

• 특집 • 극한 환경 로봇 기술의 최근 연구동향

원자력 시설 안전을 위한 국내 로봇 개발 현황

Domestic Recent Works on Robotic System for Safety of Nuclear Power Plants

이성욱^{1, #}, 최영수¹, 정경민¹

Sung Uk Lee^{1, #}, Youngsoo Choi¹, and Kyung-min Jeong¹

¹ 한국원자력연구원 로봇기진단연구실 (Nuclear Robot and Diagnosis Team, Korea Atomic Energy Research Institute)
Corresponding Author / E-mail: sulee@kaeri.re.kr TEL: +82-42-868-8885
ORCID: 0000-0001-8673-001X

KEYWORDS: Nuclear power plant (원자력시설), Safety (안전), Robotic system (로봇), Emergency response (비상대응), Testbed facility (시설)

The importance of safety and emergency preparedness of nuclear power plants (NPPs) has been increasingly emphasized since the Fukushima accident. Recently, the Nuclear Robot and Diagnosis Team at Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) initiated research on an unmanned emergency response robotics system. The objective of the research was to provide a practical means that countermeasure the initial accident stages of NPPs. Considering that the robotic systems that tried to mitigate the damage caused by the Fukushima accident did not work adequately, the robotic system to be developed should be tested in the testbed simulating the accident site of NPPs. In this paper, the recent domestic works on a robotic system for the safety of NPP were introduced.

Manuscript received: February 4, 2019 / Revised: March 4, 2019 / Accepted: March 12, 2019

1. 서론

원자력을 이용하는 분야는 전기 생성, 동위원소 이용, 핵융합 등 그 분야가 넓고 다양하다. 특히 친환경 에너지로서, 원자력을 이용한 발전은 국내 전기 공급의 상당한 부분을 차지하고 있다. 하지만, 원자력 발전을 하기 위해서는 안전성 확보가 필요하다. 원자력 발전 중 발생하는 방사능은 인체에 유해하고, 원자력 발전소에서 중대사고 발생 시에 방사능은 환경과 거주민에게 큰 영향을 줄 수 있다. 그래서 원자력 발전설비에는 방사능이 누출되지 않도록 안전 장치들이 구비되어 있다. 원자력 발전설비를 안전하게 운영하기 위해서는 주기적인 유지보수 작업들이 법적인 기준에 의하여 진행된다. 유지보수 작업 시에 작업자와 장비들은 방사선과 방사능 물질에 대한 방호가 절대적으로 필요하다.

원자력 발전에 절대적으로 필요한 안전성 확보를 위하여, 한국원자력연구원의 로봇기진단연구실에서는 발전소 운영에

필요한 유지보수작업을 위한 로봇 기술을 1992년부터 개발하였다. 고방사선으로 인해 작업자의 접근이 어려운 곳에 작업자를 대신하여 작업을 수행할 수 있는 다양한 로봇 기술을 개발하였다. 원자력발전소에서 사용되는 로봇은 일반 로봇과 다른 고려사항들이 있다. 첫째로 로봇 메커니즘과 제어기는 고방사선 환경에 강인하여야 하고, 둘째로, 작업 위치까지 도달하기 위해 이동성이 좋아야 한다. 셋째로, 원격에서 로봇을 조작하기 위해서는 환경 인식용 센서가 필요하다. 마지막으로, 작업자가 로봇을 원활히 조종할 수 있도록 원격 제어 장치들이 필요하다. 로봇기진단연구실에서는 원자력 시설에서 활용될 수 있는 로봇을 개발하기 위하여 앞에서 언급한 기술에 대한 기반기술들을 확보하였고 기술 수준을 높이고 있다. 그래서 원자력 발전소의 유지보수를 위한 다양한 로봇들을 개발하였다.¹⁻³

