



해외 주요국의 원전 폐지 조치 개념

김종희

전 과학문화연구원 이사



· 연세대 행정대학원 석사

- 한국과학기술정보센터 자료부장
- 국방과학연구소 자료관리실장
- 한국원자력연구소 원자력정보센터 부장
- 한국원자력연구소 동경사무소 소장
- (사)과학문화연구원 이사
- (주)RAWTEC산업 부회장 역임

개요

원자로 시설의 폐지 조치는 밀폐 관리, 차폐 격리, 해체 철거 등의 방식을 적당히 조합하여 실시된다. 일반적으로 작업자나 공중의 안전을 확보한 후 경제성을 고려하여 폐지 조치 작업을 실시하는 것을 기본으로 하고 있지만, 각국이 반드시 명확한 폐지 조치의 생각을 분명히 하고 있는 것은 아니다.

독일에서는 즉시 해체를 원칙으로 하고 있으며, 미국에서는 즉시 해체 철거, 안전 저장, 차폐 격리 중 어느 것이나 선택이 가능하지만, 최근 즉시 해체 철거를 선택하는 경향이 있다.

프랑스에서는 경제적으로 유리하다고 해서 이전에는 원자로 본체 부분을 지면 해체하는 방식을 선택했으나, 2000년 12월 제1세대의 발전로 해체를 앞당길 방침으로 변경되었다.

가스냉각형의 원자력발전소를 소유하는 영국의 BNFL은 원자로의 주변 기기 및 시설을 가능한한 철거하고, 노심부(爐心部)만 차폐 격리하여 약 60~80 년간의 관리를 계속하여 방사능의 감쇄를 기다린 뒤 최종적으로 노심부를 해체 철거할 방침이다. 또한 영국에서는 원자력폐로청(DNA)을 설립하여 폐지 조치에 따른 책임을 지게 되며 폐지 조치의 합리화 검토가 진행되고 있다.



각국의 폐지 조치 현황

위에서 설명한 바와 같이 원자로 시설의 폐지 조치는 밀폐 관리, 차폐 격리, 해체 철거라는 방식을 적당히 조합하여 실시된다. 그러므로 각국에서는 이와 유사한 분류를 하고 있는 동시에 그것에 관련한 폐지 조치 방침이 표시되어 있다.

폐지 조치 방식은 IAEA의 스테이지(stage) 분류가 잘 이용된다. 이는 각각 밀폐 관리 방식, 차폐 격리 방식, 해체 철거 방식이라고도 부른다.

• 스테이지 1 (감시 부착 저장) : 원자로 시설을 폐쇄하여 적절한 관리 하에서 시설을 안전한 상태로 둔다.

• 스테이지 2 (제한된 부지/시설 해방) : 원자로 시설의 주변 기기, 1차 냉각 계통 시설 등을 철거한 후 방사능 수준이 높은 부분인 원자로용기 등을 밀폐 조치하여 방사성물질의 누설을 방지하고, 또한 원자로 본체 등을 차폐 격리 공사를 하여 방사능이 감쇄될 때까지 관리를 계속한다. 그러나 방사능이 오염되지 않았다는 것이 최종 조사에서 확인된 시설 지역은 무제한 해방된다.

• 스테이지 3 (제한 없는 부지 해방) : 원자로 시설 내에 방사능이 함유된 구조물을 해체 철거하고, 건물 또는 부지는 최종 조사에서 확인한 후 무제한 해방한다.

일본은 사업용 원자력 발전 시설의 폐지 표준 공정에 따라 여러 선진국의 폐지 조치가 밀폐 관리와 차폐 격리의 처치 방법으로 구분하기 곤란한 경우가 많은 것을 고려하여 안전 저장-해체 철거로 정리하고 있다.

원자력발전소의 폐지 조치 방침은 경제성, 안전성, 원자로 시설의 설치 상황 등을 충분히 고려하여 결정해야 할 것이며 각국이 반드시 명확한 국가의 방침을 명시하고 있는 것은 아니다. 다만 기본적인 사고방식이 지침 등에 의해 표시되어 있는 국가나 원자력발전소의 소유자가 방침을 검토하고 있는 국가도 있다.

