·시스템 확산 |
| 테스트베드 관련 | · (1~2차년도) 각 구성분야에서는 요소기술 개발에 집중하고<br>· (1차년도) 구성기술 3 분야는 향후 종합 검증을 위한 체계 수립 단계 | · (3차년도) 테스트베드 선정 및 대상 건축물 적용 시나리오<br>· (4차년도) 핵심기술 개발 완료 및 개발기술 1차 테스트베드 적용, 기술 보완 사항 도출<br>· (5차년도) 개발기술 종합 테스트베드 및 자원화 분야 리빙랩 수행 |

■ (추진전략 2) 해체/자원화 주체 협력체계 구축

- 사업기획 단계에서 개별 시설물별 R&D 영역과 적용 범위에 대한 충분한 사전 협의를 실시하여 기술 개발의 중복성 및 사각지대 방지
- 사업추진 단계에서는 모듈해체·부분해체·분별해체 기술개발, 자원화 연계 방안, 실증 추진 등을 공유하고 범부처(중앙/지방정부) 활용성 제고를 위해 정기적인 R&D 성과 활용 협력 추진
- 동 사업 유관 관리기관의 기술개발 참여, 테스트베드 협력 등 적극 추진
  - 한국건설기술연구원·국토안전관리원·LH공사·SH공사 및 지자체의 동 사업 참여를 독려하여 사업 성공 가능성 제고
  - 건축물 해체공사 전문 업체와 협력하여 기존 해체 공정과의 비교 및 경제성 분석 실시, 해체 설계 단계에서 최종 해체 준공까지 전 과정 협력
  - 5종의 건설 폐기물 자원화를 위하여 각 종류별 협회를 통한 고효율 자원 재활용을 위한 배출 및 재활용 체계 구축

■ (추진전략 3) **선행 연구사업 및 정부 정책 연계**

- ’07~’11 수행한 첨단 해체기술 연구단의 성과, 3D 공간 정보 구축 기술, 로봇 해체 기술 등의 기존 국가 R&D 성과를 연계한 기술 개발 수행
  - 3D 공간 정보 기술 : 소규모 건축물 시속 data 수집 기술 활용, 위험·장애 건축물 가상설계 기술 활용
  - Haptic 무인 장비 기술 : 통신 기술의 발전에 따른 5G 기술 활용으로 시간차 zero 기반 무인화 운영 기술 확보
  - 로봇해체기술 : 분별해체를 위한 경량화 장비 개발 활용
- 광주 학동 재개발 해체공사 사고 이후 해체공사 안전 환경 조성을 위한 제도 개선이 지속적으로 이루어지고 있음. 기술개발을 통하여 관련 부처의 건축물관리법 및 건폐법 등 관련 제도 개정과, 지자체 조례 제·개정 자료 제공

■ (추진전략 4) 지자체 중심의 현장 실증 사업

- 건축물 해체 공사 인·허가 및 관리 주체인 지자체 중심의 해체 기술 실증 사업 수행
  - 관리 사각지대에 있는 소규모 건축물 관리 효율성 향상 및 해체 시공 과정 중의 실시간 모니터링을 위한 tool 제공
  - 폐기물의 배출 신고 및 관리, 배출 억제 정책의 주체인 지자체 중심의 자원 순환 체계 구축 방안 실증
- (지자체 테스트 베드) 소규모 건축물, 재개발·재건축 지역의 완전해체 및 부분 해체 대상 건축물을 선정하고, 전 과정 참여를 통한 성과의 공유
- (자원화 리빙랩) 해체공사는 대상물이 소멸되는 특성을 가지고 있어 자원화 제품의 적용은 상이함. 따라서 지자체의 자원재활용 제품의 의무 사용 비율 등을 적용한 리빙랩 개념의 현장 실증 실시

