

2022 May | Vol. 8

05



융합연구리뷰

Convergence Research Review

재난현장 해결사, 로봇의 개발 현황과 역할

손동섭(한국로봇융합연구원 책임연구원)

ICT 융복합 기술 기반 건물 재난방지 기술 동향 - 화재 방지 기술을 중심으로 -

차희성(아주대학교 건축학과 교수)

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 재난현장 해결사, 로봇의 개발 현황과 역할
- 47 ICT 융복합 기술 기반
건물 재난 방지 기술 동향
- 화재 방지 기술을 중심으로 -
- 81 국가R&D 현황 분석



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2022 May vol.8 no.5

발행일 2022년 5월 9일

발행인 김현우

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4785



● 재난현장 해결사, 로봇의 개발 현황과 역할

2019년 4월 15일, 프랑스 파리 노트르담대성당 화재 현장에 ‘콜러서스(Colossus)’가 투입되었다. 이 소방로봇은 유독가스와 불길, 붕괴 위험으로 소방대가 철수한 성당 내부로 진입하여 분당 2,500 리터 이상의 물을 발사할 수 있는 전동식 물대포로 성당의 돌담을 향해 정확하게 조준하고 물을 살포하였다. 또한 계단을 오르며 소화 작업에 나섰다 69m 높이의 종탑 화재를 진화하여 성당 건물 전체가 붕괴되는 것을 막아 인명 피해 없이 화재가 진압되었다. 프랑스 로봇 업체인 ‘샤크 로보틱스(Shark Robotics)’가 개발한 폭 76cm, 길이 160cm, 무게 500kg의 이 원격 제어 로봇의 대활약으로 재난대응로봇의 가치가 부각되었다.

재난대응로봇은 최근 지진, 해일 같은 자연 재해뿐만 아니라 대형 건물 붕괴 사고, 대형 화재 등과 같은 사고 현장에서 인간 대신 투입되어 구조작업을 신속하게 수행하기 위해 활용되고 있다. 이에 따라, 재난의 확산을 방지하고 피해를 최소화하기 위해 재난대응로봇의 중요성이 점차적으로 증대되고 있다.

재난대응로봇은 기구학적 설계기술, 자기위치인식기술, 사물 및 환경인식기술, 정보통신기술, 자율이동기술 및 배터리 성능향상기술 등이 복합적으로 집약된 기계다. 본 호 1부에서는 다양한 기술의 융합으로 향후 끝없는 가능성을 보여줄 재난대응로봇의 개발 현황과 시장 및 정책 동향을 소개한다.

● ICT 융복합 기술 기반 건물 재난 방지 기술 동향

2017년 새벽 1시경 아랍에미리트 두바이에서 세계에서 다섯 번째로 높은 84층의 초고층 아파트인 ‘토치타워(Torch Tower)’에서 대형 화재가 발생했다. 67층에서 시작된 원인 미상의 불로 건물 절반 이상이 불길에 휩싸이며 40개 층 이상이 불에 탔다. 대규모 인명 피해가 우려되었으나 새벽에 발생한 화재임에도 불구하고 다행히 670여 가구 모두가 대피하였고 사상자 없이 화재가 진압되었다. 대규모의 화재였음에도 대형 참사로 이어지지 않은 이유는 건물 전체에 울려 퍼진 안내방송과 화재 경보 덕분이었다. 이는 건물에서 화재가 발생했을 경우 신속하고 효율적인 대응의 중요성을 잘 보여주는 사례이다. 최근에는 건물 화재 시 피해를 최소화하기 위해 정보통신기술(ICT)을 활용한 연구개발이 진행되고 있다. 본 호 2부에서는 ICT를 기반으로 한 건물 재난 관리 기술에 대해 소개한다.

건물에서의 화재는 막대한 인명과 재산 피해를 초래한다. 특히, 요즘에는 건물들이 점차 복잡화, 대형화됨에 따라 건물 화재 진압 시 어려움도 증대되었다. 우리나라에서는 초고층 건물과 지하 복합 시설물에서 지진·화재·침수 등의 재난 발생 시 피해를 최소화하고 대응·복구 기술을 개발하기 위해 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국과학기술정보연구원의 연구원들로 구성된 ‘복합재난대응연구단’이 2016년 신설되었다. 이러한 국가적 차원의 노력과 ICT의 발전과 적극적인 활용으로 건물에서의 재난 피해를 최소화할 할 수 있기를 기대해 본다.



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 May vol.8 no.5



01

재난현장 해결사, 로봇의 개발 현황과 역할

손동섭(한국로봇융합연구원 책임연구원)

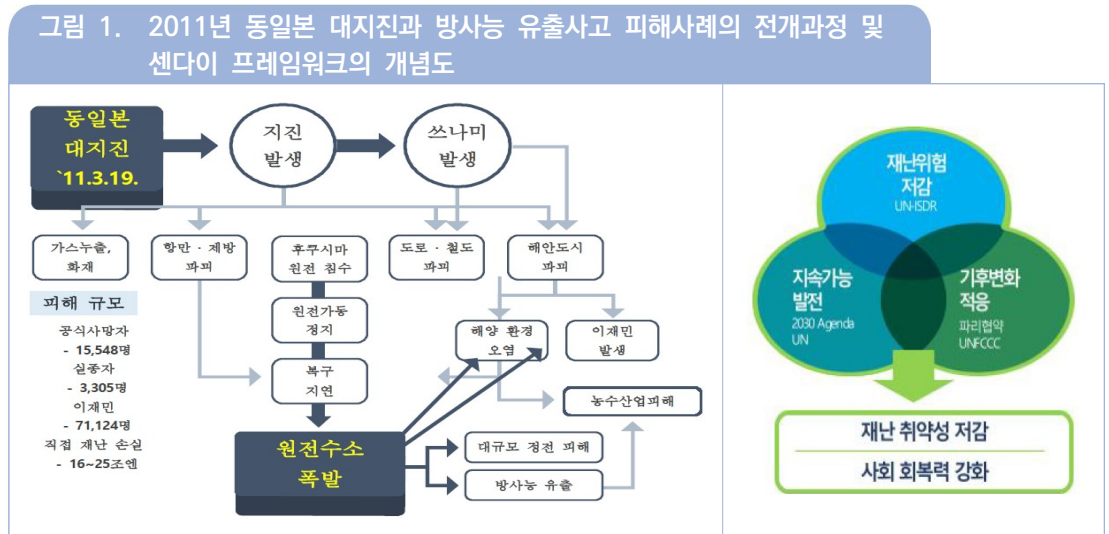
I 재난의 개념과 재난대응로봇이란?

1. 재난의 개념 및 유형

코로나-19와 같이 감염병 팬데믹 등의 재난이 점차 거대화, 복잡화, 세계화됨에 따라 이전까지 존재하지 않던 국가적 기반체계의 마비 등 자연재난과 인위재난이 복합적으로 발생하거나 두 가지 이상의 유형이 중첩된 복합재난의 발생 가능성이 높아지고 있다.

2005년 미국 뉴올리언스를 강타한 허리케인 '카트리나'와 2011년 동일본 대지진 등과 같이 처음에는 자연재해로 시작되었지만 이후 기술, 산업, 사회적 요인이 결합·복합되어 더 큰 피해가 발생하는 사례도 증가하고 있다.

유엔(UN)에서도 최근 재난 위험의 중요성을 인식하고 2015년 제3차 UN 재난위험감축 세계회의에서 2015~2030년 재난위험감축계획인 '센다이 프레임워크(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015~2030)'를 채택했다. 본 계획에서는 지속가능발전이라는 장기적인 목표 아래 재난위험 저감을 위한 국제사회 노력의 필요성을 제시하고 있다.



* 출처: (좌) 정책기획위원회(2019), (우) United Nations Climate Changes Secretariat 홈페이지(2020)

이러한 국제적 사회의 재난위험이 국가적, 세계적 위기로 발전함에 따라 우리나라도 재난유형별 정보통신기술(ICT, Information and Communication Technology)과 더불어 로봇의 활용가치와 중요성이 더욱 증대되고 있다. 사전, 사후관리로 이행하는 재난 대응 패러다임의 변화 속에서 새로운 복합재난 등의 대응을 위한 ICT와 로봇의 활용 수준은 여전히 미흡한 상황이다. 따라서 그간의 재난 대응과 관련한 국내외 로봇 개발 및 활용사례를 살펴보고 미래의 소규모·대규모 재난 위기 상황에 대비한 로봇 활용을 위한 종합적인 정책 대응 방안의 필요성을 제시하고자 한다.

1.1. 재난의 개념

어휘학(lexicology)적으로 재난 관련 단어에는 사고(accident), 긴급(emergency), 재난(disaster), 재앙(catastrophe)이 있다. 재난 관리의 관점에서는 심각성의 정도에 따라 사건, 긴급, 재난, 재앙으로 구분하여 정의할 수 있으나 재난을 보다 명확하게 정의하기 위해서는 그 속성을 파악해야 하고, 재난이라는 어휘 자체를 정의하는 데 다양한 근원과 원인을 반영하기에는 한계가 있어 그 특성에 따라 재난을 정의한다.

표 1. 재난 관련 사전적 의미

재난 관련 단어	의미
사고	• 상해를 주는 사건, 긴급(또는 응급)은 즉각적인 조치가 필요한 사건
재난	• 많은 사람들 또는 재산에 피해를 초래하는 사건
재앙	• 보다 큰 규모의 인명 또는 재산 피해를 야기하는 사건

* 출처: Oxford Learner's Dictionary

표 2. 특성에 따른 재난의 정의

구분	재난의 정의
유엔재난위험 경감사무국 (UNDRR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction)	• 재난을 그 영향을 받는 지역 사회 또는 사회가 자신의 자원을 사용하여 대처할 능력을 초월할 정도의 광범위한 인명, 물질적, 경제적 또는 환경적 손실과 영향을 포함하는 지역 사회 또는 사회의 기능을 심각하게 파괴하는 현상이나 사건으로 정의
EM-DAT (The International Disasters Databases)	• 국지적인 역량을 압도하는 상황 또는 사건으로, 외부 지원을 위한 국가 또는 국제 수준의 요청이 필요한 큰 피해, 파괴 및 인간의 고통을 유발하는 예기치 못한, 갑작스러운 사건으로써 종종 자연에서 발생하지만 인간에 의해서도 발생할 수 있는 것으로 정의

구분	재난의 정의
아시아 재난경감센터 (Asian Disaster Reduction Center, 2003)	<ul style="list-style-type: none"> 재난을 영향을 받는 사회가 자체 자원만 사용하는 능력을 능가하는 광범위한 인적, 물질적, 환경적 손실을 초래하여 사회 기능이 심각하게 붕괴되는 현상으로 규정
미국 연방재난관리청 (FEMA, Federal Emergency Management Agency)	<ul style="list-style-type: none"> 재난이란 심각한 재산 피해, 사망 또는 여러 부상을 초래하는 자연재해, 기술적인 사고 또는 인위적인 사건 발생을 의미 특히 '대규모 재난'은 지역 관할권의 대응 능력을 초과하며 주 및 잠재적으로 연방의 개입을 요구하는 것으로, 해당 법에 따라 주요 재난지원을 보장
ITU (International Telecommunication Union, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> 전파통신을 사용하는 재난을 안전과 관련된 개념과 나누어 정의하고 있는데, 공공안전(Public Protection) 관리는 법과 질서 유지, 개인의 생명, 재산 보호와 긴급한 상황을 관리하는 것이며 재난관리는 심각한 사회적 붕괴나 많은 사람들의 생명, 건강, 재산, 환경에 사고, 자연재해, 인위적인 행위가 돌발적이거나 복잡하고 긴 과정에 의해 발생하는 큰 위험에 대처하는 행위를 의미
한국 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조	<ul style="list-style-type: none"> 재난은 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로 정의

* 출처: 정보통신정책연구원(2020.09)

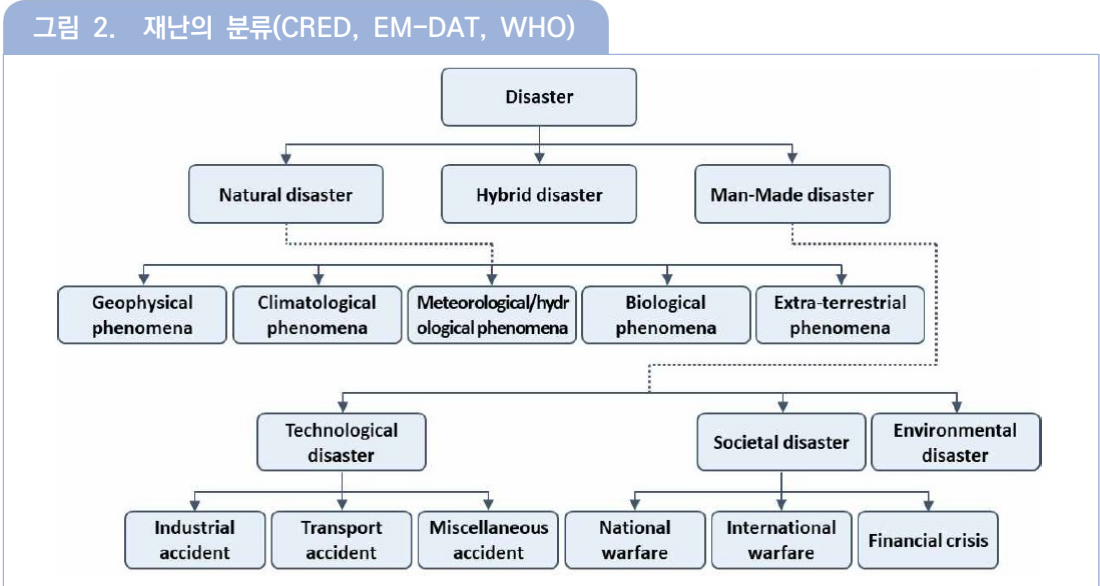
1.2. 재난의 유형

벨기에 루뱅대학(Catholic University of Leuven) 부설 재난역학연구센터(CRED, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters), 세계보건기구(WHO, World Health Organization), 미국 연방재난관리청(FEMA, Federal Emergency Management Agency) 등에서는 재난을 자연재난, 인위적인 재난, 사회재난, 기술재난, 복합재난 등으로 다양하게 분류해 왔는데, 재난은 크게 자연재난, 인위적인 재난, 그리고 복합재난의 세 가지 범주로 구분할 수 있다. 우리나라는 2004년 3월에 제정된 「재난 및 안전관리 기본법」에서 재난을 자연재난과 사회재난 등 2개 유형으로 구분하고 있다.

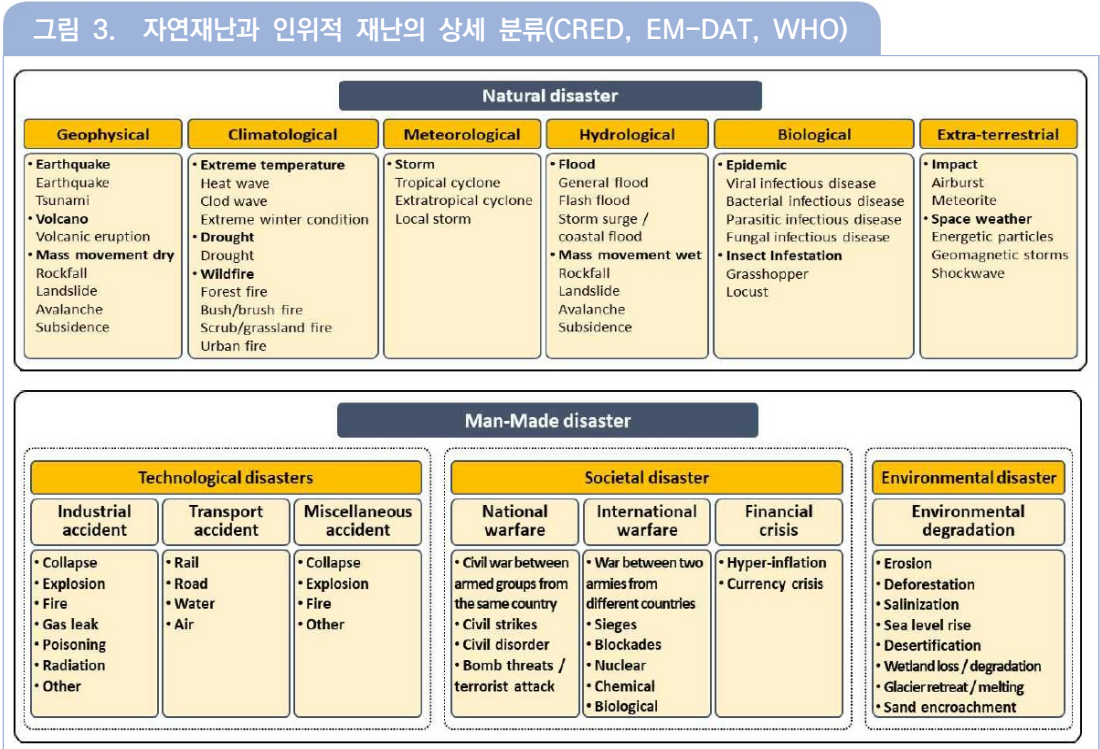
표 3. 특성에 따른 재난의 정의

범주	정의
자연재난	<ul style="list-style-type: none"> 자연 현상에서 발생하기 때문에 비계획적이며, 갑작스럽고 심각한 사회적 손상을 야기하는 사건으로써 인간이 통제하기 어려우며 대개 단일 사건으로 발생 일반적으로 자연재난은 특정 시기에 국지적으로 발생하여 그 발생시간과 장소에서 재난의 결과를 겪게 되지만, 긴 시간에 걸쳐 발생하면 해당 지역사회에 크고 직접적인 영향을 미치는 엄청난 임팩트를 갖는 재난으로 발전 가능
인위적인 재난	<ul style="list-style-type: none"> 사회 기술 재난(socio-technical disaster)과 전쟁(warfare)으로 구분 사회 기술 재난은 인간의 행위 또는 결정으로 발생하는 사건으로, 다양한 이해 관계자들이 얽혀 복잡한 기술, 조직 및 사회적 프로세스를 통해 전개됨으로써 광범위한 피해와 사회적 혼란을 초래하는 사건으로 정의
복합재난	<ul style="list-style-type: none"> 대개 인간의 행위 또는 결정과 단발적인 자연의 힘이 중첩된 재난으로써 인간 활동과 자연력의 상호 작용으로 발생

* 출처: 정보통신정책연구원(2020.09)



* 출처: 정보통신정책연구원(2020.09)



* 출처: 정보통신정책연구원(2020.09)

표 4. 「재난 및 안전관리 기본법」의 재난 유형

구분	의미
자연재난	• 태풍, 홍수, 해일, 대설, 가뭄, 지진, 황사, 화산 등과 이에 준하는 다양한 자연 현상으로 인해 발생하는 재해를 의미
사회재난	• 종전의 화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화재방 사고, 환경오염 사고와 그 밖에 이와 유사한 사고로 인해 대통령이 정하는 규모 이상의 피해를 줄 수 있는 사고를 지칭하는 인적 재난에 국가기반체계의 마비와 감염병 및 가족전염병 확산으로 인한 피해를 포함시켜 사회재난으로 통칭

에너지, 정보통신, 교통수송, 금융, 보건의료, 원자력, 환경, 식·용수 등 국가경제, 국민생활 및 정부 기능 유지에 중대한 영향을 미칠 수 있는 물질·인적 기능 체계를 국가기반체계라 한다. 그리고 행정안전부는 「재난 및 안전관리 기본법」 제34조의 5에 의거하여 총 37개의 위기 유형들을 자연재난과 사회재난으로 구분하고 있다.

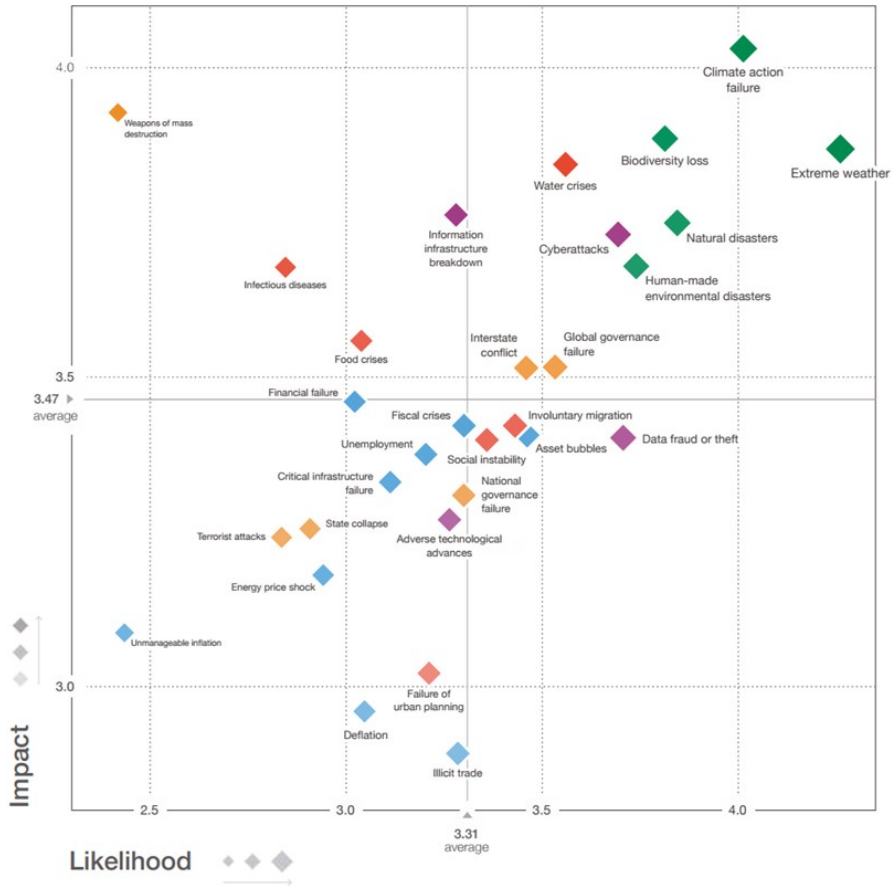
표 5. 국가기반체계의 사고 유형

구분	사고 유형
에너지	전력수요 급증, 원유·가스 수급 차질, 업무 거부에 따른 운영 중단 등
정보통신	정보통신 시스템의 장애, 운영 중단 등
교통수송	교통·수송 시설 및 설비·통제 시스템의 기술적 장애, 집단 업무 거부 등
금융	은행·증권 관련 시설 및 시스템의 장애, 운영 중단 등
보건의료	보건·의료 종사자의 의료 서비스 중단, 혈액 수급 차질 등
원자력	원자력 시설·설비의 기술적 장애, 운영 중단 등
환경	생활 폐기물 처리 시설의 장애, 운영 중단 등
식·용수	수자원 및 상수도 계통상 시설설비의 운영중단 및 오염 등

* 출처: 국민안전처(2015), 행정안전부(2018.10)

그림 4. WEF의 5가지 유형과 글로벌 리스크 유형 분류

경제적 위험	자산 버블, 디플레이션, 금융 메커니즘의 실패, 핵심 인프라 마비, 통화 위기, 실업, 불법 금융거래, 에너지 가격 충격, 인플레이션
환경적 위험	극단적 기후 현상, 기후변화 대응 실패, 종 다양성 위험, 자연재해, 인간에 의해 만들어진 환경재해(예: 방사능)
지정학적 위험	국가 정부의 실패, 글로벌 거버넌스 실패, 주간(interstate) 충돌, 지정학적 요지의 붕괴, 테러, 대량살상무기
사회적 위험	도시계획 실패, 식량 위기, 대규모 이주, 사회 불안정, 감염병 확산, 물 부족
기술적 위험	기술 발전에 따른 역기능, 정보체계의 마비, 사이버 공격, 데이터 오류



* 출처: WEF(2020)

- 2021년 이전 쿠팡물류센터 화재 당시 화염이 누그러진 틈을 타 잔불 진화와 인명구조를 위해 소방대원들이 내부로 진입했다가 고립되어 숨진 사고와 동일
- 로봇 등을 진입시켜 현장 탐색(진입 시기 판단 등) 및 잔불 정리 필요

붕괴사고와 관련해서는 광주 아이파크 아파트 신축 공사 현장 39층 옥상에서 콘크리트 타설 작업을 하던 중 외벽이 붕괴되었다.

- 크레인의 전도 및 추가붕괴 등 현장의 불안정성으로 인하여 수색 작업이 어려움
- 구조자가 있는 상황으로 중장비로 큰 잔해물을 치우고 구조대원이 작은 잔해물을 처리하기 위해 철근을 하나씩 끊어가며 수색작업을 재개
- 소방드론, 여진탐지기, 음향탐지기, 무인굴삭기 등 장비 43대와 구조견 8마리를 투입하여 수색작업 진행

그림 5. 광주 아이파크 붕괴현장



* 출처: 연합뉴스(2022), 조선일보(2022), 서울경제(2022) 기사

그리고 최근 광주 학동 해체건물 붕괴사고에서 상부층에서는 하부층 방향으로 해체 작업이 이루어져야 하나, 철거업체에서 1~2층부터 무리하게 철거작업을 진행하여 사고가 발생하였다.

- 190명 소방인력 및 54대 소방장비 현장 투입
- (노후 해체 건축물 증가 추세) 2020년 12월 기준, 전국에 분포된 건축물 중 준공 후 20년 이상 경과된 노후

건축물이 약 58.8%를 점유, 국내 건축물의 50% 이상이 잠재적 해체대상 건축물로 추정되며 특히 35년 이상 경과된 건축물이 31.4%에 달함

- (해체대상 건축물의 대형화) 최근 5층 이상 고층 철근콘크리트 건물에 대한 해체가 증가함에 따라 작업의 난이도 및 위험성도 함께 증가

신형 재난재해 사고와 관련해서는 전기차 배터리 화재 및 풍력발전기 화재 등의 사례를 볼 수 있다.

그림 6. 건축물 해체공사 중 붕괴사고 현황

해체공사 중 붕괴사고 발생 현황	
•	2021.06.09.(수) 광주 학동 재개발현장 건물 해체 중 붕괴 <사망 9명, 부상 8명>
•	2021.04.30.(금) 서울 장위동 재개발현장 건물 해체 중 붕괴 <사망 1명>
•	2019.07.04.(목) 서울 잠원동 건물 해체 중 붕괴 <사망 1명, 부상 3명>
•	2017.01.07.(토) 서울 낙원동 건물 해체 중 붕괴 <사망 2명, 부상 2명>

* 출처: 안전보건공단(2021)

표 8. 전기차 배터리 및 풍력발전기 화재 사례

전기차 배터리 화재	풍력발전기 블레이드 타워 화재
<ul style="list-style-type: none"> • 2020년 이후 국내 전기자동차 화재 29건 발생 - 전기차 화재 시 1,000도 이상 치솟는 열폭주 반응 발생, 내연 기관차 평균 화재 진화에 사용하는 물의 10배인 11만 리터 필요 - 산소 침투를 막아 질식해 진화하는 불연성 재질의 덮개(질식 소화포)로 불이 난 자동차를 덮고, 조립식 소화수조를 활용해 화재 차량을 수조에 침수시키는 방법 활용 중 - 질식소화포는 전국에 137개가 구비돼 있지만 전남에 42개로 편중되어 있고, 경북은 단 한 개도 없음 - 전기차가 가장 많은 서울, 경기도도 6개에 불과하며 전기자동차의 불을 끄는 장비인 소화수조도 경기 화성소방소와 일산소방서에 각 1대씩으로 전국에 단 2대 뿐임 	<ul style="list-style-type: none"> • 유지보수 소홀로 인한 Hub 화재사고 및 Blade 부러짐 사고 발생 - 제조단계(사용 전 검사) 안전관리 방안은 있으나, 현재 운영 중인 풍력발전설비의 블레이드와 타워에 대한 안전점검 방안은 없음 - 풍력발전기는 타워의 높이가 높고 바람의 영향을 많이 받아 화재 진압 시 소방차량 전개에 어려움이 따르고 날개 낙하에 따른 2차 사고의 위험성 큼 - 해상풍력발전기의 경우 육지에서 원거리에 위치하여 초기 진압이 어렵고, 특히 밤에 화재가나면 속수무책임(국토교통부 지침상 소방헬기 '하라마'는 야간산불 진화활동 금지)
 <p>〈제주 탐라해상풍력 화재(2020.11)〉</p>	 <p>〈인천 영흥발전소 육상풍력발전 화재(2021.2)〉</p>

2. 재난대응로봇의 개념과 분류

재난대응로봇은 시장 진입 또는 실용화 초기 단계로 개념, 정의, 분류 등이 정립되어 있지 않은 상황이다. 국제로봇연맹(IFR, International Federation of Robotics)에서는 재난대응로봇에 해당하는 로봇을 구분하고 유형을 제시하고 있다.

표 9. IFR의 재난대응로봇 구분과 유형

분류별	주요 로봇 유형
소방 및 재난구조	• 소방, 재난 구조, 폭발물처리로봇 등
감시·보안	• 무인지상차량(UGV, Unmanned Ground Vehicle), 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle), 스네이크 암 로봇(Snake-arm Robot) 등
기타 구조 & 보안	• 수색·구조 로봇

* 출처: IRF(2019)

우리나라는 로봇산업실태조사의 ‘로봇산업 특수분류’(통계청 승인)를 통해 재난대응로봇을 구분 및 정의하고 있다. 또한, 중소기업기술정보진흥원(TIPA)의 ‘중소기업기술로드맵’에서는 ‘구조 및 보안 로봇’이란 “자연재해와 노후화된 산업단지 등에서 야기될 수 있는 재난사고에 신속한 대응을 통한 인명과 재산 피해를 최소화하기 위한 로봇을 의미”한다고 정의하고 있다. 그리고 한국로봇산업진흥원에서는 재난대응로봇을 ‘보안 및 구조 로봇’으로 정의하고 아래와 같이 분류하여 제시하고 있다.

