첨단 로봇을 이용한 폐연료 피복재 안전관리

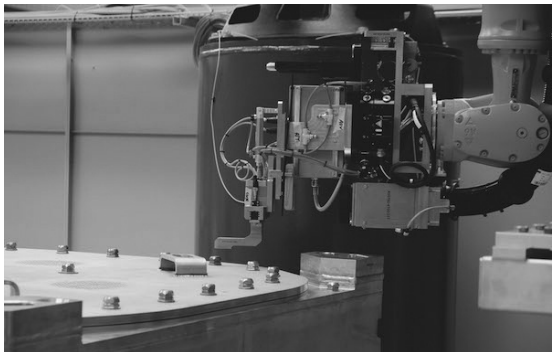
"영국의 Sellafield사와 Cavendish Nuclear사는 중준위폐기물인 폐핵연료 피복재를 보다 안전하게 관리하기 위하여 첨단 로봇을 이용하고 있다"

세계 최초의 상업용 원자로이자 연료봉 피복재로 마그네슘 합금을 사용함으로써 마그녹스(Magnox)형 원자로로 분류되는 콜더홀(Calder Hall) 발전소는 1950년대에 영국 중부의 쿰부리아 해안가에 건설되었다. 그 당시만 해도 산업수준이 아주 낮아서 전산화라든가 생산 자동화라는 개념은 거의 찾아보기 힘들었으며, 로봇이라는 말은 공상과학 소설에서나 가끔씩 등장하는 정도였다. 그러나 그로부터 70여 년이 지난 지금의 세상은 그 때와는 너무도 달라져 있다.

Calder Hall 발전소가 위치하고 있는 셀라필드(Sellafield) 부지에는 전력생산을 위한 다양한 종류의 원자력 시설들이 들어서 있다. 그리고 이러한 시설들 중의 하나가 바로 방사성폐기물 저장시설이다.

Calder Hall 발전소는 1957년 엘리자베스 2세가 참석한 가운데 준공되었으며, 상업적인 전력생산은 이보다 2년 뒤인 1959년에 시작되었다. Calder Hall 발전소의 설계수명은 30년이었지만, 실제 전력생산은 40년이 훨씬 넘게 이어졌다. Calder Hall 발전소가 공식적으로 문을 닫은 것은 2003년 3월 31이었다.

Sellafield 원자력단지는 부지규모가 265헥타르에 이르는 대단위의 단지이다. 원자력 시설만 해도 200개나 되고, 건물 수로 따지면 1,000개가 넘는다. 근무 인원 또한 9,000명이 넘는다. 규모면에서는 유럽에서 최고이고, 단일부지 내 시설의 종류나 활동 면에서는 세계에서 최고로 기록되고 있다.



[그림 1] 폐기물 운반용 컨테이너를 대상으로 방사선 오염여부를 조사하고 있는 로봇

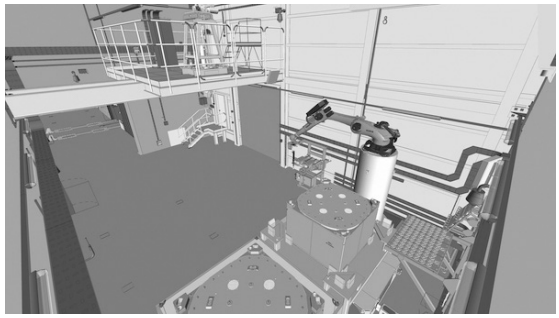
현재 Sellafield 원자력단지 내에서 이루어지고 있는 주요 활동은 크게 사용후핵연료 재처리와 방사성폐기물의 관리, 그리고 시설 해체이다. Sellafield 원자력단지 내 시설을 모두 해체하는데 소요되는 비용은 700억 파운드가 넘는 것으로 알려지고 있으며, 이러한 시설해체 프로그램은 앞으로 100년이라는 긴 시간동안 이어져 오

는 2120년대에 가서나 종료하는 것으로 계획되어 있다.

4기의 원자로로 구성된 Calder Hall 발전소는 지난 2019년에 원자로에 장전돼 있던 핵연료를 인출하는 작업을 모두 완료했다. 지금은 본격적인 해체 및 철거 작업을 시작하기에 앞서 '관리 단계(care and maintenance regime)'에 들어간 상태이다.

Calder Hall과 같은 Magnox형 원자로는 연료봉 피복재로 마그네슘에 알루미늄 등 여러 금속이 섞여져 있는 합금을 사용한다. 그런데, 원자로에서 인출된 사용후핵연료를 재활용하기 위해서는 먼저 연료봉의 피복재를 화학적인 처리과정을 통해 벗겨내야 한다. 이러한 폐피복재는 방사선 준위가 꽤 센 이른바 중준위 방사성 폐기물에 속하는데, Sellafield 원자력단지를 관리하는 업무를 맡고 있는 Sellafield사는 이러한 폐피복재 폐기물을 1950년대에 PFCS(Pile Fuel Cladding Silo)라고 부르는 저장시설에서 지금까지 수십 년간을 관리해 오고 있는 중이다. 그리고 이 PFCS에는 이러한 폐피복재뿐만 아니라 상당한 양의 마그녹스 찌꺼기를 포함한 다양한 종류의 폐기물들도 함께 들어 있다.

