



원자력시설 해체 기술 개발 현황 및 전망

문 제 권

한국원자력연구원 제염해체연구부장



연세대 화학공학 학사, 석사, 박사
제염 해체 및 방사성폐기물 처리 연구 책임연구원, 부장

서론

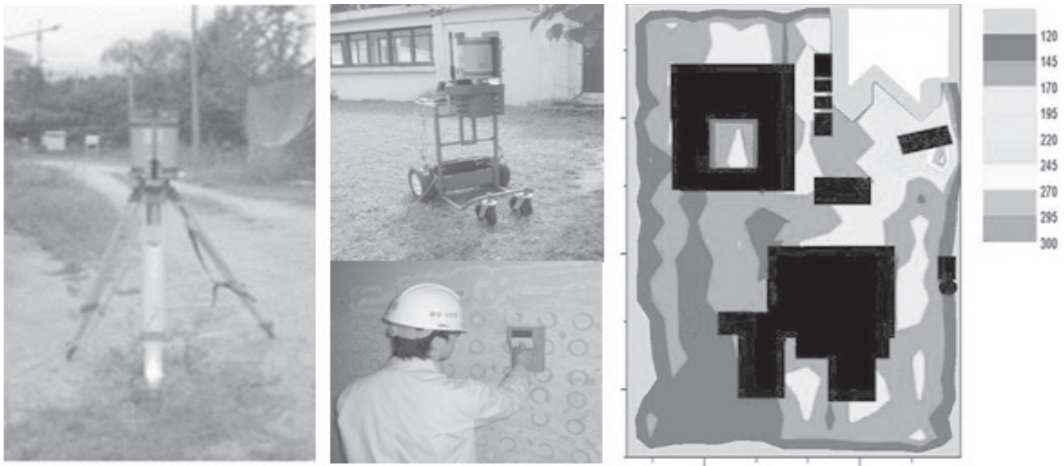
해체 (decommissioning)는 수명을 종료한 다양한 종류의 원자력 시설을 안전하고 경제적으로 처리하는 것을 의미하며, 해체 대상 시설의 특성과 국가별 여건에 따라 해체 상황이 다르기 때문에 자국의 여건에 적합한 기술을 적용하여 수행하고 있다.

이러한 해체는 사용후핵연료의 제거와 함께 시작되어 일부의 경우에 오염된 토양 및 지하수를 포함한 전체 시설 및 부지의 복원을 통하여 재이용하거나 자연 녹지화하여 종료된다. 해체 비용은 시설 건설비의 20% 이상을 차지하는 매우 큰 사업이며 시설을 안전하게 해체하기 위해서는 다양한 분야의 융복합 기술이 필요하다.

초기에 건설된 많은 원전들의 설계 수명이 조만간 종료되어 대규모 해체 시장이 형성될 것으로 예상되며, 이러한 전체 원자력 시설의 해체 시장은 2050년까지 약 1,000조원의 규모가 될 전망이다.¹⁾ 특히, 후쿠시마 원전 사고 이후 독일, 이탈리아 등이 원전의 단계적 포기 정책을 선언하는 등 원자력 정책의 변화와 더불어 세계적으로 원자력 시설 해체에 대한 관심은 더욱더 증가하고 있으며 해체 시장을 선점하기 위한 경쟁이 더욱 거세질 전망이다.

미국, 프랑스, 독일 등의 해체 선진국들은 다양한 원자력 시설 해체 경험을 보유하고 있으며, 독자적 기술 기반을 구축한 상태이다. 현재에

1) IAEA, "Status of the Decommissioning of Nuclear Facilities around the World", 2004



연구로 2호기 해체 후 부지 및 건물 잔류 오염도 조사

는 기술의 안전성, 효율성, 친환경성 등을 강화하기 위하여 지속적인 기술 고도화를 추진하고 있는 상황이다. 우리나라의 경우도 연구로 및 우라늄 변환 시설의 해체를 통하여 소규모 저방사능 시설의 해체 기술을 확보한 상태이나, 원전과 같은 대규모의 고방사능 시설의 경우는 그동안 수명 연장을 통한 계속운전에 중점을 두어왔기 때문에 해체 기술의 확보는 부족한 실정이다.

원전과 같은 대규모의 고방사능 시설의 해체 기술 확보에 10년 이상이 소요될 것으로 예상되며, 국내외 원자력 시설 해체 시장의 본격 도래에 대비하여 원자력 시설 해체에 필수적인 기술 확보를 위한 노력이 절실한 시점이다. 특히, 후쿠시마 원전 사고 이후 국내에서도 초기 원전을 중심으로 해체 문제가 이슈화되고 있다. 이러한 상황에서 현재까지 개발된 해체 기술의 현황에 대하여 알아보고, 향후 기술 개발의 전망에 대하여 논의하고자 한다.

