



LongOps 로봇개발 프로젝트

롱옵스(LongOps)는 영국과 일본이 추진하는 1,200만 파운드 규모의 국제공동 프로젝트이다. LongOps 프로젝트는 원자력시설 해체작업에 디지털 로봇 기술을 개발하여 적용하는 것을 연구목표로 하고 있다. 이 프로젝트는 특히 활동범위가 넓은 이른바 ‘롱 리치 로보틱스(long-reach robotics)’를 장기간 운영(long-term operations)하는데 필요한 디지털 기술을 확보하는 것에 초점을 맞추고 있다. 프로젝트의 이름을 ‘LongOps’라고 명명한 것도 바로 이런 이유 때문이다.

LongOps 프로젝트의 핵심 주제는 가상현실(VR), 그리고 가상 세계와 물리적 세계를 연결하는 이른바 로보틱스 시뮬레이션과 같은 일련의 기술로 구성되는 디지털 트윈 기술을 개발하는 것이라고 할 수 있다. 이를 통해 원자력시설 해체전략 계획수립, 교육훈련, 원격작업, 데이터 저장 및 분석과 같은 업무는 물론, 시설 운영 및 유지보수 과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 사건이나 잠재적인 문제점을 예측할 수 있다.

영국과 일본 두 나라는 미래 유망기술로 급부상하고 있는 이러한 기술개발을 통해 원자력시설의 최종 사용자(end users)들이 제품과 서비스에 대한 지능형 고객(intelligent customers)으로 발돋움 할 수 있도록 관련 능력과 지식을 창출하고자 하는 바램을 갖고 있다. 또한, 두 나

라는 이러한 프로젝트를 통해 양국의 일자리 창출 효과와 함께 로보틱스와 관련된 기술융합, 그리고 로봇 운영기술 숙련도 향상과 같은 여러 가지 다양한 직간접적인 효과도 기대하고 있다.

LongOps 프로젝트는 영국의 NDA(Nuclear Decommissioning Authority)와 UKRI(UK Research & Innovation), 그리고 일본의 도쿄 전력(TEPCO) 등 3개 기관이 자금을 균등 지원하는 방식으로 운영되고 있다. 그리고 이들 3개 기관을 대신하여 UKAEA(UK Atomic Energy Authority) 산하의 연구센터인 RACE(Remote Applications in Challenging Environments)가 LongOps 프로젝트를 주관하여 수행하고 있다. RACE는 영국 옥스퍼드 시의 Culham에 위치하고 있다.

**보다 빠르고, 보다 안전하며,
보다 경제적인 해체기술 개발**

원전해체라는 시각에서 봤을 때 지금이야말로 그 어느 때보다도 중요한 시기라고 할 수 있다. LongOps 프로젝트가 탄생된 배경도 바로 이런 이유 때문이다.

일본의 경우, 지난 2011년 3월에 발생한 대지진과 그로 인해 발생한 후쿠시마 원전 사고의 여파가 지금은 어느 정도 안정적인 상태에 접어

든 상태이고, 이에 따라 후쿠시마 원전 운영자인 TEPCO는 후쿠시마 원전에 대한 해체 실행계획을 발표한 상황이다.

영국의 경우, 지난 1957년 화재발생으로 인해 심각한 손상을 입은 Windscale Pile 1 원자로를 시급히 해체해야 하는 상황이고, 옥드퍼드셔(Oxfordshire) Culham에 있는 JET(Joint European Torus)도 수명이 곧 종료되는 상황이기 때문에 해체를 고려해야 하는 상황이다. 유럽 공동 핵융합 실험장치인 이 JET는 규모면에서 세계 최대의 핵융합 장치로 평가받고 있다. 아직까지 전 세계적으로 핵융합 장치를 해체한 경험이 없기 때문에 영국이 JET를 해체할 경우는 세계 최초의 기록으로 남게 된다.

이와 같은 여러 가지 상황을 고려하여 영국 Cumbria 지역에 위치하고 있는 Sellafield Ltd는 해체작업을 보다 효율적이고 효과적인 방식으로 수행하기 위하여 산업계와 긴밀한 협업관계를 유지하고 있다. Sellafield Ltd는 특히 로봇틱스와 인공지능(AI) 기술을 해체작업에 이용하는 방안에 대하여 많은 관심과 노력을 기울이고 있다.