표 10. 로봇산업 특수분류에서의 구분 및 정의

기존		개선(안)		
코드	분류명	코드	분류명	정의
2-2	사회안전 및 극한작업 로봇	22	안전 및 극한작업용 로봇 제조	• 각종재해·재난·화재대응 로봇, 해양·우주공간·원자력 시설 등 특수 환경에서 감시 및 기타 특수목적 업무를 수행하는 로봇 제조
2-2-1	실내경비용 로봇	221	경비 및 감시용 로봇 제조	• 외부인 침입, 도난 등 시설보안 관련 경비 및 감시업무를 수행하는 로봇 제조
2-2-2	실외경비용 로봇			
2-2-3	화재감시 로봇	222	화재 및 재난 대응용 로봇 제조	• 화재 감시 및 진압, 재난현장 구조 처치 및 탐사 업무 등을 수행하는 로봇 제조
2-2-4	화재 진압용 및 재난구조 로봇			
2-2-5	해양, 우주용 및 원자력용 로봇	223	해양, 우주공간 및 원자력 시설용 로봇 제조	• 수중 및 해양, 우주 공간 및 원자력 시설 등 특수환경에서 감시 및 특수 목적용 기능을 수행하는 로봇 제조
2-2-6	수중 감시 로봇			
2-2-9	기타 사회안전 및 극한작업용 로봇	229	기타 안전 및 극한작업용 로봇 제조	• 기타 달리 분류되지 않은 안전 및 극한작업 지원용 로봇 제조

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)




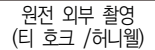
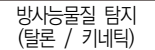
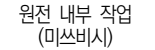
표 11. 중소기업기술로드맵에 따른 분류

대분류	중분류	적용기술(제품)
구조·보안로봇	보안감시형	• 사용자가 원격에서 조종하는 방식으로 보안감시 목적에 맞는 EOD(Explosive Ordnance Disposal, 폭발물 처리), 열화상센서, 화학탐지센서, GPS, 레이저센서 등을 탑재하여 관제센터로 정보를 전달하거나 반자동 수준으로 인지한 결과를 전달하는 로봇 제품
	초동대응형	• 자연재해 또는 인적재난 사고 현장 주변에서 초동대응을 하거나 현장 내에서 인명탐지, 경량물 핸들링 등의 임무 수행이 가능한 로봇 제품
	재난극복형	• 재난 환경이나 전장 등에서 탐지된 인명 구조, 사고 대응, 방사능 탐지/원전해체, 중량물 핸들링 등의 임무 수행이 가능한 로봇 제품

* 출처: 중소기업청·TIPA·Nemo Partners(2016)

표 12. 한국로봇산업진흥원의 보안·재난 구조 로봇의 용도 및 유형

분류	용도 및 유형	제품(예시)
보안 로봇	건물·시설물 경비·순찰	 K5 (나이트스큐프)  리보그-X (미쓰비시)  Matar (ST엔지니어링)  순찰로봇 (CRSCD)  디봇 코르스 (도구공간)  레일로봇 (현성, KT)
	공공(경찰)용 순찰	 차량검문용 (SRI인터내셔널)  거리순찰 Wall-E (중 황무경찰)  2018년 일도경찰로봇(NEO) 시연  철도경찰 네오 (퓨처로봇)
재난 구조 로봇	소방로봇	 소방관의 접근이 어려운 화재현장의 내·외부 상태 등을 탐지하거나, 물(거품) 등을 사용하여 화재를 진압하는 로봇  방수로봇 (사크 로보틱스)  드론 소방 솔루션 (Aerones)  방수/소방호스 연장 로봇(미쓰비시)
	구조로봇	 지상·수상 등의 사고·재난현장에서 사람을 구조하기 위한 환경정보를 습득하거나, 구조를 위한 중량물의 처리, 인명의 구조 등에 활용되는 로봇  ANYmal (ETH Zurich)  Snakebot (CMU)  구조로봇 (HRG)  재해현장용 양팔로봇(오사카대)  구조로봇 (HRG)  재난구조로봇 시리즈(Aunav)
	폭발물처리 로봇	 (공공)시설 등에서의 폭발물 테러 위협에 대응하여 위험물의 상태를 탐지하고, 제거에 활용되는 로봇  Packbot (아이로봇)  Dragon Runner (키네틱)  EOD 로봇 (한울로보틱스)

분류	용도 및 유형	제품(예시)		
원자력대응로봇	<ul style="list-style-type: none"> 원자로 내부 및 설비 등을 점검·검사 및 보수하거나, 사고 발생 시 모니터링, 잔해 제거 등을 수행하며, 원전 제염 해체에 활용되는 로봇 	 <p>원전 외부 촬영 (티 호크 / 허니웰)</p>	 <p>방사능물질 탐지 (탈론 / 키네틱)</p>	 <p>원전 내부 작업 (미쓰비시)</p>
		 <p>폐원전 연료제거 (히타치)</p>	 <p>원전 해체용 (도시바)</p>	 <p>수중조사로봇 (도시바)</p>

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)

3. 재난대응로봇의 시장동향과 전망

국내 재난대응로봇은 시장 진입 초기 단계로 시장이 아직 미미한 상황이나 최근 활발한 연구개발 등으로 볼 때 국내 및 해외 시장에서 빠르게 성장할 것으로 예상된다.

국제로봇연맹(IFR, International Federation of Robotics)의 ‘World Robotics 2019 - Service Robot’에 따르면, 2019년 판매 규모는 5백만 달러(수량 127대) 수준에 불과한 것으로 조사되었으나 향후 2019년에서 2022년까지 금액은 연평균 55%, 수량은 43% 증가 등 전체 서비스로봇보다 더 높은 성장률을 예상하고 있다. 국내 시장은 연평균 약 300억 원 규모에 이를 전망이다.

그리고 Grand View Research(2022)에 따르면 재난/안전 관련시장에서 소방장비 시장이 급속히 증가하고 있으며, 이와 부합하여 소방·재난대응로봇 및 수색·구조로봇 시장이 지속적으로 확대될 것으로 예상된다. 소방장비 시장은 2021년 465억 9천만 달러에서 매년 6.4%로 증가하여 2030년까지 866억 3천만 달러 수준으로 증가할 것으로 전망하고 있으며 소방장비 시장 중 화재감지 시장이 2021년 기준 전 세계 수익의 60% 이상을 차지한 것으로 나타났으며, 앞으로도 감지 장치의 고급 기술 사용과 함께 증가하여 2030년까지 7.2%의 성장률을 보일 것으로 예상된다.

그림 7. 글로벌 세계 화재 안전 장비 시장 규모



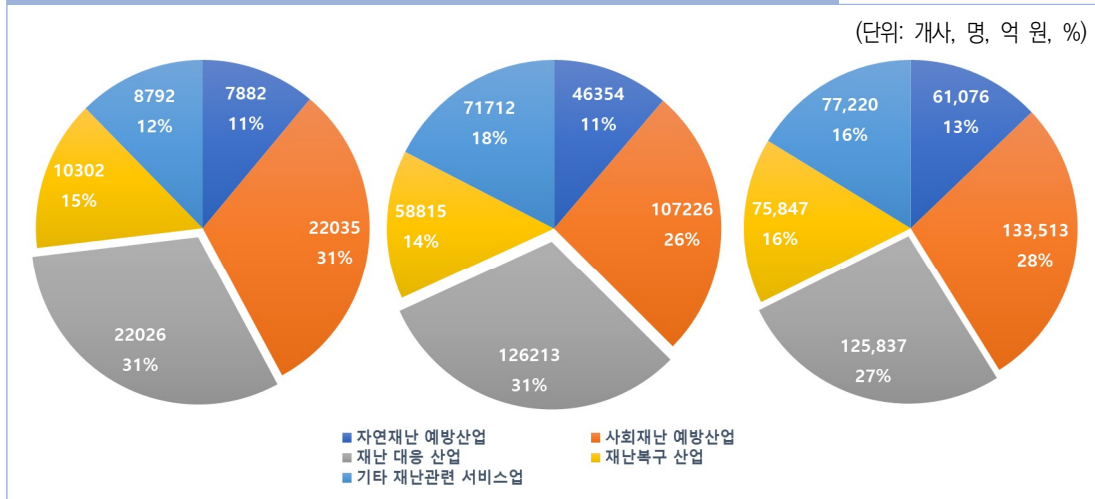
* 출처: Grand View Research(2022)

소방로봇 시장 규모는 2022-2026년 동안의 연평균 성장률(CAGR)은 1.8%로, 2020년 4억 5,810만 달러에서 2027년까지 5억 1,840만 달러로 성장할 것으로 예상된다(Market Reports Worlds, 2022). 소방로봇 시장 전체의 25%를 유럽이 점유하고 있으며, Howe and Howe Technologies 및 CITIC Heavy Industry Kaicheng 등이 업체를 선도하고 있다.

전 세계 수색 및 구조로봇 시장 성장은 2021년에서 2027년 사이 18.2%의 비율로 성장할 것으로 예상된다(Market Research Future, 2021). 수색 및 구조로봇 시장은 시장에 진입하는 스타트업과 함께 여러 주요 업체가 시장에서 상당한 양의 점유율을 차지하면서 매우 세분화되어 있으며, 주요 기업으로는 Thales Group, Kongsberg Gruppen, Elbit System Ltd. 및 Northrup Grumman Corporation이 있다. 기업들은 로봇의 다양한 응용 분야에 사용될 수 있는 새롭고 진보된 제품과 기술의 혁신을 위해 연구 개발에 적극적으로 투자를 하고 있다.

국내는 2019년 기준 재난안전사업 관련 사업체 수는 71,038개, 매출액 규모는 47조 3,493억 원으로, 그중 재난 대응산업의 사업체 수는 22,026개(31%), 12조 5,837억 원(27%)을 차지하고 있다. 특히, 우리나라는 수도권을 중심으로는 폭발/화재사고(40,103건), 산불(653건) 등의 사고가 지속적으로 일어나고 있어, 재난 대응에 관한 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

그림 8. 국내 재난/안전 현황(좌)사업체 수, (중)직원 수, (우)매출액



* 출처: 행정안전부(2021)

소방, 원자력 등 재난대응로봇은 정부/지방자치단체 등 공공 수요중심으로 수요가 매우 제한적이다. 또한 글로벌 표준 및 로봇을 활용한 재난 대응의 사례 및 적용 시도는 매우 드물어, 개발 이후 실현장 투입을 위한 로봇 공급측면에서는 한계의 요인으로 작용한다. 실제 동일본 대지진 이후 후쿠시마 원전 사고에서 로봇을 투입하였으나 방사능 및 대형/복합 재난의 현장에 필요한 기술개발이 이루어지지 못해 활용에 실패한 사례가 있다. 하지만 지금의 글로벌 환경은 도시로의 인구 집중, 건축물의 대형·복합화, 교통수단의 발달 등으로 각종 재난에 따른 대형 인명 피해 우려가 큰 실정이다. 따라서 재난 대응의 상용화 및 실증 그리고 소방관과의 역할분담 및 협력 등 도입이 활발히 진행되어 빠른 시장성장이 예상된다.

그리고 휴모노이드형과 같은 2족 보행 또는 4족 보행 로봇 등 로봇기술의 빠른 성장으로 인해 비정형 환경에서 대응 가능한 재난 현장에서 활약할 로봇의 투입이 기대된다. 예를 들어 일본의 경우 소방조직에서의 소방로봇 도입은 물론이고 일부는 소방로봇을 전담 운영하는 부대(팀)가 만들어지고 있다.

원자력 분야에서는 일본이 후쿠시마 원전사고 이후 로봇의 개발 및 적용 시도가 활발하고 우리나라는 한국원자력연구원(KAERI)이 진단/검사/점검에서 해체에 이르기까지 다양한 로봇을 개발 중이다.

표 13. 아틀라스(Atlas) 로봇(보스턴 다이내믹스)의 진화

			
(2013년) 험지를 걷는 아틀라스	(2013년) 충격에도 한발로 중심을 잡음	(2016년) 눈길을 걷는 아틀라스 (완성형)	(2016년) 견고 물건을 집어 올리며, 물체를 추적
			
(2017년) 물체 위를 뛰어 건너기 시작	(2017년) 360도 회전 후 착지	(2019년) 주위 사물을 이용해 뛰어넘고 잘림	(2019년) 체조 동작이 가능

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08) 자료 재정리

표 14. 최근 주요 소방로봇 실전 배치(소방부대 창설 등) 동향

지역	치바현 '이치하라시(市)' 소방국(일)	파리 소방여단(BSPP)(프)	광저우 소방인명구조팀(중)
제품 사진			
지역	내몽골자치구 '통랴오(通辽)시(중)	베이징 스장산(石景山)구 소방구조팀(중)	푸젠성 푸딩시(중)
제품 사진			
지역	구이저우성(貴州省) 귀양(贵阳) 소방서(중)	뤄양시 공안 소방팀(중)	산무수(杉木樹) 탄광 누수 사고(중)
제품 사진			

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)

4. 재난대응로봇의 정책 동향

글로벌 선진국은 재난위험 저감을 위한 노력을 지속해 나가고 있으며, 국내에서도 재난안전에 즉각적으로 대응하고 관련 산업육성을 위한 다양한 정책을 마련하고 있다.

미국은 국가대응체계(NRF, National Response Framework)와 국가사고관리체계(NIMS, National Incident Management System)를 근간으로 재난관리 협력을 위한 체계를 마련하였으며, 미국 연방재난관리청(FEMA)에서는 재난 대응에 대비한 로봇 플랫폼에 대한 기준을 마련하거나, 국가과학기술위원회(NSTC, National Science and Technology Council) 산하에 재해감소과학기술위원회(SDR, Subcommittee on Disaster Reduction)를 두고 재난 감소를 위한 정책을 수립해 나가고 있다.

- 연방재난관리청(FEMA)에서는 테러, 재난 및 비상사태, 복구를 위한 보조금을 마련하고 있으며, 로봇 플랫폼에 대한 테스트 방법과 기능들을 검증하기 위한 보조금 프로그램을 운영
- 국가과학기술위원회 산하 재해감소과학기술위원회는 재난위험을 관리하기 위한 과학기술 투자영역(〈영역2〉재난 탐지·보호·대응에 필요한 도구개발, 〈영역5〉안전·효율·신속한 대응·복구를 위한 기술)을 제시

일본은 과학기술혁신종합전략, 일본재흥전략, 로봇신전략 등을 수립하고, 이를 실현시키기 위한 전략적 혁신 창조 프로그램(SIP, Strategic Innovation Promotion Program) 등과 같은 R&D 프로그램을 마련하며, 안전을 위한 연구개발에 투자를 진행하고 있다.

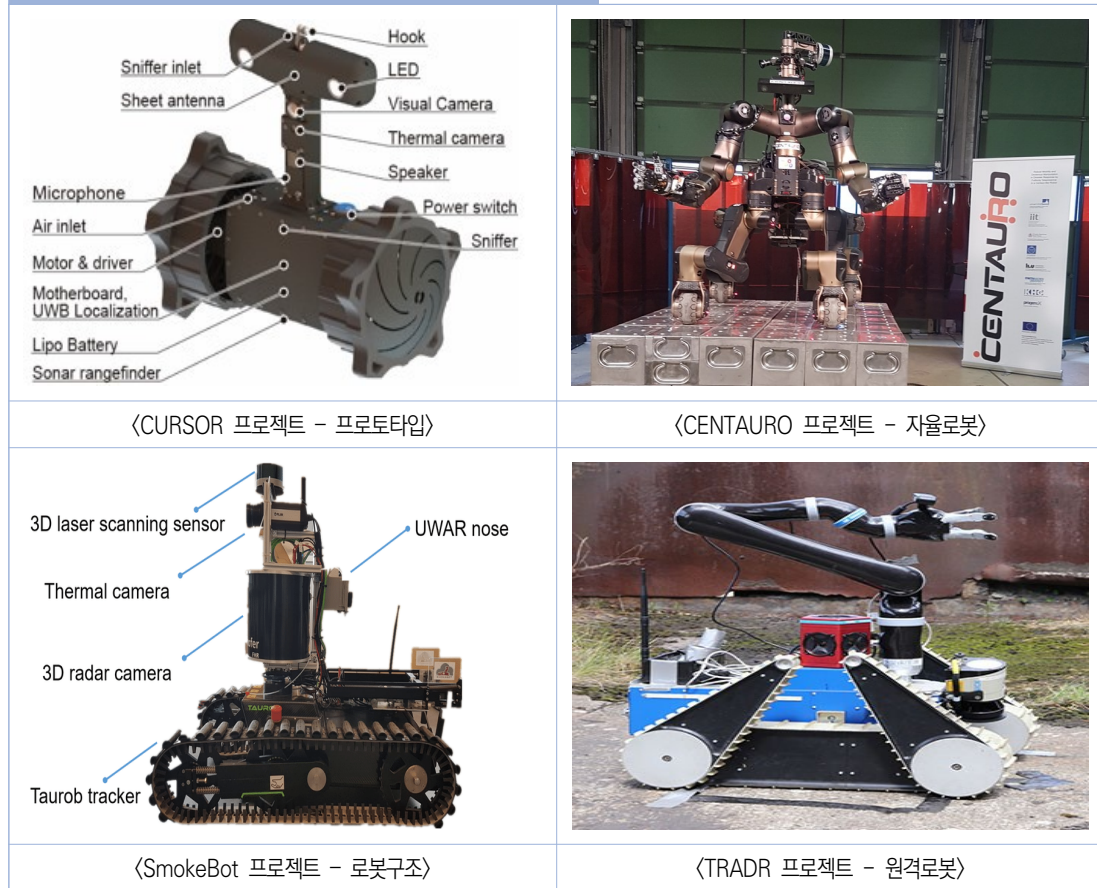
- 과학기술혁신종합전략에서는 'Society-5.0'을 위하여 국민이 안전하고 안심할 수 있는 생활 실현을 위한 로봇 등 4차산업 혁명과 관련된 기술개발 방향을 마련
- 일본에서는 ImPACT 프로그램의 주요 목표로 '인지를 넘어서는 자연재해나 위험의 영향을 제어해, 피해를 최소화하는 「국민 한 사람 한 사람이 실감하는 탄력을 실현」을 위해 재난안전로봇을 현장에서 활용하기 위한 '터프 로보틱스 도전' 프로그램을 운영하여 어려웠던 환경 조건 하에서도 정보 수집이나 작업을 가능하게 하는 감재 솔루션 개발
- 2011년 동일본 대지진 이후 '재해대응 무인화 시스템 연구개발 프로젝트'를 추진하는 등 즉각적인 R&D프로그램이 운영되었으며, 지속적으로 재해 대응을 위한 로봇 개발에 관한 R&D 투자를 추진
- 전략적 혁신 창조 프로그램(SIP, Cross-ministerial Strategic Innovation promotion Program)을 통해 인프라 관리·유지, 재난재해 대응과 같은 연구개발 투자를 진행
- 일본에서는 재난로봇 개발을 위한 연구개발 투자를 지속하고 있고, 재난로봇에 대한 관심과 기초기술 발전을 위한 로보컵을 개최하고 있으며, 5개 분야 중 '로보컵 구조영역'에서는 재해현장을 테마로 인명구조 실시에 대한 경기를 진행



유럽연합(EU)에서는 ‘유럽연합 재난위험관리 정책(EU Disaster Risk Management Policies)’ 발표를 통해 예방, 대비에서 완화, 대응 및 복구 조치로 위험을 해결하는 것을 목표로 한 정책을 발표하였으며, 이를 실현시키기 위하여 호라이즌 유럽(Horizon Europe)을 통해 R&D 투자 프로그램을 운영 중에 있다.

- Horizon Europe의 ‘핵심영역2’글로벌 과제와 산업경쟁력’에서 포용적이며 안전한 사회, 재난대비사회 구현을 위하여 28억 유로의 예산을 책정하여 지원
- (INGENIOUS 프로젝트) 현장대원의 안전과 임무 능력 향상을 위한 지상 및 비행로봇을 포함한 차세대 툴킷(toolkit)을 개발하고 구조원의 위험과 위협을 인식하는 기술을 개발(2019.09~2022.02, € 8,961,111)
- (CURSOR 프로젝트) 지진, 산사태, 홍수 발생 현장에서 인간에게 나오는 휘발성 화학신호를 감지하여 재난 현장에서 생존자를 찾는 소형 일회용 로봇을 개발(2019.09~2022.08, € 7,461,361)
- (CENTAURO 프로젝트) 재난 대응에 민첩한 조작을 위하여, 증강현실 기반으로 전신형 원격조작 로봇을 개발하여 호스연결/밸브조작 등 복잡한 이중 수동조작을 지원(2015.04~2018.09, € 4,124,915)
- (SmokeBot 프로젝트) 연기/먼지/인개 등 가혹한 가시성이 제한된 장소에서 로봇시스템이 동작하도록 새로운 형태의 센서(라이더, 카메라 외에도 3D라이더, 열화상 카메라, 고대역폭 가스센서)를 융합을 통해 모델하는 기술을 개발 (2015.01~2018.06, € 3,817,417)
- (TRADR 프로젝트) 재난현장에서 다양한 임무가 가능하도록 로봇-인간 협업(Teaming)을 위한 다중로봇 작업모델, 협력모델 등을 개발(2013.11~2017.12, € 11,092,094)

그림 10. EU 주요 재난/안전 프로그램 결과물



우리나라에서는 재난안전에 즉각적으로 대응하고 관련 산업 육성을 위한 다양한 정책을 발표하고 있으며, 특히, 로봇/인공지능 기술 등을 활용하여 새로운 형태의 재난 대응 기술을 확보하기 위한 육성정책을 마련하여 추진 중에 있다.

- 제4차 국가안전관리기본계획(2020~2024, 중앙안전관리위원회)에서는 미래·첨단 재난안전 산업육성 및 기술개발을 주요 정책으로 포함하고, 로봇·드론 등 지속적인 R&D 지원 방안을 마련
- 제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(2018~2022, 범부처) 등의 발표를 통해 로봇·인공지능을 기반으로 한 미래·신종재난에 대한 대응 기술 확보를 위한 육성정책을 마련
- 제3차 지능형 로봇 기본계획(2019~2023)에서는 서비스로봇 분야에서 니치 마켓(Niche Market)형 10분야 중 안전로봇 분야를 핵심분야 중 하나로 선정하여, 화재진압을 위한 로봇 개발 추진

- 제2차 화재안전정책 기본계획(2022~2026)은 ICT·IoT·AI·로봇 등 기술의 발전 등과 같은 소방환경 변화를 고려한 기본계획으로, 화재안전 인프라 확보를 위하여 미래 화재안전 기술 개발 보급을 주요 정책으로 마련
- 2021년 재난 및 안전관리 시행계획에서는 로봇 및 인공지능 기술(행정안전부, 기상청, 해양수산부 등 8개 부처 248억 원) 투입을 통해 재난상황 대응에 필요한 로봇활용기술 개발을 추진하고자 함

그림 11. 국내 주요 재난/안전 관련 주요 정책

구분	국방로봇	농업/탐사로봇	안전로봇	검사/유지로봇
대표적용 분야	국방	농축산업, 탐사	재난, 구조	에너지 분야 등
로봇제품	 [지뢰제거로봇]	 [시설원예로봇]	 [재난지역 탐색로봇]	 [태양광패널 유지보수로봇]
	 [활주로 제조로봇]	 [극한지로봇]	 [재난지역 구조로봇]	 [전력선 유지보수로봇]
유관부처	국방부, 방사청	농림부, 해수부, 국토부, 농진청 등	소방청, 경찰청	산업부 등

비전	365일 전 국민 안심사회
목표	안전책임을 다하는 정부 / 스스로 안전을 지키는 국민 / 재난에 강한 안전공동체
핵심지표	재난-안전사고 사망자 40% 감축
4대 전략 및 17개 중점 추진과제	<ul style="list-style-type: none"> ■ 안전위약계층 보호·지원 ■ 국민 참여형 재난안전 교육·훈련 ■ 국민 안전권 보장기반 마련 ■ 안전관리계획의 실행력 제고
전략 1. 포용적 안전관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국민생명 지키기 3대 프로젝트 ■ 미세먼지 감축 및 먹는 물 수질관리 ■ 생활주변 안전환경 조성 ■ 일상생활 속 안전문화 확산
전략 2. 예방적 생활안전	<ul style="list-style-type: none"> ■ 재난대응체계 혁신 ■ 육상·해상 현장대응역량 강화 ■ 지자체-민간 재난관리역량 확대 ■ 재난현장의 정보·소통체계 개선
전략 3. 현장중심 재난대응	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미래·첨단 재난안전 산업육성 및 기술개발 ■ 대형 복합재난으로부터 회복력 확보 ■ 기후변화에 대한 선제적 대응 ■ 대규모 재난 관리역량 강화 ■ 국제협력 증진 및 해외재난으로부터 국민 보호
전략 4. 과학기술 기반 재난관리	

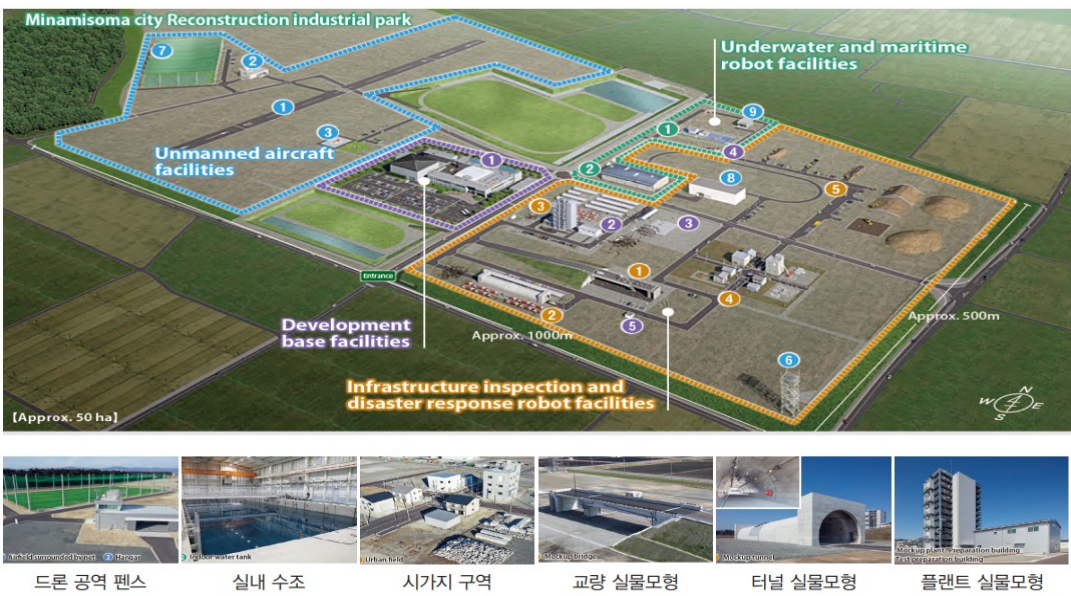
제4차 국가안전관리기본계획(행안부)	제3차 지능형 로봇 기본계획(산업부)
<p>비전 SMART 기술개발로 '국민 맞춤형' 안전복지 구현</p> <p>목표 국민 삶의 질 향상을 위한 재난안전기술 개발 및 환경 조성</p> <p>추진전략</p> <ul style="list-style-type: none"> I. 국민안전 확보를 위한 맞춤형 서비스 개발 (안전서비스) II. 미래 신종재난 대비 재난안전기술 선진화 (안전기술) III. 현장 실용화 중심의 안전생태계 구축 (안전산업) <p>관리과제(종합계획의 실효성 강화)</p> <ul style="list-style-type: none"> ㉠ 범부처 연계협력체계 구축 ㉡ 성과관리체계 구축 	<p>정책비전 화재로부터 안전한 나라</p> <p>목표 2026년 화재 사망자 수 2022년 대비 10% 저감</p> <p>추진전략</p> <ul style="list-style-type: none"> 화재안전 제도개선 <ul style="list-style-type: none"> ● 화재위험특성 기반의 특성소방대상물 안전기준 마련 ● 민간점검업 등록기준 개선 및 화재안전 성능 강화 ● 화재대비 시설 등의 안전성 확보 ● 위험물안전관리 규제 내실화 안전한 환경조성 <ul style="list-style-type: none"> ● 주거공간의 화재안전성능 강화 ● 다중이용업소 인명피해 방지를 위한 화재안전관리 강화 ● 소방공무원 소방기술자 등의 전문성 확보 ● 위험물안전관리자 등의 책임성 및 역량 강화 대국민 화재예방 홍보교육 <ul style="list-style-type: none"> ● 주거공간의 화재안전성능 강화 ● 다중이용업소 인명피해 방지를 위한 화재안전관리 강화 ● 소방공무원 소방기술자 등의 전문성 확보 ● 위험물안전관리자 등의 책임성 및 역량 강화 화재안전 인프라 확보 <ul style="list-style-type: none"> ● 미래 화재안전 기술 개발보급 ● 국가화재안전기준센터 건립 ● 국가기술인원센터 운영 활성화
제3차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획(행안부)	제2차 화재안전정책 기본계획(소방청)

그림 12. 미국, 일본의 재난대응로봇 관련 인프라 현황(참고)

- 미국 국립표준기술연구소(NIST, National Institute of Standards and Technology)의 로봇실험센터 조성 현황 및 실험시설 세부 현황



- 일본 FIPO(Fukushima Innovation Coast Framework Promotion Organization)의 후쿠시마 로봇 테스트 필드 조성현황 및 실험시설 세부 현황



* 출처: 국립재난안전연구원(2021.07)

그림 13. 일본 로봇 테스트필드 개념도 및 주요 기능(참고)

• 개념도



• 주요 기능

시설 및 장비	주요 기능
드론 구역 • 활주로 [L500×W20m] • 안전망 구비된 비행장 [150×80×H20m] • 추락 테스트장 [L680×W200m] • 엘리포트 [40×25m] • 연속비행 내구성 시험 구역 [10×10×H5m]	• 활주로와 비행장을 활용한 기본 비행 테스트 • 추락예방, 충돌방지, 비상착륙 및 낙하물 등에 특화된 비행 테스트 • 10km 이상의 비행구간 제공 • 드론(Wi-Fi, 휴대용 수신)을 위한 통신 환경 유지 • 지면부터 150m 상공까지의 풍향 및 풍속 관련 정보 제공 • 외부에서 외부인과 협상할 수 있도록 오픈레이더 지원
인프라 조사 및 재난 대응 구역 • 터널 [L50×W6m] • 다리 [L50×W10m] • 전차와 산사태 • Mock-city 구역 : 거주지 및 빌딩 • 플랫폼 [10×10×H30m]	• 터널, 다리, 도로, 시가지, 거주지, 빌딩과 플랫폼 등의 점검과 유지보수, 통행로 확보를 위한 장애물 제거 및 정찰 및 구조를 위한 훈련 제공 • 바람, 불, 연기, 가스 누출(방폭 실험을 위한), 압축 상황을 포함한 다양한 상황의 시뮬레이션 • 산사태, 모래, 진흙, 암석, 콘크리트 잔해, 부러진 나무들, 버려진 차량들, 부러진 전선주, 균열, 흙물 등 다양한 장애물 및 환경 구축 • 전력 공급, LAN연결, 카메라 모니터링, 스피커, 조명등 탑재 차량, 크레인 트럭과 유지보수실 등을 포함한 여러가지 지원 장비 제공
ROV, AUV 및 무인선 구역 • 침수지역 [50×25×D1m] • 조류 통제가능한 실내 대형 수조 [30×12×D8m] • 탁도 조절가능한 실내 수조 [5×3×D2m]	• 대형 실내 및 실외 수조 내의 기본 기능성 테스트 • 수중 구조물의 점검 및 유지보수 • 덤이나 강물의 조력, 탁도 및 빛기 시뮬레이션 제공 • 수중 탐사 및 구조 훈련 제공(수중 mock-city 및 차량)
기본 개발 장비	• 기본 측정장비, 환경 내구성 테스트 장비와 공정 기계 • 무반향 챔버, 3축 동시시스템, 방폭 테스트 장비 등 특수 측정 장비 • 연구실, 사무실, 화상회의실, 숙박시설과 참고 구비

- 2020년 4월에는 일본 후쿠시마현에 세계 최대 규모를 자랑하는 '후쿠시마 로봇 테스트필드(실증시설)'를 전면 개소
- 총 21개 시설로 이루어져 있으며, 육·해·공 분야의 다양한 로봇을 개발 및 실증하는 국립 센터로서의 거점 역할을 담당하며, 2020년 7월까지 22개 기업 및 대학의 R&D 사무소를 설치·운영할 계획
- 총 50헥타르(약 15만평) 규모의 광대한 부지에 건설했으며, 약 13km 떨어진 '나미에 마치'에는 활주로와 격납고가 설치되어 있음
- 2020년 3월말 풍동 실험동과 실내 수조, 시험용 교량 등을 갖춰 전체적으로 21개 시설이 완성되었으며, 활주로, 비행장, 도심(시가지) 필드, 터널, 시험용 플랫폼 등을 '무인 항공기 지역', '개발 지역', '수중·수상 지역', '인프라 재해 대응 지역' 등 4개 영역으로 배치되어 있음
- 신에너지·산업기술융합기술개발기구(NEDO, New Energy and Industrial Technology Development Organization)는 사업자의 시스템을 통한 드론의 운항 관리 시스템의 구축을 추진하며, 연구동에는 기업 16개사, 대학, 연구기관이 입주해, 2020년 7월까지 6개 기관이 입주
- 또한 후쿠시마 시 차원에서 시연을 위한 시설 제공과 훈련 및 다리, 터널, 댐, 강, 평지 및 언덕을 포함한 후쿠시마 내 지원 시설 및 장소를 제공함으로써 로봇 관련 비즈니스를 수행하는 기업, 대학, 연구소와 유동, 인프라 조사 및 재난 대응 분야의 실용 연구를 지원함

* 출처: 후쿠시마현 로봇산업촉진단, 일본 상공업노동부 / 한국로봇융합연구원

II 재난대응로봇의 개발 및 상용화 동향

1. 경비, 순찰 등 보안 분야

보안 분야 로봇은 경비 및 순찰용으로 구분할 수 있다. 주로 건물/시설물의 경비, 순찰용으로 활용하기 위해 개발이 되고 있으며 최근에는 인공지능을 기반으로 안면인식 등 범죄에 활용되는 경찰용으로도 활발히 연구가 진행되고 있다. 실내·외 자율주행 다족 및 모바일 플랫폼에 비전 센서와 환경인식 센서를 기반으로 영상, 음성 데이터 전송이 적용된 시스템기술이 많이 활용된다. 또한, 경비 및 순찰 등 경찰 지원용 활용에서 옴론(Omron)사의 실내 자율주행 로봇(보안·안내·청소)과 같이, 용도가 확대될 것으로 전망된다.