## 2절. 예산 및 인력 투입 계획

### 1. 연도별 예산 투자계획

■ 동 사업의 목표 달성을 위해 선정된 3개의 구성기술을 고려한 투입 계획을 수립

- 각 구성기술 분야별 기호기위원회를 통해 예산을 도출하였으며, 성과 창출 정도를 고려하여 예산 규모 책정
- 각 구성 기술별 예산은 기술로드맵 및 기술개발 내용에 따라 '기획위원회'의 전문가 의견 수렴을 통해 필요 예산 규모를 추정하여 책정

<표 7.9> 연차별 연구예산 투입

(단위: 백만원)

| 구성기술 | | | 1차년('23) | 2차년('24) | 3차년('25) | 4차년('26) | 5차년('27) | 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발 | 정부 | | 1,700 | 1,500 | 1,500 | 750 | 700 | 6,150 |
| | 민간 | 현금 | | | | | | |
| | | 현물 | | | | | | |
| | 계 | | | | | | | |
| 2 건축물 해체 고도화 기술 개발 | 정부 | | 1,700 | 1,900 | 1,950 | 1,350 | 1,100 | 8,000 |
| | 민간 | 현금 | | | | | | |
| | | 현물 | | | | | | |
| | 계 | | | | | | | |
| 3 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발 | 정부 | | 600 | 600 | 550 | 1,000 | 1,100 | 3,850 |
| | 민간 | 현금 | | | | | | |
| | | 현물 | | | | | | |
| | 계 | | | | | | | |

* 민간부담금은 중소기업 참여 여부 등 참여기업 현황에 따라 변동 가능성이 있음
* 기획평가관리비는 '23년 기준 0.00%를 적용하였으며, 추후 년도에 대해서는 예산 심의과정에서 변동 가능성이 있음

## 2. 인력 투입계획

■ 구성 기술별 연구를 수행하는데 소요될 것으로 예상되는 적정 투입 인력의 참여율을 고려하여 산정

- (구성기술 1) 건축물 안전 해체계획·설계 기술 개발

- 건축물 해체설계를 위한 소규모 건축물 특성 분석, 유형별 사양설계, 위험도 평가, 가상설계 분야에 대한 목표성능 실험 및 장비의 현장 적용성 제고를 위한 검증 실험 등이 연구의 주안점
- 해체설계 자동화를 위한 건축물 데이터 정보의 축적, 유형의 분석과 자동화 설계프로그램의 산출 적정성 평가 및 보완, 가상설계를 위한 현장 데이터 수집과 위험요소 특성화 등이 연구의 주안점

<표 7.10> (구성기술 1) 직급별 연간 소요인력(명)

| 구성기술 | 1차년 ('23) | 2차년 ('24) | 3차년 ('25) | 4차년 ('26) | 5차년 ('27) | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 책임연구원(박사급) | 6 | 8 | 8 | 7 | 5 | 6.8 |
| 연구원(석사급) | 9 | 11 | 11 | 11 | 7 | 9.8 |
| 연구보조원(학사급) | 9 | 15 | 14 | 15 | 10 | 12.6 |
| 합계 | 24 | 34 | 33 | 33 | 22 | 29.2 |

- (구성기술 2) 건축물 해체 고도화 기술 개발

- 건축물 해체 시공의 패러다임 전환을 위한 RC 구조물의 모듈화 해체, 수평 증측 구조물의 부분 해체를 위한 기술개발 중점
- 모듈화 해체는 절단기술, 양중기술, 환경제어 기술로 구분이 가능하며, 절단 기술은 Saw를 활용한 절단, Water-jet을 활용한 절단 기술이 중점 대상임
- 양중 기술은 건축물의 규모 및 인접 건축물의 영향 분석을 통하여 절단 및 배출이 가능한 크기와 중량 설계가 필요하며, 안전 결합체계 기술도 중점 대상임
- 환경제어 기술은 절단 과정에서 발생하는 소음·분진·폐수 제어에 필요한 기술개발에 집중. 기술은 법적인 관리한도 이외에 현장 민원발생 최소화를 위한 현장 대응형 기술 개발에 집중

