



## 원자력 환경에서 로봇과 자율 시스템의 활용

Simon Watson<sup>1)</sup> · Barry Lennox<sup>2)</sup> · Jennifer Jones<sup>3)</sup>



Simon Watson



Barry Lennox



Jennifer Jones

### 들어가며

원전 해체와 방사성폐기물의 안전한 처분은 사회적으로 중요도가 높은 국제적 문제다. 영국의 legacy 폐기물 해체만 하더라도 유럽 전체를 통틀어 가장 큰 환경 복원 프로젝트로, 완료까지는 100년 이상이 걸리고, 정화 비용에는 최대 2200억 파운드가 들 것으로 예상된다[1].

영국 내의 legacy 폐기물의 양은 매우 방대한데, 영국원자력해체청(NDA)에 따르면 중준위 폐기물(LLW)만 29만 m<sup>3</sup>에 달할 것으로 추산된다[2].

legacy 폐기물은 매우 오래된 것이 대부분이다. 미국과 영국의 원자력 활용은 1940년대에 시작되었는데, 1949년 소련의 첫 원자폭탄 실험 이후 크게 가속화 되었다.

영국은 1956년 셀라필드 부지에서 세계 최초의 상용 민간 원자력발전소를 가동하면서 원자력의 평화적 이용을 선도했다. 실험로, 저장 시설 및 핵 연료 재처리 공장을 포함한 영국의 많은 원자력 시설은 현재 해체가 시급한데, 영국원자력해체청(NDA)은 일부 시설, 특히 셀라필드 부지 저수조와 사일로를 더 이상 묵과할 수 없는 위험 요인으로 기술하고 있다.

이러한 시설에는 사람의 접근이 불가능한 경우가 많으며, 접근이 가능한 알파 오염 구역의 경우에도 공기 주입식 플라스틱 슈트, 플라스틱 슈트에 구멍이 나지 않도록 보호하기 위한 가죽 작업복, 여러 쌍의 장갑 등 개인 보호 장비(Personal Protective Equipment, PPE)를 착용해야만 접근이 가능하다.

1) **Simon Watson** : Dr Simon Watson is a Senior Lecturer in Robotic Systems at the University of Manchester, UK. He has over 10 years' experience developing robots for hazardous environments, primarily for the nuclear industry, but also for offshore wind farms and underground mines. He is co-founder and deputy lead of the Robotics for Extreme Environments Group within the University of Manchester. [simon.watson@manchester.ac.uk](mailto:simon.watson@manchester.ac.uk)

2) **Barry Lennox** : Prof Barry Lennox FREng is Professor of Applied Control at the University of Manchester, UK and holds a Royal Academy of Engineering Chair in Emerging Technologies focused on the development of robotic systems for use in nuclear facilities. He is the Director of both the RAIN Hub and the RNE Programme Grant and is co-founder and lead academic for the Robotics for Extreme Environments Group at the University of Manchester. [barry.lennox@manchester.ac.uk](mailto:barry.lennox@manchester.ac.uk)

3) **Jennifer Jones** : Dr Jennifer Jones is the project manager for the Robotics for Nuclear Engineering (RNE) project at the University of Manchester. She has over 5 years' experience working the nuclear industry to develop solutions to nuclear decommissioning challenges and manages the University of Manchester's Robotics for Extreme Environments Laboratory, which is located 10 miles from the Sellafield nuclear site in the UK. [ennifer.jones@manchester.ac.uk](mailto:ennifer.jones@manchester.ac.uk)



작업자는 전통 공구를 사용해 오염된 실험실 장비를 절단하고 저장 용기에 보관한다. 이러한 환경에서 일하는 것은 스트레스 지수가 높고 육체적으로도 힘들며 작업자의 안전에 위협을 초래한다.

과거에는 기록 관리가 현대적 기준에 비해 엄격하지 않았기 때문에 내용물을 알 수 없거나 오염 수준이 서로 다른 폐기물이 혼합되어 있는 보관용기도 있다.

