

원전 해체 비용평가 방법론 개발

강상호, 이승기, 정재훈, 이병식, Jim Garvey*, Eric Darois*, 김학수**, 황태원**

한국전력기술(주), 용인시 기흥구 용구대로 257

*RSCS, Inc, 91 Portsmouth Ave, Stratham, NH, USA

**한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전시 유성구 금병로 508

sangho@kopec.co.kr

1. 서론

원전사후처리충당금 적립과 향후 국내원전 해체 대안별 정책 결정을 위하여 원전해체 비용평가 기술의 정립이 요구된다. 원자력시설의 해체비용 산출방법은 목적에 따라 여러 가지가 있으나, 가장 정확한 방법은 공학적 Bottoms-up 방법으로서, 해당 원자력시설의 오염도와 시공물량 등을 상세히 평가하여 적절한 해체 및 제염 공법을 적용하고, 발생 폐기물을 관련 규정 및 전략에 따라 안전하게 처리/처분하여 해당 부지를 제한적 또는 무제한적으로 해제하기 위한 비용을 산출하게 된다. 본 연구는 공학적 방법을 적용하여 체계적으로 국내원전 해체비용을 산출하기 위한 목적으로 한국수력원자력(주)의 지원 하에 미국 해체 프로젝트 전문가 그룹과 한국전력기술(주)가 공동으로 수행하였으며, 국내에 운전 중인 950 MWe급 웨스팅하우스 경수로형 참조원전에 대한 비용평가를 수행하였다.

2. 본론

해체 비용은 해체유선, 공정, 해체/제염 공법, 플랜트 재고량, 오염도, 규제기준, 인건비/재료비 단가, 사용후연료정책, 자체처분 계획, 폐기물 포장/운송/처리/처분 방안, 부지해체 방안 등 수많은 변수에 의해 결정되며, 상기 변수간의 복잡한 연관관계를 통하여 산출된다. 본 연구는 비용평가에 영향을 주는 모든 변수의 변화에 따른 비용평가가 가능한 방법론을 개발하기 위하여 해체 개념설계, 해체비용평가용 전산프로그램 개발, 입력자료 데이터베이스 개발 등을 수행하였다. 본 논문에서는 방대한 분량의 연구 결과 중 비용평가 입력자료의 개발 방법론에 대해서 간단히 요약하여 기술한다. (상세내용은 참고문헌 참조)

가. 해체유선 및 가정

해체비용 산정에 필수적이나 불확실도가 높은 주요 해체유선 및 가정사항들을 국내의 주변 상황을 고려하여 결정한다. 여기에는 대상원전, 부지최종상태, 인허가 일정, 해체대안 (즉시 또는 지연해체), 사용후연료 관리정책, 사업 추진주체, 방사성폐기물 등급분류, 유해성 및 특정폐기물 처리방안, 방사성폐기물 처리/처분 방안, 잔류건물 철거유선, 폐기물 포장/운송 방안 등이 포함되며, 필요시 일부 항목은 민감도 분석 유선으로 선정한다.

나. 일반사항

해체 비용평가에 전반적으로 사용되는 변수들을 결정한다. 여기에는 영구정지일, 비용평가일과 같은 공정 관련 항목과, 해체비용 항목별 예비비 비율, 작업난이도 인자 등이 포함된다. 작업난이도 인자는 작업별 접근성, 호흡방호장구 착용여부, 방사선량 준위, 개인방호복 착용, 휴식시간 등으로 분류된다.

다. 비용항목

실제 상용원전 해체사업에 적용된 공정과 작업항목에 기초하여 작업관련, 기간관련 및 비분배성 비용항목으로 구분하고, 각 해체 단계별로 비용항목을 결정한다. 총 6단계에 Level 3까지 약 200여개 항목, Level 6까지 약 3,000여개 비용 항목으로 구분한다.

라. 사업조직 및 인력

미국 Maine Yankee 및 Connecticut Yankee 원전의 해체조직에 기반하고 국내 원전 설계/건설/운영 조직을 반영하여 6개부서로 분류된 해체사업 관리조직을 구성하고, 연도별 투입인력을 구성한 인력투입 계획(Staffing Plan)을 개발한다. 또한 노무관련 작업조를 작업특성별로 구분하고 인력을 할당한다. 각 인력등급에 대한 인건비 단가는 국내 단가를 적용한다.

마. 폐기물 포장용기

방사성 오염 및 비오염 폐기물을 포장할 수 있는 용기는 폐기물 특성과 오염도에 따라 구분하고, 각 포장용기에 대한 제원과 구매/대여 단가를 조사한다. 각 폐기물은 국내 운송/처분 기준에 적합한 용기에 포장되어 운송 및 처분된다.