<표 7.11> (구성기술 2) 직급별 연간 소요인력(명)

| 구성기술 | 1차년 ('23) | 2차년 ('24) | 3차년 ('25) | 4차년 ('26) | 5차년 ('27) | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 책임연구원(박사급) | 8 | 8 | 9 | 8 | 5 | 7.6 |
| 연구원(석사급) | 9 | 13 | 14 | 13 | 8 | 11.4 |
| 연구보조원(학사급) | 11 | 16 | 14 | 15 | 11 | 13.4 |
| 합계 | 28 | 37 | 37 | 36 | 24 | 32.4 |

- (구성기술 3) 건축물 분별해체 및 건설 자원화 기술 개발

- 건축폐기물 배출 단계 이물질 혼합 최소화와 배출된 폐기물의 고품질 자원화 기반 구축을 위하여 해체단계 5종 건설폐기물의 분별해체·현장 감량화·분리 배출에 대한 기술 개발 집중
- 건축물의 종류, 용도, 구조 형식에 따른 내장재의 시공 형태를 분석하고 기계화 시공이 가능한 해체 장비 개발 실시
- 순환골재 고품질화는 1단계에서 기존의 기술개발 성과 및 본 연구를 통한 보완 연구를 통하여 설계기준 강도 30MPa 이상의 콘크리트 적용이 가능한 기술 지침 및 시방서 개정 작업 실시
- 종합 테스트 베드 구성은 서울시 등의 지자체와 협력하여 해체→자원화 전 과정 실증 기술 구현을 위한 체계 구축
- 자원화 기술은 실생활을 통한 성능 평가를 위하여 리빙랩을 통한 현장 실증 기술 적용 및 평가 실시

<표 7.12> (구성기술 3) 직급별 연간 소요인력(명)

| 구성기술 | 1차년 ('23) | 2차년 ('24) | 3차년 ('25) | 4차년 ('26) | 5차년 ('27) | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 책임연구원(박사급) | 5 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5.2 |
| 연구원(석사급) | 7 | 9 | 8 | 8 | 6 | 7.6 |
| 연구보조원(학사급) | 8 | 12 | 11 | 13 | 10 | 10.8 |
| 합계 | 20 | 27 | 25 | 26 | 20 | 23.6 |

# 제 8장 타당성 분석 및 기대효과

## 1절. 과학기술적 타당성 분석

### 1. 이슈/문제 도출의 적정성

#### 1.1. 사업 기획 배경

■ 건축물 해체공사 착공신고제 등 안전강화를 위한 정책이 시행('21.6)되었으나, **관리 대상 사각지대 및 기술적 지원 부족**으로 안전사고 발생 가능성 존재

- **기존 경험**에 **의존**한 소규모 **건축물 해체계획 수립** 및 **위험·장애**(지하공사) 구조물 **해체시공 사전분석 미흡**

■ 노후 건축물 정비 사업에 따른 **전면 재건축** 및 **중·소규모 리모델링** 건축물 **해체 공사의 증대가 예상되나, 안전과 환경을 고려한 진보된 해체기술 부족**

- 건축물 해체시공 시 **안전사고 예방** 및 **소음, 분진, 폐수** 등에 따른 **민원발생을 최소화** 할 수 있는 **해체공법 고도화 필요**

* 완전 철거방식 : 압쇄기를 이용한 철거 → 소음·진동·분진 발생의 최소화

* 리모델링 해체 : 절단 방식 해체 → 구조물 영향 미치는 압쇄 방식 적용 불가(균열 등)

■ 공공건축물 **분별해체 의무화**('21.4) 및 **수도권 매립지 활용종료**('25)에 따라 건축물 해체공사 시 배출된 건설폐기물의 자원화·품질고도화 기술 개발 필요

- **기존**의 건축물 일괄 해체방식**(先해체/後분별)**에서 **내·외장재**를 **성상별**로 **先분별**하고 **경제적**으로 **해체**할 수 있는 공법 부족