1986년 체르노빌 원전 폭발사고 이후 프랑스와 독일은 원자력발전소 사업자가 주체가 되어 여러 대의 원격조작로봇을 방



Fig. 1 EROS (left) and EOLE (right) of GroupeIntra



Fig. 2 Emergency response robot of KHG

사선피폭 위험이 없는 1 - 10 km 거리에서 운용할 수 있는 비상 대응 협조체계를 구축하였다. 프랑스에서는 1988년 GroupeIntra 조직을 구축하였다.⁴ GroupeIntra는 프랑스 CEA와 프랑스 원자력 회사 Areva 그리고 전력공사 EDF가 구성한 원자력 사고 비상 대응 조직이다. GroupeIntra는 원자력 사고에 대응하기 위하여 고방사선 환경에서 작업 가능한 원격 조종 중장비, 로봇, 드론 등을 보유하고 있으며 주기적 훈련을 통하여 원전 사고에 대응하고 있다. GroupeIntra는 방사능 사고 발생 시에 작업자에게 위험한 실내 환경에서 내부 상태를 파악하기 위한 Fig. 1과 같이 원격 이동 로봇 2종 EROS (Engine Robot for Observation and Surveillance)와 EOLE (Engine Robot for Observation and Localization in the Environment)을 보유하고 있다. 이 이동 로봇은 매니퓰레이터가 부착되어 있어 폭발물 잔해나 시료 등을 회수할 수 있고, 카메라와 방사선 센서를 탑재되어 있어 실내 환경을 파악할 수 있다. 또한 GroupeIntra는 공중에서 방사선 측정, 지상의 상태의 파악을 위하여 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 보유하고 있는데, UAV에는 볼 형태의 카메라와 방사능 센서 등을 탑재하고 있다. Cartodrone 소프트웨어를 이용하여 측정된 감마 측정기의 데이터로부터 방사선 준위를 지형과 함께 화면에 표시해 준다. 독일에서는 프랑스의 GroupeIntra와 유사하게

독일의 원자력 발전소 사고에 무인 대응하기 위하여 KHG (Kerntechnische Hilfsdienst GmbH)를 만들었다.⁵ KHG는 원자력 사고에 대응하기 위하여 고방사선 환경에서 작업 가능한 원격 조종 중장비, 로봇, 드론 등을 보유하고 있다. KHG는 방사능 사고 발생 시에 방사선 누출을 탐지하고, 사고에 대응하기 위하여 Fig. 2와 같이 원격 이동 로봇 5종 (MF3, MF4, EROS, LMF, SMF)을 보유하고 있다. 하지만 GroupeIntra와 KHG에서 보유하고 있는 원자력 사고 대응 로봇들은 개발된 지가 오래되어, 현 기술을 이용하여 새롭게 개발할 필요가 있다.

2011년 동일본 대지진과 쓰나미의 자연재해로 의하여 후쿠시마 제1원자력발전소에 사고가 발생하였다. 후쿠시마 사고 이후에 원자력 발전소의 안전과 비상대응을 노력들이 전세계적으로 진행하였다. 자연재해로 인해 발생될 수 있는 문제점들을 해결하기 위하여 원자력 발전소의 설비들을 개선하고, 비상대응을 위한 설비들을 구축하고 있다.

후쿠시마 사고 시에 비상대응을 하기 위하여 로봇들이 투입되었다. 방사능 누출로 인하여 작업자들이 발전소 주변에 접근이 불가능하기 때문에 발전소의 내부/외부 상황을 판단하기 위하여 로봇들을 투입되었다. 사고 직후 원자로 건물의 외부 상황을 파악하기 위하여 미국 Honeywell사의 군사용 무인 헬리콥터 T-Hawk⁶가 투입되었고, 내부를 탐사하기 위하여 미국의 iRobot사의 Packbot⁷이 적용되었다. 발전소 내부와 주변에 있는 고준위 방사성 폐자재 해체, 처리에는 미국 QinetiQ사의 Talon,⁸ Bobcat⁹과 스웨덴 Brokk¹⁰사의 Brokk-90, Brokk-330로봇을 사용하고 있다. 사고 이후 일본에서는 후쿠시마 원전 내부의 상황 및 수습을 위한 로봇들을 현재 적용 및 새롭게 개발하고 있다.^{11,12}

후쿠시마 사고 이후, 한국원자력연구원의 로봇기진단연구실에서는 원자력 발전소의 비상시에 사고현장을 파악과 비상대응을 할 수 있는 비상대응 로봇에 대한 연구들이 진행되고 있다. 후쿠시마 사고 상황과 적용된 로봇들의 문제점을 고려하여 비상대응 로봇을 개발하고 있다. 일본에서는 앞으로 일어날 원자력 사고에 대한 비상대응 로봇을 개발하기 보다는 원전 내부 상황 파악, 시료 채취 등 사고 수습을 위한 로봇들을 현재 개발하고 있다. 이와 달리, 한국원자력연구원의 로봇기진단연구실에서는 후쿠시마 사고의 경험을 바탕으로 원자력 발전소에 사고가 발생 시에 초기 단계부터 적용 가능하고, 초기 단계부터 사고 대응 작업을 대신하여 신속하게 사고를 완화하거나 사고 확산을 방지할 수 있는 로봇을 개발하고 있다.

