Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 22, No. 11 pp. 270-276, 2021

https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.11.270
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

난접근 재난 현장의 재난 로봇 기술개발 현황과 정책 제언

김성삼, 신동윤*
국립재난안전연구원 재난원인조사실

Current Status of Technology Development and Policy Recommendations of Disaster Robot for Inaccessible Disaster Site

Seong Sam Kim, Dong Yoon Shin*
Division of Disaster Scientific Investigation, National Disaster Management Research Institute

요 약 전세계적인 이상 기후로 인해 대규모 자연재난과 복잡한 현대 도시공간에서의 붕괴나 초고층 화재와 같은 사회재난의 발생 빈도와 규모가 크게 증가하고 있으며, 이로 인한 사회적 · 경제적 피해 규모도 갈수록 확대되고 있다. 이와 같은 최근 재난사고의 대형화 및 복잡성은 현장에서의 조난자에 대한 수색 · 구조과 초기 대응에 한계를 유발하고 있으며, 현장 대응 과정에서의 직접적인 인명 피해의 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 재난 대응 로봇의 개념과 국내외 개발 동향을 조사하고, 재난 현장의 실시간 상황 인지와 위험 요소의 탐지, 적시적인 초동 대응 및 인명 구조 등 실제 재난사고 현장에서의 적용사례 조사를 통해 재난 현장에서의 로봇 활용 수준을 분석하였다. 현재까지는 재난 현장에 로봇이 직접 투입된 사례가 적고 로봇 관련 기술 개발 수준이 초기 단계이지만, 향후 4차 산업혁명 시대 핵심 기술인 IoT 센서, 5G 통신과 인공지능 기술이 융합되면서 재난사고 현장에서도 로봇의 역할이 점점 확대될 것으로 전망된다. 이러한 재난 대응 로봇의 기술 개발 현황과 활용 사례를 토대로 본 논문에서는 재난현장 활용 중심의 연구, 재난 로봇 실험 인프라 확충, 로봇과 4차 산업혁명 핵심 기술 간의 융합, 정부 주도의 로봇 기술 개발 등의 향후 재난 현장에서 적용가능한 로봇 개발을 위한 기술·정책적인 측면의 시사점을 제시하였다.

Abstract Large-scale natural disasters due to an abnormal global climate and accidents such as building collapses and fires in high-rise buildings of complex modern urban have increased in frequency and scale significantly. The socioeconomic damages due to these calamities and accidents have also increased simultaneously. Recent large-scale and complex disasters have brought limitations to SAR and the initial response to the victims at the scene. Subsequently, this situation is a direct cause of rescuer sacrifice in field responses. In this paper, the definition of a disaster robot and its development trends were reviewed. In addition, this paper also analyzed various robot utilization cases through actual disaster applications with real-time disaster situation awareness, risk detection, timely initial response, and lifesaving. Currently, there are few cases where the robots are directly deployed at disaster sites, and the corresponding robot development is in the early stages. However, the role of disaster robots will gradually increase due to the incorporation of core technologies of the 4th industrial revolution like IoT sensors, 5G communications, and AI. Based on the analysis of the technology and applications of a disaster robot, we present four tech-policy implications for robot development: disaster application-oriented robot research, expansion of robot experiment facilities, convergence between robots and core technologies of the 4th industrial revolution, and government-led robot development.

Keywords : Disaster, Timely Response, Robot, On-site Applicability, Search and Rescue

본 논문은 국립재난안전연구원의 연구과제(주요 2021-06-03)로 수행되었음.
*Corresponding Author : Dong Yoon Shin(National Disaster Management Research Institute)
email: sdy718@korea.kr
Received October 13, 2021 Revised October 26, 2021
Accepted November 5, 2021 Published November 30, 2021

1. 서론

세계적인 이상 기후로 과거에 비해 지진, 태풍, 국지성 집중호우 등과 같은 대규모 자연재난이 자주 발생하고 있으며, 복잡한 도시공간에서 화재나 시설물 붕괴 등과 같은 사회재난이 점점 증가하고 있다. 이 같은 최근 재난의 대규모화 및 복잡성은 현장의 수색구조 및 초기 대응에 한계를 발생시키고 있으며, 화재, 시설 붕괴와 같은 위험으로 인한 현장 대응 소방관 등의 인명 피해의 직접적인 요인이 되고 있다. 이에, 위험한 재난 현장의 접근과 초기대응에 있어 현장 인력을 대체하거나 조력할 수 있는 대안으로서 로봇이 부상하고 있다.