표 15. 최근 주요 경찰로봇 실전 활용 동향

지역	두바이 경찰청 (UAE)	베이징 공안 (중)	베이징 공안 (중)
제품 사진			
활용 내용	<ul style="list-style-type: none"> 얼굴 인식 기능으로 범죄자를 찾거나 범죄 발생 신고를 할 수 있는 '인공지능 로봇 경찰관'을 도입 (2017년 5월) 2030년까지 전체 경찰 인력의 25%를 로봇으로 대체할 계획 	<ul style="list-style-type: none"> 가드 레일 이동형, 불법 주차나 비상 차선 주행 등의 도로 교통 위반 저지 테스트 결과 효과적으로 판단되어 2017년 도입 	<ul style="list-style-type: none"> 베이징의 번화가 왕푸징(王府井) 대로 남구에 탱크 모양의 순찰로봇을 활용하여 정해진 경로를 따라 거리 순찰 (2019년 8월)
지역	창이공항 (상)	상하이 황푸(黄浦) 공안 (중)	난징 경찰 (중)
제품 사진			
활용 내용	<ul style="list-style-type: none"> 창이공항 내 보안 및 교통정리를 지원하는 로봇 테스트 중 (2019년 6월) 	<ul style="list-style-type: none"> 코로나-19 확산에 대응하기 위해 '스마트 공안(경찰)'과 손잡고 드론 순찰, 경찰로봇 음성 안내를 실시 (2019년 7월) 	<ul style="list-style-type: none"> 난징 中山北로 도로변에 로봇 '사오징'이 교차로에서 교통정리/ 위반 차량 단속 등 (2019년 7월)

지역	싱가포르 경찰청 (싱)	샤먼시 공간 (중)	원저우 교통경찰 (중)
제품 사진			
활용 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 코로나-19에 대응하여 거리두기 준수 및 순찰을 위해 외국인 노동자 기숙사, 정부 검역시설 등에 투입(2020년 5월) • 싱가포르 육상교통청은 호강 MRT역 순찰에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 샤먼시는 중시(市)에서 처음으로 산(中山)로, 쓰밍(思明) 공간 지사에 5G 경찰 로봇 '루샤오징(鹭小警)'을 도입 • 음성 안내, 사기 근절 등의 캠페인에 활용 <2019년 10월> 	<ul style="list-style-type: none"> • 원저우(温州)시 교통경찰은 '스마트 동태 교통 위법 심사 로봇'을 도입해 운영<2018년 11월>
지역	허베이성 한단(邯鄲)시 (중)	철도특별사법경찰대 (한)	SRI 인터내셔널 (미)
제품 사진			
활용 내용	<ul style="list-style-type: none"> • '한단 로봇 교통경찰' 운영식 개최 <2019년 8월> • 로봇 교통경찰은 도로 순찰, 차량 관리 자문, 사고 경계로 구분하여 운용 예정 	<ul style="list-style-type: none"> • 철도특별사법경찰대가 주최하는 철도 경찰로봇 발대식 개최 <2018년 10월> • 철도 치안 및 방범에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 경찰과 운전자가 직접 대면하지 않고도 차량 검문이 가능한 로봇 시제품 개발 <2019년 5월>

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)

보안 분야 로봇은, 2010년 중반부터 미국에서 민간 수요 중심으로 상용화가 진행되었고 2010년 후반부터는 일본, 중국, 싱가포르 등을 중심으로 개발이 빠르게 진행되고 있다.

일본의 경우 부동산 관리회사·보안경비회사에서, 중국, 싱가포르에서는 경찰 중심의 공공 수요를 중심으로 로봇기술을 융합하여 개발을 진행하고 있다. 우리나라는 인공지능, 빅데이터 등 ICT 기술의 융합을 기반으로 로봇 적용 등 실용화를 위한 로봇 검증 중심으로 진행되고 있는 실정이다.

표 16. 국가별 보안 분야 로봇 개발 현황

미국/유럽	일본	중국	아시아	한국	
제품: 기업명 보안로봇 e-vigilante: EOS Innovation(프)	제품: 기업명 자율주행 경비로봇 '패토로(PATORO)': ZMP(일)	제품: 기업명 고속도로 순찰로봇: 베이징 경찰(중)	제품: 기업명 순찰로봇 '후이엔(慧眼): 시베이유전(중)	제품: 기업명 경찰로봇: 두바이 경찰청(UAE)	제품: 기업명 자율주행 경비로봇 '디봇 코스(D-Bot Corso): (주)도구공간
					
경비로봇 K5(K7): Knightscope(미)	자율이동 경비로봇(REBORG-Z): ALSOK(일)	순찰로봇 '메이바오(梅宝):' BAAC(중)	5G 순찰·모니터링 로봇 '타이탄(Titan)': 터미너스(TERMINUS)(중)	자율 보안로봇 솔루션 '마타르': ST 엔지니어링 등(싱)	레일로봇: (주)원성 등(한)
					
아웃도어 자율 모바일 보안 로봇 '로미오(ROAMEO): 로보틱 어시스트 디바이스(RAD)	자율주행 순회용 보안로봇 '세콤 로봇 X2': 세콤(일)	순찰 AI 로봇: JD디지털 (JD Digits)(중)	'5G+VR' 결합 순찰로봇: 귀왕항저우공전회사(중)	순찰로봇 S5: 아델코 시큐리티(싱)	실외 무인 경비로봇 플랫폼: 레드윌테크놀로지(한)
					
실외보안로봇 S5.2 시리즈: SMP Robotics(미)	아바타로봇 '유고(ugo):' 미라 로보틱스 (Mira Robotics)(일)	실내 스마트 순찰로봇 '샤오우': 바이두(중)	경찰로봇 '샤오징(小警):' 난징 경찰(중)	교통경찰로봇: 장이공행(싱)	철도경찰로봇 네오(NEO): 퓨처로봇(한)
					
차량감문용 로봇: SRI 인터내셔널(미)	자율주행 감시로봇: 사프(일)	순찰로봇 'Wall-E': 황푸(黄浦) 공간 / 원저우공항	'교통 법규 위반' 판별로봇: 레이나오(Leinao) 등 (중)	교통경찰로봇: '로데오(Rodeo)' (인도)	2018년 철도경찰로봇(NEO) 시연회
					
산업현장 순찰로봇 ROVeO: 로벤소(Rovenso)(스)	복합형(청소·경비·안내) 서비스 로봇: 옴르(일)	방범 순찰로봇: 베이더우완춘스마트 로봇연구유한회사(중)	스마트 순찰로봇: 베이징 전로통신연구원 (CRSCD)(중)		
					

* 출처: 로봇신문, SECURITY News Desk, 비즈니스 인사이드 등 기사 및 각 사 홈페이지 참조

2. 소방, 구조, 폭발물 처리 분야

소방, 구조, 폭발물 처리 분야의 재난대응로봇과 관련하여 소방로봇은 2000년대 초부터 개발이 시작되어 최근에 프랑스, 중국, 일본 등을 중심으로 소방 분야에 도입되어 실전에 배치되거나, 소방로봇 운영을 위한 별도의 조직을 만들어 활용되고 있다.

표 17. 국가별 소방로봇 개발 현황

제품명: 기업	주요 특징	제품명: 기업	주요 특징
소방로봇 Colossus: 샤크 로보틱스(Shark Robotics)(프) 	<ul style="list-style-type: none"> 1,000피트(약 304미터) 떨어진 곳에서도 원격 제어가 가능하며 모듈 방식으로 설계돼 작업 성격에 따라 새로운 모듈로 교체 가능 	소방로봇: 시틱그룹(CITIC Group)(중) 	<ul style="list-style-type: none"> 이 소방로봇은 와이드형 캐터필러를 갖췄으며 최고 시속 15km로 주행, 물 분사 최대 거리가 110m 고온에도 버티면서 스스로에게 물을 분사해 몸체의 온도를 낮출 수 있음
소방로봇시스템: 미스비씨중공업 등(일) 	<ul style="list-style-type: none"> 분당 4,000리터의 물을 분사, 일본 최대 규모의 석유 탱크 시설에 50m 정도까지 접근해 화재 진압 가능 	소방로봇: '중신중공(中信重工)'(중) 	<ul style="list-style-type: none"> 폭발소방정찰로봇은 중국 내에서 유일하게 폭발물을 방지하면서 소방까지 할 수 있는 이중 기능의 소방로봇
소방로봇시스템: 밀렘 로보틱스 (Milrem Robotics)(에스토니아) 	<ul style="list-style-type: none"> 분당 2,000~2만 리터(L)의 소화액을 분사, 안전한 거리에서 열화상 및 적외선 카메라 등 다양한 카메라를 통해 전체 영상을 수신하는 소방관에 의해 원격 조종 	소방로봇: 난양방폭전기연구소(CNEx)(중) 	<ul style="list-style-type: none"> 폭발과 고온, 고압, 독성 기체 등에 견디면서 소방 작업 수행 가능, 원격 제어 소방방폭로봇 등은 중국에서 가장 높은 기술력을 가진 것으로 평가
소방 솔루션: Aeronex(라트비아) 	<ul style="list-style-type: none"> 물 공급 및 전력 공급 등 2개의 호스카 드론에 연결, 지상에서 물 및 전력 공급 6분 이내에 300m까지 도달 	소방로봇: 내몽골자치구 톨아오시(중) 	<ul style="list-style-type: none"> 소방로봇을 운영하는 '리런부대'는 20.4월 조직됐으며 7대의 정찰로봇, 2대의 정찰 드론, 1대의 운송차로 구성, 총 2,000여 만 위안(약 34억 4천만 원) 이상의 가치
소방 다중 로봇시스템 URAN-14: JSC 766 UPTK(러시아) 	<ul style="list-style-type: none"> 무게 14톤, 240 마력, 최고 속도 12km/h 소방펌프 성능 2,000l/min, 수류의 범위 50m 이상 35m 이상의 고형 발포체 범위 	소방로봇: 베이징 스징산구 소방구조팀(중) 	
소방로봇 Thermite: 허우엔허우 테크놀러지(미) 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 고화질 및 적외선 비디오로 화재 현장 정보를 제공하며, 컨트롤러로 원격조정, 최대한의 제어를 통해 위험한 지형을 횡단하고, 까다로운 지형을 탐색(360도 열차폐 보호 기능) 	소방로봇: 광저우 소방인명구조팀(중) 	

* 출처: 로봇신문, SECURITY News Desk, 비즈니스 인사이드 등 기사 및 각 사 홈페이지 참조

특히, 소방로봇은 2019년 4월 파리소방여단(BSPP, The Paris Fire Brigade)이 프랑스 노트르담 성당 화재에 활용함으로써 세계적으로 관심이 매우 높아졌고 '구조로봇'은 수상 사고 등 재난 현장에서 활용을 목적으로 하고 있으나 아직 현장 활용에 성공한 사례는 미미한 수준이다.

2017년 9월 멕시코 지진 당시 멕시코 정부의 요청으로 카네기 멜론대(Carnegie Mellon University)의 뱀 로봇(Snake Robot)이 투입되었으나, 한 차례 정도 활용되었고 큰 역할을 하지 못한 것으로 알려졌다.

그러나 최근 UGV(Unmanned ground Vechicle)형, 휴머노이드형, 4족 보행 로봇 등 기술이 발전됨에 따라 재난 현장에서의 활용은 빠르게 이루어질 것으로 전망된다.

표 18. 국가별 구조로봇 개발 현황

UGV 형태	수상구조로봇	휴머노이드형/4족 보행 로봇 형태
제품명: 기업 재난구조로봇: Aunav(스페인)	제품명: 기업 수상구조로봇: 포워드(FORWARD)·웨이난(渭南) 소방구조팀	제품명: 기업 4족 보행 로봇 'ANYmal': 취리히 연방 공과대학(ETH Zurich)(스위스)
		
재난대응로봇 'FLIR PackBot': Teledyne FLIR(미)	인명구조수중로봇: 베이하이 구조국(중)	재난대응로봇 'Cheetah': 매사추세츠 공과대학(MIT)(미)
		
재난구조로봇 '스모크봇(SmokeBot)': 외레브로 대학(Örebro University)(스웨덴)	수상인명구조로봇 'JHW-12': 쑤저우 타이후(太湖) 해군(중)	2족 보행 휴머노이드 로봇 'Atlas': 보스턴 다이내믹스(Boston Dynamics)(미)
		

UGV 형태	수상구조로봇	휴머노이드형/4족 보행 로봇 형태
제품명: 기업 재해현장용 양팔로봇: 오사카 대학(일)	제품명: 기업 잠수수색로봇 훈련: 후베이성 상양(襄陽)시 소방부대(중)	제품명: 기업 재난구조용 휴머노이드 로봇 'E2-DR': 현대(일)
		
전천후 이동 로봇 'OzBot Titan': 디킨대학(Deakin University)(호주)	수중구조로봇 '하이툰(海豚) 1호': 원저우(YUNZHOU)(중)	Snakebot: 카네기 멜런 대학(CMU)(미)
		
재난구조로봇: HRG(중)	수상구조로봇: 빅코(주)(한)	
		
재난구조로봇: 중국과학원 심양자동화연구소	해양사고대응로봇: 해양경찰연구소(한)	
		

* 출처: 로봇신문, SECURITY News Desk, 비즈니스 인사이드 등 기사 및 각 사 홈페이지 참조

폭발물처리로봇은 군사적 목적으로 활용되었으나 대테러에 따라 경찰용으로도 많이 활용, 도입되고 있는 상황이다.

표 19. 국가별 폭발물처리로봇 개발 현황

국가	현황				
브라질	<ul style="list-style-type: none"> 2013년 '엔데버 로보틱스'(아이로봇으로부터 분사)로 부터 'Packbot' 30대를 2014년 월드컵, 2016년 올림픽을 대비하여 도입했으며, 최근에는 마약거래상들이 경찰이나 라이벌 갱단과의 전쟁 시 폭발물을 설치하는 경우가 많아 이들 폭발물 제거에 활용하고 있다. <2017년 4월> 				
중국	<ul style="list-style-type: none"> 쓰촨성 경찰 특수부대도 EOD 로봇을 활용하여 가치역 폭발물 제거 가상훈련을 실시한 바 있다. <2019년 1월> 				
인도	<ul style="list-style-type: none"> 2008년 뭄바이 테러 공격 이후 경찰 현대화 계획에 따라 뭄바이 경찰 '폭발물 탐지처분반(BDDS)'이 3대의 EOD 로봇을 활용하고 있다. <2018년 12월> 				
홍콩	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 2월 홍콩 지하철역에서 폭발물로 의심되는 물체를 발견하고, 홍콩경찰이 EOD 로봇을 투입하여 폭발물을 해체한 바 있다. 				
한국	<ul style="list-style-type: none"> 한울로보틱스가 국방부 특수전사령부와 MOU를 체결하고 국제평화지원단에 EOD 로봇 3대, 훈련장 관제시스템 1식을 '시장창출형 로봇보급사업'(2012~2013년)으로 설치·운영하며 성능 개선을 지속적으로 추진하였다. 한화지상방산(주)는 2017년 방위사업청과 함께 '폭발물 탐지/제거 로봇'의 탐색개발에 착수하였다. <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>한울로보틱스 - EOD 로봇</td> <td>한화지상방산 - EOD 로봇: (좌)폭발물 제거 / (우)지뢰 제거 모드</td> </tr> </table>			한울로보틱스 - EOD 로봇	한화지상방산 - EOD 로봇: (좌)폭발물 제거 / (우)지뢰 제거 모드
					
한울로보틱스 - EOD 로봇	한화지상방산 - EOD 로봇: (좌)폭발물 제거 / (우)지뢰 제거 모드				

로봇 명칭 <제조사>		
D-3 <DIGGER DTR> (스위스)	BDPR <존스 홉킨스 대학(Johns Hopkins University)> (미)	닥쉬(Daksh) <인도 국방연구개발기구>
		
드래곤 러너(Dragon Runner) <키네틱(Qinetiq)> (영)	마크V-A1(MarkV-A1) <노드롭 그루만(Northrop Grumman)> (미)	팩봇(Packbot) <아이로봇(iRobot)> (미)
		

로봇 명칭 (제조사)		
VR 적용 폭발물제거로봇 (SRI인터내셔널) (미)	저비용 EOD 로봇 (빌라노바 대학(Villanova University)) (미)	EOD 양팔 로봇 KV150 (산티리코(SANTIRICO)) (중)
		
EOD 로봇 (중국 쓰촨성)	EOD 로봇 뱅가드 MK2 (알렌-뱅가드(Allen-Vanguard)) (캐)	EOD 로봇 Rover Mark (SDS(Security Defence System)) (인도)
		

* 출처: 로봇신문, SECURITY News Desk, 비즈니스 인사이드 등 기사 및 각 사 홈페이지 참조

한국은 2010년 중반부터 소방로봇 개발이 진행되었으나 활용은 미미한 상황이고 최근 현재, 한국로봇융합연구원(KIRO)을 주관으로 ‘국민안전로봇 프로젝트’(산업통상자원부) 등 소방방재청과의 현장 적용 중심의 상용화 기술개발이 진행되고 있는 실정이다. 이 과제와 더불어 행정안전부, 경상북도, 포항시 지원으로 ‘재난안전로봇 현장 활용성 증진을 위한 지원 기술개발’도 병행하여 추진 중에 있다.

그리고 한국소방산업기술원(KFI) 주관으로 도심형 소방로봇보급사업(시장창출형 로봇보급사업: 산업통상자원부, KIRIA 전담/ 2011년 4월 ~ 2014년 4월)을 시행하여, 무인방수로봇 18대, 화재정찰로봇 42세트를 전국의 소방관서에 배치하여, 현장 실증을 시행한 바 있다. 하지만 선제적 추진 대비 현장 활용도 등이 미미하여 현재는 보급·확산이 중단된 상태이다.

표 20. 소방로봇보급사업 및 국민안전로봇, 재난안전로봇 현장 활용성 증진을 위한 지원 기술개발

도심형 소방로봇보급사업			
무인방수로봇		무인정찰로봇	
			
특징	<ul style="list-style-type: none"> 진압대원 접근 곤란지역 및 폭발 위험지역 화재진압 업무에 활용 	특징	<ul style="list-style-type: none"> 위험요소가 많고 사전정보가 부족한 건물화재 등의 정찰용으로 활용
제원	<ul style="list-style-type: none"> 중량 169kg, 크기 1.25*0.73*0.75 	제원	<ul style="list-style-type: none"> 중량 2.5kg, 성능 CO, LPG 농도, 온도, 영상정보 등

국민안전로봇 프로젝트

분류	개발 플랫폼	개발 내용	제품 개요
복합 재난 로봇 개발	실내 정찰용 로봇 시스템	- 복합 재난현장에서 실내 정찰을 위한 비행 - 주행로봇 및 무선통신 시스템 개발	
	장갑형 로봇 시스템	- 실내 진입 대원의 인명 보호 및 구조지원, 방재작업 보조를 위한 장갑형 로봇 개발	
	다중 로봇 통합 관제 운용 시스템	- 긴박한 재난현장에서 다수의 복합 재난로봇을 효율적으로 관제 운용하기 위한 시스템 개발	
핵심 부품 개발	농연 가시화 센서	- 화재 붕괴 가스사고 현장의 짙은 연기(농연)를 극복하여 가시거리를 확장하기 위한 센서 개발	
	인명탐지 센서	- 생존자의 유무 및 위치 추정을 위한 인명 탐지 센서 개발	

* (국민안전로봇 R&D 과제)

- ㉠ 복합재난 농연환경 내 환경인지 및 독립 통신망 구축 가능한 비행·환경 극복용 분리합체형 지상 이동 S-robot(Scout robot) 개발(2016~2019년, 80억 원)
- ㉡ 복합재난 사고현장 초동대응을 위한 공간확보 및 작업지원용 F-robot(Fire robot) 개발(2016~2020년, 180억 원)
- ㉢ 복합재난 사고대응 지원용 다중로봇 통합관제 운용 시스템(2016~2021년, 120억 원)
- ㉣ 농연 환경 극복형 시각화 센서 모듈 개발(2016~2018년, 15억 원)
- ㉤ 비가시 영역 인명탐지 센서(2016~2018년, 70억 원)

재난안전로봇 현장 활용성 증진을 위한 지원 기술개발	
<p>개발 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> • 재난안전 로봇 현장 활용성 증진 기술 및 지원 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 로봇 활용/운용 시나리오 및 교육기술 개발 - 로봇 규격서 및 실증시험장 활용 시범교육 실시 - 조기 상용화 아이템 지원(지방비) • 재난안전로봇 사용자 훈련 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 로봇훈련시스템 하드웨어 개발 - 로봇훈련 시뮬레이터 개발 - 통신 시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • 붕괴 지역 이동 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 평지, 자갈밭, 건물 잔해물, 협소 지역 등 주행 - 사용자 직관적인 주행보조 기능이 탑재된 조종기 • 매몰자 탐지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 효율적인 주변 상황 인지를 위한 어라운드 뷰 합성 - 생존자 탐지를 위한 복합 센서(음향, 가스, 온도 등) 데이터 제공 • 골든타임 연장 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 매몰자 위치/상태 확보, 구호품 공급
<p>개념도</p>	

* 출처: 한국로봇산업진흥원, 한국로봇융합연구원

추가로 터널, 도심 지하 시설, 자연 동굴 등 지하 공간에서의 사고 발생 시 활용 가능한 로봇에 대한 경진대회인 미국 국방부 산하의 국방고등연구계획국(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)이 주최하는 SubT 챌린지(Subterranean Challenge)에서 재난대응로봇의 미래 기술들이 등장했다. 경진대회에 출품된 로봇은 바퀴형/트랙형/4족형/드론 4가지로 분류할 수 있으며, 4족 보행기술을 잘 활용한 팀이 우승/준우승함으로써 향후 4족 보행 로봇의 실제 활용이 가까워졌음을 알 수 있다.

화재로 인해 발생하는 연기 및 분진 등으로 시야가 확보되지 않는 상황에서 주변 상황을 인지할 수 있는 가시화 기술로는 주로 적외선 열화상 센서가 활용되고 있으며, 융합형 센서는 아직 상용화 되어 있지 않다. 열화상 센서는 고열의 연기 및 유리로 인한 반사 등 사용의 한계가 명확하여 융합형 센서의 요구가 높은 현재 기술 및 시장 선점을 위한 해당 기술의 확보가 필요한 상황이다.

표 21. 대표적 4족 보행 로봇 및 적외선 열화상 센서

	SPOT		ANYmal		Big Dog	
사진						
특징	구매 가능, SubT 챌린지 준우승팀 활용		DARPA SubT 챌린지 우승팀 독자 개발		유압 구동으로 큰 페이로드	
대표 사양	크기	110 x 50 x 61 cm	크기	80 x 60 x 70 cm	크기	110 x 30 x 100 cm
	무게	32.7 kg	무게	30 kg	무게	109 kg
	보행속도	5.76 km/h	보행속도	3.6 km/h	보행속도	11.5 km/h
	운영시간	90 ~ 180분	운영시간	120 ~ 240분	운영시간	약 150분
	장애물 극복	높이 30 cm, 경사 30도	장애물 극복	높이 25 cm, 경사 30도	장애물 극복	경사 60도
	페이로드	14 kg	페이로드	15 kg	페이로드	154 kg
	FLIR(미국)		L3(미국)		BAE(미국)	
사진						
대표 사양	해상도	320 x 240	해상도	320 x 240	해상도	640 x 480
	픽셀피치	25[um]	픽셀피치	37.5[um]	픽셀피치	28[um]
	열감도	30[mK]	열감도	50[mK]	열감도	50[mK]
	DRS(미국)		Raytheon(미국)		Teledyne(미국)	
사진						
대표 사양	해상도	640 x 480	해상도	320 x 240	해상도	640 x 480
	픽셀피치	17[um]	픽셀피치	25[um]	픽셀피치	17[um]
	열감도	50[mK]	열감도	30[mK]	열감도	50[mK]

* 출처: 한국로봇융합연구원(2022)

3. 원자력 대응 분야

2011년 3월에 동일본 대지진으로 후쿠시마 원전 건물 내에 약 12만 톤에 달하는 고농도 오염수가 고였으며, 1년이 지난 시점에서도 후쿠시마 원전 반경 20km 근처에는 인간이 접근할 수 없을 만큼의 높은 방사선량이 측정되었다. 이에 따라 원전시설 내부 검사 등을 위한 원전대응로봇이 투입되었다. 또한, 사고 발생 다음날 지진 피해자 구출 등을 위하여 뱀형로봇 등이 투입되었으나 활용되지 못하거나 대부분 일본 개발품이 아닌 미국산으로 알려져 일본 로봇계가 굴욕을 느낀 사례가 있다.

표 22. 후쿠시마 원전 사고 시 투입 로봇

티호크(T-Hawk) <히니웰, Hineywell>	팩봇(Packbot) <아이로봇, iRobot>	워리어(Warrior) <아이로봇, iRobot>	탈론(Talon) <키네틱, Qinetiq>	드래곤 러너 (Dragon Runner) <키네틱, Qinetiq>	쿠인스(Quince) <일본 차바공대>
					

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)

원전대응로봇은 원자력 시설(원자로) 내부 및 설비 등을 점검·검사 및 보수하거나, 방사능 유출 등 사고 발생 시 모니터링, 잔해 제거 등을 수행하며, 원전의 제염 해체 등에 활용되는 로봇으로 정리할 수 있다. 기술적 특징은 내방사선의 특성과 함께 작업 공간이 좁거나 험하고 사람의 접근이 어려워 점에서 가벼운 금속이나 탄소섬유강화 플라스틱 등 경량 소재와 소형 고효율 액츄에이터를 이용한다는 점이다.

표 23. 후쿠시마 원전 사고 이후 원전용개발로봇 현황

원전 작업용 탐사로봇 '사쿠라' (치바(Chiba) 공대)	원전 내부 조사로봇 (혼다자동차 & AIST)	원전 작업 로봇 MHI-MEISTeR (미쓰비시중공업)	원전사고 대응로봇 '벚꽃1호' (치바 공대, 니치)
			
폐원전 연료제거로봇 (히타치 & 히타치GE)	오염물질 제거로봇 '허스크바나' (도시바)	모듈방식 변신 조사로봇 (도시바)	3D프린팅 조사로봇 (도쿄전력관리)
			
원전해체용 수륙양용로봇 (도시바)	핵연료 파편 회수용 로봇 팔 (미쓰비시)	수중조사로봇 mini-Manbo (도시바 & IRID)	뿔대 모양의 조사로봇 (도시바 & IRID)
			

* 출처: 로봇신문 등 각 언론사 기사 및 각사 홈페이지 참조

국내에는 1959년 설립된 한국원자력연구원(KAERI)이 주도하고 있으며 1988년 '원자력ICT연구부 로봇·기기진단 연구실'을 만들어 원자력 시설 내 다양한 검사 및 작업로봇을 개발하고 있다. 최근 원자력 시설의 운용을 위한 전(全) 주기인 유지보수, 사고대응, 제염해체에 적용하기 위한 여러 로봇들을 연구·개발 중이며 실제 현장에서 활용하기 위한 시험시설 보강, 사고 시 기술지원 체계 구축, 국제표준화 등도 적극적으로 추진 중이다. 또한 동북아 주변국 원자력 사고에 즉시 대응할 수 있는 무인대응 시스템을 구축·운영할 계획이다.