셀라필드 현장에서만 69,600 m<sup>3</sup>의 legacy 중준위 폐기물을 179,000개의 저장 용기에 넣어야 한다[2]. 저준위 폐기물로 중준위급 폐기물 용기를 낭비하지 않기 위해서는 많은 오래된 legacy 용기를 개방해 그 내용물을 “구분해 분리해야”만 한다[3].

이러한 작업을 수행하기 위해서는 엄청난 양의 복잡한 원격 조작이 요구된다. 놀랍게도 원자력산업에서 로봇의 사용도는 현저히 낮았다. 대부분의 원격 조작은 숙련된 고령의 작업 전문가(평균 만 55세[4])가 원격조종기(Master-Slave Manipulator, MSM)를 사용하는 방식으로 수행되고 있다. MSM과 같은 기기는 1949년쯤부터 사용되었는데 1960년대 이후로는 설계가 변경된 부분이 거의 없다. 로봇이 사용되는 경우에도 주로 기초적인 방법으로 직접 원격으로 작동되었다 [6, 7].

견고함과 안정성으로 원자력산업에서 널리 신뢰받고 있는 이러한 로봇은 인코더가 없으며, 역운동학(inverse-kinematics)을 통해 조이스틱을 이용한 직교좌표형 작업 영역 제어를 하는 것이 불가능하다.

작업자의 상황 인식이나 깊이 감각은 매우 제한되어 있으며, 작업자는 1.2m 두께의 납유리 창을 통해 로봇을 본다. 작업자는 경험을 바탕으로 역운동학을 추측하면서 각 로봇 관절을 직접 조작한다.

이러한 제어 방법은 대학 연구소의 로봇 공학 연구자에게는 매우 이상하게 보일 수도 있으나 원자력산업

에서는 표준적이고 흔한 방법이다.

로봇공학이 제조업계에 불러온 변화를 비추어볼 때, 원자력 환경에서는 왜 여전히 이러한 수작업에 의존하고 있는지 의문이 들 수 있다. 운영이 매우 반복적이고 환경의 불확실성이 없는 자동차산업 등과 달리, 원자력 해체 환경은 대체로 체계화되어 있지 않고 매우 불확실하다.

legacy 시설은 수십 년간 폐쇄되어 있었던 경우가 많아 재고 기록과 설계도면 정보가 불완전하고, 오류가 있거나 사용할 수 없는 경우도 있어 많은 경우 현대 로봇 솔루션의 사용이 적합하지 않다[8].

영국은 legacy 시설 해체 외에도 새로운 원자력발전소와 지층처분시설(GDF) 건설을 진행할 계획이며 핵융합 기술에 상당한 자원을 투자하고 있다.

이러한 시설들의 성공적인 운영을 보장하고 미래 세대에 복잡한 해체 문제를 남기지 않기 위해서는 원자력산업 전반에 걸쳐 새로운 로봇 기술을 개발하고 효율적으로 사용하는 것이 필수적이다.

근래의 발전에도 불구하고, 원자력산업에서 로봇 및 자율 시스템(RAS)을 활용하는 데는 여전히 상당한 장애물들이 존재한다. 이러한 장벽을 극복하기 위한 RAS 기술의 개발이 원자력 외의 분야에도 도움이 될 수 있지만, 원자력산업은 그 과제의 다양성과 심각성 면에서 독특한 측면이 있다. 다음과 같은 예를 들 수 있다.