재난 현장 대응을 위한 로봇(이하, 재난 대응 로봇)이 투입된 대표적인 사례로는 2001년 911테러로 인한 미국 뉴욕의 세계무역센터(WTC) 붕괴사고를 시작으로, 2011년 지진해일(tsunami)로 인한 일본 후쿠시마 원전 폭발과 방사능 누출사고, 2017년 멕시코 중부 지진 재난, 2019년 프랑스 파리의 노트르담 성당 화재 사고 등이 있으며, 이 사례들의 공통적인 특징은 인력의 재난 현장 투입이 어렵고, 광역적 피해에 대한 모니터링이 필요한 대규모 재난이라는 것이다[1-4]. 물론, 아직까지 재난 현장에 로봇이 투입된 사례가 적고 로봇 기술 개발이 초기 단계이지만, 향후 재난 대응 로봇이 현장 상황을 실시간으로 인지하고, 위험 요소를 초기에 발견, 제거함으로써 적시적인 초동 대응, 인명 구조 등을 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 특히, 4차 산업혁명 시대, 국가 신성장 동력 기술인 로봇 산업은 IoT 센서, 5G 통신과 인공지능기술과 융합되면서 재난사고 현장에서도 로봇의 역할이 점점 확대될 것으로 전망하고 있다[5-9].

본 논문에서는 재난 대응 로봇의 개념과 개발 동향, 적용사례 분석을 통해 향후 재난 현장에서 적용가능한 로봇 개발을 위한 정책 · 기술적인 시사점을 제시하고자 한다.

2. 재난 대응 로봇의 개발 현황

2.1 재난 대응 로봇의 임무와 기능

강제노동을 의미하는 체코어 “Robota”에서 유래한 로봇은 외부 환경을 인식하고 스스로 상황 판단을 통해 자율적으로 동작하는 기계장치이다. 로봇은 단순하고 반복적이며 열악한 현장에서 사람을 대신해 군 작전이나 수색구조 임무 수행을 위해 개발되기 시작했다. 제조업에서의 값비싼 노동력 대체와 높은 생산성 향상에 치중했던 과거 로봇의 역할과 달리, 사람과 서로 교감 · 협업하며 배송의료와 같은 생활 서비스에서부터 재난과 같은 특수 임무까지 전반적인 삶의 질 향상에 기여하고 있다[4,5].

재난 대응 로봇은 상황인지, 수색구조와 같은 초동 대응에서 복구 단계에 이르기까지 그 임무와 활용이 확장되는 추세이며, 매우 열악한 재난 상황에서 작동해야 하므로 일반 로봇에 비해 상대적으로 높은 요구 성능이 설계에 반영된다. 미국 수색구조지원로봇센터(CRASAR, Center for Robotic Assisted Search and Rescue)에서는 현장 정찰, 감시와 현장 매핑, 시설물 진단과 검사, 생존자 탐지와 수색, 현장에서의 응급 의료 진단과 조치, 현장 통신 중계, 요구조자를 위한 현장 2차 붕괴 예방, 장애물 제거, 잔해물 파악, 현장 내 밸브나 응급 장비 조작 등을 재난 대응 로봇의 핵심 임무로 제시하였다[1]. 위험한 재난 현장을 감시하는 로봇은 현장 밖의 관제 요원의 지휘·통제를 받으며 재난 상황을 실시간으로 전달하고, 내부 수색구조대를 조력하며 임무 수행 능력을 극대화한다. 미국 국립표준기술원(NIST, National Institute of Standards and Technology)에서는 재난 대응 로봇의 핵심 기능으로 신속한 현장 배치, 원격 운용성, 이동성, 물리적 강건성과 기민성, 현장에서의 서비스 신뢰성, 내구성과 경제성, 운용 안전성을 제시하였다[10].

2.2 재난 대응 로봇의 형태별 분류

중국, 일본, 미국, 한국, 독일 등 선진국 주도의 로봇 기술 발전과 상용화가 진전되면서 세계 곳곳의 재난 현장에 로봇이 활약하고 있다. 그러나, 아직까지 실용화 초기 단계인 재난 대응 로봇은 그 정의나 분류체계가 명확하게 정립되어 있지 않다.