* (현재)인력 중심의 해체공정 → 성상별 완전해체 어려움, 이물질 혼입, 낮은 해체 효율성

* (현재)습식 부착 건축자재 해체 및 폐기물 현장 보관·배출 기술 부족 → 폐기물 혼합 배출

■ **(환경분석) 기획 연구진을 중심으로 연구개발 사업 추진을 위한 동향 분석 실시**

- 정책(P), 경제(E), 사회(S), 기술(T) 영역에서 건축물 해체 및 건축폐기물 고효율 자원화 분야에서 현재 이슈화 되어 있거나 근 미래에 나타날 것으로 예측되는 시사점 도출
- **(분석 의의)** 대내외 환경 분석은 건축물 해체 및 건설폐기물 자원화 분야에서 현재 및 근래에 나타날 것으로 예사오디는 이슈와 문제점을 전망하고 관련 근거를 제시함으로써 이 사업에서 집중하고자 하는 분야의 적절한 범위를 설정할 수 있다는 점에서 의의가 있음
- **(분석자료)** 유관 국가 정책 발표자료, 각종 경제 지표 조사 보고서, 동향조사 분석 보고서, 사회변화 통계자료, 유고나 학술기사 및 학술 논문
- **(결과 활용)** 대내외 환경분석 결과는 거시분석 결과 및 유관 전문가 의견 등과 종합하여 차후 선별을 통해 「건축물 해체 선진화 및 건축 폐기물 고효율 재활용 기술개발사업」 이 집중해야 할 이슈/문제 도출에 활용

■ **(의견수렴) 전문가 의견 수렴을 통한 현안 및 대응이슈 의견 수렴**

- 건축물 해체공사를 위한 계획·설계·시공에서 안전한 해체와 환경 위해 요인을 제어 방안, 해체공사에서 배출하는 폐기물을 치대한 자원화 할 수 있는 방안에 대하여 각 분야 전문가를 대상으로 자문위원회, 기술교류 세미나 형식으로 전문가 의견 수렴 하였으며, 특히 일반 관계자의 의견 수렴을 위한 설문 조사를 실시하여 전문가 의견을 수렴하여 이수/문제 발굴
- **(분석 의의)** 시설물 안전 및 유지관리 관련 유관기관 및 산·학·연 전문가
- **(회의 목적)** 기획 방향성 설정을 위한 이슈 검토, 기반시설 안전·유지관리 기술개발 사업의 현안 이수 도출, 현재 유지관리 문제점 및 유지관리 실현을 위한 기슬니즈 파악 등

■ **(이슈/문제 선택) 사업 핵심 니즈를 기준으로 4대 대응 이슈/문제 확정**

- 종합 분석을 통해 도출된 핵심니즈를 기준으로 건축물 해체 기술 및 건축 폐기물 자원화 분야에서 가장 시급하고 파급 영향이 큰 핵심 이슈를 도출하고, 이슈로부터 발생 예상되는 문제점을 연결하여 사업이 대응하고자 하는 이슈/문제를 최종 선별 , 확정함
- **(이슈)** 해체 및 자원화 분야에서 현재 이슈화 되고 있거나 혹은 근 미래에 확실히 나타날 것으로 예사오디는 이슈를 시급성과 파급영향력 기준으로 도출
- **(문제)** 각 이슈와 관련하여 이 사업에서 해결할 수 있고(해결 가능성), 이 사업을 통해 해결해야 하고(해결 당위성), 이 시점에 해결해야 하는(해결 시급성) 문제를 선별·정리

## 2. 중점분야 도출의 적절성

■ **(SWOT 분석 및 추진 방향) 해체 및 자원화 기술개발사업 관련 국내 R&D 수준 및 연구 인프라 역량 등을 "내부환경"으로 반영하고, 대내외 환경분석, 시장 현황 및 전망 등을 "외부환경" 으로 설정하여 SWOT-matrix 분석 실시**