본 논문에서는 후쿠시마 사고와 같은 원자력 발전소 사고 시에 신속히 대응할 수 있는 국내 비상대응 로봇 개발 현황과 사고 모사환경 테스트베드에 대하여 서술하고자 한다.

2. 국내 비상대응 이동 로봇

국내에서는 원자력 발전소에 사고가 발생 시에 초기단계에서 사고 완화와 확산 방지를 위한 비상대응 이동 로봇을 개발

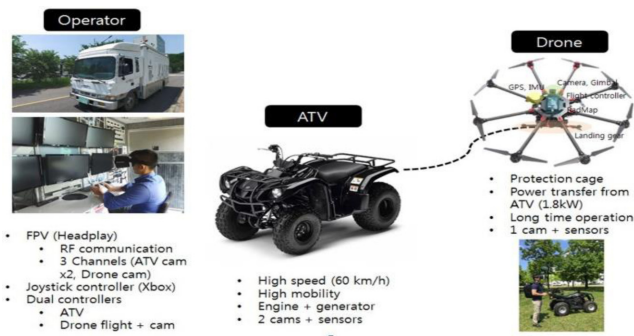


Fig. 3 Remote accident monitoring (RAM) system

하였다. 사고 완화와 확산 방지를 위해서는 발전소 외부 방사능 누출 정보를 신속/정확하게 파악하기 위한 Remote Accident Monitoring 시스템과, 비상 사고 시에 작업자가 사고 현장에 신속하게 접근하여 작업자들이 접근하기에 용이하도록 장애물이나 폐자재를 처리할 수 있는 원격 조작 지게차에 대하여 설명하고자 한다.

2.1 Remote Accident Monitoring System¹³

원자력 발전소의 사고 초기 단계에서는 방사능 측정이 중요하다. 원자력 발전소 외부로 방사능 누출 여부를 확인하는 작업이 필요하다. 단시간 내에 발전소 주변의 방사능 누출 여부를 확인하기 위해서는 지상과 공중에서 빠른 이동성이 요구된다. 이를 위하여, Fig. 3과 같이 Remote Accident Monitoring (RAM) 시스템이 개발되었다. RAM은 무인 지상 이동 플랫폼, 무인 공중 이동 플랫폼과 2개의 방사능 센서로 구성되어 있다.

(1) 무인 지상 이동 플랫폼

원자력 비상사고 발생 시에 사고 상황 모니터링에 적합한 지상 이동 플랫폼은 지형 적응성, 제어의 용이성, 주행 속도, 적재량, 회전 반경, 차폭, 신뢰성 및 충분한 수량을 고려하여, 무인 지상 이동 플랫폼을 험지나 장애물에 강한 특성을 갖는 All-Terrain Vehicle (ATV)로 선정하였다. 국내 대림사의 Allcourt 125 모델을 선정하였다. 기존 ATV를 원격에서 조작하기 위하여 구동 스로틀(Throttle), 브레이크(Brake)와 변속기에 조작 모터를 부착하였다. 무인 지상 이동 플랫폼에는 촬영되는 현장상황을 원격 제어실에 송신하기 위하여 HD급 수준의 영상 송수신 장비를 플랫폼에 부착하였다.

(2) 공중 이동 플랫폼

RAM에서 사용된 무인 공중 이동 플랫폼은 상업적으로 많이 사용되고 있는 드론(Drone)을 이용하였다. 사용된 드론은 8개의 회전익이 있는 S1000 DJI 모델을 사용하였다.