재난 대응 로봇은 임무 영역과 특성, 형상에 따라 크게 무인 지상 로봇(UGVs, Unmanned Ground Vehicles), 항공 로봇(UAVs, Unmanned Aerial Vehicles), 수상 · 수중 로봇(UMVs, Unmanned Marine Vehicles/UUVs, Unmanned Underwater Vehicles)으로 구분할 수 있다(Fig. 1). 그 외에 뱀 형상 다관절 로봇이나 4족 로봇과 같은 생물학적인 특성을 모방한 로봇도 개발되었다[1].

2.2.1 지상 로봇(UGVs)

재난 현장에서의 무인 지상 로봇은 재난 요구조자를 수색하거나 유해 물질을 탐색하고 제거하기 위해 현장에

(a) UGV(REX™) (b) UAV(Falcon™) (C) UMV(EMILY™)) (d) UUV(SAROV™)

Fig. 1. Classification of disaster response robots

투입된다. 로봇의 크기가 임무 형태에 따라 다양하며, 휴대하기 쉽고, 조작하기 간편해 화재 진압이나 실종자 수색 등과 같은 초기 대응 단계나 시설물 정밀검사와 같은 복구 단계에도 투입된다. 지상 로봇에 탑재된 광학 · 열적외선 카메라, 레이저 스캐너와 같은 비전(vision) 센서를 통해 주변을 탐색하고 조종자에게 현장의 생생한 시각정보를 실시간으로 제공한다. 또한, 자동이나 원격으로 작동할 수 있고, 단독 또는 여러 대가 동시에 임무를 수행할 수 있다. 시료 채취, 밸브 조작, 잔해 제거와 같은 임무를 수행할 수 있도록 작업 팔(arm-type manipulator)과 같은 장치가 탑재되기도 하며, 유·무선을 이용하여 관제센터-로봇 간 혹은 다수 로봇 간의 연결(tethering)도 가능하다. 기존의 지상 로봇은 궤도나 바퀴가 달린 이동체 플랫폼의 형태를 띠고 있었으나, 한국 KAIST의 휴보와 같은 인간형, 4족 보행 로봇 등 다양한 형상의 지상 로봇이 재난 현장에 활용될 것으로 전망된다.

2.2.2 항공 로봇(UAVs)

보통 드론이라 불리는 무인 항공 로봇은 사전에 임무 비행 경로를 직접 계획하거나 항공촬영 전에 매핑 영역을 선택할 수 있다. 드론은 재난 현장에서 접근할 수 없는 붕괴위험 건축물에 가까이서 접근해서 비행함으로써, 높은 사진 해상도로 훨씬 정밀한 조사가 가능하다. 재난 현장의 관제센터와 수색구조대에 현장 항공촬영 영상을 실시간으로 전달·공유함으로써 현장 요원들을 전술적으로 통제하는 수단으로 활용된다. 최근에는 고층 건물 화재 진압시 발수 거리가 약 70m인 일반 소방차량의 한계를 극복하고자 물대포를 장착하고 지상 300m까지 비행하여 고층 건물의 화재를 진압하는 소방 드론이 개발되었다[11].

2.2.3 수상 · 수중 로봇(UMVs, UUVs)

강, 호수, 바다 등 수역에서 주로 활약하는 인명 구조용 수상 로봇은 U자형, 바나나 보트형, 소형 보트형 등 그 형상이 매우 다양하다. 휴대하기 간편한 수상 구조 로봇은 현장 출동 시간을 최소화할 수 있어 골든 아워 내에 인명 구조용에 적합하도록 설계된다. 2016년 유럽 난민 위기 때 길이 1.2m, 무게 11.3㎏, 강화 고무 재질의 보트형 수상 로봇인 Hydronalix EMILY는 23m/h의 속도로 그리스 해안에 있던 240여 명의 난민을 운송했다.

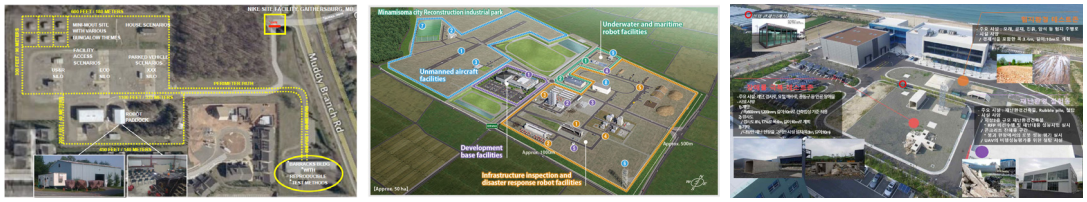
무인 수중 로봇은 수중에서의 정찰 속도가 빨라 인명 수색·구조에 유용하다. 수중 운용성과 심해 접근성 등 로봇의 수중 작업 수행력은 스쿠버 다이버에 비해 훨씬 높다. 또한, 소나(Sonar)와 같은 초음파 센서와 고해상도 카메라를 이용하여 탁하고 어두운 물속에서 수색·정찰 임무 수행이 가능하다. 수중 로봇은 2010년 멕시코만에서 발생한 기름유출과 같은 환경 재난 대응에도 유용하다. 사고 당시, 수중 로봇은 스쿠버 다이버의 잠수 범위를 벗어난 심해에서 파이프 배관을 연결하고 밸브를 개폐하는 세밀한 작업까지 수행했다.

