

열출력과 해체비용의 상관관계를 이용한 HANARO 해체비용 예측

홍윤정*, 진형곤, 박희성, 박승국

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*hong814@kaeri.re.kr

1. 서론

해체비용평가가 국내에서는 개발되고 상용화된 방법이 없기 때문에 해외 또는 국제협력기구에서 개발된 것을 활용하여 주로 평가한다. IAEA의 한 프로젝트인 DACCORD(Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning)는 수 년 동안 전 세계에 있는 연구용 원자로와 관련된 정보를 수집 및 분석 후 해체 비용 평가를 수행한다. 최근 개발 중인 해체 비용 평가에 대하여 보편적으로 채택된 기준서가 없지만, 일반적인 접근법들은 IAEA 문서에서 찾아 볼 수 있다. 비용산정과 비용평가 접근법들의 구체적인 단계는 초기비용단계부터 최종비용평가까지 다를 수 있다. 각각의 다른 정확도를 갖고 사용될 수 있는 3가지 유형의 비용 평가 접근법이 있다. 1) 크기 정도 비용 평가: 전반적인 업무범위가 미 확정되고, 구체적인 설계자료 없이 규모를 고려하여 가중치로 평가하는 비용으로, 평가의 정확도는 -30 ~ +50%이다. 2) 예산을 위한 비용 평가: 업무 범위는 확정되었으나, 상세한 설계가 미 시행되고, 흐름도, 배치도 및 기기 자료 등을 기준으로 평가되는 비용으로, 이 평가의 정확도는 -15 ~ +30%이다. 3) 예산 확정을 위한 비용 평가: 상세한 사업계획이 확정되어 있고, 업무의 범위와 심도가 정립되어 있다. 평가의 정확도는 -5 ~ +15%이다[1].

본 연구는 DACCORD project의 회원국으로부터 수집된 데이터에 연구용 원자로의 열출력당 해체비용 데이터 기반으로 크기 정도 비용평가 접근법으로 HANARO의 예비 해체 비용 평가예측을 목적으로 한다.

2. HANARO 시설의 특성

HANARO는 대전광역시 유성구 대덕대로 한국원자력연구원내에 위치하였으며, 1995년부터 안전하고 효율적으로 운영해오고 있다. 열출력은 30 MW이며, 현재 국내에서는 가장 큰 개방 수조형 연구용 원자로이다. 또한 높은 중성자속을 갖는 세계적

수준의 다목적 연구용 원자로이다. 중성자를 이용한 기초과학 연구와 첨단 신소재 개발, 핵연료 및 원자로 재료 개발, 의료용 및 산업용 방사성 동위원소 생산 및 이용 연구, 중성자 도핑을 통한 고품질 반도체 생산, 방사화 분석을 이용한 재료의 극미량 분석 등에 다양하게 활용되고 있다.

Table 1. Key Characteristics of HANARO

| 로형 | 개방 수조형 |
|--------------------------------|-------------------|
| 열출력 (MW) | 30 |
| 최대 열중성자속(n/cm ² /s) | 4.50E+14 |
| 핵연료 형태 | 봉형 |
| 핵연료 조성 | U ₃ Si |
| 농축도 | LEU |
| 냉각재 | 경수 |
| 냉각방식 | 상향 강제순환 |
| 노심냉각유량 (kg/s) | 703 |
| 반사체 | 중수 |

3. DACCORD 프로젝트 데이터에서 해체된 연구용 원자로의 특성

연구용 원자로는 전 세계에 널리 다양하게 분포되어 있다. 연구용 원자로 시설은 교육, 방사성 동위원소 생산, 연구 및 안전목적을 위한 재료 조사 그리고 재료의 산업공정을 포함하여 다양한 목적으로 이용된다. 많은 대학이나 정부출연기관에서 방사성물질의 행적에 관한 기초연구를 수행하기 위해서도 사용되어진다. 연구용 원자로에는 출력이 낮은 Watts부터 수백 MW까지의 출력을 갖는 다양한 유형의 원자로들이 있다.

연구용 원자로와 임계 장치의 일반 운영기간은 대략 40 년이고, 해체 기간은 일반적으로 3~5 년, 임계 장치의 해체는 약 1 년 정도 소요가 된다. 몇몇 연구용 원자로들은 운영기간이 50 년에서 더 오래 운전되는 연구로도 있다.