드론은 장시간 작동이 어렵기 때문에 큰 영역인 발전소 주변을 장시간 방사능 측정이 불가능하다. 그래서 장시간 동작을 위해, 무인 지상 이동 플랫폼과 무인 공중 이동 플랫폼 사이에 전력 케이블을 연결하였다. 이 전력 케이블은 최대 1.8 kW의 파

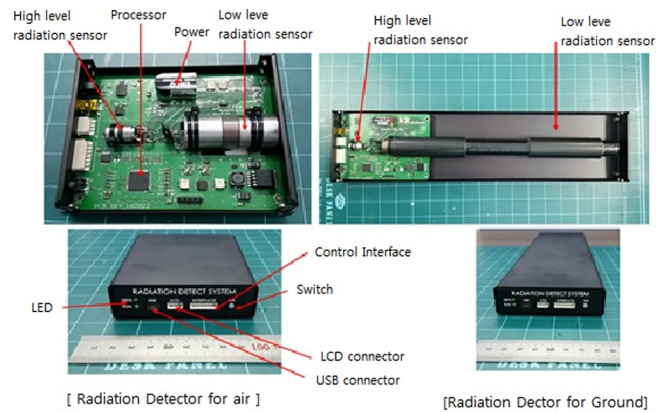


Fig. 4 Radiation detectors



Fig. 5 Radioactive disaster prevention drill

위를 공중 무인 이동 플랫폼에게 공급할 수 있고, 케이블의 길이는 50 m로 하였다. 공중 이동 장치에 전력을 공급하기 위하여 지상 이동 장치에 소형 발전기를 설치하였고, 발전기는 2-3시간 정도 사용할 수 있다. 그래서 공중 이동 플랫폼이 발전소 주변의 방사능을 측정할 수 있는 충분한 시간을 확보하였다.

(3) 방사능 수명 평가

공중 이동 플랫폼은 방사능 환경에서 동작하기 때문에 방사능 수명평가가 필요하다. 그래서 공중 이동 플랫폼의 부품에 대하여 방사능 수명평가를 수행하였다. 평가결과로 모터와 배터리는 누적허용선량이 2 kGy이고, 프로세서와 통신모듈은 누적허용선량이 약 280 Gy정도이다. 즉 공중 이동 플랫폼인 280 Gy 정도의 방사능을 맞을 수 있다.

(4) 방사능 센서

RAM에는 Fig. 4와 같이 지상과 공중의 방사능 측정을 위한 센서 2개가 있다. 공중 이동 플랫폼에 설치된 방사능 센서는 10 uSv/h - 100 Sv/h를 측정할 수 있고, 지상 이동 플랫폼에 설치된 방사능 센서는 1 uSv/h - 100 Sv/h를 측정할 수 있다.

(5) 방재 훈련을 통한 타당성 검토

원자력 비상상황에 효과적으로 대처하기 위해 방사능방재훈련을 실시하고 있으며, Fig. 5와 같이 하나로 방사능방재 합동훈련에 무인 이동플랫폼을 적용하여 적용성 확인 및 추가 개선사



Fig. 6 Remotely operated forklift

향을 도출하고 있다. 원자로건물 외부로 방사선이 누출되는 상황을 가정한 시나리오를 바탕으로 건물외부에서 RAM을 이용하여 방사선량을 측정하였다. 외부에서 측정된 방사선량 맵(Map)은 현장상황실의 원격 모니터에 전송되어 선량분포를 확인할 수 있다. 훈련을 통해 무선통신 음영구역 개선, 영상정보 제공, 훈련 현실감을 높이기 위한 가상 데이터 생성, 그리고 본 부상상황실에서도 현장상황을 파악할 수 있는 정보 제공 등의 개선사항을 도출하였으며, 향후 이를 개선하기 위한 노력을 수행할 예정이다.

2.1 Remote Accident Forklift¹⁴

원자력 발전소의 비상 사고 시에 발전소 주변의 장애물이나 폐자재를 처리하기 위하여 원격 조작이 가능한 원격 조작 지게차(Remotely Operated Forklift)를 개발하였다. 원격 조작 지게차는 두산에서 개발한 1.5톤의 중량을 취급할 수 있는 Pro 5 모델을 개조하여 Fig. 6과 같이 구성하였다.