이러한 상황에 처한 영국과 일본 두 나라는 보다 빠르고, 보다 안전하며, 보다 경제적으로 원자력시설을 해체할 수 있는 기술의 신속한 개발 필요성에 대하여 서로 공감하고, 그 결과로 LongOps 프로젝트가 만들어진 것이다.

도전과 과제

과거의 유산인 아주 오래된 원자력발전소와 핵융합 시설을 안전하게 해체한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 분명 많은 시간과 복잡한 과정을 거쳐야 하는 매우 어려운 과제임이 틀림없다. 앞에서 언급한 Windscale Pile 1과 후쿠시마 원전, 그리고 JET 사례만 보더라도 그렇다. 이들 시설들을 안전하고 경제적으로 해체하기 위해서는 이에 대한 새로운 지식과 기술들이 필요하지만 이것이 말처럼 그렇게 쉬운 일은 아닌 것이다.

이들 세 종류의 시설에 공통적으로 적용할 수 있는 표준방식(standard approach)의 해체기술을 개발한다는 것은 더욱 더 어려운 일이다. Windscale Pile 1은 1940년대에 건설된 흑연 감속 원자로이고, 후쿠시마 원전은 1970년대에 건설된 비등수형(BWR) 원자로이다. 그리고 JET는 전 세계적으로 지금까지 단 한 번도 해체한 경험이 없는 핵융합 시설이다.

이들 세 종류의 시설이 각기 다른 구조와 특성을 갖고 있긴 하지만, 해체전략의 관점에서 보면 세 종류의 시설에 공통적으로 적용할 수 있는 중첩된 부분이 일부 존재하는 것도 사실이다. 기본적으로 세 종류의 시설 모두 입구가 좁고 길기 때문에 가늘고 긴 팔이 달린 로봇을 이용하여 시설 안으로 접근해야 한다는 공통점이 있다.

TEPCO는 최근 미쓰비시중공업을 통해 영국의 원전해체 및 방사성폐기물 관리 전문기업인



Veolia Nuclear Solutions UK Ltd가 개발한 굴절식 붐(articulated boom)을 제공받았다. 이 굴절식 붐은 팔을 최대로 뻗을 경우 20m가 넘는 거리까지 도달할 수 있도록 설계되어 있다. TEPCO는 이 붐을 이용하여 후쿠시마 원전의 원자로 격납용기 내에 남아 있는 핵연료 잔해를 검사하는데 사용할 계획이다.

영국 셀라필드에 있는 Windscale Pile 1의 경우 7.5m 깊이의 원자로심에 남아 있는 핵연료를 안전하고도 효율적으로 인출할 수 있는 로봇이 필요한 상황이다.

이처럼 고방사선 환경에서 아주 오랜 시간에 걸쳐 안전하고 효율적으로 작업할 수 있는 긴 팔을 가진 로봇이 필요한 상황에서, 영국과 일본 양국은 LongOps 프로젝트를 통해 그 수요를 충족시키려 하고 있다. 원격 조작이 가능한 첨단 디지털 툴이 개발될 경우, 앞에서 언급한 세 종류의 시설 모두에서 작업자의 피폭 위험성을 낮추면서도 보다 경제적으로 해체작업을 할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

영국의 RACE는 JET 전용 원격조작 장치인 JET Remote Handling System을 수십 년에 걸친 오랜 시간동안 다루어온 경험을 갖고 있다. 12m짜리 붐 2개와 햅틱 매니퓰레이터(haptic manipulators)로 구성된 이 시스템은 내벽의 교체 등 JET의 유지보수를 위한 목적으로 만들어졌다.

차세대 디지털 도구

LongOps 프로젝트에서 가장 핵심적이면서도 기대되는 부분은 바로 산업계와 학계가 공동으로 참여하여 수행하게 될 연구개발(R&D) 과제라고 할 수 있다. 2021년 9월로 예정된 과제 공모를 통해 원자력시설 해체작업의 안전성과 효율성을 획기적으로 높일 수 있는 차세대 디지털 툴(digital tools)을 개발해 나갈 계획이기 때문이다.