연구용 원자로는 다음과 같이 구분할 수 있다. 예를 들어 출력준위, 사용된 감속재 효율 및 종류; 다음과 같은 유형별로 연구용 원자로가 분류되었다: TRIGA 및 SLOWPOLKE와 같은 개방 수조형; WWR pool-in-tank를 포함한 tank reactors;

Argonaut 원자로; homogeneous liquid 원자로; 고속로; 흑연로; 그리고 그 외 기타 등등. DACCORD project는 개방 수조형 연구용 원자로(TRIGA 유형의 원자로를 포함한)와 Soviet 디자인의 WWR pool-in-tank 연구용 원자로에 초점을 두었다.

4. 결과

해체 사업이 완료된 다양한 연구로의 열출력별 해체 비용의 자료가 수집되었다. 기존의 비용 데이터는 평가를 일치하게하기 위하여 인플레이션을 2013년으로 조정하였다.

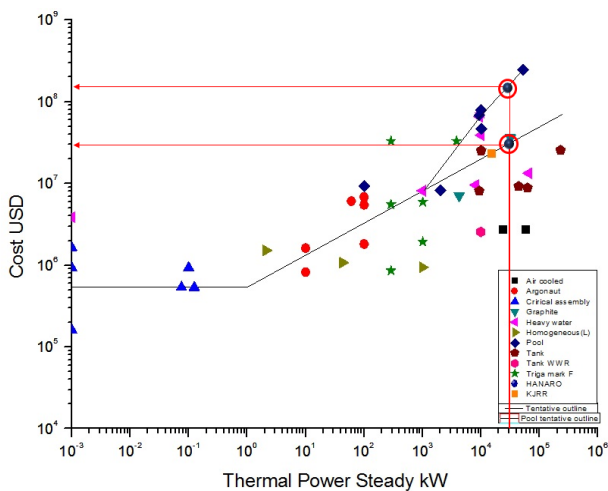


Fig. 1. Actual decommissioning cost of selected reactors vs. thermal power, based on the IAEA database.

Fig. 1은 출력이 1 kW 이상인 원자로의 열출력과 해체비용간의 관계를 보여주고 있다. 여기서 제한된 데이터로부터, 비용의 범위는 \$100,000 ~ \$500,000 (2013 price levels)이다. 1 kW 이상 출력에 대한 해체 비용은 \$1 million 이상이다. 출력이 1 MW 또는 그 이상의 해체 비용은 \$1~\$10 million(2013 price levels) 범위이다. 10 MW 또는 그 이상에 대한 해체 비용은 \$10~\$100 million (2013 price levels)이다. HANARO의 경우에는 열출력이 30 MW일 때, 해체 비용은 약 \$30.5 million(2013 price levels)으로 나타났다. 하지만, open pool type만의 열출력 대비 비용평가를 비교해봤을 때 약 \$107 million(2013 price levels)으로 나타났다. 이 두 가지 예측값 중 비용이 가장 높은 원자로인 프랑스, Grenoble에 위치한 출력이 35 MW인 Siloe의 총 해체비용이 \$168 million (2013 price levels)인 점을 감안하여 보수적으로 \$107 million 값으로 예측 선정한다.

5. 결론

본 논문에서는 DACCORD 프로젝트 데이터에 제시된 연구용 원자로의 열출력 당 총 해체 비용을 바탕으로 HANARO의 예비 해체 비용 평가를 수행하였다.

열출력이 증가함에 따라 해체비용이 증가하는 경향이 있지만, 이용가능한 데이터들은 주어진 출력 준위에서의 해체 비용이 상당히 다르다는 것을 보여준다. 특히 고출력에서 변동이 크다는 것을 볼 수 있다. 출력이 같거나 비슷한 연구용 원자로에 대한 해체 비용의 변화는 원자로 유형, 설계, 해체 사업 범위, 각국의 노임 단가, 그리고 기타 원자로 혹은 사업 요소에 따라 차이점이 생긴다. DACCORD 데이터에 대한 중요한 요소는 그 범위에서 차이와 관련이 있을 수 있다;

제시된 데이터들은 총 비용과 출력준위의 상관관계만 보여준다. 열출력만을 이용하여 해체 비용을 평가하는 것은 한계가 있지만, 만약 MCNP/FISPACT와 같은 컴퓨터 코드로 계산하는 재고량 및 그 외의 것을 고려하여 해체 비용을 평가한다면, 더 정확한 비용을 얻을 수 있을 것으로 판단한다.

6. 참고문헌

- [1] "Cost Estimation for Research Reactor Decommissioning", IAEA Nuclear Energy Series, No. NW-T-2.4, IAEA, Vienna, 6 (2005).
- [2] "Cost Estimates for Decommissioning Nuclear Reactors - Why Do They Differ So Much?", UNIPED, (1998).
- [3] Data Analysis and Collection for Costing of Research Reactor Decommissioning, Version.28, 14-17 (2014).