2.3 재난 대응 로봇의 국내외 개발현황

국제로봇연맹(IFR, International Federation of Robotics)은 활용 분야에 따라 재난 대응 로봇을 소방·재난구조, 감시 · 보안, 기타 구조·보안 로봇으로 분류하고, 그 세부 유형을 소방 로봇, 수색·구조 로봇, 폭발물 처리 로봇으로 구분하고 있다[12].

국내에서는 재난 대응 로봇의 활용 분야별로 소방 로봇, 구조 로봇, 폭발물 처리 로봇, 원자력 대응 로봇 등으로 분류한다. 소방 로봇은 로봇 본체에 물·폼 대포, 연기·화학물질 흡입장치, 소방호스 견인장치 등이 장착되며, 화재 현장에 배치되므로 방수·방폭·방열 기능 탑재는 필수적이다. 2000년대 초부터 개발된 소방 로봇은 최근 들어 프랑스, 중국, 일본의 소방 조직에서 운용되고 있다.

재난 대응 로봇의 형상은 일반적으로 지상 이동체에 작업 팔이 장착된 형상이 주를 이뤘으나, 최근에는 인간형 또는 4족 보행 로봇, 협소한 매몰지역에서의 인명을 감지하고 수색하기 위한 다관절형 로봇 개발과 상용화가 활발히 진행되고 있다. 폭발물 처리 로봇은 애초에 군사용으로 개발되었으나, 최근 테러 현장의 대응에도 투입



(a) Nike site facilities of NIST(USA) (b) Robot test field of FIPO(Japan) (c) Robot test field of KIRO(Korea)

Fig. 2. Test-bed facilities for disaster response robots

되고 있다. 재난 대응 로봇과 기능이 거의 유사하지만, 더 정밀한 작업 팔과 집게, 감지기 및 영상장비, 냉각장치나 물대포와 같은 폭탄 처리장치가 장착된다.

2011년 후쿠시마 원전 사고를 계기로 관심을 받고 있는 원자력 재난 대응 로봇은 원전 실내 · 외 시설물 점검이나 검사, 현장 감시와 모니터링, 방사능 폐기물 처리 임무를 담당한다. 로봇 자체의 내방사선 기능과 험하고 협소한 원전 시설내 작업 제약 조건을 극복하기 위한 경량 재질의 금속이나 탄소섬유강화 플라스틱, 고출력 구동·조작 장치, 끊김없는 무선통신 등 고도의 요구 성능이 설계에 고려되고 있다.

국내에서는 2011년부터 2014년까지 추진된 산업통상자원부 로봇 보급사업을 통해 소방 로봇과 수상구조 로봇을 개발하였다. 한국로봇융합연구원(KIRO, Korea Institute of Robotics & Technology convergence)에서 재난 대응 로봇 개발 과제를 통해 소방 현장에서 작동할 수 있는 실전형 로봇을 개발하고 있다. 원자력 재난 대응 로봇은 한국원자력연구원(KAERI, Korea Atomic Energy Research Institute) 주도로 원전 시설물의 유지보수, 사고 대응, 제염 해체 등 원자력 업무용 로봇을 개발하고 있다[3,5].

2.4 재난 대응 로봇 개발을 위한 실증시설 현황

2.4.1 미국 NIST의 로봇실험센터

미 국립표준기술원(NIST)의 로봇실험센터는 국토안보부(DHS)의 수색구조 로봇의 성능을 평가측정하는 표준적 방법을 개발하기 위해 구축되었다. 미국 메릴랜드주 게이더스버그에 소재한 로봇실험센터는 36개의 수색·구조, 폭발물 처리, 자연··사회재난 환경에서 로봇 성능을 측정하는 실증 실험시설을 갖추고 있다(Fig. 2(a)). 재난 대응 로봇의 성능 표준화 연구를 위해 500kg 이내의 지상 로봇, 기체 중량이 2㎏ 미만인 소형 항공 로봇, 운항 속도가 30노트 이내의 수중 로봇에 대해 실증 실험을 하고 있다[10].