총칭하여 디지털 트윈(digital twin) 또는 디지털 목업(digital mock-up)이라고도 부르는 이러한 디지털 툴이 개발되면 복잡하거나 위험한 환경에서 작업을 해야 하는 사람들에게 작업 환경에 대한 정보를 추가적으로 제공할 수 있고, 인지적 부담(cognitive burden)을 경감시키거나 제거시켜 줌으로써 작업을 보다 안전하고 쉽게 할 수 있도록 해준다.

또한, 디지털 트윈 기술을 이용하면 작업계획이나 교육훈련, 기록물 관리, 기타 여러 가지의 사결정을 하는데 필요한 유용한 정보를 쉽게 얻을 수도 있다.

한편, 이와 관련된 여러 가지 정보를 교환하고 사용자들의 요구사항이 무엇인지 등에 대한 의견교환을 위해 얼마 전 JET와 TEPCO, 그리고 Sellafield 직원들이 참석한 가운데 RACE에서 워크숍이 개최되기도 했다.

대표적인 연구주제

1. 물리 시뮬레이션(Physics simulations)

LongOps 프로젝트에서 수행되는 가장 흥미로운 연구주제 중의 하나는 물리 시뮬레이션 분야로, 먼 곳까지 팔을 뻗을 수 있는 붐(long-reach flexible booms)이나 햅틱 매니퓰레이터(haptic manipulators)의 제어 기술 등이 이러한 주제에 포함이 된다.

멀리 떨어져 있는 상황에서 붐이나 매니퓰레이터의 긴 팔을 이용하여 정밀한 작업을 한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. LongOps 프로젝트에서 핵심적으로 수행하고자 하는 연구과제가 바로 이러한 문제점을 해결하는데 필요한 제어 알고리즘을 개발하는 것이다.

제어 알고리즘이 개발되면 RACE의 TARM long-reach boom을 이용하여 개발된 제어 알고리즘을 대상으로 각종 시험 및 실증작업을 수행할 계획이다.

2. 자동화(Automation)

해체작업의 효율성과 안전성을 높일 수 있는 또 다른 연구주제 중의 하나가 바로 자동화 분야이다. 비좁은 작업 공간 내에서 절단, 분류, 분리, 수거 등과 같은 일을 작업자가 일일이 한다는 것은 매우 힘든 일이다. 이런 일을 자동화하여 처리할 수 있다면 작업 효율성은 훨씬 더 좋아지게 될 것이다.

반복적으로 수행되는 검사작업도 인공지능의

한 분야인 머신 러닝(machine learning) 기법을 이용하여 자동화할 수 있다. 이럴 경우 작업 환경에 어떤 문제점이 발생하거나 변화가 생기면 이를 자동적으로 감지하여 디지털 트윈에 그러한 정보가 전달되고, 이렇게 전달된 정보는 곧바로 작업자에게 제공되거나 또는 제어 시스템에 전달되어 그에 따른 적절한 조치를 신속하게 내릴 수 있도록 해준다.

LongOps 프로젝트에서는 또한 인공지능이나 머신 러닝 분야와 관련된 최신 기법들을 조사하여 이러한 기법들이 로봇을 제어하는데 활용이 가능한지에 대한 연구도 수행할 계획이다. 또한, 머신 러닝 기법을 이용하기 위해서는 관련되는 정보를 충분히 확보하여 데이터셋(datasets)화 해 나가야 하는데, LongOps 프로젝트에서는 이러한 datasets 구축작업도 함께 수행해 나갈 계획이다.

3. 햅틱(Haptics)

햅틱은 촉감을 이용하여 기기를 제어하는 기술이다. 기기를 만지거나 다룰 때 실제로 특정한 물체를 만지는 듯한 느낌을 주도록 하는 것이다. 햅틱 기술의 핵심은 진동이다. 멀리 떨어져 있는 작업 환경에서 사람이 햅틱 장치를 이용하여 로봇을 조작하면 원격지의 작업환경을 판단하면서 조작자의 의지대로 작업을 수행할 수가 있다.

JET에서 기기를 원격으로 조작하면서 작업을 하는 작업자들은 오로지 햅틱 장치를 통해 기기를 제어한다. 진동에 의해 느껴지는 손의 촉감이



나 감각에 따라 기기를 제어 내지는 조종을 하는 것이다.