표 24. 개발 완료 또는 개발 중인 원자력대응로봇 현황(KAERI 개발)

용도	원자로 용기용 수중 로봇 팔	실내 모니터링 로봇	원자로실 점검로봇
용도	드론 탑재 실외 모니터링 로봇	중량물 취급 무인 지게차	원자로 해체용 고중량 취급 로봇 팔
용도	원전 증기발생기 전열관 검사용 이동로봇	K-R2D2 실내 모니터링 로봇	뱀 로봇
용도	핵연료 점검 로봇	원자력 사고대응 로봇 '암스트롱'	
유지 보수용	<ul style="list-style-type: none"> 원전 증기발생기 전열관 검사용 로봇, 원자로 용기 검사용 수중 로봇 팔 등 		
사고 대응용	<ul style="list-style-type: none"> 실외 잔해 제거용 무인화 시스템, 실외 모니터링용 무인화 시스템, 실내 모니터링용 로봇, 중량물 취급용 지게차, 이동성이 높은 전지형차(ATV, All-Terrain Vehicle) 등을 대상으로 무인화 키트, 상용화된 지상 이동 로봇에 3차원 카메라를 장착하여 실내 3차원 지도를 만드는 기술, 드론에 소형 경량의 방사선 센서를 부착하여 오염지도를 만드는 기술 등 		
제염 해체용	<ul style="list-style-type: none"> 고중량 취급 로봇 팔, 고하중 대상물의 고정밀 취급이 가능한 수중로봇 등 		

* 출처: 로봇신문 등 다수의 기사를 참고하여 작성

III 재난대응로봇 활성화 방안

1. 활성화 방안

재난대응로봇은 재난사고에서 국민의 안전과 재산 그리고 소방관의 부상, 생명으로부터 보호하는데 있어 재난의 사전 예방, 조기 발견, 신속한 초동 대응, 구조 및 복구 지원에 활용 가능한 대안으로써 개발과 더불어 활용관점에서 정책 마련이 시급하다.

특히 재난대응로봇은 화재, 지진, 쓰나미, 방사능 유출 등 매우 위험한 작업환경에서 역할을 수행해야 하기 때문에 높은 수준의 기반기술을 요구한다. 또한 정보통신기술(IT), 바이오기술(BT, Bio Technology) 등의 기술과 기계, 원전, 의료 산업과의 유기적인 연계가 필요하고 융합 기반 산업으로 전후방 산업 생태계가 마련되어야 한다.

표 25. 보안 및 재난구조로봇의 산업구조(전·후방 산업)

후방산업(기반기술)	보안 & 재난구조로봇	전방산업(수요처)
<ul style="list-style-type: none"> 방수·방열·방폭·유해가스 극복 산업, 센서산업, 3D 환경정보 관련 산업, 센서·신호처리 산업, 전자기 구동모듈/고속제어기 산업, 유압 구동기, 펌프 관련 산업, 거리계측 융합 센서 산업, 통신 융합 산업 등 	<ul style="list-style-type: none"> 보안로봇 <ul style="list-style-type: none"> - 건물·시설물 경비 - 공공(경찰)용 순찰 	<ul style="list-style-type: none"> 산업인프라, 대형 민간 건물 및 시설, 주요 공공시설 등 경찰, 보안경비업 등
	<ul style="list-style-type: none"> 재난구조로봇 <ul style="list-style-type: none"> - 소방로봇 - 구조로봇 - EOD로봇 	<ul style="list-style-type: none"> 소방구조 및 경찰 조직 등
	<ul style="list-style-type: none"> 원자력대응로봇 	<ul style="list-style-type: none"> 원자력 회사 및 관련 기술지원 회사

* 출처: 한국로봇산업진흥원(2020.08)

재난대응로봇은 연무, 가스, 고온, 방사능 등의 재난 환경에서 특화된 센서를 활용함에 따라, 고기능·신뢰성 있는 센서기술의 고도화가 필요하다. 그리고 인공지능, 빅데이터, 네트워크 기술과의 융합도 반드시 적용되어야 다양한 임무수행이 가능할 것이다.

최근 일본의 경우 민간 보안경비회사가 로봇 개발에 적극적이며 중국과 싱가포르를 경찰에서 활용하여 공공 수요 중심으로 개발과 활용이 두드러지게 나타나고 있다.

이에 따라 특히 재난대응로봇은 현장 실증을 기반으로 고기능과 안전성, 신뢰성이 확보된 로봇제품들이 빠르게 개발·검증되고 시장에 진입되어 국내 및 해외 진출 모색이 필요한 시점이다.

따라서, 재난대응로봇의 활성화를 위해서는 첫째, 성능, 안전성, 신뢰성 등을 위한 표준화와 연계한 연구개발 추진이 필요하다. 둘째, 소방관, 경찰관 등 수요자(실사용자) 중심의 참여에 기반 한 리빙랩 개념의 연구개발이 병행되어야 한다. 셋째, 수요자(실사용자)의 조직과 제도에 재난대응로봇이 활용되고 사용될 수 있도록 조직, 예산, 규정 등 제반이 같이 검토되어야 할 것이다.

2. 기대 효과

재난대응로봇을 통한 과학기술적, 사회적 기대효과로는 아래와 같이 볼 수 있다.

첫째, 과학기술적 기대효과로는 국내 보안 및 재난/화재사고에 대응능력을 향상시킬 수 있는 신기술의 개발 및 보급을 통해 각종 재난사고 및 화재사고 발생 시 인명/재산피해를 최소화하기 위한 기반 기술과 재난대응로봇의 개발 등을 통해 재난/화재사고에 대한 적극적인 대응 기술 확보가 가능할 것이라는 점이다.

협소지역 검사를 위한 대테러 사회 안전용 로봇, 협소지역 위험물 탐지를 위한 군사용 로봇, 협소지역 탐지 및 작업을 위한 산업용 로봇 등 다양한 분야에 적용하여 기술 확대를 함으로써 재난대응로봇 기술 확보를 통해 다양한 사회안전/국방/산업에서 활용 가능한 국가R&D 및 과학기술 역량 제고가 기대된다.

둘째, 사회적 기대효과는 기술 개발을 통해 향후 재난/화재 로봇시장이 선진국에 종속된 시장에서 탈피하고 국내 주도의 재난/화재 안전분야의 선진국으로 도약할 수 있는 기술역량 마련과 상용화 된 기술적용을 통해 신성장 동력 창출 및 지속적인 세계시장 선점을 위한 경쟁우위 확보가 가능하여 재난/화재 안전 관련 원천 및 상용화 기술개발을 통해 관련 산업의 성장을 견인할 전략적 핵심 기술의 경쟁력이 세계 수준에 달할 수 있을 것이라는 점이다.

그리고 화재발생에 따른 위험성을 감소시키고, 효과적인 대응 방안 마련을 통해 인명·자산 피해를 최소화하는데 기여한다. 특히, 로봇은 소방용 물탱크차 등 큰 차량의 접근이 불가능하거나, 붕괴돼 쓰러질 수 있는 구조물에 진입하거나 무거운 소방 호스를 옮겨야 할 경우에도 활용 가능하여 소방관을 투입하기 어려운 지역의 소방/감시 로봇 투입으로 화재의 초기 진압 등 빠른 초동 대처가 가능하며, 재산 및 인명 피해 저감 효과가 기대된다.

또한, 로봇을 활용하여 화재 현장의 상황을 조사하고 초기 진화작업을 소방로봇이 수행한 뒤 소방관이 투입됨으로써 소방관의 소방 현장에서의 소방·구조 작업에 따른 위험을 크게 감소로 인하여 화재에 따른 열, 폭발 위험, 붕괴 가능성 등의 위험한 재해 환경에서 소방관 등을 보호할 수 있을 것이다.

마지막으로 소방로봇이 원격 조정을 통해 고열과 두터운 연기를 뚫고 현장에 훨씬 더 가까이 접근함으로써 소방 정확도 및 소방 효율을 크게 향상시키고, 재난 현장에서 사람이 진입하기 어려운 위험 지역에서의 인명의 탐지, 구조 환경을 모니터링하여 구조 활동을 효과적으로 지원함으로써 원격조정을 통해 소방의 정확도 및 효율성을 증대시키고, 효과적인 구조 활동이 가능할 것이다.

저자_ 손동섭(Dong Seop, Sohn)

• 학력

성균관대학교 기술경영 박사
동아대학교 전기공학(지능제어) 석사
동아대학교 전기전자컴퓨터공학 학사

• 경력

現) 한국로봇융합연구원 책임연구원
前) 한국로봇산업진흥원 수석연구원

참고문헌

〈국내문헌: 가나다순〉

- 1) 경찰청. (2019). 2019년 국내 경비업체 현황.
- 2) 국립재난안전연구원. (2021.07). 재난대응 로봇의 기술개발 현황과 시사점. 재난안전 Policy Review, 제25호.
- 3) 박종원. (2020). 재난대응로봇의 최신 연구동향, 한국원자력연구원.
- 4) 산업통상자원부. (2019.03). 로봇산업 발전방안.
- 5) 소방청. (2019). 소방청 통계 연보.
- 6) 손동섭. (2018.6월)기술과 혁신, 4차 산업혁명 대응 산업용 로봇과 전문서비스 로봇 발전 방향(재난 및 안전로봇), 기술과 혁신, Vol.418. 한국산업기술진흥협회.
- 7) 안전보건공단. (2021.06). 중대사고 이슈 리포트. file:///C:/Users/ADmin/Downloads/[%EC%B5%9C%EC%A2%85]_%EC%95%88%EC%A0%84%EB%B3%B4%EA%B1%B4%EA%B3%B5%EB%8B%A8_%EC%9D%B4%EC%8A%88%EB%A6%AC%ED%8F%AC%ED%8A%B8_2021.06%EC%9B%94%20(1).pdf
- 8) 윈터그린 리서치(WinterGreen Research). 원자력 대응 로봇 시장 전망 보고서 2013-2019.
- 9) 정보통신정책연구원. (2020.09). 재난대응 패러다임 변화에 따른 ICT의 역할 및 정책적 시사점.
- 10) 조재완, 정경민. (2018). 후쿠시마 원전사고에서의 로봇 활용사례. 2011 제어로봇시스템학회 자료집, pp. 1-8.
- 11) 중소기업청·TIPA·Nemo Partners. (2016). 중소기업기술로드맵 2016-2018 첨단융합 / 02 로봇응용
- 12) 통계청. 2019년 상반기 지역고용조사(KOSIS)
- 13) 한국로봇융합연구원 안전로봇실증센터. 재난안전로봇 현장 활용성 증진을 위한 지원 기술개발.
- 14) 한국로봇산업진흥원·한국로봇산업협회. 각 년도 로봇산업실태조사 보고서.
- 15) 한국로봇산업진흥원. (2019.06). 급성장하는 서비스로봇의 안전관리에 관한 조사·분석.
- 16) 한국로봇산업진흥원. (2014). 글로벌 로봇산업 동향과 전망. 로봇 이슈 리포트, 2014-7호.
- 17) 한국로봇산업진흥원. (2020.08). 국민 안전의 지킴이 보안, 재난구조로봇 동향. KIRIA ISSUE Report, KIR 2020-4호.
- 18) 한국산업기술평가관리원. (2015.12). 안전로봇 기술현황과 향후 전망. KEIT PD 이슈리포트.
- 19) 행정안전부. (2012). 2019년 기준 재난/안전산업 실태조사.

〈국외문헌: 알파벳순〉

- 20) Grand View Research. (2022). Fire Safety Equipment Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution (Detection, Suppression), By Application (Commercial, Industrial, Residential), By Region, And Segment Forecasts, 2022-2030.

- 21) IFR. (2019). World Robotics Report 2019.
- 22) NIST. (2016). Standard Test Methods for Response Robots.
- 23) Robin R. Murphy. (2014). Disaster Robotics. The MIT Press.
- 24) WEF. (2020). The Global Risks Report 2020. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf

〈기타문헌(홈페이지 주소 등)〉

- 25) 1boon. (2019.11.04). 인간을 넘어서려는 로봇기술, 보스턴 다이내믹스, 아틀라스.
- 26) 김성현. (2022.01.13). 경찰, 광주 아파트 붕괴 사고 관련 하청업체 3곳 압수수색. 조선일보. https://www.chosun.com/national/national_general/2022/01/13/T63FKJCOLBACBIUXTN7Z2MOYRM/
- 27) 김진오. (2017.09.26). 소방로봇 아직 갈 길이 먼 이유. 디지털타임즈. http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2017092702102351607001
- 28) 김태구. (2013.09.23). 원전 대응 로봇 시장 2019년까지 20배 ↑ 전망. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=909>
- 29) 김태구. (2014.05.25). ‘크랩스타’ 수색구조에 쓸모 없었다고?. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=2643>
- 30) 김태구. (2014.04.18). 재난구조용 수중로봇 아직 갈길 멀어. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/quickViewArticleView.html?idxno=2422>
- 31) 미쓰비시중공업 보도자료
- 32) 박경일. (2017.06.13). 한국원자력연구원 뱀 로봇. 로봇신문. <http://m.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=10896>.
- 33) 박영석. (2022.01.12). [그래픽] 광주 화정아이파크 붕괴 추정 원인. 연합뉴스. <https://www.yna.co.kr/view/GYH20220112002000044>.
- 34) 서현진. (2014.01.13). 로봇대국 일본이 퇴조하는 이유는?. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/quickViewArticleView.html?idxno=1793>
- 35) 손진석. (2019.04.25). 로봇이 살려낸 노트르담. 조선일보. https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2019/04/24/2019042404118.html.
- 36) 심기문. (2022.01.13). 광주시 "붕괴 아파트 철거 후 재시공 검토"...'NO아이파크'도 잇따라. 서울경제. <https://www.sedaily.com/NewsView/260ULIV0AJ>.
- 37) 심영일. (2012.04.16). (미래 & 과학) 후쿠시마 원전사고 1년, 극한작업로봇의 역할. 한겨레. https://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/528463.html
- 38) 이영완. (2016.03.11). 후쿠시마원전 사고 5년...日 로봇산업 일어났다. 조선일보. https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2016/03/10/2016031000065.html.

- 39) 일본 상공업 노동부. 후쿠시마 현 로봇산업촉진단 자료
- 40) 에리카 유(2018.02.20). 中 보안 로봇 수요 높아...산업 전환기 도래. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=13138>
- 41) 위키백과. <https://www.wikipedia.org/>
- 42) 장길수. (2019.04.17). 노트르담 성당 화재 진압에 드론·소방로봇 투입. 로봇신문. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=16948>
- 43) 한국로봇융합연구원 안전로봇실증센터 홈페이지, www.drc.re.kr/introduction/overview.php.
- 44) Aeronex 홈페이지. www.aeronex.com.
- 45) Milrem Robotics 홈페이지. milremrobotics.com.
- 46) Oxford Learner's Dictionary, www.lexi.com
- 47) SMP Robotics 홈페이지. smrobotics.com
- 48) SECURITY News Desk. <https://snd-america.com/>
- 49) United Nations Climate Changes Secretariat 홈페이지. <https://unfccc.int/>
- 50) Asrones 홈페이지. www.asrones.com
- 51) Teledyne Flir 사이트. www.flir.com
- 52) Tread Bololy 사이트. www.howeandhowe.com



융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 May vol.8 no.5



02

ICT 융복합 기술 기반 건물 재난 방지 기술 동향 - 화재 방지 기술을 중심으로 -

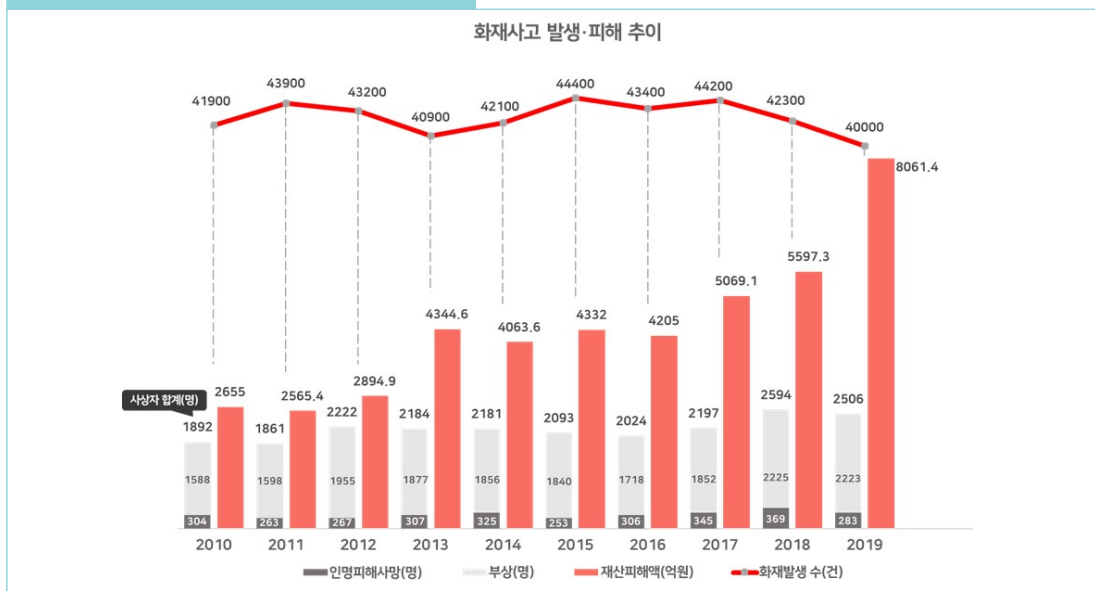
차희성(아주대학교 건축학과 교수)

I 서론

1. 건물 화재 방지 기술의 필요성

소방청에서 발행한 화재 사고의 발생 및 피해에 관한 통계 자료에 따르면(〈그림 1〉 참조), 연간 약 4만 건 이상의 화재 사고가 매년 발생하고 있으며, 그에 따른 피해액 규모는 꾸준히 증가하고 있다. 특히, 화재 사고로 인한 사망자는 연간 300명에 육박한다는 사실을 알 수 있다. 재산피해의 경우, 10년 전과 비교했을 때, 약 3배 이상으로 그 증가 규모가 더욱 심각함을 알 수 있다. 건축물의 화재로 인한 피해 규모가 전체 화재 사고 발생의 60~70% 정도를 차지한다는 사실을 감안해 볼 때, 그 피해가 매우 심각하다는 것을 알 수 있다. 이렇듯 건축물의 화재를 사전에 효과적으로 방지한다면 인명과 재산의 손실을 줄일 수 있으므로 건물 화재 대응에 대한 관심이 요구된다.

그림 1. 화재사고 발생 및 피해 추이



* 출처: 소방청(2019)

한편, 산업의 고도화 및 기술의 발전으로 인해 거대화·복합화된 건축물을 주위에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 이러한 건축물의 대형화 및 복합화 현상은 건축물 내부 공간 구성의 복잡성으로 연결된다. 이에 따라, 다수의 건물 이용자들은 과거와 달리 화재 등 건물의 재난 사고에 쉽게 노출되어 있을 뿐 아니라, 재난 발생 시 대형 참사로 이어지는 경우가 빈번히 발생하게 된다. 실제로 대형건물의 내부에서 화재 등 재난이 발생하게 되면, 대피자나 구조자 모두 신속한 판단을 내리기 어려워 즉각적인 대피나 구조행위를 수행하지 못하고 혼란에 빠질 가능성이 매우 크다. 그럼에도 불구하고, 대형건물에 대한 세계적인 수요는 증가 추세에 있으며, 국내에서도 다양한 목적으로 대형복합건물이 꾸준히 등장할 것을 예상할 수 있다. 따라서, 대형복합건축물의 특성을 감안할 때, 보다 체계적이고 심도 있는 재난 대응 방안을 신속히 마련해야 하며, 이를 통해 미래에 발생할지 모르는 화재 등 재난 발생 시 예상되는 대규모의 피해들을 예방하고, 감소시키려는 노력을 각별하게 기울일 필요가 있다.

최근 정부는 기존의 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법」을 「화재의 예방 및 안전관리에 관한 법」과 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법」으로 분법시키는 등 화재사고를 예방하고 이에 대응하기 위한 목적으로 소방제도를 강화하기 위해 노력하고 있다. 그러나 화재사고의 발생 건수와 피해 규모를 획기적으로 감소시키기 위해서는 법적·제도적 장치와 더불어 실효성 있는 재난 방지에 대한 기술적 노력이 수반되어야 한다. 특히, 대형 복합 건물의 재난에 효과적으로 대응하기 위해서는 현행 화재관리시스템의 선진화를 통해 효과적인 방식의 화재 대응 방안을 정립하기 위한 지속적인 기술 개발이 필수적이다.

2. 현행 건물 화재 대응 방식의 한계

현재 이행하는 건물의 화재 대응은 주로 인력에 전적으로 의존하고 있다. 즉, 인근 소방서에서 제공한 건축물의 설계도서와 매뉴얼을 기반으로 화재 대응 계획을 수립하는 방식으로 이루어진다. 그러나 이는 화재 발생 이전에 예측 가능한 소수의 특정한 상황에 대한 대응만 가능하다는 한계를 지닌다. 더욱이 화재 진압 시 사전에 제공된 도면을 모두 파악하고 숙지하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 정보의 활용보다는 단순히 매뉴얼에 맞추어 구조 활동을 진행하는 것에 그치고 있다. 즉, 다수의 돌발 상황이 발생하는 현장에서 신속하고 정확한 상황판단을 기대하기 어렵게 만들어 효과적인 대응을 저해하는 요인이 된다. 무엇보다도 현행 화재 대응이 소방관 개인의 능력치에 의존하는 경향이 크다는 점은 소방 현장 대응 면접 조사 결과에서도 문제로 지적된 바가 있다(한국화재소방학회, 2018). 다음의 <표 1>은 최근 일선 소방관들을 대상으로 실시한

면접조사를 통해 얻은 대응 주체별 문제점을 나타낸 것으로, 구조 활동 시 가장 중요하다고 생각되는 요인으로는 소방관의 체력, 신체 능력, 판단 능력 등 소방관 개인 능력에 관련된 항목이 큰 비중을 차지함을 확인할 수 있다.

표 1. 화재 현장 대응 시 핵심 문제점

대응 주체	문제점	
	분야	세부사항
현장 지휘관	기본역량	우수인력 확보 부족
	경험	경험 연속성 유지 부족
	교육	현장지휘관 교육 실습 비율 낮음
	훈련	실질적 지휘훈련 미흡
	정보	상황전달/무선통신 문제
	집중환경	상급기관 및 언론 대응 문제
소방대원	대응능력	체력 유지 문제
	업무분류	진입대원 구조능력 부재
	일과표 준수	일상훈련 반복 숙달 부족
	훈련 효과	단순한 형식위주 교육훈련
	팀 단위 훈련	소방대원 전체적 규모 훈련 부족
전술 및 장비	초기대응	대형화재 초기 소방력 대응 미약
	구조공백	구조대 출동거리, 타 업무
	방수량	40mm 사용, 부족한 진입인력
	차량	좁은 공간 사용가능 구조차량 필요성
	정보/자료	출동 시 파악 어려운 자료 구성
	진입경로	외부파괴 진입 경로 판단 어려움

현장의 화재 진압 및 대응 방식에 대한 개선이 필요한 항목으로 인력과 장비의 문제점이 지적되고 있는 경우가 일반적이다. 이는 화재에 효과적으로 대응하기 위해 전술적/기술적 차원의 접근이 요구되기 보다는 현장 지휘관, 소방대원 등 구조자의 능력 및 경험을 바탕으로 한 대응이 중요하다고 인식된다는 것을 알 수 있다. 따라서, 화재 발생 시 개인의 역량에 지나치게 의존하는 경향으로 인해 균질한 수준의 화재 대응 능력을 기대하기 어렵다. 또한, 투입되는 인원의 능력에 따라 화재 대응 결과에 편차가 생길 수밖에 없으며, 건물의 화재 발생 시 적절한 화재 대응 전략을 효과적으로 수립하고, 이를 적용하는 데 한계가 존재한다고 볼 수 있다.

3. 소결

현행 건축물의 화재 대응 및 관리는 건물의 대형화·복합화 추세에 합리적으로 대응하기 위한 형태로의 변환이 시급하다. 건축물의 화재 대응 관리는 화재를 미연에 방지하고자 하는 노력과 함께 화재가 발생한 이후에 이에 효과적으로 대응하기 위한 노력이 동시에 이루어져야 한다. 따라서, 건축물의 화재재난에 제대로 대처하기 위해서는 현행 개인의 역량에 치중된 화재 대응 관리 체계를 첨단 기술과의 융복합을 통한 스마트 재난 방지 활동 체계로의 전환이 필요하다. 기존의 화재 재난대응방식의 문제점을 보완하기 위해서는 새로운 형태의 화재 대응 시스템의 개발이 필수적으로 이루어져야 하며, 그 중에서도 특히, 개인 능력치의 의존에서 벗어날 수 있도록 원활한 화재 재난대응활동을 지원할 수 있는 화재 대응 방안이 모색되어야 한다.

따라서 융합연구리뷰에서는 건축물의 화재재난 발생 시 다양한 첨단 융복합 기술을 통해 효과적인 화재 예방과 대응기술 개발 동향을 파악하고, 이를 통해 현행 대형화·복합화 되어가고 있는 건축물의 화재 대응 관리 시스템의 선진화에 기여할 수 있는 방안을 모색해 보고자 한다.

II ICT 융복합 건물 재난 관리 기술

점차 복잡성이 심화되는 화재 등 재난 상황에서 효과적인 건물의 재난 대응을 위해 많은 관심이 집중되고 있으며, 이에 따라 다양한 연구 및 기술의 개발이 이루어지고 있다. 특히 정보통신기술(ICT, Information and Communication Technology) 융복합 연구 측면에서 건물 재난관리 기술의 개발이 촉진되고 있으며, 고도화된 첨단기술 및 시스템의 개발·적용을 통해 다양한 정보를 수집하고 분석하는 등의 노력이 이어지고 있다. 또, 단순한 화재 상황에 대한 모니터링 차원을 뛰어넘어 종합적이고 장기적인 관점에서의 근본적인 문제 해결방안에 대한 필요성이 부각되고 있다. 현행 건축물의 재난 대응 체계의 최신 동향은 크게 화재 등 재난 발생 이전 단계, 재난 발생 이후 단계, 그리고 발생 이전 및 이후 통합 단계 등 3가지로 구분할 수 있다. 화재 발생 이전 단계에서는 화재의 예방과 차단이 주목적이라면, 화재 발생 이후 단계에서는 신속한 현장 대응이 주목적이며, 발생 이전 및 이후 통합 단계는 이를 아울러 대응하는 것이 목적이라고 할 수 있다.

1. 화재 발생 이전 단계

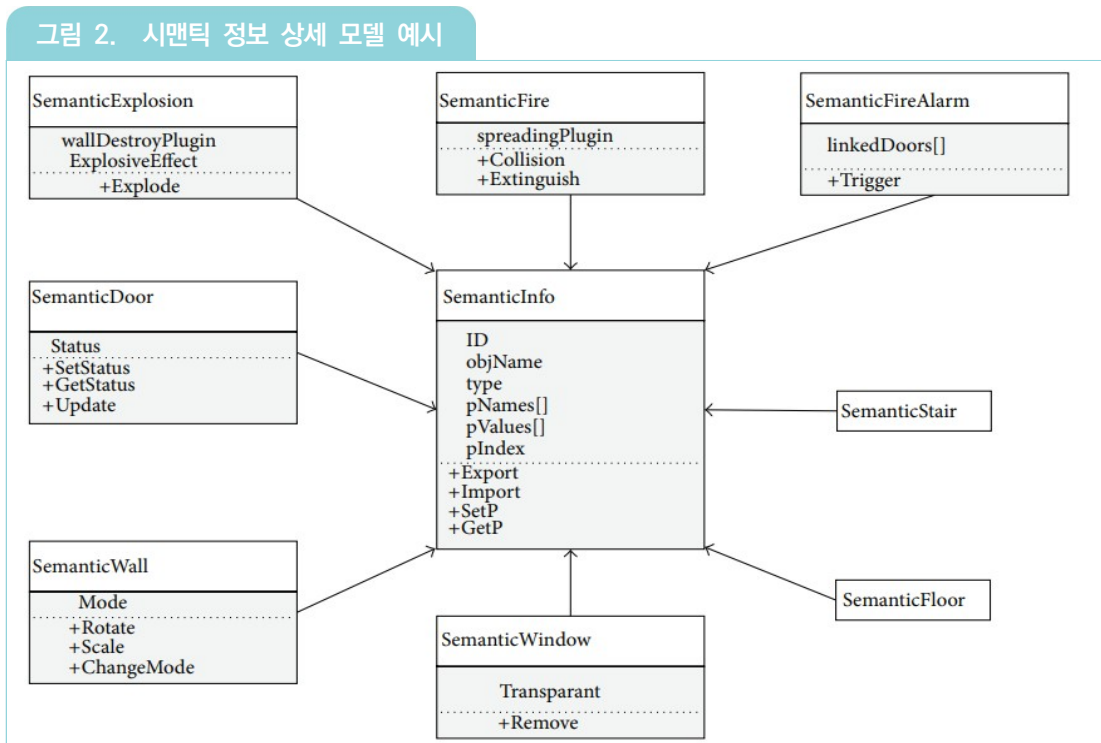
1.1. BIM 연계 데이터 관리 기술

재난 현장은 다양한 주체들이 관여하며, 다양한 정보들이 커뮤니케이션을 통해 공유된다. 각자의 역할을 원활히 이행하기 위해서는 화재에 참여하는 주체들이 건물 및 화재에 대한 필요한 상황정보를 공유할 수 있는 체계의 확립이 필수적이다. 이 중 BIM(Building Information Modeling, 빌딩 정보 모델링, 기획·설계 시공, 유지보수 및 철거에 이르기까지 건축물의 전체 수명주기에 걸쳐, 관련 설계 정보를 통합 관리하는 것을 의미) 기술은 재난현장에 필요한 광범위한 정보를 단일 모형(Single Model)으로 제공할 수 있는 개념으로 독립된 정보매체로서 활용이 가능하다. 즉, 하나의 모델을 통해 요구되는 정보를 효과적으로 생성하고 공유할 수 있는 데이터베이스로서 기능할 수 있다. 이러한 이점을 기반으로 건축을 비롯한 다양한 산업분야에서 BIM은 폭넓게 도입되고 있는 추세이며, 이를 화재재난 분야에 도입 시 시각적인 정보 매체의 활용을 통해

정보의 전달력을 향상시키고, 실시간으로 변동되는 정보들을 제공하여 구조자에게 적절한 대응 전략을 지원할 수 있다.

따라서 화재현장에서 생성 및 공유되는 정보들을 데이터베이스화하여 이를 활용하고자 하는 시도가 있어 왔고, 화재 시뮬레이션을 통해 데이터의 흐름을 파악하여 재난상황에서의 대피과정에 활용할 수 있는 정보모델 구축에 관한 연구가 최근 수행된 바 있다(Wang et al., 2014).

〈그림2〉와 같이 벽체, 문, 계단 및 창문 등 대피상황에서 필요한 건물객체에 대한 상세 데이터를 삽입하여 시맨틱 상세 정보 모델을 제시하였으며, 모든 정보를 BIM 모델 내에 통합하여 활용하고자 시도하였다.



* 출처: Wang et al.(2014)

또한, 김지은과 홍창희(2018)는 화재 재난상황에서 다양한 속성 정보의 BIM 데이터 활용 가능성을 확인한 바 있다. 해당 연구는 공간관리를 핵심적 사항으로 두고, 시설물의 공간관리 시 요구되는 정보를 새롭게 정의하였다. 요구되는 정보의 상/하위체계를 구분하고 분류하였으며, 이에 따라 BIM 데이터를 ‘site’, ‘building’, ‘floor’ 그리고 ‘object’ 등으로 구분하였다(〈표 2〉 참고).