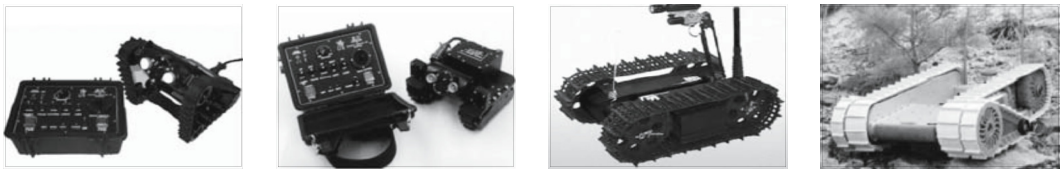
미국 국방부 방위고등연구계획국(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)은 후쿠시마 원전 사고와 같은 극한 재난에서 임무 수행이 가능한 로봇 개발을 목표로 재난 로봇 경진대회(DRC, DARPA Robotics Challenge)를 센터내 실증시설을 이용하여 주기적으로 개최하고 있다. 2013년부터 8가지 후쿠시마 원전 사고 시나리오(차량 운전, 문 개폐, 냉각수 밸브 조작, 벽 뚫기 등)를 기획하여 재난 대응 로봇의 성능을 평가하였다. 2015년 DRC의 최종 본선에 참가한 각국의 25개 팀 중 한국 KAIST의 휴보(DRC-HUBO)가 44분 28초 만에 시나리오 임무를 완수하여 우승을 차지하였다.

2.4.2 일본 FIPO의 로봇실험시설

2011년 후쿠시마 원전 폭발 사고 당시 실험개발 단계에 있던 로봇인 Quince의 실전 배치에 실패한 일본은 로봇 개발 단계에서 현장 실증의 중요성을 인식하고, 2020년 4월, 일본 내각부 주도로 후쿠시마현에 약 15만 평 규모의 로봇 실증 실험시설을 구축했다. 드론 실험시설, 도심 시설, 수중 · 수상 시설, 사회기반시설 등 4개의 재난 대응 로봇 실증실험 구역에 활주로, 비행장, 실내 수조, 시가지 현장, 산사태·붕괴 현장, 침수 도심 현장과 플랜트·터널·교량의 실물모형 등 21개 로봇 실증 실험시설이 조성되어 있다(Fig. 2(b)). 이 중 플랜트 실물모형은 높이 30m 규모의 6층 실험시설로, 다양한 형태의 배관, 밸브, 덕트, 계단, 나선형 계단, 수직 사다리, 좁은 통로의 캣워크(catwalk), 굴뚝 등이 설치되어 기계 진동, 계기 조작 불능, 연기 유입과 열원 발생과 같은 재난 환경을 그대로 재현할 수 있다[13].

2.4.3 한국 KIRO의 안전로봇 실증단지

2019년 6월, 재난안전 로봇 개발과 실증 실험을 위해 한국로봇융합연구원(KIRO)은 경북 포항시 흥해읍에 대지면적 약 6,000평 규모의 안전 봇 실증단지를 건립하였다. 이 실증단지는 지상 3층 규모의 연구동, 총 30여 가



(a) Micro VGTV (b) Micro Tracks (c) Solem (d) Packbot

Fig. 3. UGVs deployed at collapse site of WTC in 2001

지 로봇 성능을 실험하는 지상 1층의 로봇 실내 실증 실험동, 험지환경 테스트 존, 장애물 극복 테스트 존, 재난환경 테스트 존, 실외 관제실을 갖추고 있다. 험지환경 테스트 존은 모래, 암석, 진흙 등 10m 연장의 험지 주행로가 설치되어 있다. 장애물 극복 테스트 존은 계단, 경사로, 요철, 배수로, 공동구 등의 인공 장애물이, 재난환경 테스트 존은 약 30평 규모의 콘크리트 잔해물, 붕괴현장 등이 조성되었다[14].