기술 개발 현황 및 전망

해체 기술은 해체 계획 수립시에 요구되는 준비 기술, 오염된 설비들로부터 방사성 물질만을 안전하게 제거하기 위한 제염 기술, 고방사능 설비들을 원격으로 절단하여 취급할 수 있는 기술, 해체 과정에서 발생하는 다양한 폐기물을 안전하게 처리할 수 있는 기술, 그리고 오염된 시설 및 부지를 원래의 상태로 되돌리는 복원 기술 등으로 구분할 수 있다. 그러나 이러한 세부 기술 분야들은 안전하고 효율적으로 해체를 수행하기 위하여 상호 유기적으로 연관되어 있다.

먼저, 해체 준비 기술은 원자력 시설의 해체를 위

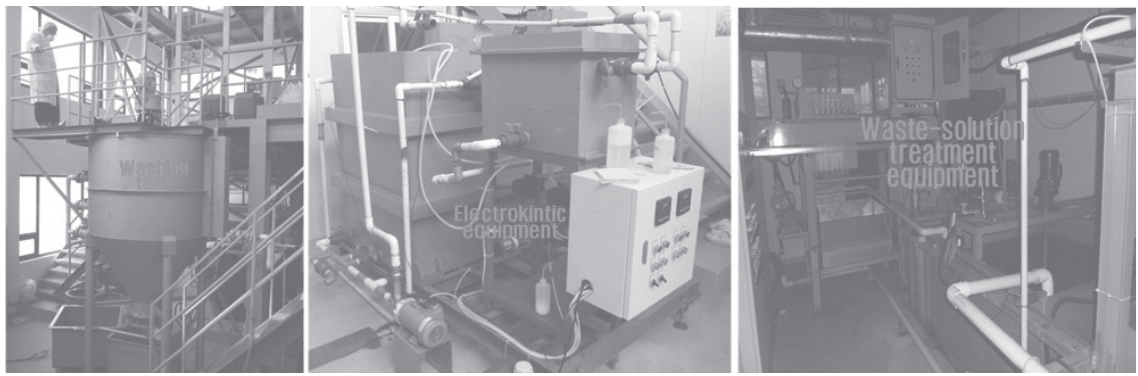
해 선행되어야할 해체계획서 작성시에 요구되는 기술로 정의될 수 있다. 해체 준비를 위하여 필요한 기술은 해체 작업의 안전성과 효율성을 확보하고, 최적의 해체 시나리오 수립 및 선정을 위해 요구되는 시설 및 부지 특성 평가, 해체 엔지니어링, 환경 영향 평가, 인허가 등을 포함한다. 이러한 해체 준비 기술은 다양한 분야의 기술이 요구되며 해체시에 요구되는 각각의 단위 기술에서 도출된 최적의 정보를 활용하여 해체 계획을 수립하는 것이 필요하다.

국외에서 준비 기술은 초기부터 연구되어 현재에는 거의 표준화 작업이 이루어졌으며, 자체적인 평가 도구를 개발하여 실제 원전 해체 등에 적용하고 있다. 현재에는 현장 측정 기술과 기존의 해체 경험 자료를 바탕으로 해체 계획 수립시에 요구되는 항목을 세분화하여 평가 결과의 정확성과 작업의 효율성을 증대시키기 위한 노력하고 있다.

국내에서도 연구로 및 우라늄 변환 시설 해체 사업과 중장기 원자력연구개발사업을 통하여 준비 기술 중 많은 부분을 확보하였고, 이들 기술 중 일부는 원전의 건설 및 운영과도 관련되어 있기 때문에 이미 상당한 수준에 도달한 부분도 있다.

향후 원전의 해체를 준비하기 위해서는 추가로 방사선학적 특성 평가(방사화제고량 평가 및 현장 측정)기술의 개발이 요구되며, 해체 계획 수립 및 해체 정보를 종합적으로 관리하고 평가하기 위한 통합 해체 엔지니어링 시스템의 구축이 필요하다.

원자력 시설의 해체시에는 일차적으로 작업자의 피폭을 저감하고, 발생된 방사성 폐기물의 양을 줄이거나 취급을 용이하게 할 목적으로 제염을 수행한다. 제염은 시설의 종류와 적용 대상의 오염 특성에 따라



한국원자력연구원의 복합동전기 토양 세염 장치

다양한 기술이 필요하며, 기계적 세정, 세척 및 기타 방법들뿐만 아니라 화학적, 전기화학적 및 열적 공정들을 포함하고 있다. 특히 작업자 피폭 저감 및 안전성 향상을 위한 해체 전에 방사능 준위가 가장 높은 일차 계통의 제염 기술 확보가 무엇보다 필요하다.

