

원자력발전소의 로봇 활용

—美 ComEd社의 사례—

ComEd(Commonwealth Edison)사는 미국내 6개 원전단지에서 12기의 원전을 운영하는 전력사업자로서 일리노이주의 북부지방에 전력을 공급하고 있다.

이중 3개 단지에서는 GE사가 제작한 비등수형 원자로를, 나머지 3개 단지에서는 웨스팅하우스사의 가압경수형 원자로를 운영하고 있다.

ComEd사에서 공급하는 전체 전력의 85%는 이들 원전에서 생산된 것이다.

ComEd사는 원자력발전소의 이용률, 설비 신뢰도 및 타 전력원과의 가격 경쟁력 증진에 많은 노력을 기울이고 있다.

이러한 측면 외에도 종사자의 방사선 피폭선량을 저감시켜야 할 필요성을 절감하고 있다.

만약 로봇에 의해서 작동되는 기기가 상업용 원전에서 특수한 작업을 수행할 수 있도록 제작된다면, 로봇·비디오 또는 이와 유사한 원격조정기기

는 상기와 같은 목적을 달성하는 데 활용될 수 있을 것이다.

이러한 목표를 달성하기 위해서 사업자들은 인간이 수행하는 원자력 관련작업을 대체할 수 있는 경제성 있는 로봇기기를 활용할 수 있어야 한다.

로봇기기 제작사들은 원자력사업자들이 특수한 작업을 수행할 목적으로 로봇을 구매할 수 있도록 하기 위해서 원전의 기기 정비활동 등에 많은 관심을 가질 필요가 있다.

실제로 사업자들은 현재 활용중인 수동조작기기를 보다 나은 원격조정기기, 예를 들면 원격조정 로봇기기로 대체하기를 희망하고 있다.

ComEd사는 발전소의 특수한 정비작업을 수행할 수 있도록 설계된 로봇기기를 사용할 수 있게 되기를 원하고 있다.

따라서 비용 측면에서 경쟁력이 있고, 기존의 작업방사선 피폭선량을 저감시킬 수 있는 로봇기기가 개발될 수 있다면 상업적으로 상당한 성공을 거둘 수 있을 것이다.

ComEd사의 고위 경영진은 자사가 운영하는 원전에서 로봇기기의 활용이 재래식 방법보다 우수한 결과를 낼 것이라고 판단될 경우, 로봇기기의 활용을 위한 재정적 지원을 아끼지 않을 것임을 천명하고 있다.

로봇 활용사례

로봇 및 기타 첨단 원격조정기기의 활용현황은 ComEd사의 6개 원전단지별로 상당한 차이를 보이고 있다.

이러한 차이점은 각 원전단지의 기기 이용도와 이용능력, 재래식 방법에 의해서 같은 임무를 수행하는 직원들이 로봇기기를 활용할 수 있는 정도, 관련직원들이 로봇기기를 설치하고 운영하고 적절히 관리할 수 있는 시간을 가질 수 있는지의 여부, 그리고 무엇보다도 고위 관리자의 관심의 차이에 기인하고 있다.

ComEd사는 20개가 넘는 이동형 원격조정설비를 갖고 있음에도 불구하고, 지금까지의 사례를 보면 애당초

설계된 극히 한정된 목적 이외의 임무를 수행하는 데는 거의 활용하지 않고 있다.

이러한 제한된 원격조정설비의 활용은 특기할 만한 것으로서, 방사선 피폭선량을 저감시키는 데 기여하였지만, 전체적으로 보면 ComEd사의 로봇활용을 활성화 시키지는 못하고 있다.

ComEd사가 지난 수년간 활용한 로봇기기 중 대표적인 것으로는 <표>와 같은 것들이 있다.

ComEd사는 다른 상업용 원전산업과 마찬가지로 로봇을 활용하여 성공적으로 임무를 수행한 경험을 갖고 있는데, 그 대부분은 특정임무를 수행하기 위해 용역회사가 활용한 것이다.

그러한 경험중에는 탱크 및 바닥 청소, 증기발생기 튜브 검사 및 보수, 이물질 수색 및 제거, 원자로 부품검사 등이 포함된다.

원자력산업계에서 방사선관리구역 내의 특정업무를 로봇이 수행할 수 있도록 개선하는 것은 상당히 어려운 일인데, 그 주된 원인은 다음과 같다.

첫째, 사업자는 연구개발기관이 아니다.