그러나 교육훈련용으로 사용되는 가상의 햅틱은 실제의 작업환경에서처럼 정확한 느낌을 작업자에게 전달해 주지는 못한다. 그래서 보통은 지금까지도 가상의 햅틱이 아닌 실제 매니퓰레이터를 이용하여 연습을 하고 있는 실정이다. LongOps 프로젝트를 통해 실제와 같은 정교한 촉감을 느낄 수 있는 가상의 햅틱 장치를 개발하려고 하는 이유도 바로 이러한 문제를 해결하기 위해서이다.

4. 모듈형 소프트웨어(Modular software)

LongOps 프로젝트를 통해 얻어지는 모든 연구결과는 차세대 디지털 목업이라고 부르는 모듈형 소프트웨어 패키지에 하나로 통합된다.

디지털 도구는 보통 독립적으로 이용되거나 또는 한정된 범위 내에서 모듈화되어 이용된다. 우리는 LongOps 프로젝트를 통해 우리가 개발하는 모든 소프트웨어를 서로 연결하여 상호 운영이 가능하도록 모듈화 해 나갈 계획이다.

작업 효율성을 높일 수 있는 새로운 디지털 도구를 개발하는 노력을 하는 동시에, 개발된 도구들을 모듈화하여 하나의 단일 시스템으로 통합을 추구해 나가는 것, 이것이 바로 LongOps 프로젝트가 야심차며 흥미로운 프로그램이라고 평가받고 있는 이유 중의 하나라고 할 수 있다.

5. 매니퓰레이터(Manipulators)

디지털 트윈은 현실세계와 가상세계를 똑같이 만든 다음 서로 연결시켜 놓은 시스템이다. 이와 관련하여 LongOps는 올해인 2021년에 원격조정 매니퓰레이터 2대를 구입하기 위한 구매계약을 이미 체결한 상태이다.

LongOps는 앞으로 2년에 걸쳐 이들 2대의 매니퓰레이터를 대상으로 성능평가와 각종 테스트를 거쳐 기기의 특성을 비교하는 활동을 할 계획이다. 이 과정에서 디지털 트윈 기술을 이용하여 기기의 활용도를 높일 수 있는 연구도 함께 해나갈 계획이다.

6. 사용자에게 대한 교육훈련(Meeting end user training needs)

기기를 원격 조정하는 방법으로 까다로운 해체작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 그에 알맞은 자격과 경험 있는 전문 인력이 필요하다. 그리고 이를 위해서는 그 어떤 무엇보다도 적절한 교육훈련 과정이 필요하다. 문제는 지금처럼 실제 작업현장에서 사용되는 기기와 도구를 가지고 직접 훈련을 하는 것은 비용도 많이 들고 시간도 많이 걸린다는 문제점이 있다.

작업자들에게 디지털 교육훈련 환경을 제공하게 되면 이러한 문제점들을 해결할 수 있다. 교육훈련에 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있게 되기 때문에 더 많은 작업자들이 교육훈련의 혜택을 받을 수가 있다. 또한, 그렇게 되면 적정 자격을 갖춘 더 많은 작업자들을 배출해 낼 수가

있다. 무엇보다 디지털 환경에서는 실제 작업환경에서 겪게 될지도 모르는 여러 가지 다양한 상황을 반복적으로 재현해 낼 수 있기 때문에 그만큼 교육훈련의 효과도 높아질 수밖에 없다.

LongOps 프로젝트의 기대효과

차세대 디지털 툴을 개발하기 위한 LongOps 프로젝트가 성공적으로 끝날 경우, 원자력시설 해체와 관련된 전략, 교육훈련, 실제 작업 등 모

든 면에서 좋은 성과를 낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.

LongOps 프로젝트에 참여하고 있는 RACE, UKRI, TEPCO, 그리고 NDA는 계획된 각종 첨단 디지털 도구와 원격조정 기기의 개발에 성공하게 될 경우 다양한 종류의 원자력시설 해체작업을 보다 안전하고, 보다 빠르며, 보다 경제적으로 수행할 수 있게 될 것으로 확신하고 있다.

KIIF