- 매우 체계화되어 있지 않은, 불확실하고 어질러진 환경(특성화가 완전히 수행되지 않은 부분이 많음)
- 높은 수준의 방사능, 열 및 화학적 위험
- 제한된 접근, 좁은 포트를 통해서만 접근이 가능한 경우도 많음
- 두꺼운 콘크리트 벽으로 인해 통신의 어려움이

야기되어, 산업용 로봇에서는 현재 사용할 수 없는 수준의 자율성이 요구됨

- 매우 다양한 물체와 재료를 검사·파악·조작 및 해체해야 할 필요성
- 알려지지 않았거나 부분적으로 알려진 극한 환경 탐색, 맵핑 및 모델링 필요
- 방사선, 화학 및 열을 포함한 다중 감지 장비 필요
- 수중 이동, 공중 이동, 복잡한 지형과 복잡한 3D 장치를 다뤄야 하는 지상 이동 등 다양한 이동 방식이 필요
- 복잡한 다중 감지 기능이 있는 강력하고 정밀한 다축 조작기 필요
- 텔레이머전(tele-immersion, 원격 존재 기술)에서 자율적인 인간-로봇 협업에 이르기까지 가변적인 로봇 지도(supervision) 필요
- 전자 시스템에 대한 방사선의 심각한 손상 효과

맨체스터대학교는 이러한 과제 중 일부를 해결하기 위해 영국 정부의 지원을 받아 두 개의 주요 공동 연구 프로젝트를 주도하고 있다.

‘Robotics for Nuclear Environments(RNE) 프로젝트’는 핵심 로봇 실현 기술(기술 준비도(TRL) 1~3단계[9])의 기초 연구에 초점을 두고 있으며, ‘Robotics and Artificial Intelligence for Nuclear (RAIN) 허브’는 전형적인 환경에서 로봇 플랫폼과 기술을 시연하고 선보이는 것부터 실제 상용화(기술준비도 4~6단계)까지를 목표로 한다.

두 프로젝트 모두 셀라필드사, 영국 국립원자력연구소(NNL), EDF에너지, Atomic Weapons Establishment(AWE)와 같은 주요 이해 관계자 및 최종 사용자와 매우 긴밀한 관계를 맺고 있다.

## 원자력 환경을 위한 로봇(RNE)

UK Research and Innovation(UKRI)가 지원하는 RNE 프로젝트는 영국의 맨체스터대, 버밍엄대, 웨스트잉글랜드대와 영국국립원자력연구소(NNL)간의 공동 연구로, 원자력산업용 로봇 솔루션의 기능에 단계적 변화를 가져오는 것을 목적으로 한다.

2017년에 착수된 이 프로젝트는 원활한 작동을 위한 low-level 시스템 설계, 인간과 로봇 간 협업 및 협력, 로봇을 이용한 감지·내비게이션·조작을 위한 자율성 증진 등 3가지 핵심 연구 주제를 중심으로 진행되었다. 이 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

### 1. 자율 수상 로봇(ASV)

MallARD ASV는 국제원자력기구(IAEA)가 사용후 핵연료 저장수조 점검용 로봇 개발을 위해 개최한 ‘로보틱스 챌린지 경연대회’참가를 위해 맨체스터대학교가 개발한 로봇이다.

IAEA는 2019년 2월 핀란드의 한 저장 수조에서 MallARD를 성공적으로 활용하였는데, 이는 방사선이 방출되는 저장수조에서 수상 로봇을 사용한 첫 번째 사례였다.

이 로봇 플랫폼과 관련하여, 추가적인 인프라 없이 적용 가능한 강력한 위치 측정 및 위치 결정 기법의 개발에 중점을 두고 상당한 양의 연구가 수행되었다.

이 로봇은 칼만 필터와 모델 예측 제어 기법을 사용한 강력한 센서 융합 기법을 바탕으로 저장수조 내에서 오차 범위 1cm 이하로 위치 조정이 가능하다. 이는 셀라필드사에서 운영하는 원자력시설에 활용되기 위한 요건을 충족시킨다[10].



〈그림 1〉 호주 브리즈번의 모의 수조 내 MallARD ASV

## 2. 통신(Communications)

통신 분야에서는 원전 해체 환경에서 작동 가능한 새로운 방식의 무선 센서 시스템 아키텍처가 개발되었다.