■ 내부환경은 강점(S)과 약점(W)으로, 외부환경은 기회(O)와 위기(T)요인으로 각각 반영

■ 논문 동향과 특허 동향은 외부환경인 연구개발 동향 분석과 시장 동향 분석, 외부환경인 수준 분석과 역량 분석에 연계하여 반영

■ 투자 동향 분석과 결과는 내·외부 구분 없이 반영하고 동향은 역량 분석에도 연계하여 반영

■ SWOT 분석은 ① 내대외환경 분석 등에 의한 기회(O)와 위기(T) 요인 도출 ② R&D 수준 및 역량 등을 통한 강점(S)과 약점(W) 요인 도출 ③ 기회와 위기, 강점과 약점을 종합적으로 고려한 SWOT-matrix 분석의 절차로 수행

- 외부 환경과 내부 역량을 종합적으로 분석하여 사업 추진을 위한 전략 방향으로 장점/기회를 활용한 시너지 전략(SO), 강점을 활용한 위기 최소화 전략(ST), 기회를 이용한 약점 보완 전략(WO), 약점/위협 극복 전략(WT)을 수립

■ **(문제의 해결) 이 사업이 문제/이슈에서 분석된 건축물 해체 및 폐기물 자원화 분야의 문제를 해결하기 위해 기술적 난제를 분석하고 이를 해결하기 위한 기술적 방안 도출**

- 4대 문제 : ① 해체공사 급증 및 관리 사각 지대 확산, ② 해체공사 안전사고 및 폐기물 배출량 증가 ③ 경험적 해체설계와 시공, 폐기물의 관리 ④ 리모델링 부분 해체 등 기술의 부족
- 문제별 기술적 난제와 발생 원인을 상세히 분석하고 기술적 해결 방안과 기대효과를 도출

■ **(이슈/문제와 중점분야의 연계성) 동 사업의 이슈/문제는 SWOT 분석에서 도출된 추진 방향과 직접적인 연결 관계 형성**

- 사업에서 해결하고자 하는 각각의 문제는 국내외 환경과 역량을 감안한 최적의 추진 전략을 통해 중점분야를 수행함으로써 해결 가능

# 3. 성과 목표의 적절성

## 3.1. 사업 목표의 구체성 및 목표간 연계성

■ 동 사업은 최종 성과목표 하에 이를 실현하기 위한 단계별 성과목표를 제시, 각각의 목표는 R&D 사업을 통해 달성하고자 하는 효과를 정책목표에 기반하여 설정하고 있으며, 또한 목표의 달성여부를 판별할 수 있도록 성과목표별 대상, 목표 측정방법 및 산식을 구체적으로 제시하고 있음

■ **각 성과목표의 총합을 통해 기반시설 첨단관리 기술개발사업을 통해 달성하고자 하는 궁극적 목표 및 지향하는 비전을 명확히 정립하여 성과목표의 구체성과 사업목적 및 비전 간의 유기적 연계성을 확보하고자 하였음**

- **(전략목표)** 기반시설 첨단관리를 통한 안전하고 신뢰받는 국민 생활환경 실현
- **(최종 성과목표)** 기반시설을 선제적으로 관리하여 안전과 지속가능성을 극대화하는 기반시설 첨단관리 기술 개발

■ **성과목표는 구성기술 개발 성과와 연계하여 설정되어 사업이 계획대로 달성되었을 경우 동시에 발생 가능한 효과이며, 사업 내 기술간 연계성을 고려할 때 상호 연관성이 높아 사업의 효율을 저해하지 않음**

## 3.2. 과학 기술적 대응 시기의 적절성

■ **지금 기술혁신이 추진되지 않을 경우 10년 이내 건축물 해체 및 자원화를 위한 기술 및 인프라 부족**

■ **10년 후 해체 노후 건축물 증가와 이로 인한 멸실 건축물의 증가, 해체 폐기물의 급격한 배출 예정으로, 국내 해체 관련 안전관리, 환경관리, 자원화 인프라 구축과 관련한 소요 예산과 실제 투자 예산과의 격차가 점차 심해져, 현재 상황을 이대로 방**