3. 로봇을 활용한 재난현장 대응사례

3.1 미국 세계무역센터 붕괴사고

2001년 미국 뉴욕의 911 테러로 야기된 세계무역센터(WTC) 붕괴사고는 재난 현장에 로봇이 투입된 첫 번째 사례이다. 미국 국방부(DOD)와 수색구조지원로봇센터(CRASAR)가 주도하는 사고 현장의 지휘 아래, 군사용 지상 로봇인 iRobot Packbot, Inuktun Micro-Tracks과 Micro-VGTV, Foster-Miller Solem이 붕괴 현장에 매몰된 소방관과 요구조자의 수색 및 구조 작업을 수행하였다(Fig. 3). 그러나, 로봇 1대를 조종자 1명이 단독으로 원격 제어하는 작업 환경의 한계를 드러내며, 지능적인(intelligent) 통합 운용 시스템의 필요성과 비좁은 배관 내부나 가파른 경사, 계단이나 절벽과 같은 험지에서 작동가능한 소형 로봇의 개발을 앞당기는 계기가 됐다[3].

3.2 일본 후쿠시마 원전 폭발사고

2011년 3월, 일본 후쿠시마 원전 폭발사고 현장대응을 위해 미국 iRobot Packbot과 Warrior, QinetiQ Dragon Runner와 Talon, 일본 치바공대 Quince 등 총 5대의 지상 로봇이 제공되었으나, 실제 원자로 내부 조사에는 중동전에서 맹활약했던 Packbot만이 유일하게 투입되었다(Fig 4.(a)). 그 당시 카메라가 장착된 Packbot의 작업 팔 길이는 180cm, 로봇 중량은 35kg, 최대 60도의 경사 주행, 무선통신 도달거리는 약 800m였다. 본체에 카메라, 방사선 및 산소농도 측정기를 탑재하고 방사선 누출로 사람이 접근할 수 없는 제 1원전 건물의 1, 3호기 원자로 내부를 감시했다. 원격 조종방식의 Packbot 2대가 1조로 구성되어 1대는 관측용으로, 나머지 1대는 관측 로봇의 작업 상황을 감시했다. 원자로 내부의 산재된 잔해더미 때문에 2중 출입문에서 30m 이내로 조사 범위가 제한되었고, 원자로 건물 내부의 고습 환경으로 인해 로봇에 탑재된 카메라 렌즈가 흐려져 추가적인 영상 촬영에 문제가 발생했다. 2011년 4월부터 6월까지 원자로 건물 내부의 영상 촬영 및 방사선 측정, 2중 문 개폐를 위한 로봇 팔 조작 등을 위해 9회에 걸쳐 운용되었다[2].

일본도 막대한 예산으로 개발된 자국의 재난 대응 로봇을 원전사고 초동 대응에 활용하지 못한 경험을 토대로 현장에서 작동할 수 있는 고성능 로봇 개발을 앞당기는 계기가 되었다. 또한, 후쿠시마 제 1원전의 원자로 건물 상부 상황을 상공에서 정찰·감시하기 위해 미군용 드론인 Honeywell T-Hawk를 투입하였고(Fig. 4(b)), 2011년 4월부터 6월까지 총 6회를 운용하였다. 중동전 실전 배치를 목표로 미국 국방부 주도로 개발된 T-Hawk의 기체 중량은 7.7㎏, 가솔린 엔진으로 최대 10㎞까지 원격 조종이 가능했다[6]. 후쿠시마 원전 사고 이후, 일본 대학·기업을 중심으로 사고 수습을 위한 다양한 재난 대응 로봇을 개발하고 있으나, 방사선 노출과 고온다습한 원전 시설물 내부의 극한 작업 여건 때문에 로봇이 실제 현장에서 일부 작동 중단이나 회수 불능 등의 한계를 노출하고 있다[3].

3.3 멕시코 지진 재난

2017년 9월 19일, 규모 7.1의 지진이 멕시코 중부 지역을 강타한 후, 멕시코 당국의 요청으로 카네기멜론대의 뱀형 로봇(Snakebot)이 투입되었다(Fig. 4(c)). 구조대가 접근하기 어려운 건축물 내부나 비좁은 잔해물 사이로 로봇이 진입하여 부상자 탐색 및 구조 임무를 수행

(a) Packbot (b) T-Hawk (c) SnakeBot of CMU (d) Colossus for firefighting

Fig. 4. Disaster robots deployed at Fukushima nuclear accident site(a-b), Mexico earthquake(c), and cathedral fire in France(d)