사업자들은 스스로 로봇시스템을 설계하고, 제작할 수 있는 능력을 갖추고 있지 못하다.

또한 특별한 목적을 수행하기 위한 일반적인 로봇 작업대를 설계할 수도 없다.

즉 사업자는 특정한 시간과 예산범위 내에서 특정한 임무를 수행할 수 있는 것으로 알려진 로봇장비를 구매하여 활용하는 것이다.

그러나 원전사업자가 활용할 수 있는 로봇시스템의 폭은 그다지 넓지 않다.

둘째, 작업자들은 재래식 수작업을 쉽게 포기하지 않는다.

재래식 도구와 방법을 사용하는 것이 더 값싸고, 덜 복잡한 경우가 많다.

셋째, 로봇의 성공적인 활용을 위해서는 충분한 준비와 계획이 수립되어야 한다.

로봇을 운전하는 데는 특별한 기술과 훈련이 필요하다.

또한 로봇의 운전에는 그것이 의도된 기능을 수행할 수 없을지도 모르는데 따르는 상당한 위험이 존재한다.

따라서 작업자들이 로봇을 활용하는 것이 반드시 필요하다는 확신을 가

질 때에만 그러한 위험을 감수할 수 있는 것이다.

원자력산업계 처럼 실수의 허용범위가 적은 산업계에서 그러한 작업자들을 발견한다는 것은 흔치 않다.

넷째, 잠금장치를 조이거나 풀고, 용접을 하고, 원자력발전소에서 요구하는 것과 같은 환경적 제약과 크기 이내로 물체를 연마하는 것과 같은 인적작업을 수행할 수 있는 상업용 로봇 시스템은 아직까지 개발되지 않고 있다.

이 점이 원자력산업계의 로봇활용을 가로막는 가장 큰 요인 중의 하나이다.

현재까지 점검과 검사를 하고 물체를 취급하는 로봇기술은 광범위하게 개발되어 있다.

그러나 원자력산업계에서 로봇이 폭넓게 활용되기 위해서는 고방사선 지역에서 인간의 종래업무를 대체할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

바이런원전의 성공사례

90년도에 바이런(Byron)원전은 연료재장전 기간중 원자로를 해체하고 조립하는 과정에서 심각한 문제를 경험하였다.

원자로 내부 구성품 어셈블리 안내편이 잘못 배열되었으며, 어떤 것들은 구부러지고, 연료다발도 휘거나 손상을 입었다.

원자로 조립지연으로 인한 피해도

<표> ComEd가 활용한 로봇기기

Scavenger	수중작업이 가능한 소형 케드로봇으로 탱크 및 수조바닥을 청소하는 데 활용
Scarab	수중작업이 가능한 소형 케드로봇으로 이물질 존재여부 검사 및 제거에 활용
Andros Mk VI	각종 검사를 수행하고 물체를 취급할 수 있는 대형 케드로봇. 다른 소형로봇의 작업대로도 활용
ROV Submarines	수중검사 및 소형물체 취급에 활용



로봇을 원격조종하고 있는 모습

발생하였다.

전문가들은 원자로 해체와 조립과정에서 원자로부품의 위치를 확인하기 위한 보다 나은 절차와 방법의 개발이 무엇보다도 중요하다고 결론지었다.

이러한 필요에 의해서 바이런원전은 잠수설비와 로봇계(crawler), 레이저 측정기, 화상 정렬확인 장비를 조합한 설비를 이용하여 원자로 구성품 취급방법을 향상시키기 위한 방법을 모색하였다.

그 결과 종래의 작업자에 의한 정렬 방법상의 실수 가능성이 배제되었다.

그 후 연속 3회의 핵연료 재장전 기간 동안 원자로 해체와 조립에 소요되는 시간이 지속적으로 단축되었으며,

방사선 피폭선량 또한 감소되었다.

NRC와 INPO 등도 이러한 시도를 높이 평가하였으며, 발전소와 본사 고위 경영진도 이에 관심을 갖기 시작하였다.

이러한 성과에 고무되어 동 원전의 방사선피폭저감화(ALARA)위원회는 로봇기술의 광범위한 활용을 공식적으로 권고하였다.

바이런원전 본부장은 로봇활용위원회 구성을 승인하고, 로봇과 화상기술의 활용 가능성을 검토하도록 지시하였다.

동 원전의 로봇활용위원회는 방사선 방호·정비·기술지원·공무부서 등의 대표자와 본사·로봇전문가·설비공급사 관계자로 구성되었다.