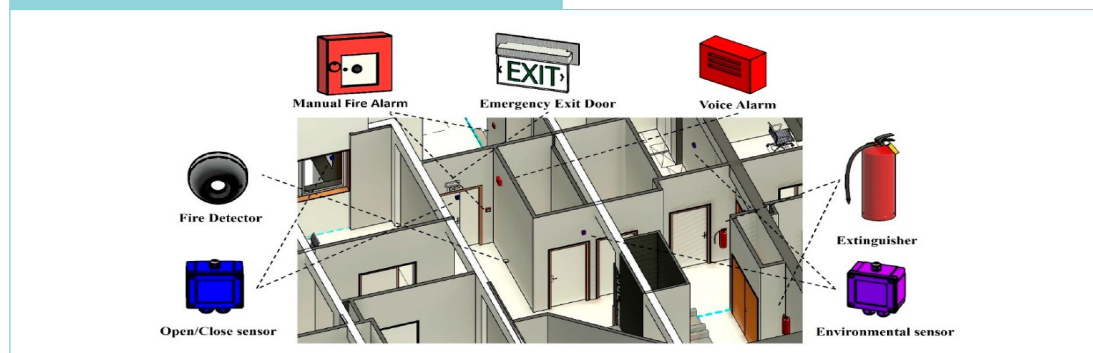
표 2. 공간 관리 기능과 BIM 정보 모델과의 연계

Level 1	Level 2	Level 3	BIM data
Special basic data management	Spatial information management	Site info.	Site
		Building info.	Building
		Floor info.	Floor
	Occupant management	By department	Space
By team		Space	
Floor area management	Area inquiry	By floor	Floor
	Area analysis	By space	Space
		Residual area	Space
	Report management	Room list	Space
		Room vacancy list	Space
		Facilities status report	Object
Room space cost		Space	
Room management	Room information management	Room info.	Space
		Department info.	Space
		Facilities usage info.	Space
		Space ratio	Space
		Use status	Space

* 출처: 김지은 & 홍창희(2018)

Wehbe & Shahrour(2021)는 실제로 BIM에 화재대응 시 요구되는 정보들을 삽입하여 3D 형태로 표현하였다. 이를 통해 정보가 직관적으로 전달되도록 하여 정보 사용자들의 편의성을 증진시키고자 하였다. 실제로 BIM 모델 상에 필요 소방정보인 비상구, 소화기, 화재감지기 등을 3D 형태로 제작해 삽입하였으며, 더욱 효과적으로 해당 소방기구들의 위치와 정보들이 파악 가능하다는 것을 알 수 있다. 그 예시는 <그림 3>과 같다.

그림 3. BIM 모델에 삽입된 화재 정보 예시



* 출처: Wehbe & Shahrour(2021)

BIM 기술을 통해 데이터의 기록을 자동화함과 동시에, 2차원의 데이터를 추출하는 과정을 통해 화재 위험에 대한 평가 시스템을 개발하고, 이를 통해 화재 위험 분석 방법인 FRAME(Fire Risk Assessment Method for Engineering)을 개발하여, 정보의 정확성을 확보하려는 시도도 진행된 바 있다(Wang et al., 2021).

실제로 건물의 실내 공간 3곳을 기준으로 잠재적 위험도(potential risk), 허용 위험도(acceptable risk), 보호수준(protection level), 화재 위험도(fire risk) 등 4가지의 항목을 BIM 모델의 데이터를 통해 평가했으며, 그 값은 <표 3>과 같다. Mail sorting room에 대한 값을 해석해보자면 허용 위험도가 1.3보다 높기 때문에 해당 실은 화재 위험성이 있다고 판단할 수 있으며, 화재 위험도(fire risk)의 값이 1을 초과하지 않았지만 비교적 높은 수치를 띄어 재산적인 피해가 발생할 수 있다고 평가할 수 있다.

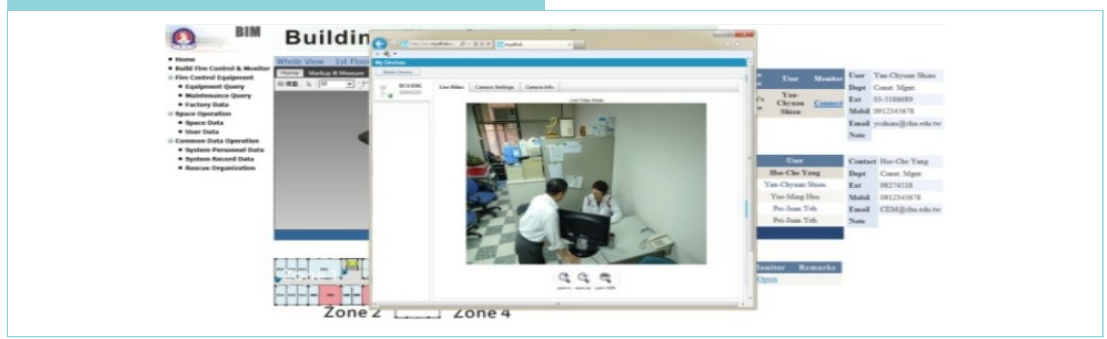
표 3. 우체국 건물 화재 위험 정보 정량화 분석 결과

Target room	Building and content			
	위험도 (Potential Risk)	허용 위험도 (Acceptable Risk)	보호수준 (Protection Level)	화재 위험도 (Fire Risk)
Mail sorting room	0.4617	1.3690	0.8398	0.4016
Charging hall	0.3786	1.3720	0.8398	0.3286
Executive office	0.3162	1.3614	0.8398	0.2766

* 출처: Wang et al.(2021)

이외에도 BIM 모델링을 통해, SQL 서버 및 PC windows 환경을 활용하여 화재를 방지하고 감시, 관리하기 위한 시스템에 대한 기술 개발도 활발하며, 실제 시나리오에 이를 적용해 봄으로써 해당 시스템의 주요 기능을 검증한 바 있다(Shiau et al., 2013). BIM 화면 내에서 위치를 옵션으로 선택하여 해당 위치를 실시간 모니터링 할 수 있으며, 이를 통해 화재발생 시 현장의 상황에 대한 정보를 획득할 수 있다. 그 예시는 <그림 4>와 같다.

그림 4. BIM 기반 실시간 모니터링 시스템



* 출처: Shiau et al.(2013)

1.2. IoT 센싱 기반 기술

기존 화재대응 단계에 작동하는 센서는 연기나 온도 등 임계값이나 변화의 폭 수준을 설정해 두고 해당 값에서 벗어나는 경우에 화재를 판단하고 이를 알리는 역할이 일반적이었다. 그러나 해당 탐지 정보의 오작동으로 인한 비화재 오보 발생의 문제가 제기되어 왔으며, 이로 인한 피해 규모 확대에 대한 우려의 목소리도 커지고 있다. 기존의 화재감지 작동기의 한계를 해결하기 위해 다양한 센서를 활용하고 이들을 IoT(Internet Of Things, 사물인터넷) 기술과 접목시키는 등 실시간 정보획득의 필요성이 부각되고 있으며, 관련 기술개발을 통해 이에 대한 적용 가능성과 화재 방지와의 연계성을 검토하고자 하는 시도가 일고 있다.

김지은과 홍창희(2018)는 센싱 기술과 BIM의 접목에 초점을 두고 기존의 센싱기술 접목의 한계점을 해결하고자 하였다. 해당 연구에서는 센서의 고비용 문제와 기존 시스템과의 연동 어려움 등을 이유로 센서의 설치 개수가 현저히 부족하여 건물의 전반적인 정보를 데이터화 하기 힘들다는 문제를 해결하기 위해 BIM 모델을 통해 객체 정보를 활용할 것을 제안하였다.

이를 통해 센서와 시스템과의 연동 문제를 해결하고자 하였으며, <그림 5>와 같이 센서와의 연동을 통해 재난을 감지해 추가 재난의 확산 여부를 확인하고 BIM 데이터 내 건물구조, 설비 및 위치별 위험도를 색상 가시화를 통해 표현하였다. 기존 2D형태의 도면들을 BIM 툴(tool)을 이용해 3D로 시각화가 가능하다는 사실을 확인한 바 있으며, BIM과 IoT 센싱 기술의 성공적인 접목을 입증한 사례라고 할 수 있다.

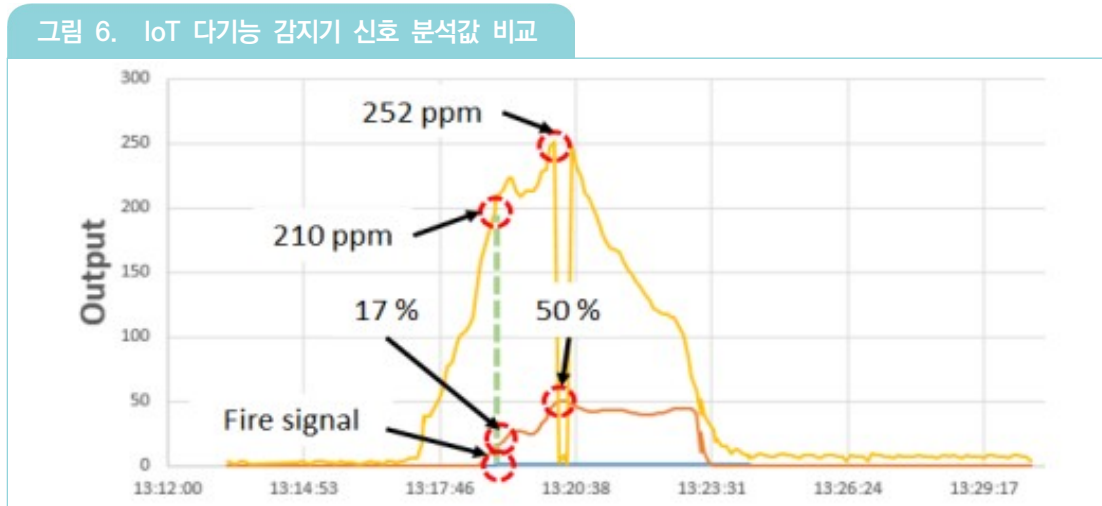
그림 5. BIM 연계 정보시각화 예시



* 출처: 김지은 & 홍창희(2018)

실제로 감지기 자체에 IoT 기술을 융합하여 새로운 형태의 감지기를 개발하고자 하는 시도도 이루어졌다. 손근식과 소수현(2021)은 연기/CO/열 복합형 화재감지기와 무선 IoT 통신을 결합한 IoT 멀티 화재 감지기를 개발하고 화재감지 실험을 통하여 연기/CO/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기의 화재감지성능을 확인하였으며, 향후 감지기 관련 기술에 대한 지속적인 개발의 필요성을 주장한 바 있다.

실험을 진행한 결과를 살펴보면 시간이 지남에 따라 일산화탄소가 먼저 감지되고 증가하기 시작하며, 조금 뒤 연기가 감지되는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다. 연기 농도가 17%로 감지되는 시각에 화재 신호가 발생하였는데, 이는 결과적으로 개발된 화재 탐지기가 화재에 대한 비화재보를 저감할 수 있는 방법으로써 실무 활용 가능성을 입증하였다(그림 6) 참고).



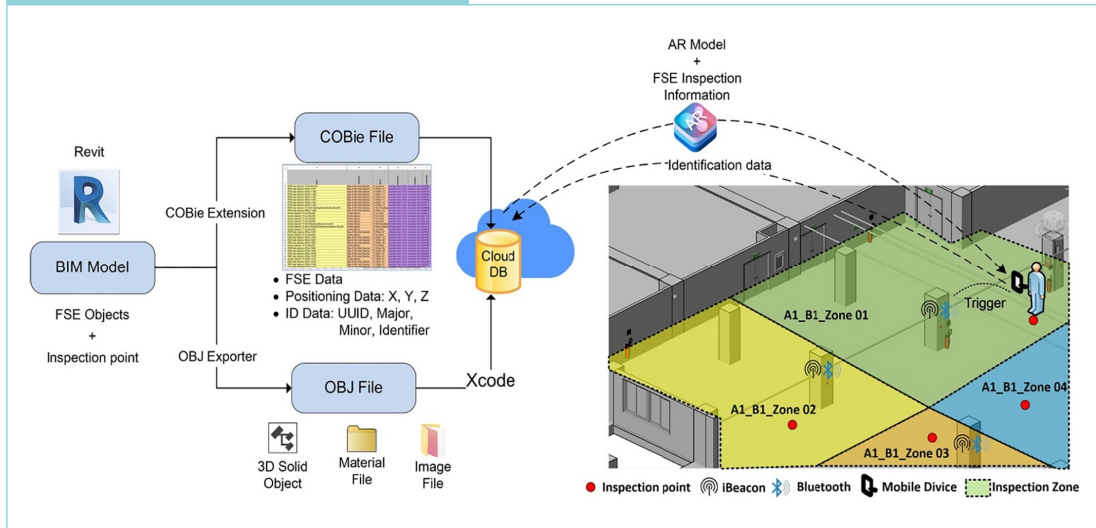
* 출처: 손근식 & 소수현(2021)

1.3. AR/VR 기반 재난관리 기술

화재상황을 대비한 유지관리와 실제 화재상황에 대한 신속한 인지가 무엇보다도 중요한 만큼, BIM과 IoT 활용을 넘어 AR/VR(Augmented Reality/Virtual Reality, 가상/증강현실) 기술의 도입에 관련한 연구도 매우 활발하다. 3D로 구현된 정보를 모바일 형식으로 변환하여 확인할 수 있다는 점에서 AR/VR 기술은 화재 예방 및 대응에 있어 핵심 기술로 인식되고 있다. AR/VR과 관련해서는 화재 예방 및 대응을 위한 정보 통합 및 시각화에 초점을 둔 연구가 다수 진행되었다. 특히, BIM과 통합하여 3D 모델을 활용한 시각화에 초점을 맞춰 화재 안전 장비의 검사 및 유지보수를 위한 BIM-AR 기반 시스템이 개발된 바 있다(Chen et al., 2020).

연구를 통해 제안된 AR FSE(Fire Safety Equipment, 재난안전장비) 시스템은 <그림 7>과 같다. BIM 모델을 구성하고, 유지보수용 정보 수집을 위해 비콘(Beacon)에 대한 정보를 COBie(Construction Operations Building Information Exchange, 시설물 관리 프로젝트에 필요한 정보를 여러 경로에서 수집·문서화하는 표준정보 포맷) 파일로 정리하였으며, 해당 정보와 3D 모델에 대한 정보를 클라우드 DB(Cloud Database) 내에서 통합하여 화재 안전 장비에 대한 유지관리 정보, 모바일 기기를 소지한 재실자의 위치 정보 등을 실시간으로 3D 모델에 표시하도록 하였다. 해당 시스템을 활용하여 화재 관계자는 모바일 장치를 통해 시각화된 건물정보를 활용할 수 있으며, 이를 통해 2D 종이 기반의 정보해석에서 발생할 수 있는 부정확성 및 시간낭비의 문제를 해결할 수 있다.

그림 7. BIM-AR 화재 감시 시스템



* 출처: Chen et al.(2020)

또한, 화재상황 시 발생할 수 있는 위험으로부터 구조자 및 대피자를 보호하기 위한 실시간 AR 활용에 관한 기술개발도 이루어진 바 있다(Li et al., 2019). AR-화재 정찰 로봇 연계 및 운영에 대한 내용은 <그림 8>과 같으며, SLAM(Simultaneous Localization and Mapping, 동시적 위치추정 및 지도작성) positioning 기술, 열화상 기술, AR 디스플레이를 기반으로 화재정찰로봇에 대한 활용 방안을 제시하였다. AR 디스플레이를 통해서 화재정찰로봇에 탑재된 다양한 센싱 기술을 통해 획득한 화재정보를 건물도면과 통합하여 제공될 수 있다.

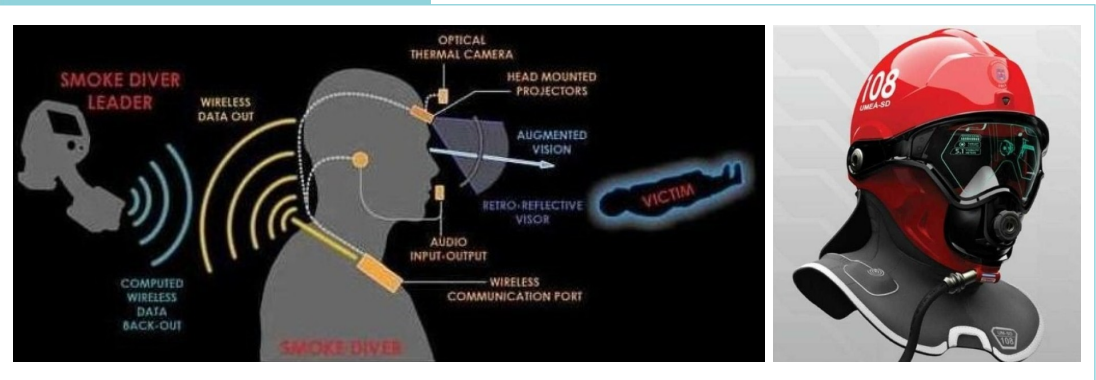
그림 8. 화재 인식 로봇



* 출처: Li et al.(2019)

이를 통해 소방관들은 로봇이 얻은 이미지와 비디오를 동시에 볼 수 있기 때문에 위험 지역에 들어갈 필요 없이 화재 관련 정보를 획득할 수 있어 위험 상황에 대한 안전성을 추가적으로 확보하는데 기여한 기술로 평가받고 있다. 유사한 연구 사례로, 미국 산업디자이너협회(IDSA, Industrial Designers Society of America)는 C-Thru 스모크 다이빙 헬멧(C-Thru smoke diving helmet)이라는 헤드 마운트 장치(Head Mounted Display)를 개발한 바 있으며, 그 내용은 <그림 9>와 같다(IDSA, 2020).

그림 9. C-Thru 연기 투과 헬멧

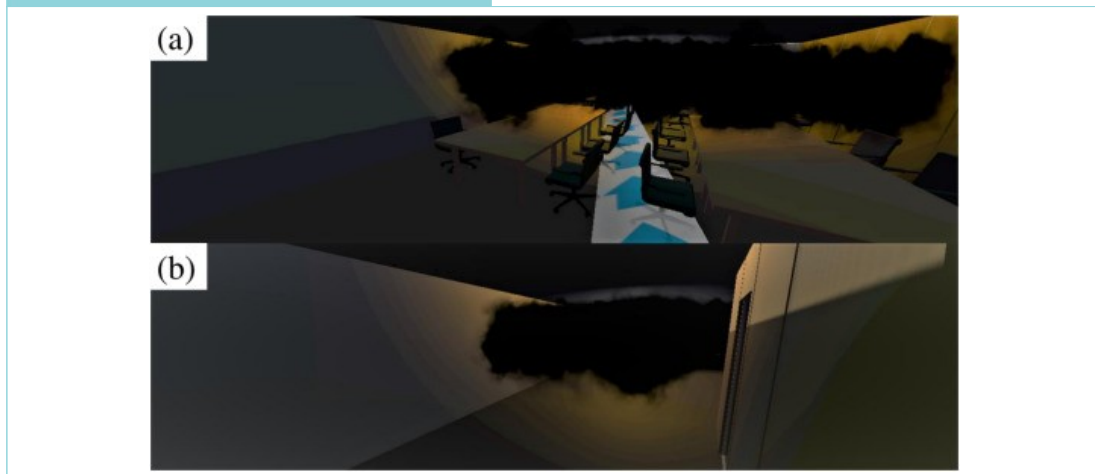


* 출처: IDSA(2020)

개발된 휴대용 헬멧은 어둡거나 연기로 인해 시야 확보가 어려운 공간에 대해 열화상 데이터를 제공할 수 있다. 이로 인해 소방관은 추가 장치에 의존하지 않고도 실내 상황에 대해 인지할 수 있다. 기술적으로는 연기에 가려진 창문과 문과 같은 물체의 열 이미지에 대해서는 제공받을 수 있지만, 재실자 위치 파악 및 경로 분석에는 한계를 갖는다.

이러한 최근의 AR/VR 기술은 기술적 특성상 건물 관리를 위해 직접 사용하기보다는 소방 훈련을 위한 용도로 활용되는 사례도 다수 보고되고 있다. 특히, VR을 활용하여 소방 훈련을 지원하기 위한 연구가 대표적이다 (Chen et al., 2021). 이 연구에서는 화재 구조 및 대피 훈련을 위한 가상 환경을 개발하고, 더 나아가 구현에 어려움을 겪던 화재 연기 및 이동과 관련된 정보까지 VR로 구현하여 실제 훈련과 비교해 본 바 있다. 실제 화재 환경을 VR로 구현한 내용은 <그림 10>과 같다. 연기의 분포 및 이동에 대한 영상도 VR을 통해 구현할 수 있어 더욱 현실감 있는 현장 표현이 가능함을 확인하였다.

그림 10. VR 화재 시뮬레이션 시스템



* 출처: Chen et al.(2021)

그러나, 이러한 시스템은 제한된 수준의 화재 환경이 제공된다는 점에서 한계가 있어 최근에는 화재 안전 스킬 셋(skill sets) 개발을 위한 VR 기반 게임화 훈련, 피해자 수색 및 대피와 같은 게임화 훈련이 등장하여 실제 환경 기반 훈련의 대안책으로 제시되었다(Narciso, 2019). <그림 11>과 같이 가상으로 구조 환경을 구현하여 실제 구조 환경과 비교하고자 하였으며, 이를 통해 기존에 수행하던 훈련보다 건물 인식 및 화재 상황에 대한 몰입도가 증가했음을 확인한 바 있다.

그림 11. VR 화재 진압 훈련 시스템



* 출처: Narciso(2019)

2. 화재 발생 이후 단계

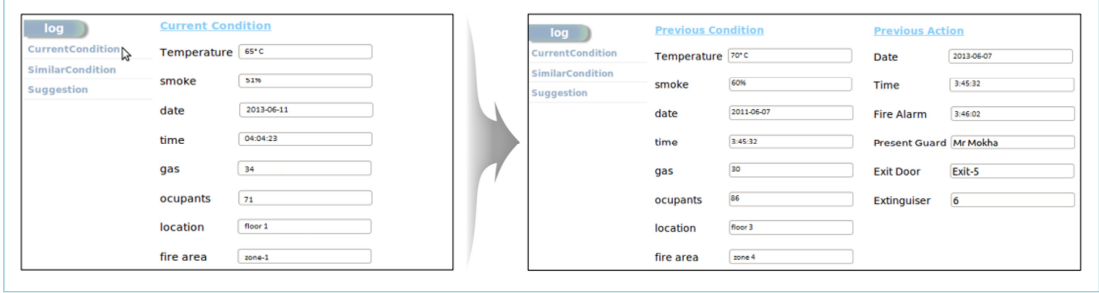
2.1. IoT 기반 실시간 모니터링 기술

이전까지의 화재대응은 과거에 작성된 정보를 통해 매뉴얼을 생성하고, 대응전략을 계획하는 방식으로 이루어졌다. 그러나 건물의 화재는 불특정한 돌발 상황의 연속으로 이루어진다는 점을 상기해야 한다. 정지된 정보와 상황에 초점이 맞춰진 대응방식으로는 화재가 발생한 후 돌발적으로 변화되는 상황을 반영하기는 어려우며, 그에 맞게 즉각적으로 반응하는 것은 더욱 취약할 수밖에 없다.

화재대응 전략에 다양한 IoT 기술 및 감지기술의 접목은 실시간 화재대응을 가능하게 한다. IoT 기술을 활용해 실시간 모니터링 및 상황인지를 가능하게 하며, 센서 활용 감지기술을 통해 화재 발생 이후 연기, 온도, 유독가스 등 화재 자체에 대한 정보를 활용할 수 있도록 한다. Shamszaman(2014)은 건물 인프라에 비상 화재관리 시스템 설치를 제안하였다. 이를 통해 과거에 작성된 화재사고 일지를 제공하고 화재관리팀이 즉각적으로 의사결정이 가능하도록 지원할 수 있으며, 화재발생 시 돌발 상황을 신속하게 처리하고 해결하기 위한 의사결정 도구로서의 역할을 수행한다.

현재의 화재 조건이 입력되면, 입력된 데이터와 유사한 유형의 사고를 시스템에서 검색하여 유사한 화재사고에 대한 정보를 제공하는 모습은 <그림 12>를 통해 확인할 수 있다.

그림 12. Current condition to similar conditions and actions from log repository

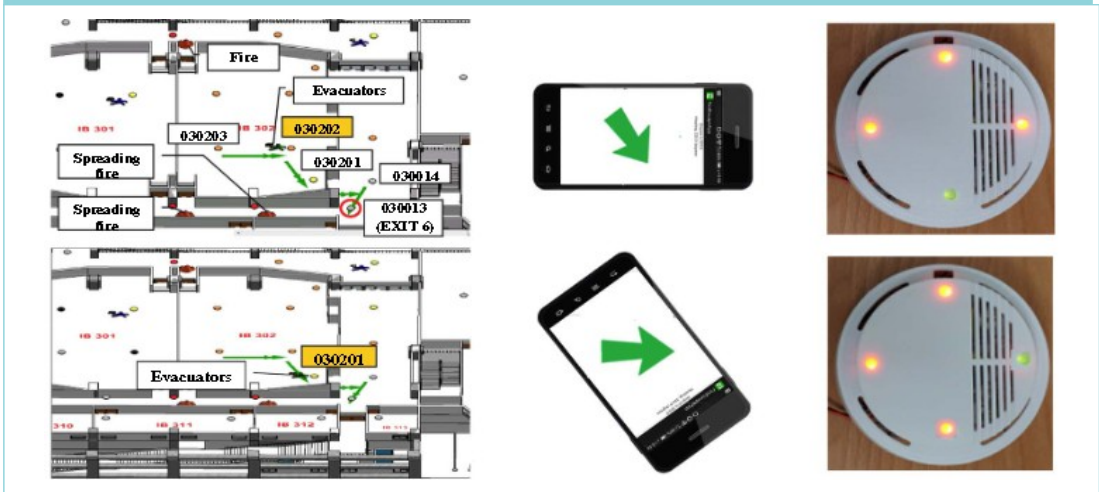


* 출처: Shamszaman et al.(2014)

더 나아가, Cheng(2017)은 BIM과 센서를 통합한 지능형 화재 예방 및 재해 구호 시스템을 구축한 바 있으며, 이를 통해 재실자 위치추적, 대피 및 구조경로 최적화 등을 통합하여 실시간으로 동적인 화재정보를 3D 형태로 제공하는 연구를 진행하였다.

건물을 나타낸 화면에서 대피 및 구조경로가 녹색 화살표를 통해 표시되는 것을 확인할 수 있으며, 재실자에게 직접적인 위치정보를 제공하기 위해 어플리케이션에서 이동해야하는 방향을 단순히 표현해 제공하고, 실제 건물에는 그림 우측의 LED(Light Emitting Diode, 발광다이오드)를 설치해 불빛으로 이동방향을 제공하여 연구를 실증하였다(그림 13) 참고).

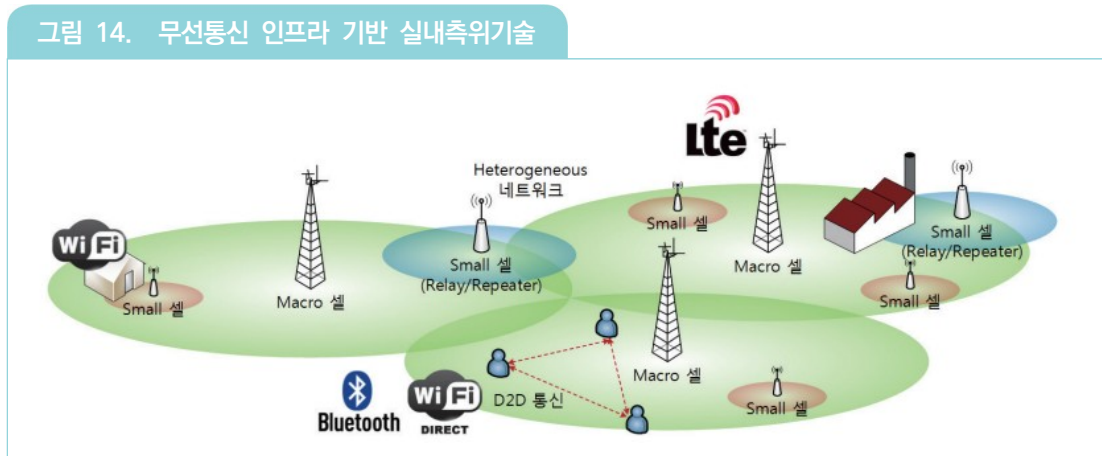
그림 13. 실시간 안내에 따른 안내 절차(Guidance procedures by real-time information)



* 출처: Cheng et al.(2017)

2.2. 3차원 실내측위기술

실내의 재실자 및 구조자에 대한 위치 정보는 재난 상황에서 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 재난 대응 차원에서 이들 정보를 효과적으로 활용하려는 노력이 꾸준히 진행되고 있다. 모바일, 무선기기의 사용이 확대됨에 따라 재실자 또는 구조자의 정확한 위치 파악을 위한 기술적 발전이 이루어지고 있으며, 그에 기반이 되는 기술인 실내측위기술(Indoor Localization)에 대한 관심이 대두되고 있다. 실내측위기술은 위치의 정확도, 제공 영역 및 대상, 활용 센서 등에 따라 다양하게 분류될 수 있다(Boukerche, 2008). 기존에 활용되던 GPS(Global Positioning System, 범지구 위치결정 시스템)의 신호 수신에 대한 한계에서 벗어나 활용도를 높이기 위한 다수의 연구가 진행 중이다(이상우 & 김선우, 2015). <그림 14>와 같이 와이파이(Wifi), 무선 주파수 식별법(RFID, Radio Frequency Identification), 블루투스(blueetooth) 및 비콘(beacon) 등 다양한 무선통신 인프라에 기반을 두고 연구가 진행되고 있다.