**치하는 경우 관리 사각지대에 놓인 해체 건축물의 증가 및 폐기물 문제로 인한 국민의 안전환 환경문제 위협할 가능성 증가**

- 국내 건축물은 산업화 및 도시화가 집중적으로 이루어진 70년대 이후 본격으로 건설되었으며, 80년대 200만호 주택 건설 및 과밀화된 도시 주택 문제 해결을 위한 신도시 정책과 연계되어 짧은 기간 동안 많은 건축물이 구축되었음
- 30년 이상 경과한 시점에서 거주환경 악화로 인한 재건축 또는 리모델링 등이 추진되고 있는 상황임
- 30년 이상 노후화된 건축물이 매년 증가하고 있음. 12년 전체 건축물 중 동수 기준 32%인 노후 건축물의 비율은 20년 38%로 증가하였으며, 이에 따라 멸실 건축물도 증가하고 있음
- 건축물 해체과정에서 각종 안전사고로 인하여 많은 건설 근로자가 재해를 입고 있음
- 다른 건설산업에 비하여 중대 재해율이 높으며, 사고 만인율 또한 타 산업에 비하여 높음
- 21년 6월 발생한 광주 학동 재개발 현장 철거 붕과 사고는 우리나라 해체 공사의 문제점을 여러 가지로 보여줌
- 허가 대상 건축물이었음에도 불구하고 관리 사각 지대에 놓인 재개발 현장의 해체 공사의 관리 감독 및 안전 해체 기술의 적용이 이루어지지 않았음
- 94% 이상인 소규모 건축물은 신고에 의한 해체 공사를 실시함으로써 안전관리 문제가 더욱 심각하게 대두 될 수 있음
- 또한 해체 공사로 인하여 배출되는 연간 8천만 톤 이상의 건설 폐기물은 대부분 단순 재활용 또는 처리의 흐름 분석이 어려울 정도임

■ **현 시점부터 건축물 해체 공사 및 폐기물의 고효율 자원화를 위한 기술 개발과 투자의 효율화로 안전한 해체공사와 자원화 기술이 연계될 수 있는 지속 가능한 시스템 구축이 필요함**

- 해체 및 자원화를 위한 예산을 적정한 규모로 확대하는 한편, 기술혁신을 통한 투자 효율호로 건축물 해체 및 자원화 기반 구축과 이를 통한 순환경제 구축에 기여가 가능할 것으로 판단됨
- 현 시점에서 국내 건축물 해체 기술 패러다임의 변환, 순환경제 구축을 위한 고효율 건설폐기물 자원화 기술의 구축으로 지속 가능한 건설 산업의 기반 구축이 필요하며, 빠르게 진행되고 있는 재개발, 재건축에 대응한 기반 기술의 제공을 통하여 안전관리를 강화하여야 함

■ **동 사업을 통해 약 5년간('23~'27) 기술개발이 추진될 예정이며, 기술 회임기간을 고려할 경우 10년 이내 현장 기술적용 가능**

- 국내 노후시설물 및 재건축 재개발 대상 건축물의 증가 추이는 매우 빠름
- 신정부의 1기 신도시 정비 사업, 도심지 재개발 사업 촉진 정책 등으로 해체 대상 건축물 은 향후 10년 이내 현재 대상보다 30% 이상 증가할 것으로 전망
- 동 사업은 총 2단계로 구성되며, 1단계('23~'24)에서 기술개발을 완료하고 각 기술간