할 수 있을 것으로 예상했으나, 투입 초기 기대와는 달리 현장 투입 횟수도 적었고 인명 탐지 사례도 없어 현장에서의 수색·구조 성과는 미미한 것으로 평가되었다. 현장의 구조대가 뱀형 로봇보다는 콘크리트 잔해 속에서 생존자의 소리를 쉽게 탐지해내는 고감도 마이크가 장착된 강철 플런저(steel plunger)와 냄새로 생존자를 탐색하는 구조견을 더 선호했기 때문이다. 멕시코 건물 붕괴 현장에서 인명 수색·구조 활동에 더 필요한 정보는 잔해 속에서 들려오는 생존자의 목소리로, 로봇에 탑재된 광학이나 열화상 카메라의 촬영 영상(vision)보다는 마이크나 감지기로 전달되는 음성 정보가 구조 활동에 더 효과적인 것으로 인식됨으로써, 연구실 내 로봇 개발 성능과 실제 재난 현장에서의 요구 성능 간에 여실한 간극이 있음을 보여 준 사례였다[3].

3.4 프랑스 노트르담 성당 화재

2019년 4월 15일, 프랑스 노트르담 성당 화재 때 파리소방대는 소방 로봇인 Shark Robotics의Colossus를 투입하여 불길과 유독가스, 성당 건물 붕괴 위협으로 소방관들이 접근할 수 없었던 건물 내부로 진입한 후 지속적인 발수를 통해 성당 내부로의 화재 확산과 건물 전체 붕괴를 막는 데 결정적인 역할을 했다(Fig. 4(d)). 또한, DJI Mavic Pro와 Matrice 210에 탑재된 화상 카메라를 통해 불길의 확산 과정을 공중에서 촬영해 지상으로 전송하고, 이 드론 항공 영상을 토대로 소방관제센터에서는 소방관과 소방장비 배치 계획을 수립했다. Colossus는 무게가 499㎏, 길이는 1.6m, 높이가 0.76m로, 6셀 리튬이온 배터리로 2개의 전기 모터를 가동한다. 평균 3.54㎞/h의 속도로 약 544㎏을 운반할 수 있으며, 약 304m까지 원격 제어가 가능하고, 물대포 등 소방장비를 탑재할 수 있다. 소방 로봇을 미리 현장에 투입시켜 어느 정도 진화된 상황에서 소방관이 진입함으로써, 소방관의 화재진압 및 구조 작업 위험성을 크게 줄였다[3].

소방 로봇인 Colossus와 DJI 드론을 상공과 지상에서 유기적으로 통합 운용함으로써 성당 내부의 화재 피해를 줄이는 데 기여한 것으로 평가되었다.

4. 결론 및 제언

3장에서 언급했듯이 재난 대응 로봇은 2001년 미국 뉴욕의 세계무역센터 붕괴사고 현장을 시작으로 2011년 일본 후쿠시마 원전 폭발사고, 2017년 멕시코 중부 지진 재난, 2019년 프랑스 파리의 화재사고 등 접근하기 힘든 세계 재난 현장 곳곳에서 역할이 확대되고 있다. 실제 로봇이 실증 실험 단계의 목표 성능을 발휘하면서 재난 현장에서 시의성있게 활용하기 위해서는 다음과 같은 기술·정책적인 환경이 조성되어야 한다.

첫째, 재난 대응 로봇의 기술 개발은 재난 현장 활용 중심의 연구 생태계로 변화시켜야 한다. 이를 위해 연구 계획 단계에서부터 현장 수요자의 참여와 다양한 목소리를 적극 반영하여 철저한 현장 중심, 수요자 중심의 로봇 기술을 개발해야 한다. 또한, 기술 개발 주체와 현장 수요자(혹은 운용자)간 긴밀한 협력을 통한 로봇 개발과 실증 실험으로 현장에서 수색구조팀이 로봇과 협업하며 임무를 완수해가는 환경을 조성해 가는 것이 중요하다.

둘째, 과거 재난 대응 로봇 개발 과정에서 수많은 시행착오와 실패의 경험을 토대로 현장에서 작동할 수 있는 로봇 개발에 집중하고 있는 일본, 미국 사례에서도 알 수 있듯이 실제 현장과 가장 유사한 환경에서 재난 대응 로봇의 성능을 실증할 수 있는 실험 인프라를 구축·활용하되, 로봇 성능 기준과 안전성을 검증할 수 있는 실증 실험 표준화 연구도 필요하다.

셋째, 4차 산업혁명 핵심기술과의 융합을 통해 로봇 기술의 현 수준을 혁신적으로 개선하여 재난 현업 활용성을 높여야 한다. 예컨대, 인공지능을 이용한 생존자 자동 탐색과 위치 추정, IoT·5G 통신기술을 이용한 로봇 자율 주행, 드론 군집 비행 기술과 광역 매핑 기술 등 4

차 산업혁명 요소 기술들을 조기에 적용함으로써 로봇의 현장 임무 수행 능력을 점진적으로 향상시켜야 한다.