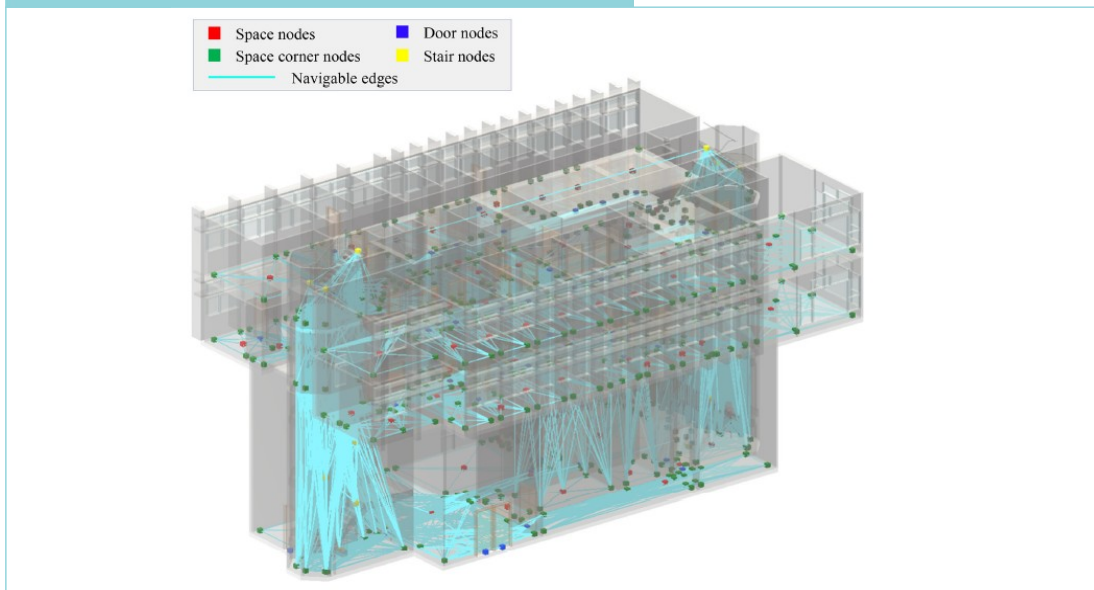
* 출처: 이상우 & 김선우(2015)

실내측위기술의 발전은 실내 길 안내 서비스와 같이 공간 및 위치 정보를 이용한 위치기반 서비스에 대한 요구 증가로 이어지며, 수요에 발맞추어 서비스 제공을 위해 안전, 편익, 시설물 관리 및 재난 재해 대응 등 다양한 비즈니스 모델이 제시되고 있다. 특히 재난 대응 분야에서 해당 기술은 재실자 및 구조자의 실시간 위치를 파악하고 변화하는 환경에 맞추어 효율적인 실내 경로 탐색을 지원하고자 활발히 활용되고 있다.

Wong(2022)은 화재재난 상황에서 관리자, 대피자 그리고 구조자 간의 위치정보에 대한 공유가 잘 되지 않는 점이 초기 화재대응 조치에 대한 협력을 저해시킨다는 사실을 확인하였다.

해당 연구에서는 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)를 활용하여 각속도와 가속도를 계산해 사용자 간의 위치추적 및 공유를 제공하는 시스템을 제안하였다. 또한, 실내측위로 획득한 위치정보를 기반으로 현장 위치, 개인-장소 경로 탐색, 장소-장소 경로 탐색 세 가지의 기능이 수행 가능함을 입증하기도 하였다. 결과적으로 하나의 건물을 사례로 설정하여 건물 내에서 이동할 수 있는 경로를 모두 산정하고(〈그림 15〉참고), 사용자의 명령(목적지)에 따라 경로 안내를 제공하는 시나리오를 작성하였으며, 해당 시스템의 실현 가능성을 확인하였다.

그림 15. 3차원 실내측위기술 기반 피난 경로 탐색



* 출처: Wong et al.(2022)

2.3. 데이터 기반 피난 및 구조경로 안내 기술

재난 대응을 위한 경로계획은 사용자가 불특정 다수라는 점에서 노약자, 장애인, 외국인 등 다양한 사람들의 행동양태에 따른 대응방법의 변화가 요구된다. 그러나 현재 활용되는 고정 매뉴얼로는 대응에 한계점을 가지며, 이에 따라 복잡하고 다양한 건물형태와 거주자 특성 및 재난요인을 반영하기 위한 다양한 시도들이 진행되고 있다. 따라서 실시간 정보를 바탕으로 한 탄력적이고 융통성 있는 상황별 대응체계의 도입이 시도되고 있다(Lee et al., 2019).

특히 대형건물의 경우 재실자와 구조자 모두에게 건물 내부 공간에 대한 상세한 정보(예, 인구밀집도, 발화점, 화재 진행 방향 등)를 신속히 파악하기에는 무리가 있으며, 이는 조기 화재 대응을 저해하여 구조 및 대피 시간의 지연을 유발한다. 따라서 실내 건물의 상황 정보를 충분히 반영할 수 있는 새로운 개념의 신속한 피난 및 구조경로의 탐색에 대한 필요성이 제기되고 있다. 황준수와 최영복(2016)은 획일화된 피난 유도 동선을 제공하는 것에서 벗어나 긴급 피난지원시스템을 구축하고자 Dijkstra(다이스트라) 방법론(첫 노드를 기준으로 연결되어 있는 노드들을 추가하며, 최단 거리를 갱신하는 방법)을 활용하여 시스템 상으로 건물 내에서 화재 재난 비상 탈출 경로를 탐색하게 하고, 이를 신속하게 구조자에게 제공할 수 있는 알고리즘을 구현하였다.

이 시스템은 인구밀집도, 화재 발생 위치, 현재 위치 등을 종합적으로 고려하여 대피자를 신속하게 가장 안전한 비상탈출구로 안내한다. <그림 16>을 예로 들자면, 좌측 그림 ㉕번에 위치한 사용자의 경우 ㉕-17-16-18-19-27의 경로를 통해 우측 하단의 탈출구로 안내받은 모습을 확인할 수 있다.

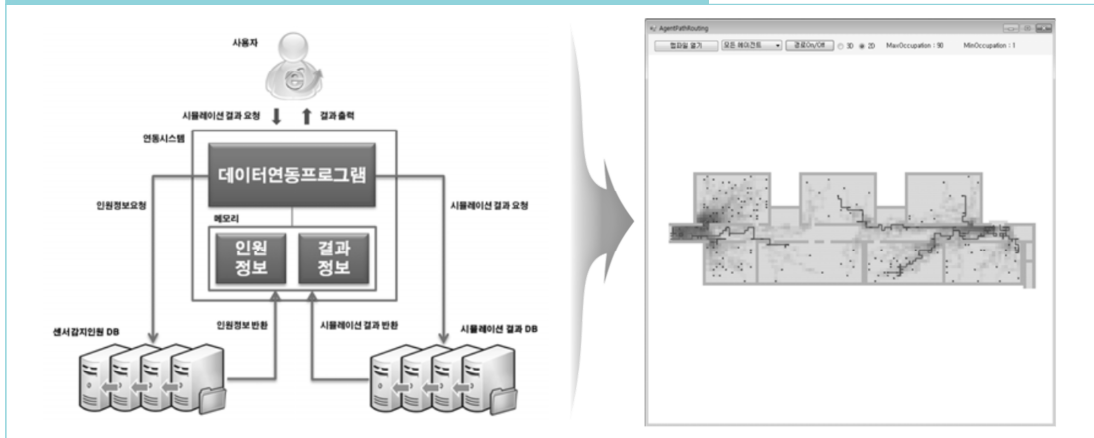


* 출처: 황준수 & 최영복(2016)

남현우 외(2012)는 기존의 대피 시뮬레이터의 문제점을 조명하여 이를 해결하기 위한 연구를 진행하였으며, 이를 위한 해결책으로 데이터의 효과적인 활용을 주장하였다. 가상의 인원정보를 이용한 시뮬레이션 수행에서 벗어나고자 했으며, 실제 재난 상황에서 활용 가능한 결과데이터를 산출하는 대피 시뮬레이션 시스템을 제안하였다.

센서를 통해 출입 인원을 감지해 인원정보를 저장하여 데이터 연동 프로그램을 구축하였으며, 시뮬레이션에 해당 정보를 입력함으로써 건물 내부의 인원을 분석해 실제와 유사한 결과를 예상할 수 있는 시뮬레이션을 제안하여 화재대응에 효과적이고 실질적인 정보를 제공하고자 하였다(<그림 17> 참고).

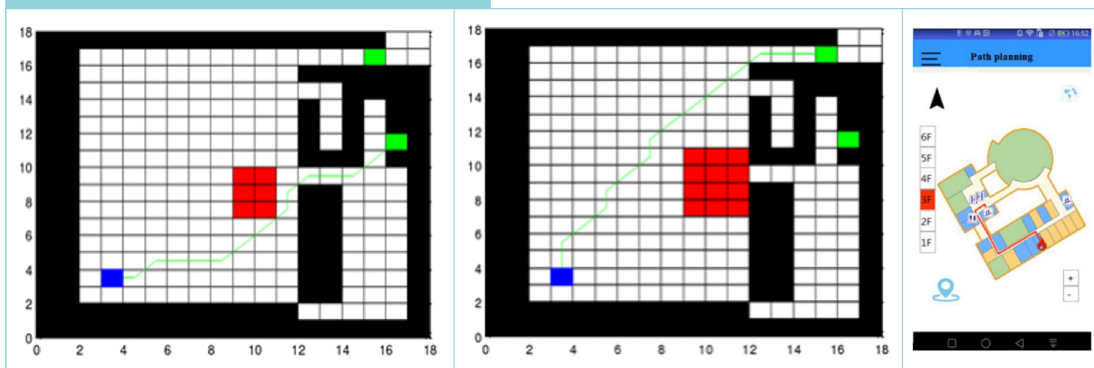
그림 17. 센서감지 인원 분석을 통한 대피 시뮬레이션 산출



* 출처: 남현우 외(2012)

모바일 기기의 사용 확대에 따라 스마트폰을 기반으로 재난현장의 정보를 수집 및 검색하도록 제안하는 연구들도 다수 진행되었다. Jiang(2019)은 건물 내부 환경의 복잡성과 가변성에 집중하며 화재로부터 사람들을 보호하고 안전한 지역에 신속하게 도달하게 하는 시스템을 제안하였다. IoT를 접목하여 화재 스프링클러, 소방펌프, 연기, 온도 및 방화문을 동적으로 모니터링하고 제어하며, 대피경로 솔루션 모델을 구축하여 대형 공공건물을 사례로 지능형 이동단말 화재대피 시스템을 구축하였다. 이는 인공지능 기술을 기반으로 해당 시스템은 재실자가 실시간으로 안전한 출구로 신속하게 이동할 수 있도록 안내하여 인명 및 경제적 손실을 감소시키고자 하였다. 실제 대피경로를 산정하고 어플리케이션을 통해 이를 제공한 모습은 <그림 18>과 같다.

그림 18. 건물 화재 탈출 안내 시스템

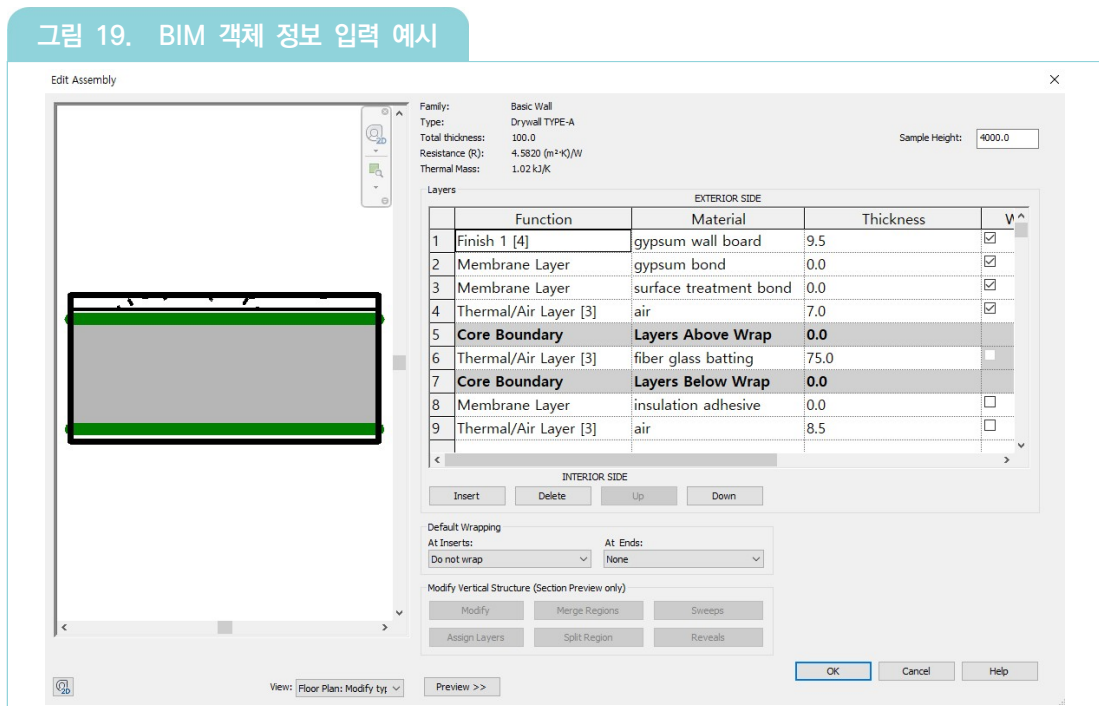


* 출처: Jiang(2019)

3. 화재 발생 이전 및 이후 통합 단계

화재사고의 발생과정에서 화재 발생 이전과 발생 이후는 연속적으로 이루어진다. 그러나 기존에 진행된 연구들은 보편적으로 두 단계를 분리하여 화재 대응 연구를 진행하였다. 실제로 화재가 발생했을 때 구조자와 대피자는 화재 발생 이전에 생성된 도면과 정보들을 활용하여 대피 및 구조활동을 진행하지만, 그에 대한 관리는 분리되어 이루어지고 있는 것이 일반적이었다. 이 점에서 화재대응은 발생 이전에서 이후까지의 효과적인 연계 및 정보 교류를 지원하기 위해 통합되어 관리해야한다는 주장이 제기되고 있다.

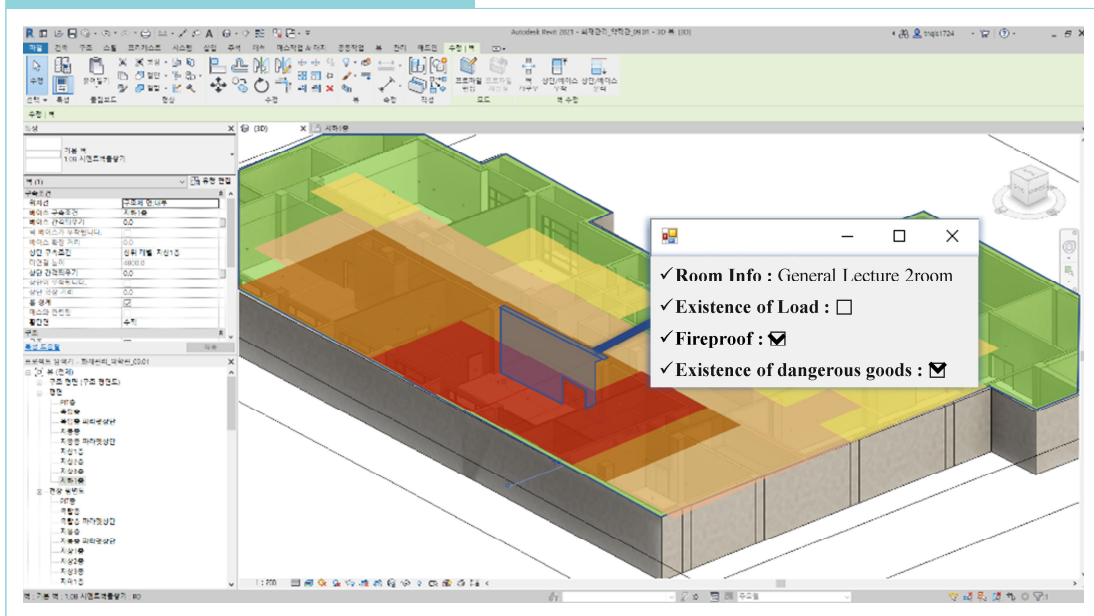
김다희 외(2022)는 효율적인 화재대응을 위한 통합관리 체계를 제안했으며, 화재재난의 주체를 관리자, 구조자 그리고 대피자로 설정하여 이들 간의 정보 커뮤니케이션이 효율적으로 이루어져야 신속한 화재대응을 제고할 수 있다고 주장하였다. 통합화재대응시스템 개발을 위해 통합시각화 모델을 작성하였으며, 3D/BIM의 연계를 통해 화재정보 및 건물정보를 통합적으로 제공하고자 하였다. 이 시스템은 화재정보의 활용 및 시각화 체계를 구축하는 것에 목표를 두었으며, BIM을 통해 건물의 객체에 대한 정보를 모두 입력하여 BIM 모델 자체를 하나의 시각화된 Database로 활용될 수 있음을 입증하였다(그림 19) 참고.



* 출처: 김다희 외(2022)

이외에도 해당 시스템은 건물정보인 구조체 여부, 출입구 위치와 화재정보인 건물 내부의 온도, 연기, 발화지점 등 소방활동에 유의미한 영향을 주는 정보에 대한 추출과 분석이 가능하다. 관련 정보들은 3D/BIM 모델 상에서 색과 팝업창을 통해 시각화하여 제공되어 화재 제어에 효과적으로 활용될 수 있음을 확인하였다(그림 20) 참고).

그림 20. 정보전달 시각화 방안 예시



* 출처: 김다희 외(2022)

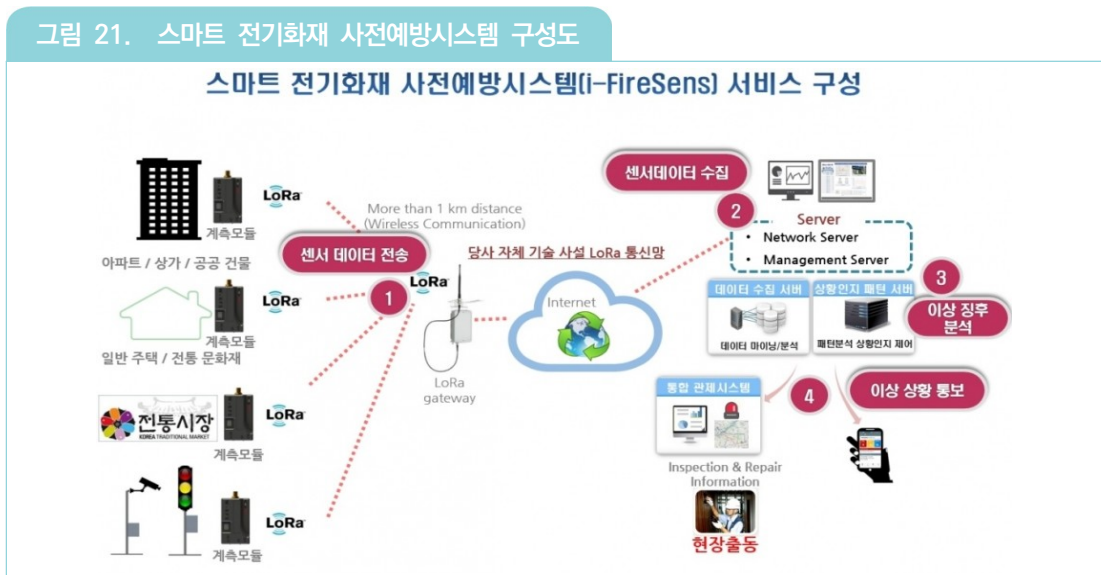
이러한 건축물 내의 정보전달 시각화 체계가 구축된다면, 각종 요구 정보가 신속하게 제공됨으로써 화재 발생 시 사용자의 의사 선택이 원활하게 이루어질 수 있을 뿐 아니라, 화재대응 소요시간의 단축에 도움을 줄 수 있으므로 정보의 신뢰성에 기반 한 화재대응의 신속성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

III ICT 융복합 재난 방지 시스템 적용 사례

최근 스마트 화재 예방 및 대응에 관한 연구의 증가와 더불어 센싱 기술과 데이터 분석 기술이 향상됨에 따라 화재 예방 및 대응 시스템을 개발하여 실제로 현장에 적용하고 있는 사례를 찾아볼 수 있다. 본 장에서는 ICT 융복합 기술을 활용한 스마트 건물 화재관리시스템의 적용 사례를 소개하고자 한다.

1. IoT 기반 스마트 화재 사전예방 및 대응 시스템

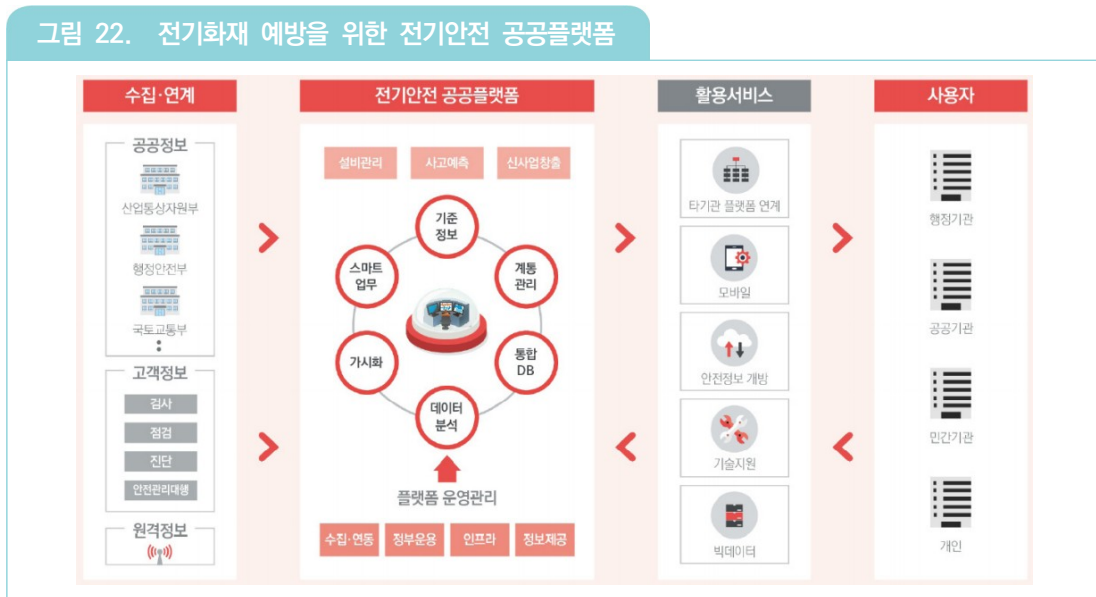
대전시에서는 국토교통부의 ‘스마트 시티 챌린지 사업’의 일환으로 “i-FireSens” 시스템을 민간기업과 공동으로 개발한 바 있다. 해당 시스템은 공동주택을 비롯해 전통시장을 대상으로 IoT 융합센서를 통해 데이터를 수집하도록 하여, 전기화재 징후 사전 감지 서비스를 구현하도록 개발되었다. 해당 시스템 구성도는 <그림 21>과 같다.



* 출처: (주)에프에스(2019)

이 시스템은 자체적으로 LoRa(Long Range) 통신망을 개발하여 각 시설에 설치된 모든 IoT 센서를 통합적으로 관리할 수 있도록 하였다. 이때, 사용하는 LoRa는 1km 이상의 거리에 있는 센서들의 데이터까지 수집할 수 있으며, 배터리 수명이 약 10년으로 길기 때문에 저전력으로 운용할 수 있다. 또한, 하나의 LoRa 단말기로 다중센서 데이터 신호 인식이 가능하며, 암호화를 통해 수집되는 센서 데이터의 보안이 가능하다. LoRa와 IoT 센서를 통해 서버에 수집된 데이터를 분석하고, 감지된 센서 데이터의 패턴을 인지하여 이상 징후를 분석해 그 결과를 통합관계 시스템에 전달할 수 있다. 동시에, 스마트폰으로 이상 상황을 통보하고, 관측된 이상 징후를 기반으로 소방대원의 현장출동 및 시설 관리자에게 시설 보수 및 관리를 위한 정보전달을 지원할 수 있다.

스마트 전기화재 사전예방과 관련하여, 한국전기안전공사에서는 전기화재 예방을 위해 전기안전 빅데이터 분석 및 미세 전류 흐름 모니터링을 통한 전기화재 예측에 관한 연구를 진행하였다. 이는 전기안전정보를 실시간으로 취득하는 센서를 개발해 이를 활용한 스마트 전기안전 플랫폼 운영을 목표로 한다. 계획 중인 공공플랫폼 예상안은 <그림 22>와 같다.



* 출처: 한국전기안전공사(2018)

기본적으로, IoT 센서를 통해 전류, 전압 그리고 누설전류량 등에 대한 데이터를 취득할 수 있으며, 수집된 빅데이터를 활용하여 전기화재 경보수준을 안내할 수 있다. 이외에도 전기안전 핵심정보 기반 실시간 통합관제를 지원하고 사고예방 서비스 지원을 통해 전기화재 예측 및 예방 기능 수행이 가능하다. 또한, 해당 데이터베이스를 바탕으로 사전위험요인에 대한 예측이 가능하며, 전기시설의 노후에 대해서도 측정도 가능하게 해 예방적 수리가 가능하도록 지원할 예정이다.

최근 소방 안전 서비스의 디지털 전환을 추진 중인 군포시는 스마트 화재대응시스템을 구축하여 1기 신도시로 조성된 군포시에 적용하기 위해 계획 중에 있다. 기존 시스템과 달리 IoT 센서를 활용하여 화재 시 대피 및 구조에 영향을 미치는 비상문에 대해 개폐상황을 조절한다는 점이 특징적이다.

〈그림 23〉은 군포시의 스마트 화재대응 시스템에 대한 내용으로 해당 시스템은 기본적으로 인공지능을 기반으로 한 실시간 통합관제를 지원하며, 화재감지 및 대피 안내 기능을 제공하고, 기존 시스템과는 달리 구축 건물에서 취약했던 비상문 개폐와 관련한 부분을 IoT 기반 비상문 관제 시스템을 통해 지원한다. 더 나아가 통합관제 솔루션을 통해 안전관리자, 재난상황실, 소방서 등 각 주체별로 필요한 관제화면을 각각 제공하여 화재 발생 시 각 관계자들이 시스템을 통해 신속하고 편리하게 공조활동을 진행할 수 있도록 지원한다.



* 출처: (주)KT

2. 스마트 센싱 기술 기반 화재 감지 및 대응 시스템

수원시에서는 화재사고 및 시설물 고장 등 비상상황 발생 시 시설물을 안전하게 보호하고, 관리자에게 실시간으로 경보 발령 및 통합 모니터링이 가능하도록 하는 'IoT 기반 스마트 방재 시스템'을 설치 및 운영 중에 있다. 화재 발생 시 해당 시스템을 활용하여 스마트폰으로 확인 후 올바른 조치를 취할 수 있으며, 시간과 장소에 관계없이 시설물에 대한 실시간 모니터링 및 대처가 가능하다. 이 시스템은 열화상카메라, 불꽃감지기, 연기감지기, CCD카메라(빛을 받아 전하로 변환하여 디지털 형태의 이미지로 바꾸는 센서인 전자 결합 소자(CCD, Charged Couple Device)가 있는 디지털 카메라의 일종) 순서로 작동하도록 하여, 화재 발생 전 열화상 카메라를 통해 화재사고 징후 사전 감지가 가능하도록 하였다. 또한, 화재 발생 시 불꽃감지기와 연기감지기를 통해 화재 감지 후 CCD카메라를 통해 화재 발생 위치 추적, 화재구역 촬영, 실시간 시스템 정보 전달 등의 기능을 수행할 수 있다.

이와 관련하여, 국내 기업인 (주)aiview technology는 '빌딩자동제어용 지능형 화재 이상 징후 감지 시스템'을 개발한 바 있다. <그림 24>와 같이 건물 내 관제실에 중앙관제 장치와 원격현장제어반을 구축하여 다양한 설비를 통합 관리하고, 열화상 이중화 카메라를 통한 이상 징후 조기 감지 및 통보, 시스템과 모바일 단말기 연동을 통한 실시간 모니터링 및 원격제어 기능 등을 제공한다. 특히, 원자력 발전소, 변전소, 관공서 등에 설치하여 기계실, 전기실, 전산실 등 시스템이 집중된 환경에서 화재 조기 감지 지원을 통해 피해 최소화에 기여할 수 있다.

그림 24. 빌딩자동제어용 지능형 화재 이상 징후 감지 시스템



* 출처: (주)aiview technology

열화상 카메라와 통합관제센터를 연동하여 수행하는 화재 대응 시스템은 일반 주택 건물에서는 활용성이 떨어질 수 있다는 문제점이 있다. 상가 및 대형 사무실 등의 경우 전체 방송을 통한 화재 안내 장치 활용이 가능한 반면, 일반 주택 등 주거 건물의 경우 화재 상황의 안내가 경보음으로 제한되어 있기 때문에 큰 피해가 발생하고 있다. <그림 25>는 강원도 소방본부측에서 진행 중인 스마트 LED 화재경보시스템의 일환으로 화재 상황의 안내장치 부족으로 인한 피해 확산을 방지하기 위해 스마트 LED 화재경보시스템을 구축하였다.

그림 25. 스마트 LED 화재경보시스템



* 출처: 소방방재신문(2021)

해당 시스템은 연기를 감지하면 비화재경보 확인 시간(60초 이내) 경과 후 자동경보를 울려 화재 사실을 전달하는 것은 물론이고, LED 조명을 통해 화재 발생 세대를 표시하여 재실자에게 피난 판단 정보를 제공할 수 있다. 기존 센싱 기술에 안내 기술을 접목하여 일반 주택에서 취약했던 안내 시스템 문제를 개선하고자 하였다.

3. VR 기반 화재 상황 훈련지원 시스템

한국전자통신연구원(ETRI)은 소방관의 훈련을 위한 VR 소화훈련 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시스템은 건물 화재를 가상으로 구현하여 실제 소화 장비를 사용한 소화훈련이 가능하도록 개발되었다. 이를 통해 실제 상황과 동일한 환경을 제공하여 화재 현장에서 필요한 skill sets의 개발에 기여할 것으로 기대되며, 시뮬레이터에서 지원하는 각종 기술을 통해 실제 소방장비를 체험할 수 있기 때문에 경사면을 오르는 등 공간에 대한 몰입이 가능할 것으로 기대한다. 이러한 시스템은 네트워크 연결을 통해 COVID-19 상황 등 비대면 환경 하에서 대규모 가상 교육에 활용이 가능할 수 있다는 장점을 가진다.

〈그림 26〉은 해당 VR 시뮬레이터 사용 모습이다. VR 기술을 통해 실제 화재 상황을 볼 수 있으며, 발화지점 등 화재와 관련한 다양한 사항을 제공받을 수 있고, 각종 소방장비의 활용이 가능하다.

그림 26. VR 기반 화재 시뮬레이터의 활용



* 출처: 한국전자통신연구원(2020)

이와 관련하여, 어쌔신 크리드:유니티(Assassin's Creed Unity, 인터넷 게임)를 통해 가상의 노트르담 대성당 3D 모델링 사업에 기여한 바 있는 Ubisoft가 이에 대한 연장사업으로 노트르담 대성당의 당시 화재 상황을 구현하여 대피 및 화재 진압에 대한 VR 시뮬레이터를 출시할 예정이다. 노트르담 대성당의 화재 상황을 실제로 구현하여 건물 재건을 넘어 화재대응과 관련해 실제 화재 사건을 기반으로 훈련을 지원할

수 있다는 점이 특징적이다.