국외에서는 대표적인 일차 계통 제염 기술로 DfD(Decontamination for Decommissioning) 공정, HP/CORD(Chemical oxidizing Reducing Decontamination) 계열 공정 등이 특히 기술로 상용화되어 현재 원전 해체시에 활발하게 적용되고 있다.

그러나 DfD의 경우는 제염 시스템의 안정성 문제와 이차 폐액 처리의 문제가 있고, HP/CORD의 경우에는 공정이 복잡하고 다량의 이차 폐액이 발생하는 문제점이 있다. 또한 해체 전후의 구성품(배관 등)의 오염을 제거하여 재사용하거나 폐기물량을 저감하기 위한 다양한 제염 기술(전해 연마, 화학적 침수, 분사 연마, 초음파, 깎, 거품 등)을 적용하고 있다.

국내에서 부품 제염의 경우는 다양한 단위 기술들을 개발하여 적용하고 있으며, 계통 제염의 경우는 증기발생기 수실 및 RCP(Reactor Coolant Pump) 펌프와 같은 일차 계통 기기의 부분 제염 기술만을 확보하고 있다. 그러나 대형 기기와 같은 대면적 제염시에 적용이 가능한 제염 기술의 개발은 전무한 상태이다.

이러한 현 상황을 고려하여 현재 이차 폐기물의 발생을 줄일 수 있고, 오염을 효과적으로 제거할 수 있는 친환경적인 계통 제염 및 대면적 오염 제거용 복합 유체 제염 기술의 개발을 추진하고 있다.

가동이 종료된 원자력 시설은 어떠한 해체 방식이 채택되더라도 반드시 설비나 구조물을 절단 및 철거하는 작업이 필요하며, 이러한 설비 및 구조물은 대부분이 금속이나 콘크리트로 구성되어 있다. 특히 설

비 및 구조물을 해체하는 과정에서 작업자를 보호하고 사고를 예방하며 폐기물 발생량을 줄이기 위하여 최적 해체 공정 평가 및 원격 절단/취급 기술 등이 필요하다.

해외에서는 원자로 압력용기, 증기발생기 등 고방사능 대형 설비 해체시 작업자 피폭 저감 및 안전성 향상을 위하여 원격 취급 조작기와 원격으로 해체 작업을 감시할 수 있는 기술 등을 개발하였다. 그러나 현재까지 원격으로 해체 중량물을 정밀하게 제어할 수 있는 기술의 개발은 미진한 상태이며, 대형 설비를 원격으로 절단하는 장비와 이를 이용한 해체 시스템의 개발에 주력하고 있다.

국내의 경우 일반 산업체에서는 중하중물 취급에 대한 일부 기술 개발되었지만, 원자력 시설 특성상 작업자의 직접 접근이 어렵고 고하중인 해체 대상물을 원격에서 고정밀로 제어하는 기술은 개발되지 않은 상태이다. 현재 고방사화로 인해 작업자 접근이 불가능한 원전 핵심 대형 설비 해체를 위한 고하중 고정밀의 원격 해체 시스템을 개발을 추진하고 있다.

원자력 시설의 해체시에는 운전 기간보다 많은 폐기물이 일시에 발생하며, 이러한 폐기물의 처리 비용이 해체 비용에서도 많은 부분을 차지하고 있다. 특히 원자력 시설의 해체에서 생기는 폐기물의 처리·처분은 발생원 및 방사성 오염 준위 구분에 따라 실시한다.

해체 과정에 발생하는 폐기물은 매우 다양하고 양이 많기 때문에 이를 체계적으로 관리하지 않으면 방사성폐기물과 자체 처분이 가능한 폐기물의 구별도 어렵고, 추후에 폐기물의 추적이 불가능하여 방사성 폐기물의 양은 증가하게 된다.

해외에서는 해체 폐기물의 대부분을 차지하는 콘크리트와 금속 폐기물을 처리하기 위한 상용화 수준

에 도달하였으며, 방사성폐기물의 규제 해제를 통하여 원자력 시설을 포함한 다양한 분야에서 재활용하고 있다. 그러나 일부 특수 폐기물(방사화 흑연 등)의 경우는 안전한 처리 방법을 확보하지 못하여 임시 저장하고 있으며 이를 처리하기 위한 연구들이 현재 수행되고 있다.