이 아키텍처는 방사선 구역에 위치한 비교적 복잡도가 낮은 무선 센서 노드와 비방사선 구역에 위치한 상대적으로 복잡도가 높은 기지국으로 이루어진 비대칭 통신 시스템을 기반으로 한다. 방사선 구역에서 낮은 복잡도의 시스템을 사용하는 것은 높은 방사선 내성을 갖도록 설계하기가 상대적으로 쉽기 때문이다.

맨체스터대는 셀라필드 부지[11]의 두 건물에서 예비 무선 신호 전파 손실 측정을 실시했으며, 통신 시스템의 초기 디자인을 개발하고 테스트를 진행하여 전형적인 인프라를 통한 통신이 가능하다는 것을 입증하였다.

## 3. 온라인 행동 리스크 평가

영국 웨스트잉글랜드대의 브리스톨 로봇공학연구소(Bristol Robotics Laboratory, BRL)는 로봇이 자신의

동작과 주변의 다른 로봇 및 인간과 관련한 리스크를 현재 임무 수행 맥락 속에서 평가하도록 하는 아키텍처를 설계·구현·테스트하는 방법을 연구하고 있다.

이 작업의 첫 단계로, BRL 연구팀은 로봇을 제어하는 인간 작업자의 신뢰를 극대화하기 위해 로봇의 의사 결정 과정을 어떻게 설계해야 하는지 연구하고 있다.

리스크 전략 연구와 병행하여, 로봇이 자신의 다음 동작들이 스스로에게 끼치는 리스크를 측정할 수 있도록 시뮬레이션 기반의 내부 모델 사용도 검토하고 있다[12].

## 4. 원자력 환경 및 극한 환경의 특성화

버밍엄대에서는 원자력 환경에 대한 의미 수준(semantic-level)의 이해를 얻기 위해 고급 컴퓨터 비전 방식을 사용하는 대규모 연구 작업이 성공적으로 진행되었다.

3D 기하학적 재구성 및 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)뿐만 아니라 현장의 물체



〈그림 2〉 일본 나라하 실험 시설의 AVEVIS ROV

및 재료의 범주 등 의미 정보를 인식할 수 있는 방법이 개발되었는데, 이 의미 정보는 3D 현장 모델의 픽셀 단위 분할 및 의미 단위 라벨링에 사용될 수 있다.

또한 학습 기반 방식에 충분한 교육 데이터를 제공하기 위해 원자력 폐기물 데이터 셋(dataset)이 개발되었다. 학습 데이터 보강을 위해 종합적인 지상 실측 정보가 담긴 이미지를 생성하는 가상 카메라 시스템도 개발되었다.

컴퓨터 비전을 활용하는 다른 분야에서는 보통 훨씬 더 많은 양의 온라인 벤치마크 데이터 셋이 활용 가능하며, 로봇이 이해할 수 있도록 사람이 데이터에 라벨을 부여하는 이미지 어노테이션이 사용된다.

원자력 환경에서는 대규모 어노테이션의 필요성을 해소하기 위해 준 지도(semi-supervised) 학습 방법이 개발되었다[13, 14].

## 5. 자율 조작

버밍엄대에서 새로운 잡는 동작(grasp) 자율 계획

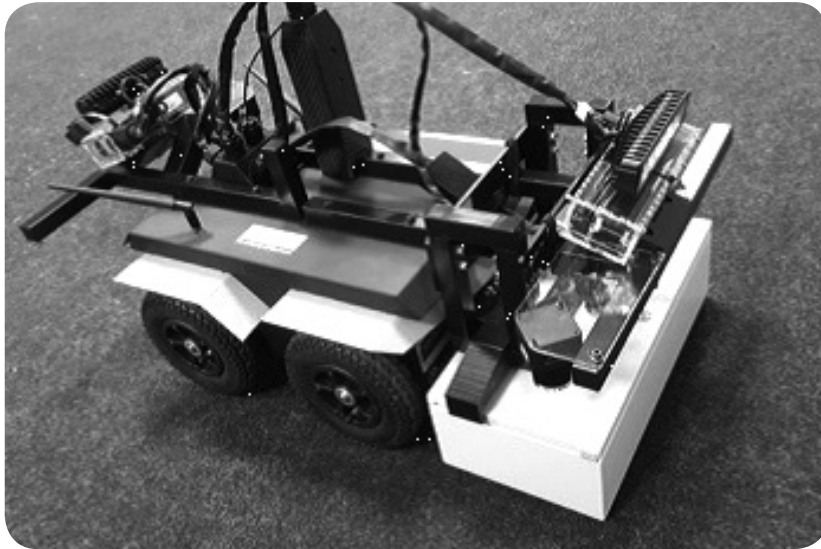
알고리즘이 개발되었다. 이 알고리즘은 사전 지식이나 객체 모델이 없이도 부분 점군(point-clouds) 이미지를 활용해 어지럽게 흩어져있거나 잘 보이지 않게 쌓여있는 무더기들 사이에서 대상물을 안정적으로 파악하고 잡을 수 있게 해준다[15].