PFCS는 최종적인 폐기물 처분시설이 아닌 임시 저장시설에 불과하다. 그렇기 때문에 PFCS에 저장되어 있는 폐기물들은 보다 안전한 관리를 위해 다른 장기 저장시설로 옮겨져야 한다. 이러한 일련의 업무를 맡은 용역회사가 바로 Cavendish Nuclear이다.



[그림 2] 컨테이너 뚜껑에 부착된 28개의 볼트를 제거하고 있는 로봇

"PFCS에 저장되어 있는 폐피복재를 포함한 여러 종류의 방사성폐기물은 방사선학적 관점에서 매우 중요하게 다루어져야만 한다. 따라서 오래 전에 지어진 PFCS에서 이러한 폐기물들을 고건전성 컨테이너에 담아 보다 안전한 장기 저장시설로 옮기는 프로젝트는 대단히 중요할 수밖에 없다"고 Cavendish Nuclear사의 한 관계자는 말했다.

어려운 프로젝트를 어떻게 하면 성공적으로 수행할 수 있을 것인가를 고민하던 Cavendish Nuclear사가 내린 결정은 입증된 기술과 장비를 이용하여 작업을 가급적 단순하면서도 안전하게 수행한다는 것이었다.

"PFCS는 말하자면 캐나다의 곡물저장용 사일로와 유사한 형태로 설계된 시설이다. 물론 그 보다는 견고하게 지어진 것은 사실이지만, 여러 가지로 많은 고민과 생각이 필요했다"고 Cavendish Nuclear사의 엔지니어링 책임자인 Glenn Moss는 말했다. "사일로에 저장되어 있는 폐기물들은 50년도 더 된 아주 오래된 것들이다. 뿐만 아니라, 폐기물을 사일로에 저장할

당시에는 추후 다른 시설로 옮겨갈 것이라는 점을 염두에 두지도 않았다. 그렇기 때문에 우리가 수행해야 할 프로젝트는 여러 가지 면에서 대단히 어려울 수밖에 없는 상황이었다"고 그는 말했다.

결국 이러한 프로젝트와 관련하여 Cavendish Nuclear사가 내린 결론은 작업자에 대한 방사선 위험을 최소화하기 위하여 작업을 가급적 자동화하면서, 첨단 로봇과 함께 원격조정 차량을 이용한다는 것이었다. 사람이 직접 방사성 물질을 다루는 작업을 하는 것은 적절치 않다는 것이 그들의 판단이었다.

Cavendish Nuclear사는 프로젝트 수행에 앞서 스코틀랜드의 Rosyth 지역에 있는 Babcock International사의 모의훈련 시설에서 프로젝트에서 사용될 각종 장비 및 공정에 대한 리허설을 가지는 등 철저한 준비과정을 거쳤다.

"원격 조정 차량을 이용하여 폐기물 운반용 컨테이너를 사일로 내의 폐기물 저장 Cell로 보낸 다음, KUKA의 KR150 로봇 팔(robot arm)을 이용하여 컨테이너 뚜껑의 볼트를 푸는 등 모든 작업을 원격으로 수행했다"고 Glenn Moss는 말했다.

"Cell에 들어간 컨테이너는 수직 통로(vertical access shaft)를 통해 14m 높이의 1층 저장시설로 옮겨진 다음, 폐기물을 담기 위한 컨테이너 뚜껑의 제거작업 등이 이루어진다"고 그는 말했다.

"그런 다음 1층에 있는 크레인을 이용하여 폐기물을 컨테이너에 담는 작업을 하고, 컨테이너가 가득 채워지면 컨테이너 뚜껑을 다시 덮은 다음, 컨테이너를 다시 지하 바닥으로 운반하는 작업이 이루어진다"고 그는 말했다.

[그림 3] 공구교환 작업을 시험하고 있는 로봇

"컨테이너가 지하 작업실 바닥에 내려오면 KR150 로봇을 이용하여 컨테이너 뚜껑의 볼트를 조인 다음, 볼트가 미리 정해진 강도의 수준까지 단단하게 조여졌는지를 확인한다. 그런 다음 컨테이너 뚜껑을 문질러서 컨테이너가 방사선에 오염됐는지 여부를 확인하는 작업을 수행하게 된다"고 KUKA Robotics에서 원자력 기술 세일즈 업무를 담당하고 있는 Dave Burns는 말했다.

"비록 KUKA의 KR150 로봇이 방사선이 없는 깨끗한 구역에서 작업을 수행하긴 하지만, 방사성폐기물이 들어 있는 컨테이너를 대상으로 하여 작업을 하기 때문에 어느 정도까지는 로봇이 방사선에 노출될 수밖에 없다. 따라서 방사선에 의해 손상될 수도 있는 로봇의 부품들은 방사성 물질에 접촉되지 않도록 좀 더 멀리 배치하거나

[그림 4] 로봇의 제어 패널을 점검하고 있는 소프트웨어 엔지니어

차폐장치를 하는 등의 조치를 취하고 있다. 주로 PCB가 이러한 종류의 부품에 해당된다. 우리의 오랜 경험에 따르면, 모터나 유압장치 등은 방사선 영향을 받지 않는 것으로 나타났다"고 그는 말했다.

"작업에 투입되는 인력들은 특수훈련을 받았을 뿐만 아니라, 자동화 장비를 운영하는데 필요한 새로운 기술을 습득한 사람들이다. 무엇보다도 그들은 로봇을 이용하기 이전보다 훨씬 더 안전한 환경에서 작업을 하고 있다"고 Cavendish Nuclear사는 전했다. KAIF

〈09-02〉

NEI