국내에서도 현재까지 방사능이 높고 대형 금속 폐기물을 제외한 대부분의 해체 금속 및 콘크리트 폐기물 처리 기술을 확보하였다. 특히 연구로 및 우라늄 변환 시설 해체 과정에서 발생한 가연성 및 금속 폐기물을 감용/처리하기 위한 시설을 구축하여 실제 운영 중에 있으며, 오염 토양 및 콘크리트 폐기물을 처리하기 위한 시설을 현재 구축 중에 있다. 또한 해체 시 발생하는 특수 폐기물(유기 혼성)을 효과적으로 관리하고 처분 안전성을 증대시킬 수 있는 기술을 개발 중에 있다.

환경 복원은 원자력 시설 이용의 최종 단계로서 수명을 다하여 해체가 완료된 부지를 재활용 목적에 맞도록 개방하거나 원자력 시설의 사고로 인하여 오염된 부지를 원래의 깨끗한 자연 환경으로 되돌리기 위한 모든 활동을 말한다.

환경 복원을 효율적으로 수행하기 위해서는 부지의 재활용 목표를 설정하고, 우수한 오염 제거 성능을 가지는 복원 기술의 개발 및 관련 규정의 수립이 요구된다. 특히 환경 복원은 시설 운영 중에 발생할 수 있는 예기치 않는 오염으로 인하여 해체 일정 및 비용에 크게 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소로서 최적화된 복원 전략 수립이 필요하다.

해체 및 오염 부지의 잔류 방사선/능을 효율적이고 신속하게 측정하기 위하여 해체 선진국에서는 방사선학적 안전성 평가 방법을 포함한 현장에서 직접 오염 분포 및 방사능을 측정할 수 있는 기술 개발에 주력하고 있다. 특히 부지를 최종 개방하기 위한 표준 절차서 및 피폭 선량 평가 프로그램을 개발하여 복원 시에 직접 적용하고 있으며, 해체 부지를 개방하여 녹지를 조성하거나 산업 시설로 재이용하고 있다.

국내에서는 해체가 완료된 우라늄 변환 시설의 부지를 대상으로 최종 현황 조사를 수행하였으며, 이 과정에서 잔류 오염도 측정 기술 및 방사선학적 안전

성 평가 기술 등을 확보하였다. 현재에는 해체 후 부지를 최종 개방하기 위하여 요구되는 저준위 방사능 측정 기술 및 부지 방사능 깊이 분포 측정 기술과 더불어 이를 통하여 부지의 규제 해제시의 방사선학적 안전성을 평가할 수 있는 기술을 개발하기 위한 연구를 추진 중이다.

결론

전 세계적으로 원자력 시설의 해체 시장이 급격하게 부상하고 있으며, 해체 시장은 주로 공급자 위주로 형성되기 때문에 핵심 기술을 확보하지 못하면 기술적 종속이 우려된다. 즉 독자적인 해체 핵심 기술을 확보하지 못할 경우, 원자력 선진국으로부터 기술 도입에 따른 국가 경제의 심각한 손실과 더불어 확대일로에 있는 세계 해체 시장의 진출이 어려워 국가적으로도 미래 신성장 동력을 창출할 기회를 상실할 가능성이 높다.

원전을 포함한 원자력 시설을 안전하고, 경제적이며, 친환경적으로 해체하기 위해서는 제염 기술, 원격 절단/취급 기술, 폐기물 처리 기술, 환경 복원 기술 등과 같이 원자력 시설의 종류와 특성을 고려한 해체 기술을 확보해야 한다.

해체는 건설보다 시간이 더 소요되고, 운영중 발생하는 폐기물보다 더 많은 양이 한꺼번에 발생되며, 고난이도의 기술이 요구되기 때문에 철저한 사전 준비가 요구된다. 또한 해체 산업체의 기술 경쟁력을 확보하기 위해서는 개발된 핵심기술을 활용하여 실용화 가능한 단위 기술 중심으로 시범 사업을 추진하고, 실제 환경에서 실증 사업(해외 컨소시엄 참여 또는 국내 해체 모델 발굴)을 통하여 기술을 검증하고 고도화할 필요가 있다.

특히, 원전과 같은 대규모의 해체를 수행하기 위해서는 해체 기술의 확보와 더불어 산업체 능력 배양, 인력 양성 및 해체 제도의 준비가 필요하다. 기술의 실용화 단계에서는 산업체의 참여가 필수적이며, 다양한 분야의 융복합 분야인 해체 사업을 수행할 인력 양성과 해체 기술 기준의 준비는 국가적인 차원에서 추진해야 할 것으로 판단된다. 