각 물체에 대해 다양한 물체 확보 방법이 제안될 수 있다는 점을 고려하여, 충돌이 일어날 경우 최대한의 안전을 확보할 수 있는 방법과 확보 전후로 충돌 없는 조작이 가능하도록 최적화된 방법을 선택할 수 있도록 하는 다양한 작업이 완료되었으며[16], 양손을 모두 사용하는 조작 연구도 진행되고 있다[17]. 또한, 이동하는 물체를 자율적으로 잡을 수 있도록 시각 기반 트래킹(vision-based tracking) 기술을 잡는 동작과 결합하는 방안도 연구되었다[18].

## 원자력발전소(RAIN) 허브의 로봇공학과 인공지능

역시 UKRI의 지원을 받는 RAIN Hub에서는 맨체스터대, 브리스톨대, 랭커스터대, 리버풀대, 노





〈그림 3〉 CARMA 로봇

팅엄대, 옥스포드대와 UKAEA RACE(UK Atomic Energy Agency Remote Applications in Challenging Environments)가 공동 연구를 진행하고 있다.

2017년부터 시작된 이 프로젝트는 원격 점검, 원격 취급, safety case 연구 등 3가지 핵심 주제를 가지고 있다. 이 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

### 1. AVEXIS

랭카스터대와 맨체스터대가 공동으로 진행하는 프로젝트로, 중성자 및 감마 검출기를 AVEXIS ROV [19]에 장착하였다. (〈그림 2〉)

이 로봇은 이후 슬로베니아의 TRIGA 연구로에서 활용되어, 로봇이 원자로 내부를 돌아다니며 측정된 방사선 수치 데이터를 제공한 최초의 사례가 되었다.

AVEXIS는 후쿠시마 제1원전과 가까운 나라하 연구시설에서도 활용되어, 동일한 기술을 사용해 원자로 용기 내 용융 핵연료의 위치를 파악할 수 있는 방법을 보여주고 있다. 이 작업은 현재 일본원자력기구

(JAEA)와 국립해양연구소(NMRI)의 공동 프로젝트로 지속되고 있다.

### 2. CARMA

넓은 바닥 공간에서 방사선 수치를 매핑하도록 설계된 CARMA 로봇(〈그림 3〉)은 2017년 12월 셀라필드 현장에 배치된 최초의 완전 자율형 로봇으로, 2019년 5월에도 다시 활용되었다[20].

이 작업에 진전이 있어 2019년에 또 다른 활용 계획들이 세워졌다. 이 플랫폼의 상용 버전 개발을 위해 Nuvia사와 함께 사업화 프로젝트가 시작되었다.

### 3. MiRoR 포토닉스

브리스톨대의 연구진은 노팅엄대[21]에서 개발한 연속체 로봇에 라만 광학장치를 성공적으로 설치하여 미지의 물질을 분석하는 데에 사용하였다.

결합된 시스템은 아주 제한되고 도달하기 어려운 영

역에서 부식 산화물과 같은 물질을 식별하고 필요한 경우 수리 및 유지 보수를 수행할 수 있다.