소방관을 위한 훈련용 VR을 넘어 대피 훈련용 VR 시뮬레이터도 다양하게 개발되어 사용 중이다. Hong Xing (Beijing) Technology Co., Ltd.에서 제작한 VR 화재 탈출 비상 훈련 시스템은 몰입형 시뮬레이션 작업을 통해 재실자가 직접 화재 탈출 방법을 익히고, 상황별 비상조치 방법에 대한 교육이 가능하다.

이 시뮬레이터를 활용하면, 화재의 움직임, 연기 및 유독가스의 이동 등 다양한 가정상황 속에서 훈련을 수행할 수 있어 불이 나지 않은 일반 건물에서 화재대응 훈련을 진행하는 것에 비해 훨씬 현실감 있는 대피 훈련을 진행할 수 있다. <그림 27>은 이 VR 시뮬레이터에서 구현된 건물 및 화재에 대한 이미지를 나타낸 것으로 비상계단 내 화재, 복도 화재, 비상용 승강기 사용 불가 등 실제 환경에서 발생 가능한 상황이 구현되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 27. 대피 훈련용 VR 시뮬레이터



* 출처: Hong Xing Technology Co., Ltd

IV 결론

융합연구리뷰에서는 건축물의 효과적인 화재 예방 및 대응 체계 수립을 위한 연구 동향을 ICT 융복합 측면에서 살펴보았다. ICT 기술에 대한 건축 분야의 융복합화는 화재 예방 및 대응 측면에서 매우 활발하게 적용되고 있는 실정이다. 이러한 최신 국내외 연구개발 성과와 실제 적용 사례들을 검토해 봄으로써 향후 건축물의 화재 방지 및 제어 분야에 대한 선진화를 기대해 볼 수 있을 것이다. ICT 융복합 기술에 의한 화재 방지 노력은 국민의 생명과 재산을 보호하도록 하는 데에 첨단 기술이 적극적으로 활용되는 대표적인 사례로 평가받을 수 있다. 최근 건축물이 대형화·복합화되어 감에 따라 화재의 예방과 대응 체계 및 관리가 첨단 기술의 도움을 통해 훨씬 스마트하게 이루어져야 함은 분명하다.

새로운 기술의 개발은 향후 새롭게 건설되는 건축물은 물론이고, 기존의 건축물에 대한 적용도 동시에 고려되어야 한다. 또한, 이러한 기술개발은 법·제도적 측면, 교육·훈련적 측면과 함께 검토되어야 할 것이다. 즉, 건축물의 화재관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 단·장기적 관점에서 기술, 정책, 시장을 포함한 다양한 측면의 변화가 수반되어야 한다.

융합연구리뷰에서 살펴본 ICT 융복합 기술이 건물의 재난 관리에 효과적으로 기여하기 위해서는 다음의 같이 3가지 측면을 고려한 기술 개발이 이루어져야 할 것으로 본다.

첫째, 화재 사전 예방과 사후 대응 단계의 통합화이다. 건물의 화재재난을 효과적으로 제어하기 위해서는 사전 예방과 사후 관리가 동시에 중요하다. 현행 화재 사전 예방은 건물의 설계 단계에서 화재에 대한 피해를 최소화하기 위한 각종 법적·제도적 장치에 의존해 왔고, 사후 관리는 소방 인력이나 장비 등에 의존해 왔다. 최근 들어 건물의 대형화·복합화 경향과 더불어 이용자에게 신속한 정보 제공의 중요성이 커지고 있다. 이를 위해서는 화재 사전 예방 단계와 사후 대응 단계의 정보가 유기적으로 통합 관리되어야 하며, 이를 통해 건물의 화재 제어와 방지 효과를 극대화하는데 기여할 수 있을 것이다.

두 번째, 맞춤형 재난관리 시스템의 도입이다. BIM, IoT, 센싱, AR/VR 등 다양한 첨단산업 기술들이 화재 현장에 접목된다면 화재 방지가 효과적으로 진행될 것으로 기대하고 있다. 이에 따라 통합적으로 화재재난을 관리할 수 있는 각종 시스템을 비롯하여 관련 기술들이 그 중요성을 인정받고 있다. 그러나 재난은 동일한

원인에 의해 발생하지 않으므로, 재난에 대한 대응방식도 건축물의 특성과 피난자의 특성을 고려하여 맞춤형 체제로의 전환이 필수적이다. 이러한 첨단 기술들은 재난정보에 대한 접근성 확대, 시각화 증진 등을 목표로 정보의 생성 및 관리 시 효과 향상을 도모할 수 있다. 따라서 목적에 맞는 ICT 기술을 상호 연계하고 공용 플랫폼 등 시스템이 구축된다면 실시간으로 다양한 정보 제공이 가능하여 화재 관리의 신속성과 신뢰성 확보를 기대할 수 있을 것이다.

세 번째, 스마트 재난관리에 적합한 법과 제도의 정비이다. 앞서 언급된 다양한 기술과 연구들이 활발하게 진행되고 있는 반면에, 실제 이를 활용 및 적용하고자 하는 사례는 여전히 극히 드물다. 실제 현장에서는 단기적 차원의 효과만을 기대하므로 비용이나 규제 등 다양한 장애물이 존재하기 때문이다. 따라서 기술적인 발전뿐만 아니라 이의 실현을 돕는 관련 법과 제도의 정비에 대한 노력이 필요하다고 볼 수 있다.

다수의 생명을 구하고 그 피해를 감소시킬 수 있는 효율적이고 효과적인 재난관리를 위해서는 실제 재난 현장에 적용하여 그 효과가 검증되어야 할 것이다. 이를 위한 토대가 조기에 정착될 수 있을 것으로 기대한다. 따라서, 첨단기술의 융복합화를 통한 건물의 화재 재난의 방지와 제어에 대한 연구·개발 분야의 투자와 관심이 지속적으로 이루어지기를 기대하는 바이다.

저자_ 차희성(Hee Sung, Cha)

• 학력

텍사스대학교(Univ Texas-Austin) 건설사업관리 박사
서울대학교 건축학 석사
서울대학교 건축학 학사

• 경력

現) 아주대학교 건축학과 교수
前) 한국건설산업연구원 책임연구원

참고문헌

〈국내문헌: 가나다순〉

- 1) 김다희, 신현주 & 차희성. (2022). 3D/BIM 기반 화재대응시스템 개발을 위한 시각화 정보 전달 체계 구축 방안. 대한건축학회논문집, 38(1), 253-263.
- 2) 김주희. (2018). “미래 공공안전서비스의 기반 빅데이터”, 전기안전기술, 한국전기안전공사.
- 3) 김지은 & 홍창희. (2018). 효과적인 재난 대응을 위한 3 차원 BIM 기반 재난 통합정보 시스템활용 서비스 제시. 한국산학기술학회논문지, 19(10).
- 4) 남현우, 곽수영 & 전철민. (2012). 적외선 센서정보기반 실시간 실내 대피시뮬레이션 시스템 프로토타입. 한국공간정보학회지, 20(2), 155-164.
- 5) 소방청. (2019). 2019년도 화재통계연감.
- 6) 손근식 & 소수현. (2021). 연기/CO 및 연기/열 복합형 IoT 멀티 화재 감지기의 화재감지실험 연구. Journal of the Society of Disaster Information, 17(2), 236-244.
- 7) 윤명오, 송철호, 김태운, 최윤수 & 최연이. (2007). 유비쿼터스 기법을 적용한 실시간 피난유도 시스템: RFID를 이용한 효율적 피난유도시스템. 한국화재소방학회 논문지, 21(4), 115-122.
- 8) 오은호, 이성기, 신은영, 강태경, &이유섭. (2012). 공간정보 및 센서정보 기반의실시간 시설물 재난관리시스템 프레임워크. 2. 한국방재학회 논문집, 12, 7-14.
- 9) 이상우 & 김선우. (2015). 실내 위치추위 기술 동향 및 전망. Information and Communications Magazine, 32(2), 81-88.
- 10) 이종기 & 김창수. (2012). 스마트폰 앱기반 재난정보 서비스 및 검색기능 구현. 멀티미디어학회논문지, 15(2), 273-280.
- 11) 이철규, 문상호, 이상규 & 이계은. (2019). 실시간 IoT 정보 활용 피난시스템의 피난성능 연구. 멀티미디어학회 논문지, 22(2), 281-291.
- 12) 최연이 & 조인휘. (2008). 초고층 건물 화재에서 USN 메쉬 라우팅을 이용한 피난유도 시스템 설계. 한국화재소방학회 논문지, 22(3), 278-286.
- 13) 한국화재소방학회. (2018). 제천 복합건물 및 밀양 세종병원 화재관련 소방대응 문제점 분석 및 대응전략에 관한 연구.
- 14) 황준수 & 최영복. (2016). 긴급 재해 발생 시 피난 지원을 위한 탈출 경로 탐색 알고리즘. 한국콘텐츠허리학회논문지, 16(9), 12-21.

〈국외문헌: 알파벳순〉

- 15) Boukerche, A., Oliveria, H., Nakamura, E., and Lureiro, A. (2008). "Vehicular Ad Hoc Networks: A New Challenge for Localization-Based Systems." *Computer Communications*, 31(12), pp. 2838-2849.
- 16) Chen, H., Hou, L., Zhang, G. K., & Moon, S. (2021). Development of BIM, IoT and AR/VR technologies for fire safety and upskilling. *Automation in Construction*, 125, 103631.
- 17) Chen, Y. J., Lai, Y. S., & Lin, Y. H. (2020). BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment. *Automation in Construction*, 110, 103041.
- 18) Cheng, M. Chiu, K. Hsieh, Y. Yang, I. Chou, J., & Wu, Y. (2017). BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief, *Automation in Construction*, 84, 14-30.
- 19) Jiang, H. (2019). Mobile fire evacuation system for large public buildings based on artificial intelligence and IoT. *IEEE Access*, 7, 64101-64109.
- 20) Li, S., Feng, C., Niu, Y., Shi, L., Wu, Z., & Song, H. (2019). A fire reconnaissance robot based on SLAM position, thermal imaging technologies, and AR display. *Sensors*, 19(22), 5036.
- 21) Narciso, D., Melo, M., Raposo, J. V., Cunha, J., & Bessa, M. (2020). Virtual reality in training: an experimental study with firefighters. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 6227-6245.
- 22) Shamszaman, Z. U., Ara, S. S., Chong, I., & Jeong, Y. K. (2014). Web-of-Objects (WoO)-based context aware emergency fire management systems for the Internet of Things. *Sensors*, 14(2), 2944-2966.
- 23) Shiau, Y. C., Tsai, Y. Y., Hsiao, J. Y., and Chang, C. T. (2013). "Development of Building Fire Control and Management System in BIM Environment." *Studies in Informatics and Control*, 22(1), pp. 15-24.
- 24) Wang, B. Li, H. Rezgui, Y. Bradley, A., & Ong, H. N. (2014). BIM based virtual environment for fire emergency evacuation, *The Scientific World Journal*, 2014, 22.
- 25) Wang, L., Li, W., Feng, W., & Yang, R. (2021). Fire risk assessment for building operation and maintenance based on BIM technology. *Building and Environment*, 205, 108188.
- 26) Wehbe, R., & Shahrou, I. (2021). A BIM-Based Smart System for Fire Evacuation. *Future Internet*, 13(9), 221.
- 27) Wong, M. O., Zhou, H., Ying, H., & Lee, S. (2022). A voice-driven IMU-enabled BIM-based multi-user system for indoor navigation in fire emergencies. *Automation in Construction*, 135, 104137.

〈기타문헌(홈페이지 주소 등)〉

- 28) 강일용. (2020.03.31). "KT-군포시, 스마트화재대응시스템 구축으로 시민 위기 해결 나선다". 아주경제. <https://www.ajunews.com/view/20220331152317930>.
- 29) 김유진. (2019.05.10). "에프에스, 대전시 스마트시티 챌린지사업 수주". 비즈트리뷴. <http://www.biztribune.co.kr/news/articleView.html?idxno=211414>.
- 30) 이석원. (2022.01.26). "노트르담 대상당 화재 진압을 게임으로...". Tech Recipe. <https://techrecipe.co.kr/posts/38310>.
- 31) 정현희. (2021.03.22). "[BEST 119] 강원소방, 전국 최초 스마트 LED 화재경보시스템 시범사업 추진". 소방방재신문. <https://www.fpn119.co.kr/153890>.
- 32) 황영진. (2020.03.16). "수원시, '스마트 방재 시스템' 19일부터 운영. 경기매일. <http://www.kgmaeil.net/news/articleView.html?idxno=236335>.
- 33) (주)aiview technology. (2019.03.31). <http://aiviewtech.com/%ec%82%ac%ec%97%85%eb%b6%84%ec%95%bc-2/>.
- 34) Kevin Lee. (2020.09.24). "Institute Develops VR-based Fire Extinguishing Training Simulator", The Korea Bizwire. <http://koreabizwire.com/institute-develops-vr-based-fire-extinguishing-training-simulator/170275>.
- 35) VRtimes(2019.11.25). http://www.vrtimes.kr/bbs/board.php?bo_table=vrgame&wr_id=114&sca=VR%EC%95%88%EC%A0%84%EA%B5%90%EC%9C%A1.
- 36) IDSA. (2020.12.12). <https://www.idsa.org/awards/idea/graduate-student-designs/c-thru-smoke-diving-helmet>.



03

국가R&D 현황 분석

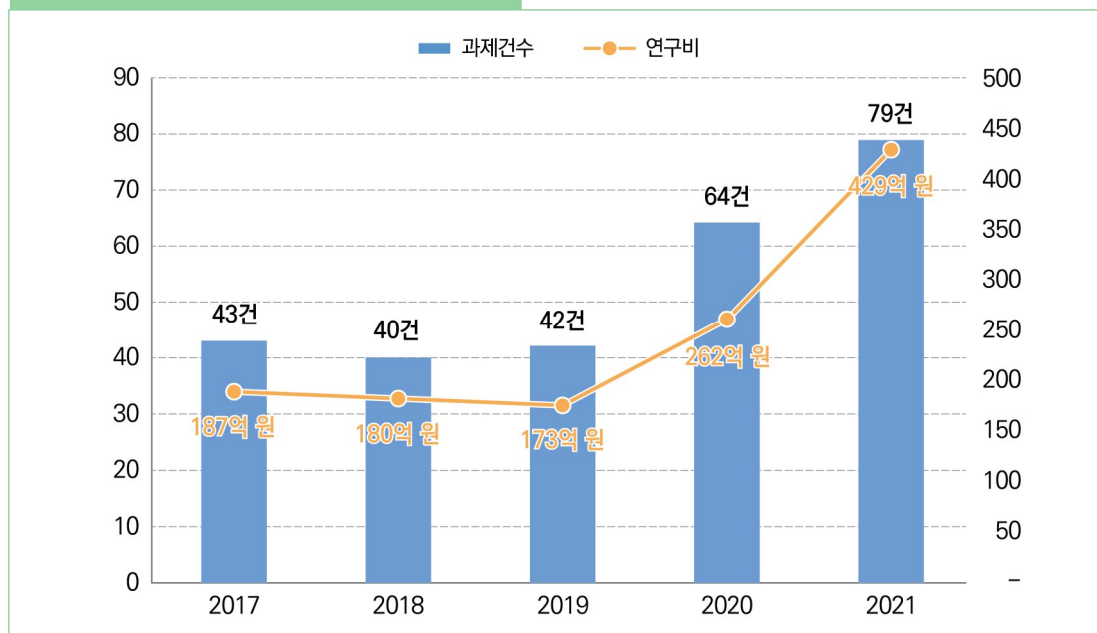
융합연구리뷰 5월호에서 다룬 2개의 주제(재난대응로봇 및 건물 재난관리 기술)에 대한 각각의 국가R&D 현황을 살펴보기 위해 국가연구개발 과제 분석을 수행하였다. 연구비를 기준으로 연구비 규모별 과제 수, 연구수행주체, 연구수준, 연구분야(국가과학기술표준분류, 미래유망신기술분류) 등 여러 측면에서의 분석 결과를 제시한다.

I 재난대응로봇 기술

□ (총괄) 최근 5년간('17~'21) 총 268건의 과제에 대해 1,232억 원의 연구비가 투자됨

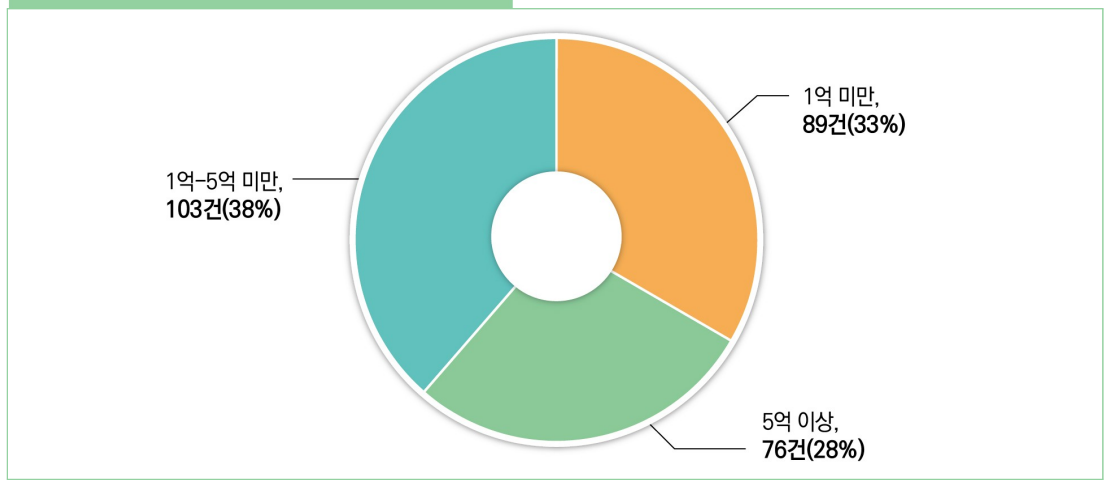
※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼을 기반으로 관련 국가 연구개발 과제 분석 수행 : 원고의 핵심 키워드를 고려하여 '(재난|소방|보안|원자력|폭발물|인명) 로봇'으로 검색

그림 1. 연도별 연구과제 건수 및 연구비



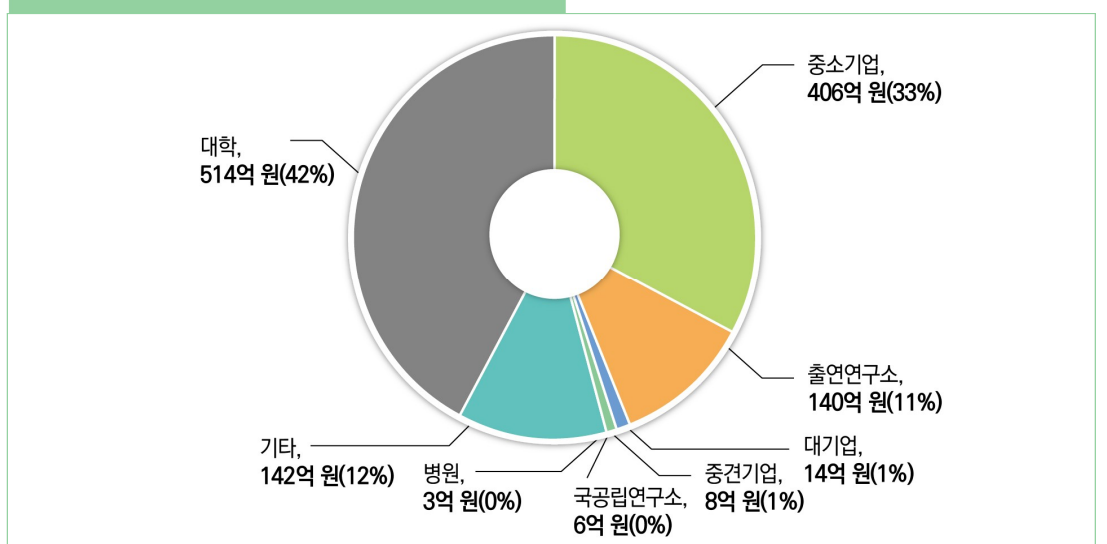
□ (연구비 규모별 과제 수) 연구비가 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제가 가장 큰 비중(38%, 103건)을 차지했으며 1억 원 미만의 과제가 33%(89건), 5억 원 이상의 과제가 28%(76건)의 비율을 차지함

그림 2. 연구비 규모별 과제 수 및 비율



□ (연구수행주체) 대학(42%, 514억 원)과 중소기업(33%, 406억 원)이 지원받는 연구비의 비중이 75%로 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 출연연구소가 높은 비중(11%)을 차지하는 것으로 확인됨

그림 3. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비율



- (연구수준) 연구수준을 분석한 결과, 재난대응로봇 기술은 도입기이며 개발 단계인 것으로 나타남
- (연구개발단계 분석 결과) 재난대응로봇 관련 연구는 개발연구(31%, 382억 원), 응용연구(30%, 366억 원), 기초연구(29%, 363억 원)에 투자되는 연구비 비중은 거의 유사한 것으로 확인됨
 - (연구개발성격 분석 결과) 아이디어 개발(8%, 98억 원) 대비 제품 또는 공정개발(17%, 207억 원), 시작품 개발(16%, 199억 원)에 투자되는 연구비의 비중이 각각 약 두 배 이상 높은 것으로 드러남
 - (기술수명주기 분석 결과) 도입기(35%, 435억 원)와 성장기(25%, 313억 원) 연구에 투자되는 연구비 비중이 성숙기(4%, 54억 원)에 비해 월등히 큰 것으로 나타남

그림 4. 연구개발단계별 연구비 규모 및 비율

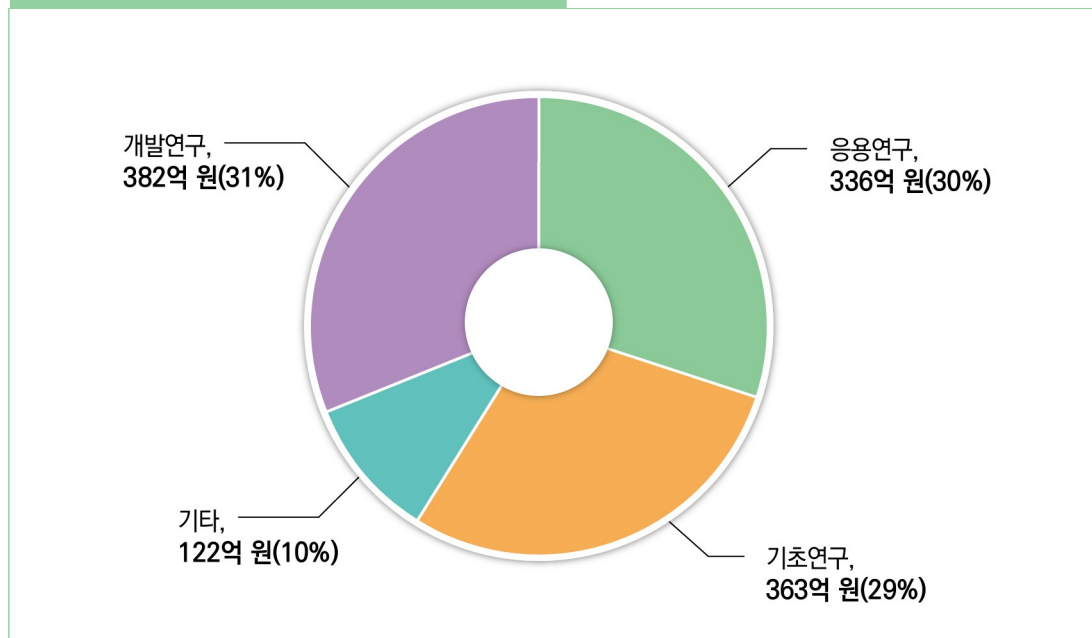


그림 5. 연구개발성격별 연구비 규모 및 비율

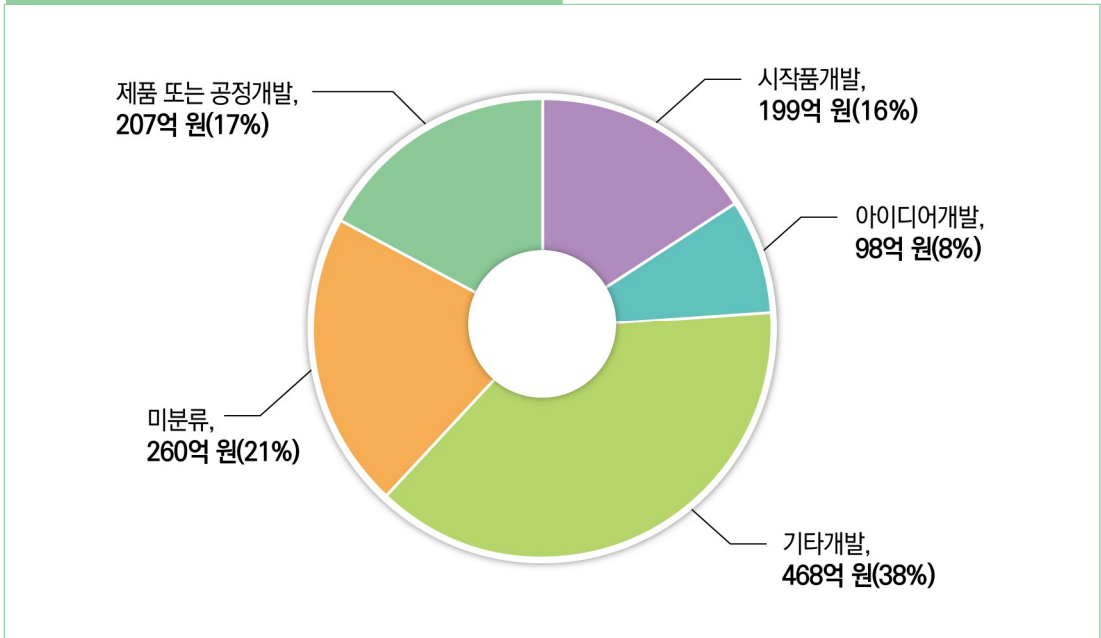
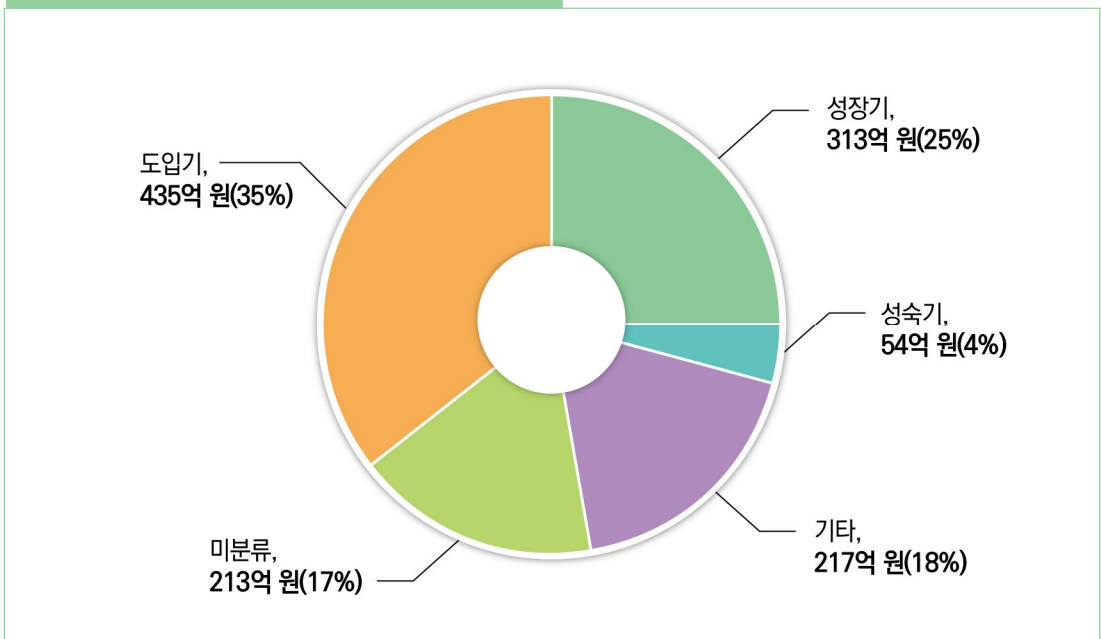


그림 6. 기술수명주기별 연구비 규모 및 비율



□ (연구분야) 국가과학기술표준분류와 미래유망신기술분류(6T) 분석 결과, 기계 분야 및 IT 분야를 중심으로 재난대응로봇 연구가 이루어짐

- (국가과학기술표준분류 분석 결과) 기계 47%(575억 원), 정보/통신 17%(210억 원), 건설/교통 11%(137억 원) 순으로 연구비 비중이 높은 것으로 나타남
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
- 융합과제에 지원된 연구비 비중은 재난대응로봇 관련 전체 연구에 투자된 연구비의 31%로 약 376억 원이 지원됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
- (미래유망신기술분류(6T) 결과) 정보통신 기술(IT) 관련 연구에 대한 연구비 비중이 재난대응로봇 관련 전체 연구비의 절반 이상인 57%(699억 원)로 가장 큰 것으로 확인됨