원격 조작 지게차를 원격에서 제어하기 위하여 지게차의 조향, 브레이크, 가속, 전/후진 기어, Fork 상하와 틸트를 위하여 7개의 모터를 부착하였고, 이를 제어하기 위한 제어시스템을 구성하였다. 그리고 주행 중에 주변 상황을 파악하기 위한 LRF (Laser Range Finder)를 부착하여 주변 상황을 원격 제어실에 송신할 수 있도록 통신 모듈을 별도로 구성하였다.

그래서 작업자의 접근이 어려운 환경에서 비상대응 로봇이 신속하게 현장에 접근할 수 있도록 개발하였고, 현재 원격 조작 지게차의 조작 성능 개선을 위한 연구들이 진행되고 있다. 향후 지게차 및 굴삭기 등 건설 장비에 대하여 무인 시스템 구축이 필요할 것이라고 판단된다.

3. 원전시설 사고모사환경 테스트베드 구축

원자력 발전소 사고 초기에 신속 대응 로봇을 개발하기 위해서는 실증 시설이 필요하다. 신속 대응으로 개발된 로봇을 현장

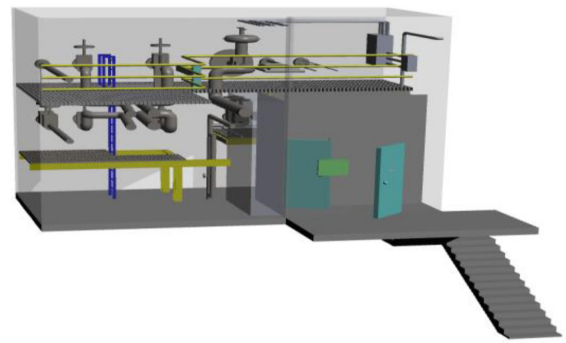


Fig. 7 Digital mockup of nuclear facilities for simulation

에서 적용 가능성과 성능을 확인하기 위해서 원전시설 사고 모사환경을 구축하였다.

원자력 발전소 사고 모사환경을 구축하기 위하여, 먼저 원전의 과도상태, 설계기준사고, 중대사고등의 환경과 운전원이 현장 조치하는 절차를 분석하였다. 분석된 절차를 기준으로, 운전원의 현장조치가 필요하고 운전원의 위험이 예상되는 긴급 조치 미션들을 선정하였고, 이들 중에 로봇을 적용 하는 미션을 선택하였다.¹⁵

로봇을 적용해야 하는 미션 중에 원자력 발전소의 보조건물에 있는 화학체적제어 계통 유출밸브실에서 긴급하게 조치하는 미션을 선정하였다. 보조건물에 있는 유출밸브실에 있는 밸브를 긴급히 조작해야 하는 미션이다. 미션을 수행하는 환경이 방사능 누출 위험과 고온등 작업자의 접근이 용이하지 않다. 그래서 개발된 로봇의 적용 가능성과 성능을 확인할 수 있도록 화학체적제어 계통 유출밸브실의 환경을 모사하였다. 유출밸브실과 같은 크기로 모사하였고, 실에 있는 진입계단, 문 3개, 사다리 1개, 그레이팅 바닥, 밸브 6개, 배관 6개등을 고려하였다.

3.1 사고 모사환경의 디지털 테스트베드 구축

원자력 비상대응 로봇의 개발 시에 필요한 사고 모사 환경의 디지털 테스트베드를 원자력 발전소 보조건물의 화학체적제어 계통 유출밸브실을 유사하게 Fig. 7과 같이 구축하였다. 이 디지털 테스트베드를 기반으로 기존 로봇과 개발중인 로봇에 대하여 적용성 여부를 확인할 수도로 구성하였다.

디지털 테스트베드는 로봇을 가상적인 공간에서 시뮬레이션을 할 수 있도록 V-Rep 시뮬레이션 툴을 이용하였다. 구축된 디지털 테스트베드를 통해서 Fig. 8과 같이 트랙형 로봇이 계단 등반 및 하강, 턱 통과, 협소지역 통과 작업을 수행할 수 있는 여부를 확인할 수 있다.

현재 구성된 디지털 테스트베드를 이용하여 기존 로봇의 적용 가능성 여부와 개발된 로봇에 대하여 적용 및 문제점등을 파악하고 있다.