#### 4. 원격 조작 글로브박스

원자력산업계는 안전에 대한 우려를 고려하여 원격 조작 글로브박스를 개발하기 위한 중요한 시도들을 하고 있다.

RACE와 맨체스터대는 이탈리아 기술연구소(ITT), 셰필드대(University of Sheffield)와 공동으로 로봇 조작기가 인간을 대체할 가능성을 보여주는 시연기를 만들었다. 이러한 시연기에는 최첨단 가상 현실과 센서 기술이 사용된다[22].

#### 5. The Unknown Room

영국 AWE에 있는 밀봉 감마선원의 특성화를 위해 초저가의 특수 목적 지상 기반 차량과 방사선 검출기를 결합한 시연기가 만들어졌다. 이 시연기는 브리스톨대와 맨체스터대가 개발한 것으로 AWE 시설 내 로봇 배치를 목표로 하는 연구 프로그램의 첫 단계다.

RAIN의 연구원 중 한 명이 설립한 Ice-Nine사를 통해 사업화의 기회를 탐색하고 있으며 셀라필드 부지의 방사선 구역에서 활용하는 것을 계획하고 있다.

#### 6. 유럽공동 핵융합 장치 JET

RACE는 옥스포드 로보틱스 연구소(Oxford Robotics Institute, ORI)의 LiDAR를 이용해 핵융합 실험장치인 JET의 내부를 매핑하였고, 기존의 수동방식으로는 1.5일이 걸리는 작업을 스테레오 카메라가

20분 만에 수행하여 CAD 모델에 대한 0.5mm 수준의 오차를 달성하였으며 디지털 모델에는 없는 구성 요소를 식별했다.

#### 7. 검사와 타당성 검증(V&V)

리버풀대는 매우 보수적인 원자력산업의 안전문화 하에서 로봇 시스템이 활용될 경우에 필요한 V&V 기법을 개발하기 위한 연구를 주도하고 있으며, 이러한 기법은 안전을 보장하고 장기적인 신뢰성을 평가하고 규제자에게는 근거를, 운영자에게는 신뢰를 주는 데 사용될 것이다. [23]

### 맺는 말

영국 정부는 특히 원자력 분야에 중점을 두고, 극한 환경에 필요한 로봇 공학 분야에서 선두 자리에 오르기 위해 지난 3년간 상당한 금액을 투자해 왔다.

RNE와 RAIN 프로젝트 이전에는 영국 내에 원자력 로봇 프로젝트를 하는 연구원이 열 명 정도밖에 되지 않았다. 그러나 이제는 세계적으로도 손꼽히는 10개의 연구소에서 100명 이상의 연구원들이 현장 최종 사용자 중심의 원자력 로봇 문제를 해결하기 위해 협력하며 집중적인 연구를 수행하고 있다.

몇몇 기술은 이미 원자력 환경에서 성공적으로 입증되었고 상업적으로 실행 가능한 시스템으로 변환되고 있다. 🍌

#### Acknowledgements

이 기고문에 소개된 연구는 영국 UK Research and Innovation (UKRI)의 프로젝트 EP/R026084/1와 EP/P01366X/1의 지원을 받아 수행되었음.