연계성을 확보한 후 2단계('25~'27)에서 종합 테스트베드에 개발기술을 적용, 검증하는 활동을 완료하고자 함

## 3.3. 해체공사의 패러다임 전환과 자원화 기반 구축 필요

■ **압쇄 전도 방식에 의한 해체공사는 해체 과정에서 안전사고 발생 빈도가 높으며, 여러 가지 환경 문제를 수반하고 있음**

- 우리나라 건축물의 해체기술은 대부분 압쇄·전도 방식을 적용하고 있으며, 이에 따라 해체 현장에서 안전과 환경 문제가 지속적으로 발생되고 있으며, 해체 과정에서 많은 민원을 유발하고 있음
- 외국의 경우, 친환경적 해체 공법으로 모듈해체 및 Bottom-up 방식의 해체 등 다양한 해체 기술이 개발되고 있고, 해체 장비 또한 소형 경량화 되고 있음
- 3D 스캔 및 가상기술을 이용한 시뮬레이션 등을 활용한 위험/장애 공정 문제를 사전 분석하여 위험을 최소화 하는 해체 기술을 적용하고 있음
- BIM을 이용한 폐기물의 산정 등을 통하여 개발 건축물별 배출량을 정확하게 예측하여 자원화와 연계하고 있음
- Gypsum to Gypsum, Glass to Glass 등 물질 재활용을 위한 기술 개발과 수노한 시스템을 구축하여 자원재활용의 효율성을 높이고 있음

# 4. 수혜자 표적화의 적절성

■ **동 사업은 공공기술개발 유형으로 최종 수혜자는 광의적 측면에서 대국민, 협의적 측면 에서는 해체공사 및 자원재활용 관리주체 및 관리업체 등으로 정의할 수 있음**

■ **(중앙정부)** 건축물 해체 안전과 환경 문제 관리 및 폐기물 처리 및 자원화 계획을 수립하는 컨트롤 타워로서, 데이터 공유·활용 기반 마련 및 예산 분배

해체설계·시공·감리 기관을 관리하는 기관 간 시스템 데이터 표준화 및 공유체계 수립과 본 사업을 통해 산출된 과학기술적 실증결과를 토대로 효과적인 예산 분배 및 신뢰도 높은 정책입안 가능

■ **(지자체/공공기관)** 건축물 해체 인·허가를 담당하는 관리주체로서, 해체공사 안전관리를 위한 비용 절감으로 투자효율화

공사, 공단, 지자체 등은 해체 및 폐기물 관리주체로서, 안전 및 환경관리 비용의 실질적인 추산 및 계획을 수립하고 있으며, 본 사업을 시행하여 획득한 기술을 적용하여 재난 및 안전사고에 선제적 대응, 유지관리 업무 등을 위한 효과적인 의사결정 가능

■ **(해체·자원화 기업)** 해체공사와 폐기물의 처리, 재활용 제품의 생산 업무를 실질적으로 수행하는 관리업체로서, 업무 효율성의 극대화 및 근로 환경 개선

- 건설 엔지니어링 기업 등은 안전진단, 성능 평가 및 예측, 보수 및 보강, 개선 등을 실질적으로 수행하는 관리업체로서, 본 사업을 시행하여 획득한 기술을 적용하여 노

후화시설 급증에 따른 관리 인력 부족 현상 개선 가능

- 또한 안전 및 유지 관리 업무의 무인화, 자동화 기술 등을 적용하여 현장 실측 위험 도감소 및 계측 데이터 정확도 향상으로 인한 업무 효율성의 극대화와 근로자 삶의 질 향상 실현에 기여

■ **ㅇ (ICT기업) 해체계획서 자동화 및 해체설계를 위한 Data의 구축 등에 필요한 시스템(SW, HW, 시스템, 플랫폼 등) 개발업체로서, 시스템자동화, 지능화를 통한 신시장 창출**

# 2절. 정책적 타당성 분석

## 1. 상위 계획과의 부합성

### 1.1. 사업 기획 배경

■ 본 사업은 「과학기술기본법」, 「건축물 관리법」,「산업안전기본법」,「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」등 관계 법령에 의거하여 추진