3.2 사고 모사환경 테스트베드 구축

실 환경에서 사고 모사환경 테스트베드를 원자력발전소의 보

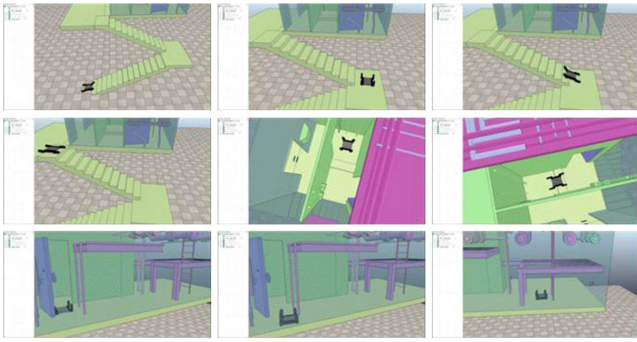


Fig. 8 Mobile robot simulation at digital testbed

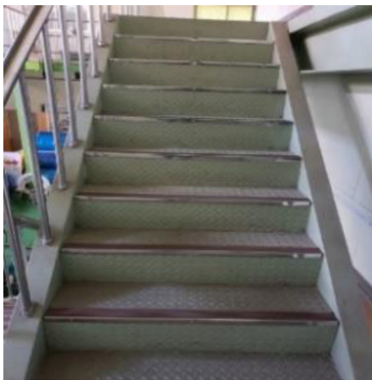


Fig. 9 Stair of testbed



Fig. 10 Door and obstacle of testbed

조건물에 있는 화학체적제어 계통 유출밸브실의 환경을 유사하게 구축하였다. 실제 환경에서 로봇을 적용할 때에 미션과 로봇 움직임에 영향을 줄 수 있는 환경(바닥면, 계단, 턱 및 장애물, 사다리, 문)을 실제와 유사하도록 구축하였다.

(1) 계단 모사

화학체적제어계통 유출밸브실 경로상에 있는 계단을 실제로 구성하기에는 공간상에 제약이 있어, 실제 경사각은 28도로 되어 있으나, 테스트베드에서는 32도로 Fig. 9와 같이 구성하였다. 이는 경사각이 커질수록 로봇의 무게중심의 이동에 의한 전복과 계단 승하강이 가능한지를 파악하기 위해서 구성하였다.

(2) 턱과 장애물 모사

테스트베드의 턱은 실제 환경과 동일하게 Fig. 10과 같이 38 cm(폭) × 104 cm(길이) × 14 cm(높이)로 구성하였다. 유출밸브실



Fig. 11 1st floor of testbed



Fig. 12 2nd floor of testbed

경로상에 있는 장애물은 Fig. 11과 같이 1.1 m 높이의 수평 장애물을 실제와 동일하게 테스트베드 1층에 구성하였다.

(3) 문 모사

테스트베드의 문 손잡이는 Fig. 10과 같이 구형, 푸시형, 핸들형 등 3종류를 설치하였다. 구형 손잡이의 경우 원주방향으로 45°의 회전으로 잠금이 해제되며 밀거나 당겨 이동로를 확보할 수 있다. 푸시형은 약 10 mm 정도로 푸시바를 밀어주면 잠금이 해제되는 구조이다. 핸들형은 180° 회전으로 잠금이 해제되며 밀거나 당겨 이동경로를 확보할 수 있다. 로봇이 문의 손잡이를 구동하면서 방안으로 들어갈 수 있는 여부를 확인하고자 구성하였다.

(4) 바다면 모사

실제 환경에서 바닥면은 콘크리트와 그레이팅 바닥면으로 구성되어 있고, 그레이팅 틈 간격은 $3.5\text{ cm} \times 9\text{ cm}$ 이다. 그래서 로봇 이동이나 회전 시에 그레이팅 틈에 이동 기구가 간섭이 되는지를 확인하기 위하여 Fig. 12와 같이 2층에는 그레이팅 바닥면으로 구성하였다.

(5) 사다리 모사

유출밸브실의 밸브를 동작하기 위해서는 수직형 사다리가 존재하여, 실제 환경과 동일하게 Fig. 12와 같이 폭 55 cm, 가로대의 가격 30 cm로 구성하였다.

사고 모사환경 테스트베드를 기반으로 유출밸브실까지 접근할 수 있는 로봇을 개발하고 있고, 개발된 로봇을 테스트베드에서 성능 시험을 진행할 계획이다.