마. 폐기물등급, 형태 및 처리

국내 법규와 처분장 기준을 만족하도록 방사성폐기물을 4종류로 분류하고, 폐기물의 포장, 처리 및 처분을 고려하여 형태에 따라 15종으로 세분화한다. 이렇게 분류된 해체폐기물은 오염도와 기타 특성에 따라 각 폐기물 등급 및 형태에 적합한 처리/운송/처분 전략을 수립한다.

사. 방사선원항 및 폐기물량

요구되는 해체 작업종류의 결정과 및 방사성폐기물량 평가를 위해 플랜트의 모든 계통/기기/구조물에 대한 방사선원항 평가를 수행한다. 중성자에 의해 방사화되는 원자로내부구조물, 원자로용기, 일차차폐체는 전산코드 해석을 사용하고, 표면오염 물질인 계통과 구조물 표면 등은 참조원전 실측자료를 사용한다. 또한 토양, 폐수지 및 필터, 잡고체, 석면 및 유해성 폐기물 등의 오염도와 물량도 정량적으로 평가한다.

아. 폐기물 처리

국내의 높은 폐기물 처분비로 인해 해체폐기물 감용 처리가 필요한 것으로 평가됨에 따라 제기된 해체폐기물을 종류별로 적합한 기술을 사용하여 제염/감용 처리하고 이에 따른 비용과 감용효과를 비용산정에 포함한다. 처리기술은 광범위한 기술조사를 통해 현존 기술 중 상업적으로 이용가능하고 경제적인 기술을 선정한다.

자. 단위비용인자

반복적 작업에 대한 단위비용 데이터베이스를 개발한다. 미국 사례에 근거한 실제 작업 투입 인력/기간과 국내 단가를 적용한 재료/장비비를 고려하여 100여 종류의 단위비용인자 DB를 개발하고, 플랜트내 구역별 재고량 자료를 연계하여 단위비용인자와 연계된 항목의 총 비용 및 공정을 평가한다.

차. 구역구분 및 플랜트 재고량

해체공정 개발, 작업인수도 적용 및 작업분류를 위하여 참조원전을 건물 175개 구역, 부지 18개 구역으로 구분하고, 각 구역별 플랜트 재고량 (예, 배관, 밸브, 기기, 전선, 덕트, 구조물 등)을 특성별로 세분화하여 물량을 산정한다. 재고량 산정에는 시공물량, 기기/배관/밸브 목록, 배치도면 등 가용한 플랜트 설계자료가 사용된다. 건물표면 제염 및 최종현황조사를 위해 MARSSIM 구역분류를 적용하고 구역별로 상이하게 표면 제염 및 서베이 물량을 산정한다.

카. 작업관련 비용

플랜트재고량과 연관된 비용은 단위비용인자와 결합하여 산출되며, 연관되지 않는 기타 비용은 항목별로 산출한다. 여기에는 해체비용평가, 부지특성조사, 사용후연료저장조 격리, 일차계통 제염, 사용후연료저장조 O&M, 사용후연료 중간저장시설 건설/운영/해체, 지하수감시, 연구개발 비용 등이 포함된다.

다. 기간관련 비용

사업관리 인력과 같은 기간관련 비용은 앞서 개발된 사업운영 인력조직의 투입기간에 따라 산출된다. 공정은 결정경로(Critical Path)와 작업별 소요기간에 따라 결정된다.

파. 비분배성 비용

작업 및 기간관련 비용에 포함되지 않으나 해체비용에는 포함되는 비용으로서 각각에 대해 별도의 평가를 수행한다. 제염장비, 소공구, 중장비, 보진물리 장비 등의 장비 구매/대여 비용은 소요물량과 국내 단가를 적용하여 평가하며, 에너지, 보험, 세금, 규제비용 및 기타비용 등도 해체단계별 소요량을 상세분석하여 평가한다.

3. 결론 및 토의

원전 해체 비용평가에 필요한 방대한 분량의 자료와 상관관계를 체계적으로 연계시켜 국내 원전에 적합한 해체 비용평가 방법론을 정립하였다. 복잡한 비용평가 알고리즘을 전용 전산프로그램에 구현하여 평가자가 입력자료를 입력하면 간편히 평가를 수행할 수 있게 되었다. 입력자료도 본 연구 결과로 생산된 방법론을 통해 체계적으로 생산할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 방법을 통해 국내 원전 해체에 필요한 다양한 옵션에 대해서 비용-편익 평가를 수행할 수 있게 되어 향후 원전 정책수립을 위한 기술적 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] RSCS/KOPEC, Decommissioning Cost Analysis for the Korean Pressurized Nuclear Power Plant, 2009