<표 8.1> 유관 법령 및 법정계획 주요 내용

| 구분 | 관련명칭 | 주요 내용 |
|---|---|---|
| 국정과제 | 신정부 공약 | · 부동산 정상화 : 재개발·재건축·리모델링을 활성화”와 ”1기 신도시 재정비·양질의 주택공급<br>· 1기 신도시 재정비 : 1기 신도시 재정비사업 촉진을 위한 특별법 제정<br>· 저층, 다가구 주택 정비 활성화를 통한 주택 공급<br>· 부실 시공 근절, 안전한 건설 현장 조성 : 건설공사 안전관리 체계의 혁신적 개선 및 건설공사 품질과 안전 확보 강화 |
| 법령 | 건축물 관리법 | · 제35조(건축물관리 연구·개발) 건축물관리기술 향상을 위해 건축물관리기술의 연구·개발 사업을 실시할 수 있으며, 필요한 경우 연구·개발 성과의 이용·보급을 위해 건축물관리 시범사업을 할 수 있음 |
| | 건설폐기물재활용촉진에관한법률 | · 제9조(연구개발 등의 지원) 환경부장관과 국토교통부장관은 건설폐기물의 친환경적인 처리와 재활용을 촉진하기 위하여 기술연구개발단을 구성·운영할 수 있다 |
| 상위계획 | 재난 및 안전관리기술개발 종합계획’18~’22 | · 국민안전 확보를 위한 맞춤형 서비스 개발, 미래·신종재난대비 재난안전기술 선진화, 현장 실용화 중심의 안전생태계 구축 등 |
| | 건설기술진흥기본계획 | · 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성과 건설 안전 강화를 위한 건설의 안전·환경관리 기술 개발 |
| | 제1차 자원순환기본계획 | · 자원의 선순환을 통한 지속가능한 순환경제 실현을 위하여 폐기물의 감량, 순환이용율 향상, 최종처분율 감축 등의 목표 수립 |
| 국가 로드맵 | 탄소중립 2050 | · 신유망 저탄소 생태계 조성의 방안으로 폐자원의 수거·선별 인프라 개선을 통한 “순환경제 활성화”로 탄소중립 기여 |
| 부처계획 | 2021년 정부연구개발 투자방향 및 기준 (과기부, ’20.3) | · 10대 중점투자방향 중 ‘8. 국민의 안전한 삶 지원 강화’ -대형·복합재난 등의 위협에 선제적 대응<br>· 지하안전사고 예방 등 투자 확대 |

## 2. 추진 체계 및 추진 의지

■ **(거버넌스 체계 구축)** 정부는 건축물 신축 및 해체, 유지관리 과정에서의 안전관리를 위하여, 열 법에 분산되어 있던 안전관리 사항을 통합 관리할 수 있는 '건축물 관리법'('20.05 제정)을 통해 선제적 · 종합적 관점의 건축물 안전관리 체계 구축 기반을 마련

그림 8.1 건축물 관리법 시행 및 관리의 범위
<출처 : 국토교통부 건축물 생애이력관리시스템, www.blcm.go.kr>

■ **(사업기획 협력)** 기존연구 성과 연계방안 협의(주관부처 산하 전문기관, '21.4 ~ '22.3) 등 실시하여 실질적인 사업기획 협력

- **(기획참여 및 주도)** 국내 건설관련 종합 연구기관에서 해체공사 및 자원화 전과정을 고려한 정책(건축물관리법, 건축물, 산업안전보건법, 건폐법 등) 및 환경변화에 따른 수요기술 발굴과 핵심기술 개발계획, 실증 추진방안 등 기획 주도
- **(허가기관 실증협의)** 테스트베드 추진방향 및 구현 가능성 검토, 기술수요 및 관리기관 참여 등 사업성공 가능성 제고를 위해 공공기관 및 지자체 관리기관과 협의 실시
- **(사업주체 참여방안)** 해체공사 실행 및 자원화 실행 기관의 적극적 기술개발 참여를 통한 기술 실증 및 공모방안 등 사업운영계획 제시