이 위원회에서는 로봇활용을 위한 여러가지의 새로운 제안이 도출되었는데 그 주요내용은 다음과 같다.

- 상부지역 점검을 위한 연장가능한 휴대가능 비디오 시스템
- 원자로용기 플랜지 검사 및 청소를 위한 원격로봇시스템
- 증기발생기를 포함한 원자로 격납건물 작업을 위한 광범위한 화상감시계통
- 전출력 운전기간 중 원자로 방벽 내부의 증기누설을 확인하고 녹화할 수 있는 로봇계
- 원자로 구성품 검사화면을 실시간으로 설비공급사의 전문가에게 전송하는 시스템
- 원자로 전출력운전 중 원자로냉각펌프의 유위를 측정할 수 있는 로봇계의 활용

로봇 도입·활용

바이런원전의 로봇활용이 무르익어가기 시작할 무렵, ComEd사의 다른 발전소에서도 이와 유사한 로봇활용 성공사례를 남겼다.

라살(Lasalle)원전은 방사능오염 필터를 분류하고 저장하기 위해서 집게가 달린 팔을 이용할 수 있는 대형 로봇계를 활용하고 있다.

라살원전과 드레스덴(Dresden)원전은 방사성폐기물 처리실을 청소하기 위해 로봇계를 활용하고 있으며, 복수저장탱크 청소엔 진공 로봇계를

활용하고 있다.

바이런원전은 그 후 ComEd사의 브레이드우드(Braidwood)원전과 자이언(Zion)원전에 로봇, 비디오시스템 및 관련 전문가를 제공하여, 원자로 해체·조립·검사 및 제어봉 구동계통에 관련된 기술적 문제를 해결하는 데 많은 도움을 주었고, 이는 ComEd사가 로봇활용계획을 적극 추진할 수 있는 계기를 마련해 주었다.

그리고 드레스덴원전이 바이런원전의 기술지원하에 디지털 화상 이미지 개선장비를 구입하여, 원자로 노심구조물 검사를 획기적으로 개선함으로써 이 로봇활용계획은 더욱 추진력을 갖게 되었다.

NRC도 이러한 방법의 타당성을 인정하여 주요설비를 개조하기도 전에 다음 주기의 운전을 승인하였다.

이와 같은 브레이드우드·자이언 및 드레스덴원전의 개선은 다음과 같은 측면에서 ComEd사의 로봇활용계획에 전기를 마련해 주고 있다.

원자로 구성품과 관련된 문제는 발전소의 연료재장전에 큰 영향을 미치며, 로봇과 진보된 화상기술을 이용하는 데 따르는 이득은 상당하여 발전소와 본사 경영진의 큰 관심을 끌었다.

로봇기와 전문가의 결합은 직원들의 팀워크와 자신감을 크게 증진시켰다.

이러한 성공에 고무되어 44년초부터 라살·자이언 및 브레이드우드원전은 로봇활용위원회를 구성하고, 로봇·비디오 및 첨단원격조정기술의 활용을 추진하고 있다.

94년 4월 바이런원전은 「방사선피

폭 저감의 날」 행사시, 사업자·로봇제작자·사용자 그룹회의를 개최하였다.

이때 로봇기기에 대한 전시회도 개최되었는데 ComEd사의 6개 원전에서 700여명과 미국내외의 20개 원전에서 250여명의 사업자·로봇제작자 사용자 그룹 회원들이 참석하여 높은 관심을 보여주었다.

전환점

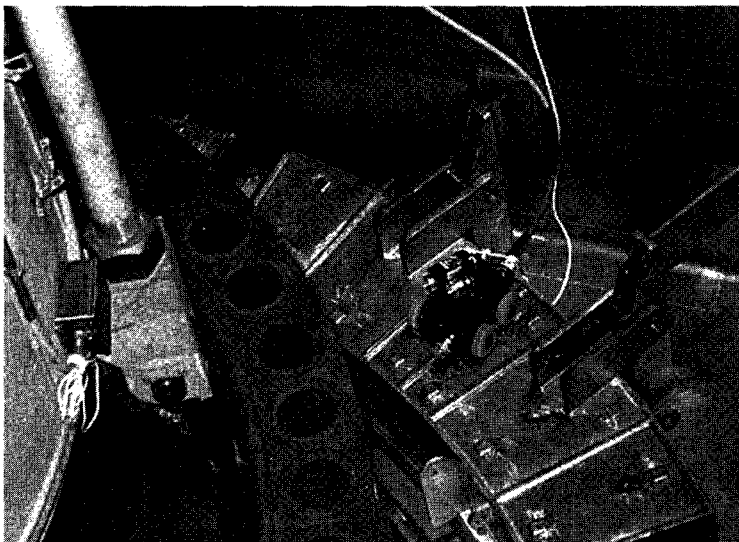
ComEd사의 6개 원전사업장은 6명의 부사장이 총괄·지휘하고 있으며, 6개 원전사업장의 고위간부들로 구성되는 원자력운영위원회가 원전운영에 관한 정책을 결정한다.