1. 캐나다

캐나다는 국토가 넓어서 원자력발전소 해체 후 그 부지의 재이용을 고려할 필요가 없으므로 밀폐 관리 방식을 채택하고 있다. 이제까지 장티이 1호(Gentilly 1), 더글라스 포인트(Douglas Point), NPD 등이 밀폐 관리 방식에 의해 폐지 조치되어 있다. 또한 발전로를 소유하고 있는 온타리오 하이드로에서는 운전 정지 후 사용 후 연료를 철거하여, 30년간을 밀폐 관리한 후 약 10년 동안에 시설을 해체 처리하는 방식이 검토되고 있다.

2. 프랑스

프랑스전력공사(EDF)는 PWR형 원자로 58기를 운전하여 전력의 약 80%를 담당하고 있다. 한편 지금까지 제1세대 원자로(HWGCR형 1기, GCR형 6기, PWR형 1기) 및 FBR형 1기 등 합계 9기를 폐쇄하고 있다.

이런 발전로의 폐지 조치는 작업자 및 공중의 안전을 확보하여 환경 보전을 하는 것이 기본으로 되어 있다. 폐지 조치의 기본적인 사고방식은 이전에는 스테이지 2를 선택, 원자로 본체에서 방사능이 높은 부분을 차폐 격리하는 것이 경제적 이유 및 작업자의 피폭 저감 등 기술적 관점에서 유리하다고 보아 50년 후에 해체할 방침이었다.

그러나 EDF는 2000년 12월 신형 원자로를 위한 사이트 활용 준비와 장기 안전 저장의 리스크 경감 등을 고려하여 스테이지 1 또는 2를 선택한 발전로 9기에 대해 금후 25년 이내에 해체(스테이지 3)를 종료시킬 방침으로 이 계획은 2002년에 개시하여 2026년까지 9기의 폐지 조치를 완료시킬 예정이다. 이 때문에 2003년에 개설된 극저준위폐기물의 처분장을 확보하였다. 현재의 우선 과제는 약 17,000톤의 흑연(graphite) 폐기물의 처분 시설



독일 그라이프스발트 원전 안에 봉인해 저장하고 있는 원전 설비·부품들. 독일의 폐지 조치의 기본 전략은 즉시 해체 철거를 원칙으로 하여 사이트의 그린필드(Green field)화, 해체 폐기물의 리사이클, 방사성폐기물의 심지(深地) 처분 등이다.

사이트를 선정 중에 있으며 2019년까지 개설한다는 것이다.

3. 독일

독일에서는 동경전력 후쿠시마 제1발전소의 사고를 계기로 8기의 원자로를 폐쇄함으로써 운전 중인 원전은 9기이다. 그 결과 폐쇄된 원자로는 BWR형 9기, PWR형 7기, 구 소련형 PWR형(VVER) 6를 포함하여 합계 27기이다.

폐지 조치의 기본 전략은 즉시 해체 철거를 원칙으로 하여 사이트의 그린필드(Green field)화, 해체 폐기물의 리사이클, 방사성폐기물의 심지(深地) 처분 등이다.

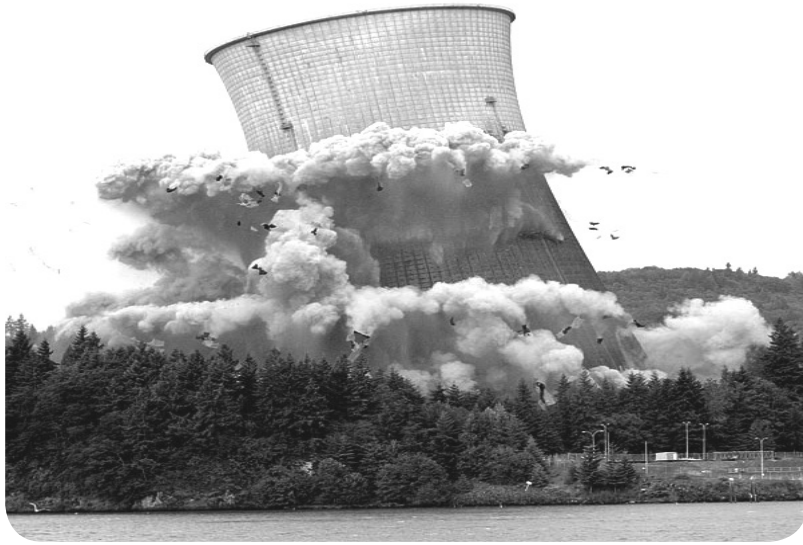
개발 연구용인 Niederaichbach(KKN)는 폐지 기술 개발용으로 이용되며(1995년), 또 GroBwelzheim(HDR)은 1998년에 해체 철거를 종료하였다. 또 Gundremmingen KRB-A로(BWR, 25만kWe)는 2003년에 건물을 남기고 해체를 완료하였다. 이러한 경험을 활용하여 많은 폐지