4. 결론

후쿠시마 사고와 같은 원자력 발전소 사고 시에 신속히 대응할 수 있는 국내 비상대응 로봇 개발 현황에 대하여 서술하였다. 원자력 발전소 사고 시에는 방사능으로 인하여 작업자 접근이 어렵기 때문에 초기에 사고 현장에 신속히 접근하여 현장 상황 파악 및 조치를 수행할 수 있는 로봇 연구들을 살펴보았다. 한 국원자력연구원에서는 실제 사고 환경과 유사한 사고 모사환경 테스트베드를 기반으로 향후 현장 적용가능성이 높은 로봇기술들을 개발하고자 한다. 개발된 로봇들은 테스트베드에서 단위 실험 및 방재훈련을 통해 적용성 및 성능을 파악하고 개선사항을 도출하여 실제 현장에서 적용 가능하도록 노력하고 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 출연금으로 지원을 받아 수행된 주요연구사업임.

REFERENCES

- Kim, S., Jung, S. H., Lee, S. U., Kim, C. H., Shin, H. C., et al., "Application of Robotics for the Nuclear Power Plants in Korea," Proc. of the Applied Robotics for the Power Industry 1st International Conference, 2010.
- Kim, S. H., Kim, C. H., and Seo, C. Y., "The Development of an Inspection/Maintenance Robot for Steam Generator Tubes," Korea Atomic Energy Research Institute, Vol. 35, No. 36, pp. 1-560, 2003.
- Lee, S.-U., Choi, Y.-S., Jeong, K.-M., and Jung, S., "Development of an Underwater Manipulator for Maintaining Nuclear Power Reactor," Proc. of Control, Automation and Systems International Conference, pp. 1006-1010, 2007.
- GroupeIntra, "GroupeIntra," <http://www.groupe-intra.com> (Access 14 MAR 2019)
- KHG, "Kerntechnische Hilfsdienst GmbH," <https://khgmbh.de> (Access 14 MAR 2019)
- Wikipedia, "Honeywell RQ-16 T-Hawk," https://en.wikipedia.org/wiki/Honeywell_RQ-16_T-Hawk (Access 14 MAR 2019)
- Wikipedia, "Packbot," <https://en.wikipedia.org/wiki/PackBot> (Access 14 MAR 2019)
- QINETIQ, "Talon," <https://qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/talon> (Access 14 MAR 2019)
- CNET, "Qinetiq Robo-Loaders Heading to Fukushima," <https://www.cnet.com/news/qinetiq-robo-loaders-heading-to-fukushima> (Access 14 MAR 2019)
- BROKK, "BROKK," <https://www.brokk.com> (Accessed 14 MAR 2019)
- Zhang, Q., Zhao, W., Chu, S., Wang, L., Fu, J., et al., "Research Progress of Nuclear Emergency Response Robot," IOP Publishing, Vol. 452, No. 4, Paper No. 42102, 2018.
- Cho, J. W. and Jeong, K. M., "Investigation of the Emergency Response Robots Used for Mitigation of Severe Accident of the Fukushima Nuclear Power Plant," Journal of Institute of Control Robotics and Systems, No. 7, pp. 1-8, 2011.
- Park, J. and Choi, Y. S., "An Aerial and Ground Monitoring System for Nuclear Accidents," Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, 2017.
- Kim, W. W., Kim, H. P., and Park, J. Y., "Advanced System Establishment for Nuclear System Integrity," Korea Atomic Energy Research Institute, pp.1-385, 2015.
- Choi, Y. S., Lee, S. W., Jo J. W., and Jung, K. M., "Derivation of Robot Mission for Nuclear Emergency Response/Derivation of Robot Mission for Nuclear Emergency Response," KORNIS, Article No. 2017-002563, 2017.



Sung Uk Lee

Principal researcher in KAERI. His research interest is robust control and hydraulic manipulator.

E-mail: sulee@kaeri.re.kr



Youngsoo Choi

Principal researcher in KAERI. His research interest is emergency response robot and radiation hardening.

E-mail: yschoi1@kaeri.re.kr



Kyung-min Jeong

Principal researcher in KAERI. His research interest is emergency response robot.

E-mail: kmjeong@kaeri.re.kr