94년 초 바이런원전을 책임지고 있는 부사장은 ComEd사의 다른 원전들이 로봇활용을 극대화하는 데 최대한의 지원을 아끼지 않을 것을 천명하였다.

94년 7월 바이런원전에서 고위관리자회의가 개최되었을 때, 6개 원전의 고위관리자들은 여러가지 로봇과 원격조정기기의 시범에 참관하였다.

이 시범 참관 후에 바이런원전 담당 부사장은 6개 원전이 힘을 합해 전사적인 로봇활용계획을 추진할 것을 제안하였다.

94년 8월 ComEd사의 원자력운영위원회는 이 제안을 공식적으로 승인하였으며, 동년 10월 이와 관련된 95년 예산을 할당하였다.



로봇기(crawler)의 작업 모습

전 망

94년 가을과 겨울에 걸쳐, 6개 원전사업장 대표들을 전사차원의 로봇 활용추진위원회를 구성하기 위한 회합을 개최하여 발전소가 필요로 하는 사항을 논의하고, 기기와 활동의 우선 순위 결정에 관하여 논의하였다.

이 회합에서 ComEd사의 모든 로봇 관련기기들은 바이런원전에 저장·관리하기로 결정하였다.

또한 바이런원전은 나머지 5개 원전에 대한 인력 및 장비를 지원하는 데 동의하였다.

그리고 기기의 운전과 관리 및 ComEd사 직원의 훈련을 담당하기 위한 기술자문위원이 고용되었다.

본질적으로, 로봇활용계획의 목표는 ComEd사의 필요를 충족시킬 수 있도록 로봇기기가 적절히 보유·정비되고 관리되는 것이다.

로봇기기는 특히 연료재장전 작업, 특수 정비작업, 청소업무 등에 사용될 수 있다.

ComEd사는 6개 원전에서 필요로 하는 기기의 목록을 작성하였으며, 소요경비를 산출해 본 결과 95년 한 해 동안에 모든 기기를 구매하는 것은 불가능하다고 결론지었다.

그러나 몇가지 작업을 수행하는 데 공통으로 활용할 수 있는 기기세트의 필요성이 도출되었다.

여기에는 보조장비를 부착한 로봇 개 및 잠수함, 진공청소용 로봇계, 원



원자력폐기물 드럼을 취급하고 있는 로봇차

자로용기 플랜지 청소용 로봇, 화상감시카메라 및 제어반, 휴대용 감마선 측정기, 필터계통, 원격용접장비 등이 포함된다.

ComEd사의 로봇활용계획은 충분히 시도할 가치가 있는 계획임이 입증되고 있다.

비록 이 계획이 본격적으로 실행단계에 있지는 않지만, ComEd사의 고위간부들은 이 계획의 필요성을 인식하고 있으며, 재정적인 지원을 약속하였다.

그러나 장비·시기 또는 지원인력의 이용에 관해서 6개 원전간의 마찰 가능성도 있음에 따라, 6개 원전을 동시에 만족시키는 데는 어려움이 따를 것으로 예상된다.

새로운 기술이 개발됨에 따라서 기

존의 기기가 짧은 시간내에 쓸모없는 것이 되어 버릴 수도 있다.

바이런원전은 로봇의 활용과 관련된 자신의 요구를 만족시켜야 할 뿐만 아니라, 나머지 5개 원전에 대해서도 높은 수준의 서비스를 제공해야 한다.

ComEd사의 주된 관심은 로봇의 활용분야가 감시·검사 및 소형물체의 취급 등과 같은 영역에 머물 것인가 하는 것이다.

현재까지 원자력발전소의 주요 작업을 대체할 만한 로봇은 개발되어 있지 않다.

이러한 점들이 향후 로봇활용계획의 성패를 결정짓는 열쇠가 될 것이다. ☞

(〈Nuclear News〉 95.10)