조치가 실행되고 있다.

안전성에 문제가 있다고 하여 1990년에 모두 정지된 구 소련형 경수로인 Greifswald 발전소의 Noord 1-5호기(VVER형)는 해체 중이며, 상당한 부분의 사이트 해방을 실현하였다. Wurgassen(BWR) 및 MZFR로의 폐지 조치도 종료 단계에 있다. 2002년에 탈원자력 정책이 수립되어 1기당 평균 35년 운전 후에 정지할 것을 전력회사와 정부가 합의하고 있다. 이 정책 변경 후 2003년 11월에 Stade(PWR:67만kWe), 2005년 5월에 Obrigheim(PWR:34만kWe)도 폐쇄되어 현재 해체 철거 중이다.

4. 미국

미국은 104기의 원전이 가동되고 있으며 평균 가동률 90%로 전력 공급의 약 20%를 담당하며 운전되고 있다. 지금까지 29기(시험, 개발을 위한 발전로 포함)가 폐쇄되



미국 오리건주 레이니어에 있는 원자력발전소의 대형 냉각탑 폭파 해체. 미국은 지금까지 29기(시험, 개발을 위한 발전로 포함)가 폐쇄되었다. 1990년대에 폐쇄한 9기의 폐쇄 조치를 보면 6기는 즉시 해체, 3기는 안전 저장이었다.

었다. 1990년대에 폐쇄한 9기의 폐쇄 조치를 보면 6기는 즉시 해체, 3기는 안전 저장이었다. 즉시 해체를 선택한 5기에 대해서는 이미 해체 철거를 완료했으며 사이트 해방이 실현되었다. 그 후 안전 저장을 선택한 2기도 10년 후에 해체에 들어간다. 또한 1999년 이후 전력 부족, 운전 인가 연장 20년을 인정받게 되어 폐쇄한 원자로는 없는 것이 현재의 상황이다.

폐지 조치는 즉시 해체(DECON), 안전 저장(SAFSTOR) 및 차폐 격리, 사이트 내 처분(ENTOMB) 방식에 따라 선택이 가능하다. 이 정의는 아래와 같다.

① DECON : 원자로의 운전 정지 후 즉시 해체에 의해 완전 해방한다.

② SAFSTOR : 원자로 정지 후 시설을 안전한 상태로 관리하여 방사능의 감쇠를 기다린 후, 해체 철거 또는 작업 후 완전 해방한다.

③ ENTOMB : 차폐 격리 기간 내에 제한 없이 방사능 수준으로까지 감쇠될 전망이 없는 것은 사전에 철거하여

잔류 방사능 오염물을 차폐 격리 사이트 내에서 처분하여, 사이트 해방 기준에 충족할 때까지 관리한다. 또는 방사성 기구나 시설을 콘크리트 구조물 등에 의해 봉쇄하여 방사능이 감쇄될 때까지 관리한다.

어떠한 방식을 채택하더라도 원자로의 운전 정지 후 60년 이내에 시설을 사용할 수 있을 때까지 잔류 방사능을 감소시켜 시설(또는 사용후 부지)을 완전 해방할 것을 의무화하고 있다. ENTOMB는 60년 이내에 완결이 달성되지 못하는 현실에서는 인정받지 못하고 있다.

NRC의 지침에 의하면 발전로의 폐지 조치 활동을 3단계로 나누고 있다.