마지막으로, 공공재 성격이 강한 재난 대응 로봇 산업의 특성상 핵심 수요자인 정부의 정책 추진 의지와 주도도 중요하다. 로봇이 우리 재난 현장 가까이 진입할 수 있도록 로봇 개발 관련 법 · 제도 개선과 불필요한 규제들을 완화하기 위한 중장기 발전 로드맵을 수립하여 체계적으로 추진해야 한다.

현재까지는 재난 현장에서의 로봇의 역할이 미미하지만, 머지않아 대규모 재난 현장에서 사람이 직접 수행하기에는 위험한 임무들을 로봇이 대신하거나 조력할 날이 오리라 기대된다.

References

[1] Robin R. Murphy, Disaster Robotics, The MIT Press, 2014. pp.15-17.

[2] J. W. Cho and K. M. Jeong, "Investigation of the Emergency Response Robots Used for Migigation of Severe Accident of the Fukushima Nuclear Power Plant", Proceedings for Institute of Control, Robotics and System, 2011. pp.1-8.

[3] KIRIA, "Keeper of Public Safety, Security and Disaster Relief Robot Trends", Robot Issue Report. No.2020-4, 2020.

[4] J. W. Park, "Latest research trends in disaster response robots", Issue Report, Korea Atomic Energy Research Institute, 2020.

[5] KIRIA, "Global Robot Industry Trend and Prospect", Robot Issue Report. No.2014-7, 2014.

[6] Maki K. H. and Yvan B. "Robot-Assisted Risky Intervention, Search, Rescue and Environmental Surveillance", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.7, No.1, pp.1-8, 2010. DOI: https://doi.org/10.5772/7249

[7] Vitor A. M., Roger G., Renan G. M., Darlan A. J., Guilherme H., Alvaro P. F., Davi H. S. and Luiz M. G. and Alexandre M. A., "A Survey on Unmanned Surface Vehicles for Disaster Robotics: Main Challenges and Directions", *Sensors*, Vol.19, No.3, p.702, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/s19030702

[8] Georgy S., Cristina B., Esther S., "Multiple UAV Systems: A Survey", *Unmanned Systems*, Vol.8, No.2 pp.149-169, 2020. DOI: https://doi.org/10.1142/S2301385020500090

[9] Norman K., Francesco N., Markus G., Diogo D. and Anand V., "UAV-Based Structural Damage Mapping: A Review", *ISPRS Int. Journal of Geo-Information*, Vol.9, No.1, p.14, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/ijgi9010014

[10] NIST, Standard Test Methods for Response Robots, 2016.

[11] Aerones, Aerones Drone Solutions, [Internet]. Aerones, 2021, Available From: https://www.aerones.com (accessed Oct. 26, 2021)

[12] IFR, World Robotics Report 2020. [Internet]. IRF, 2021, Available From: https://www.irf.org/ifr-press-release/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe (accessed Oct. 26, 2021)

[13] FIPO(Fukushima Innovation Coast Promotion Organization), Fukushima Robot Test Field, [Internet]. FIPO, 2021, Available From: https://www.fipo.or.jp/robot/en (accessed Oct. 26, 2021)

[14] Disaster Robotics Center at KIRO(Korea Institute of Robot Convergence), DRC Introduction, [Internet]. DRC, 2021, Available From: https://www.drc.re.kr (accessed Oct. 26, 2021)

김 성 삼(Seong Sam Kim) [정회원]

- 2002년 2월 : 국립경상대학교 대학원 도시공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 국립경상대학교 대학원 도시공학과 (공학박사)
- 2008년 2월 ~ 2009년 12월 : 연세대학교 박사후연구원
- 2009년 12월 ~ 2010년 12월 : University of Calgary, Post-Doc. Fellow
- 2011년 2월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 책임연구원/시설연구사

〈관심분야〉
사진측량, 원격탐사, GIS, UAV, 재난사고 조사분석

신 동 윤(Dong Yoon Shin) [정회원]

- 2017년 2월 : 국립부경대학교 공간정보시스템공학과(공학석사)
- 2017년 3월 ~ 2018년 3월 : 국토연구원 도로정책연구센터 연구원
- 2018년 4월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 연구원

〈관심분야〉
사진측량, 원격탐사, GIS, UAV