그림 7. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비율

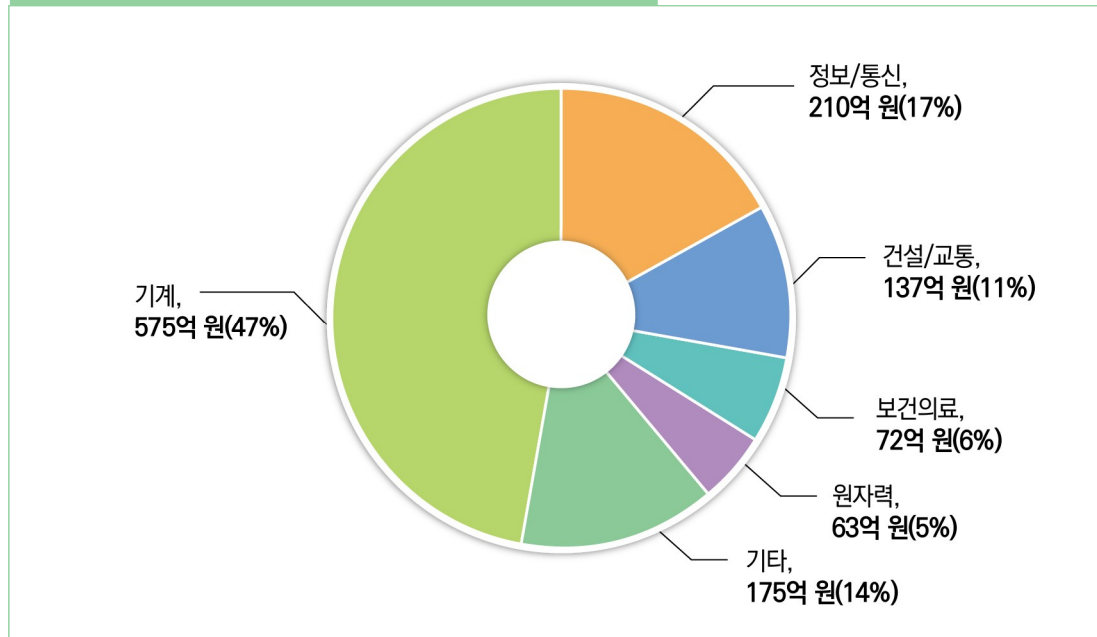


그림 8. 융합R&D 과제 연구비 규모 및 비율

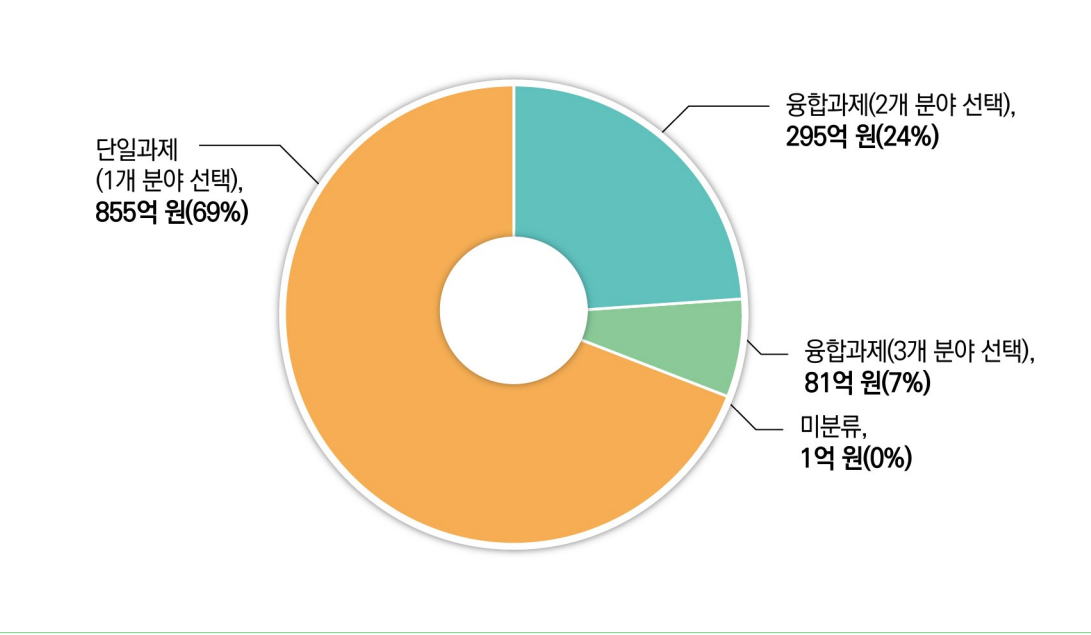
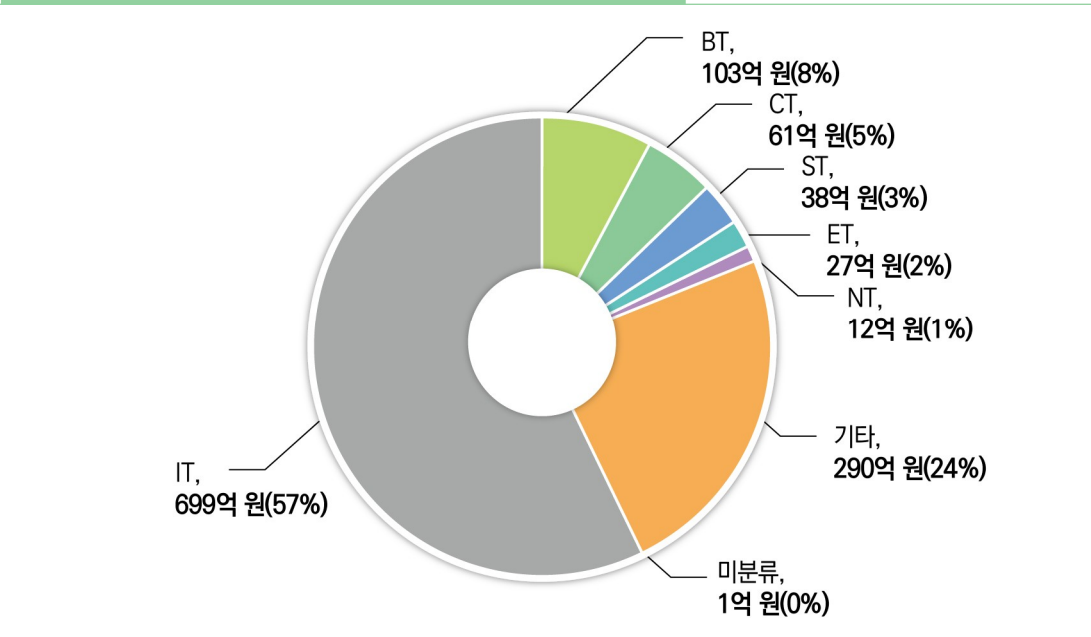


그림 9. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비율



□ (주요 과제) 원고의 주요 내용 및 키워드 등을 기준으로 선정함

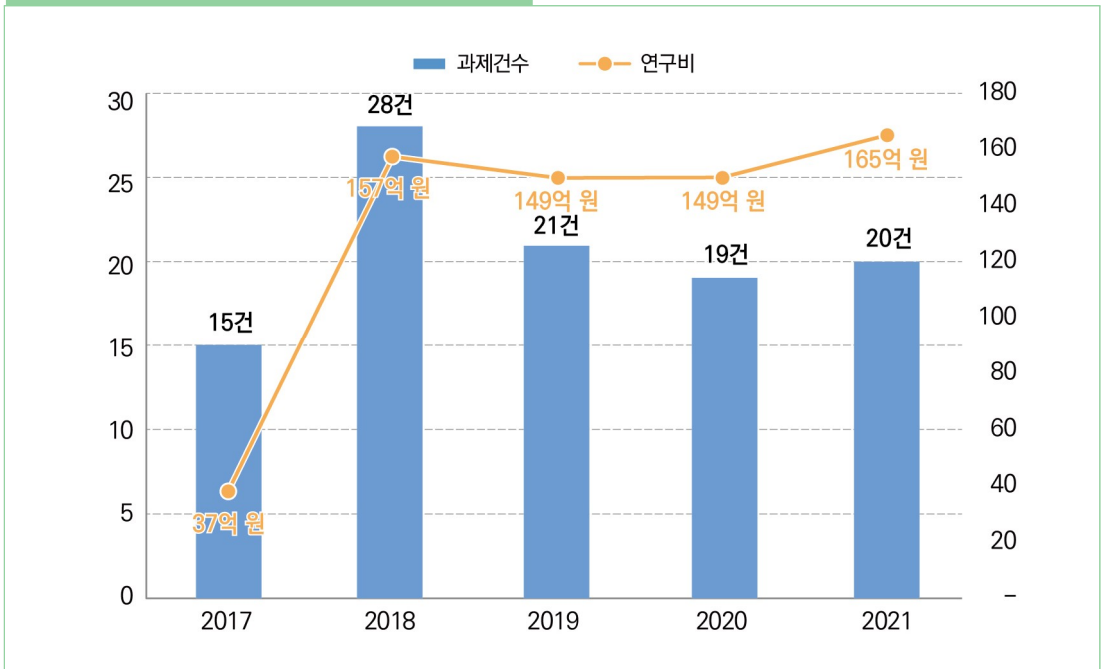
과제명 (사업명, 부처명)	수행기관, 총 연구기간, 연구비 규모	과제 주요 내용
재난 현장 구조 및 인도적 지원을 위한 차세대 로봇 원천기술 한미 공동연구 (로봇산업핵심기술개발, 산업통상자원부)	한국과학기술원, 2016-2019년, 12억 원('18)	예측이 어려운 재난환경의 다양성, 접근성, 위험성 및 시간적 변화에 유연하게 적응하며 주어진 임무를 수행 가능한 차세대 플랫폼 원천 기술 개발 등
화재현장에서 인명탐지 및 현장 내부 정찰을 위한 소방관 보조 로봇 개발 (중소기업기술혁신개발, 중소벤처기업부)	(주)비엠테크, 2017-2019년, 2억 원('18)	카메라 모듈, 환경인지 센서, 통신중계 모듈 등을 탑재한 인명탐지 및 현장 내부 정찰을 위한 소방관 보조 로봇 기술 고도화·상용화 제품 개발
재난지역 탐사를 위한 군집 UAV 기반 공중 로봇 네트워킹 시스템 개발 (개인기초연구, 교육부)	상명대학교(천안캠퍼스), 2017-2020년, 0.1억 원('20)	자연에서 흔히 관찰될 수 있는 스웜(Swarm) 현상에 착안하여, UAV 로봇들이 접근이 난해한 특수 지역에서 비행을 하면서 주변 환경에 맞춰 UAV 로봇 간의 재구성성을 통해 정보를 교환할 수 있는 자율적 지능 제어에 관한 시스템 개발

II 건물 재난관리 기술

□ (총괄) 최근 5년간('17~'21) 총 103건의 과제에 대해 657억 원의 연구비가 투자됨

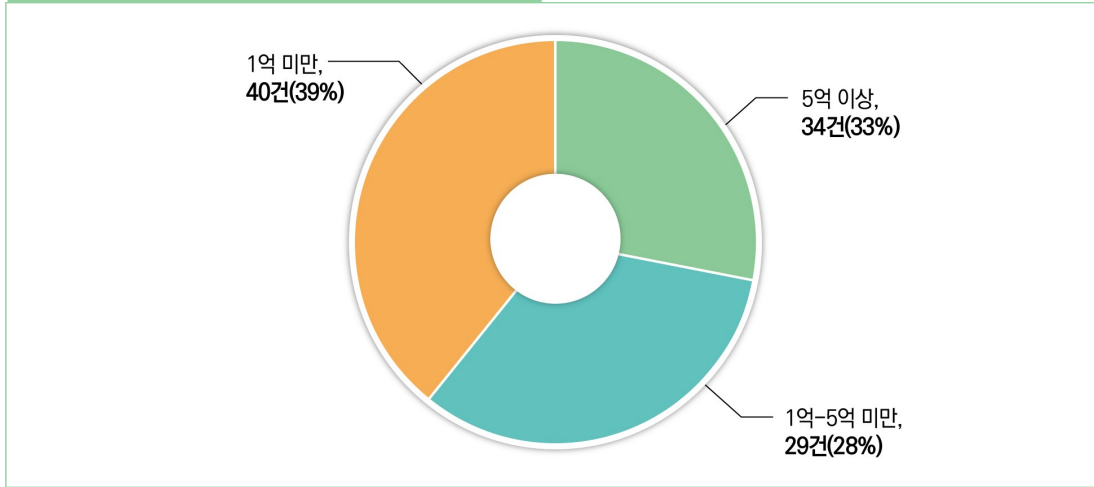
※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 플랫폼을 기반으로 관련 국가 연구개발 과제 분석 수행 : 원고의 핵심 키워드를 고려하여 '(IoT|ICT|VR|AR|BIM|실시간) 건물 (화재|재난|탈출)'로 검색

그림 10. 연도별 연구과제 건수 및 연구비



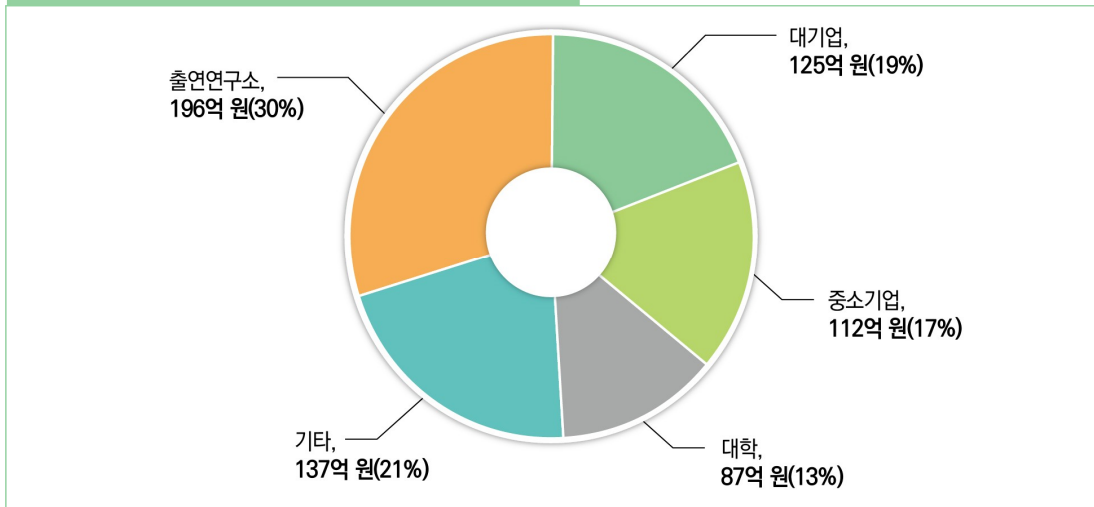
□ (연구비 규모별 과제 수) 1억 원 미만인 과제(39%, 40건), 5억 원 이상인 과제(33%, 34건), 1억 원 이상 5억 원 미만인 과제(28%, 29건) 순으로 큰 비중을 차지하고 있음

그림 11. 연구비 규모별 과제 수 및 비율



□ (연구수행주체) 출연연구소가 지원받는 연구비의 비중이 30%(196억 원)로 가장 높지만 대기업 19%(125억 원), 중소기업 17%(112억 원) 등 기업체들이 지원받는 연구비 비중도 높은 것으로 확인됨

그림 12. 연구수행주체별 연구비 규모 및 비율



- (연구수준) 연구수준을 분석한 결과, 건물 재난관리 관련 연구는 개발 단계인 것으로 나타남
- (연구개발단계 분석 결과) 건물 재난관리 관련 연구는 개발연구(77%, 507억 원) 중심으로 연구비가 투자되고 있으며 응용연구와 기초연구의 연구비 비율은 각각 15%(99억 원)와 4%(28억 원)인 것으로 확인됨
 - (연구개발성격 분석 결과) 제품 또는 공정 개발에 32%(208억 원)의 연구비가 투자되는 등 개발연구가 제품 및 공정개발로 이어지고 있음
 - (기술수명주기 분석 결과) 도입기와 성숙기 연구에 대한 연구비 비중은 각 33%로, 동일한 수준으로 투자되고 있는 것으로 나타남

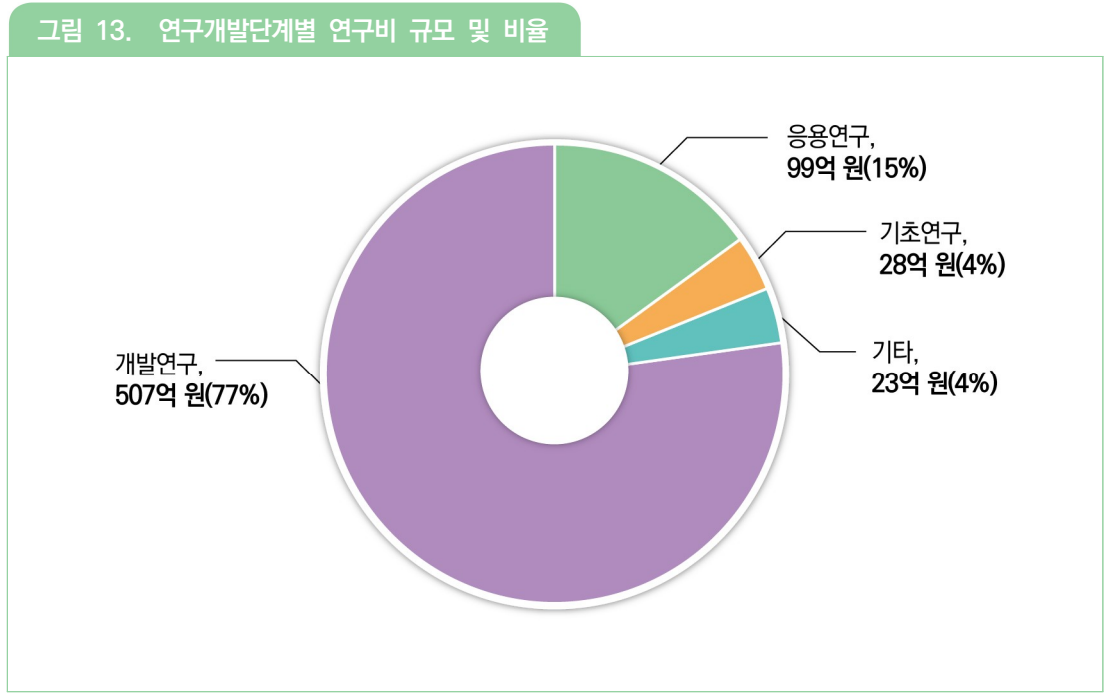


그림 14. 연구개발성격별 연구비 규모 및 비율

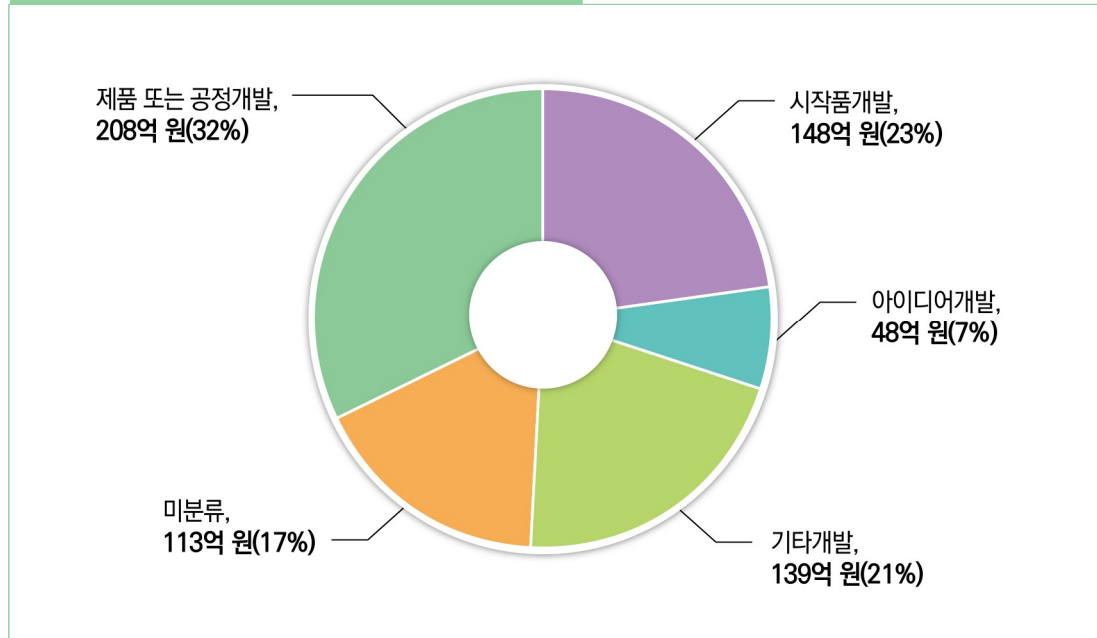
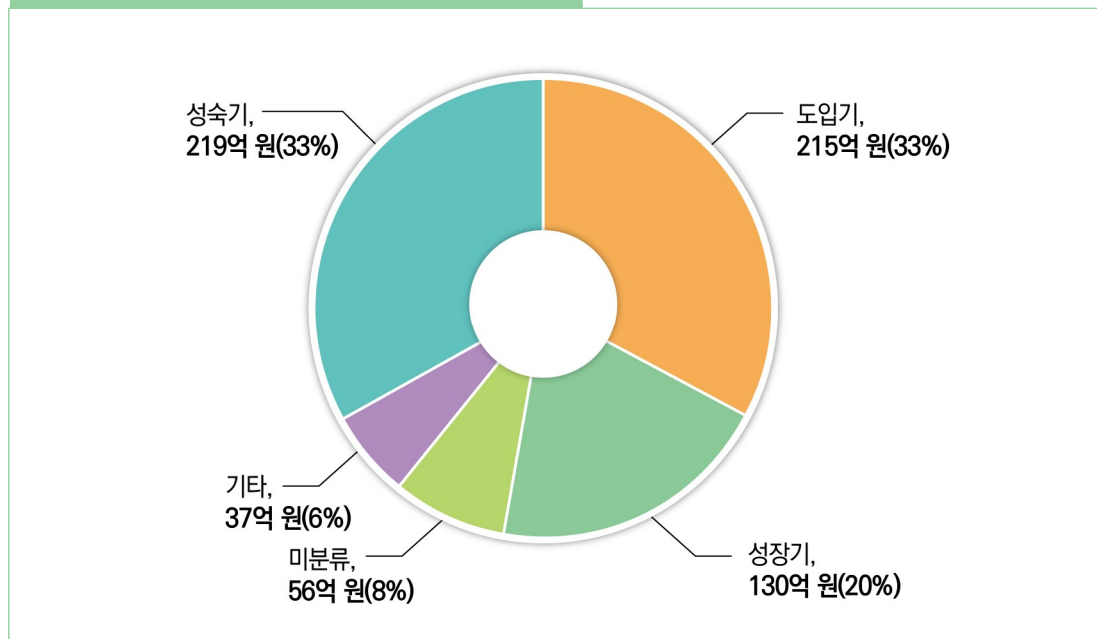


그림 15. 기술수명주기별 연구비 규모 및 비율



- **(연구분야)** 국가과학기술표준분류와 미래유망신기술분류(6T) 분석 결과, 건물 재난관리 연구는 정보통신 기술을 바탕으로 연구비 투자가 이루어짐
- **(국가과학기술표준분류 분석 결과)** 국가과학기술표준분류 중 정보/통신(43%, 279억 원) 분야에 대한 연구비 비중 가장 높은 것으로 나타났으며 건설/교통(27%, 180억 원) 분야가 그 다음으로 높은 것으로 확인됨
 - ※ 연구책임자가 최대 3개까지 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류에 대한 각 가중치를 고려한 결과임
 - 건물 재난관리 관련 전체 연구 중 융합과제에 해당하는 비율은 약 42%이며 약 277억 원의 연구비가 지원됨
 - ※ 융합과제란 연구책임자가 지정한 국가과학기술표준분류의 대분류가 두 개 이상의 분류에 해당하는 과제를 의미함
 - **(미래유망신기술분류(6T) 결과)** 정보통신 기술(IT) 관련 연구에 대한 투자 비중이 53%(350억 원)로 건물 재난관리 연구에 대한 전체 연구비의 절반 이상을 차지함

그림 16. 국가과학기술표준분류별 연구비 규모 및 비율

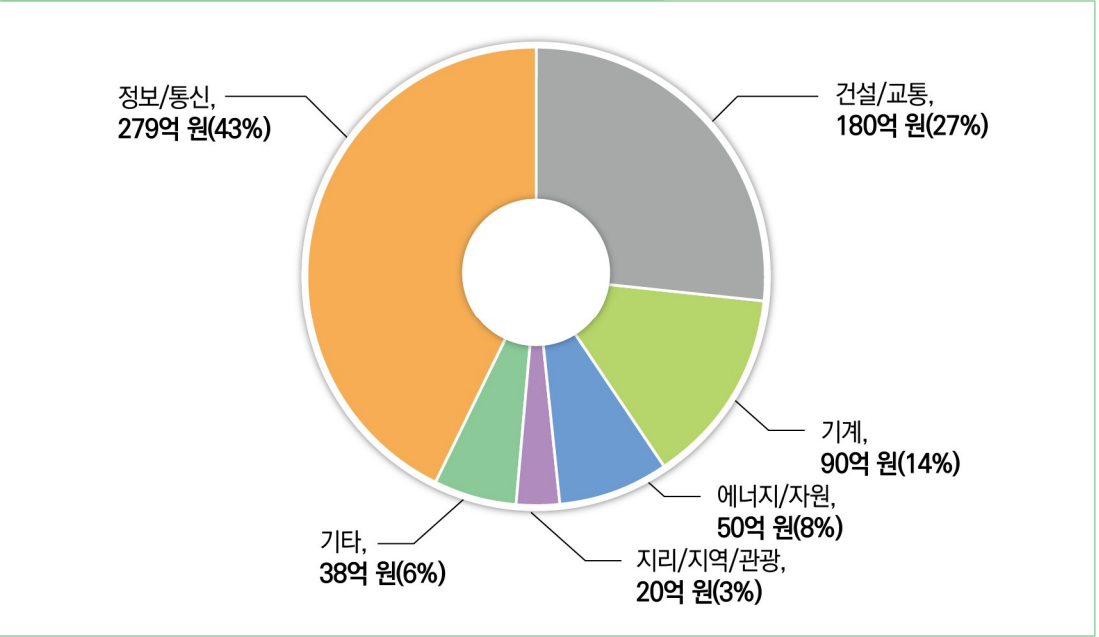


그림 17. 융합R&D 과제 연구비 규모 및 비율

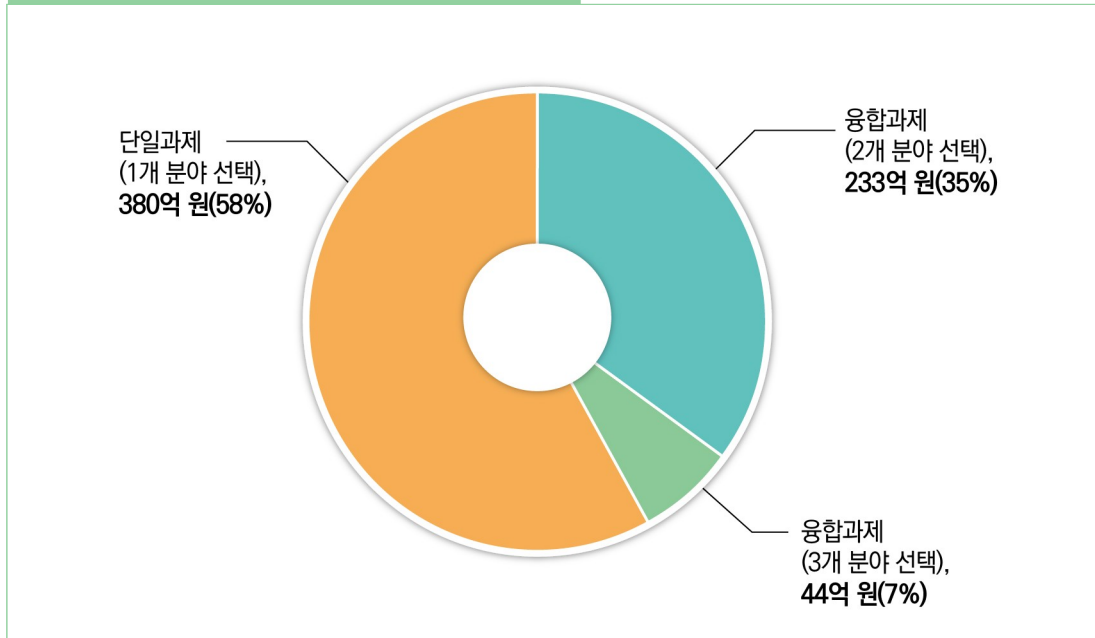
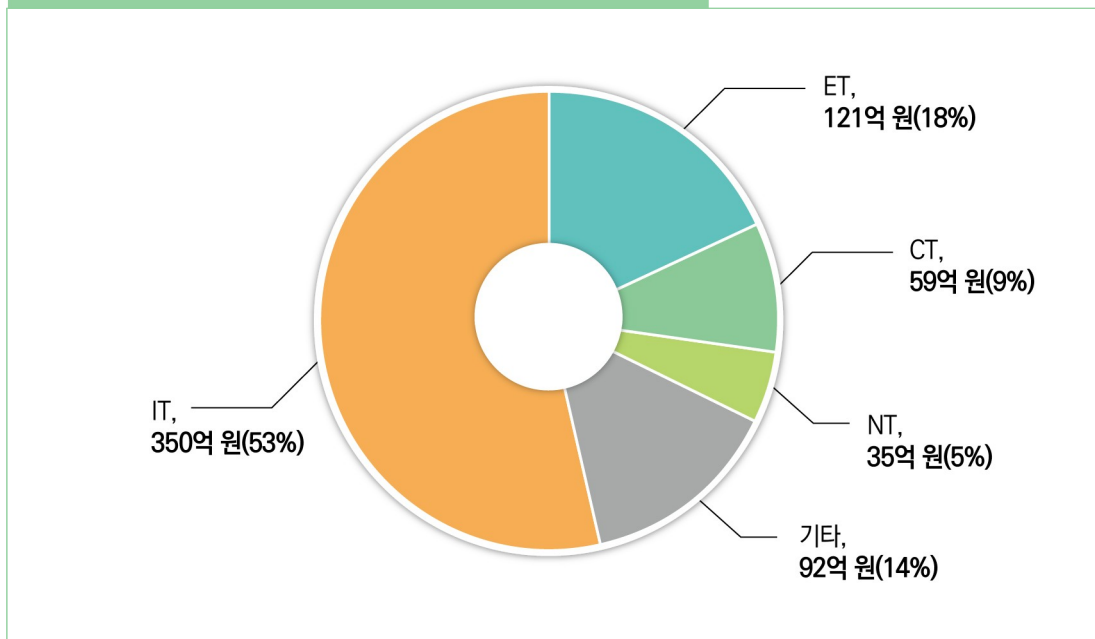


그림 18. 미래유망 신기술분류(6T)별 연구비 규모 및 비율



□ (주요 과제) 원고의 주요 내용 및 키워드 등을 기준으로 선정함

과제명 (사업명, 부처명)	수행기관, 총 연구기간, 연구비 규모	과제 주요 내용
5G 기반 요구조사 중심 재난안전 서비스 개발 및 실증 (범부처GigaKOREA사업, 과학기술정보통신부)	(주)KT, 2018-2020년, 40억 원('20)	5G 기반 핵심기술 및 ICT 최신기술을 활용하여 재난 상황에서 구조를 요하는 자 및 구조자의 안전권, 생존성 보장을 위한 5G 기반 재난안전 서비스 개발 및 실증
디지털트윈 기술을 활용한 지능형 통합방재시스템 개발 (중소기업상용화기술개발, 중소벤처기업부)	주식회사로제타텍, 2020-2022년, 4억 원('21)	효율적인 화재대응을 위한 3D/BIM (Building Information Model) 기반 디지털트윈 기술 융합을 통해 실제와 유사한 건물 정보 제공과 IoT 데이터 동기화 및 시각화를 구현하여 화재발생에 대한 실시간 통합 모니터링 시스템 제공
고층건물 화재 대응용 드론 기술 연구 (한국과학기술원연구운영비지원, 과학기술정보통신부)	한국과학기술원, 2019년, 0.2억 원('19)	실내자율 비행기술과 실내환경 인식, 경로생성기술을 운용할 수 있는 충분한 연산량을 지닌 소형 드론 플랫폼 개발과 실내자율 비행기술 개발을 목표로 함

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2022 May vol.8 no.5

이 보고서는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 사업임

(No. NRF-2012M3C1A1050726)