제1단계는 '초기 활동'이며 주요한 해체 철거 작업이 시작될 때까지의 기간이다. 원자로 정지 2년 이내에 폐지조치 활동계획보고서(PSDAR)를 NRC에 제출하도록 의무화되어 있다.

제2단계는 '주요한 폐지 조치 활동'이며 주요한 해체 철거 작업 및 안전 저장 또는 양방의 조합 활동 기간이다.

제3단계는 '인가 종료 활동'이며 인가 종료 예정 기일의 2년 전에 인가종료계획서(LTP)의 제출이 의무화되어 있다. 최후의 사이트 해방은 LTP에 따라 최종 조사를 해서 그 결과를 NRC에 제출하고 NRC의 확인에 의해 인가종료가 되며 폐지 조치가 종료된다.

5. 영국

영국은 다음 사항을 고려하여 폐지 조치를 실시한다.

- ① 공중, 작업자, 환경의 안전을 보증한다.
- ② 환경 및 발전소에 대한 영향을 최소화 한다.
- ③ 사용후 부지를 적절한 다른 용도로 개방하거나, 또는 동 사이트에 신규 원자력발전소의 건설을 계획한다.
- ④ 위의 목적에 모순되지 않는 범위에서 폐지조치에 관한 비용을 최소화 한다.

영국핵연료공사는(BNFL)에서는 원자로의 운전 정지 후 즉시 해체철거 하는 것은 경제적으로 상책이 아니라고 하여 다음 3단계에 의한 폐지 조치를 기본 전략으로 하고 있다.

- 제1단계 : 연료의 철거 기간을 포함하여 5년간에 밀폐 관리 상태로 한다.
- 제2단계 : 생체 차폐체의 외부에 있는 시설을 5년~20년간에 해체하고, 그 후 원자로 본체를 약 65년~80년간 차폐 격리하여 감시를 계속한다.

- 제3단계 : 원자로 본체를 해체 철거, 방사능의 제거와 사용후 부지의 청소를 10년간 시행하여 용도별로 사용할 수 있도록 한다.

원자로 시설의 해체는 100년을 초월할지도 모를 장기적인 과제이므로 장기적으로 책임 있는 조직 대응이 필요하다 하에 영국 정부는 2005년 4월 1일에 원자력 페로청(NDA : Nuclear Decommissioning Authority)을 에너지법안(2004년 7월) 아래에 발족시켰다. NDA는 주로 BNFL 및 영국원자력공사(UKAEA) 원자력시설에 대한 부채(負債)에 대해 종합적으로 책임을 지고 규제 조정을 포함하여 안전한 제염, 채무 보증 및 효율적 원가 관리를 추진하는 조직이며, 정부의 부처로부터 독립된 공적 기관으로 정착되어 있다.

UKAEA는 개발 단계의 발전용 원자로의 폐지 조치를 앞당기는 방향으로 검토하고 있다. NDA 설립 준비를 위한 무역, 산업성(DTI) 보고서에 의하면, 폐지 조치 공사 기간을 35년간 단축 및 해체 경험의 축적에 의해 총액 63억 파운드에서 48억 파운드의 원가 삭감을 할 수 있다고 평가하고 있다.

개량가스로(AGR형)인 Windscale의 실증로 WAGR는 2011년 여름까지 폐지조치를 완료하였다. 또 Dounreay에 있는 고속로 DFR (FBR형) 및 PFR (FBR형)은 2024년을 목표로 해체 철거 중이다. 🌐

〈참고 문헌〉

- (1) 科学技術庁(監)・デコミッションング協会(作):原子力施設の廃止措置
- (2) 総合エネルギー調査会原子力部会:原子力部会原子炉廃止措置対策小委員会報告書,(1997년 1월)
- (3) 宮坂靖彦:英国の放射性廃棄物管理政策の動向と低・中レベル廃棄物処分の概況、デコミッションング技法,第28号、10-22 (2003년 10월)
- (4) 日本原子力学会(編):日本原子力学会誌,46 (12), 827 (2004년)
- (5) R. G.-1,184, Decommissioning of Nuclear Power Reactors, U.S. NRC(July 2000)
- (6) Status of the Decommissioning Program, 2010 Annual Report: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1026/ML102630341.pdf>