## 〈참고 문헌〉

- [1] Nuclear Decommissioning Authority, 'Nuclear Provision: explaining the cost of cleaning up Britain's nuclear legacy', 2015.
- [2] Nuclear Decommissioning Authority, 'The 2013 UK Radioactive Waste Inventory - Waste Quantities from all Sources', Feb. 2014.
- [3] A. Shaukat, J. Kuo et al., 'Visual classification of waste material for nuclear decommissioning', RAS, 2016.
- [4] Cogent, 'Power People: The Civil Nuclear Workforce'2009-2025, 2011.
- [5] R.C. Goertz, 'Master-Slave Manipulator', Technical Report, Argonne National Laboratory, USA, March 7th, 1949.
- [6] D. Seward, M. Bakari, 'The use of robotics and automation in nuclear decommissioning', ISARC, 2005.
- [7] R. Bogue, Robots in the nuclear industry: a review of technologies and applications, Industrial Robot, 2011.
- [8] I. Tsitsimpelis, C. J. Taylor, B. Lennox and M. Joyce, 'A Review of Ground-Based Robotic Systems for the Characterization of Nuclear Environments', Progress in Nuclear Energy, vol. 111, pp. 109-124, 2019.
- [9] Nuclear Decommissioning Authority, 'Guide to Technology Readiness Levels for the NDA Estate and its Supply Chain', 2014.
- [10] K. Groves, B. Lennox, A. West, K. Gornicki, S. Watson and J. Carrasco, 'MallARD: An Autonomous Aquatic Surface Vehicle for Inspection and Monitoring of Wet Nuclear Storage Facilities', Robotics, 8(2), 47.
- [11] A. Di Buono, P. R. Green, B. Lennox, N. Cockbain and X. Poteau, 'Design of a Wireless Sensing System for Deployment in Nuclear Decommissioning Environments', presented at 11th NPIC and HMIT, 2019.
- [12] C. Blum, A. F. Winfield and V. V. Hafner, 'Simulation-based internal models for safer robots', Frontiers in Robotics and AI, 4 (74), 1-17, 2018.
- [13] L. Sun, C. Zhao, Z. Yan, P. Liu, T. Duckett and R. Stolkin, 'A novel weakly-supervised approach for RGB-D-based nuclear waste object detection and categorization', IEEE Sensors Journal, 19(9), 3487-3500, 2019.
- [14] C. Zhao, L. Sun, P. Purkait, T. Duckett and R. Stolkin, 'Dense RGB-D semantic mapping with Pixel-Voxel neural network', Sensors, 18(9), 3099, 2018.
- [15] M. Adjigble, N. Marturi, V. Rajasekaran, V. Orteni, P. Corke and R. Stolkin, 'Model-free and learning free grasping by local contact moment matching', IROS 2018.
- [16] T. Pardi, A. Ghalamzan and R. Stolkin, 'Choosing grasps to enable collision-free post-grasp manipulations', IEEE-RAS Humanoids, 2018.
- [17] N. Mavrakis, A. M. Ghalamzan and R. Stolkin, 'Minimum object-internal-force trajectory optimization for on-orbit dual-arm space robots', International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, 2018.
- [18] N. Marturi, M. Kopicki and R. Stolkin, 'Dynamic grasp and trajectory tracking for moving objects', Autonomous Robots, 43 (5), 1241-1256, 2018.
- [19] M. Nancekievill, A. R. Jones, M. J. Joyce, B. Lennox, S. Watson, J. Katakura, K. Okumura, S. Kamada, M. Katoh and K. Nishimura, 'Development of a Radiological Characterization Submersible ROV for use at Fukushima Daiichi' IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 65, no. 9, pp. 2565-2572, 2018.
- [20] B. Bird, A. Griffiths, H. Martin, E. Codres, J. Jones, A. Stancu, B. Lennox, S. Watson, and X. Poteau, 'Radiological Monitoring of Nuclear Facilities Using the Continuous Autonomous Radiation Monitoring Assistance (CARMA) Robot' IEEE Robotics and Automation Magazine, 2018.
- [21] X. Dong, D. Palmer, D. Axinte, and J. Kell, 'In-situ repair/maintenance with a continuum robotic machine tool in confined space. Journal of Manufacturing Processes, 38, pp.313-318, 2019
- [22] I. Jang, J. Carrasco, A. Weightman, B. Lennox, 'Intuitive Bare-Hand Teleoperation of a Robotic Manipulator using Virtual Reality and Leap Motion', TAROS 2019
- [23] A. Ferrando, L. Dennis, D. Ancona, M. Fisher V. Mascardi, 'Recognising assumption violations in autonomous systems verification', Proc. 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS), 2018

## 관련 웹사이트

<https://rainhub.org.uk/>, <https://nuclearrobots.org/>