



지속 가능한 발전을 위한 원자력발전소 해체와 부지 복원

김 경 덕

한수원(주) 원자력환경기술원 처리연구그룹장



서론

10년 전만 하더라도 세계적으로도 연구용 원자로나 소형 상업용 원

자로 외에는 대용량 원자력발전소 해체 경험이 없었고 운영 종료한 원전은 밀폐 관리(안전 저장)하였다가 자연 해체하는 방식이 주류를 이루고 있었으나 최근 운영 종료 후 즉시 해체하는 사례가 세계적으로 증가하고 있어 그 현황을 파악할 필요가 있다.

가까운 나라 일본은 다른 분야와 마찬가지로, 활발하게 국외 해체 동향 및 기술을 파악하고 있고 보통 원자력발전소 수명 종료 10년 전부터 해체 관련 준비를 하고 있다.

지속 가능한 발전이라는 개념은 1980년대 후반에 경제 성장과 생태

계 보전간의 조화 필요성에 부응하기 위해 떠오르게 되었다.

세계 환경·개발위원회의 Brundtland(부른트란트)¹⁾ 보고서는 지속 가능한 발전을 “후세대가 필요로 하는 것을 손상시키지 않고 우리 세대의 필요로 하는 것을 충족시키는 발전”으로 정의하고 있다.

원자력 발전이 우리나라 경제 발전을 위해 불가피하고 삶의 질 개선에 필요하므로 적어도 당분간 편리한 전기를 이용하기 위해 원자력 발전이 불가피할 전망이고, 이에 따른 원자력 발전소 해체와 부지의 복원도 필요할 것이므로 해체시 주민과

1) 지속 가능한 발전(Sustainable Development)이라는 개념은 1987년 UN에 의해 구성된 세계환경·개발위원회의 보고서에 처음 등장. 이 위원회는 1983년 노르웨이 정부가 지구적 차원에서 빈곤과 개발, 그리고 환경 문제를 종합적으로 검토하고 평가하기 위해 UN에 제안하여 설치되었음. 이 위원회의 위원장이 현재 WHO 사무총장이며, 노르웨이 수상을 역임했고, 당시 노르웨이 야당 당수였던 부른트란트(Gro Harlem Brundtland) 여사였음. 3년간의 연구 성과를 보고서 형식으로 제출한 보고서인 「우리 공동의 미래(Our Common Future)」에서 '지속 가능한 발전'이라는 용어를 비로소 사용하였음. 이 보고서에서 주목해야 할 부분은 바로 지구촌 차원의 균형 있는 발전과 정의로운 발전을 지속 가능 발전과 연계시켰다는 점임.

환경에 미치는 영향을 최소화해야 하는 것도 당연하다.

이러한 필요성에 적극 부응하기 위한 해체 및 부지 복원시 고려해야 할 사항을 도출하고 미리 준비하는 것이 필요하므로 한국수력원자력(주)에서도 페로시 주민의 건강과 환경 보호를 위해 고려해야 할 요소들을 도출하고 이에 대한 준비 사항을 체계적으로 마련할 계획이며 이에 대한 계획을 수립(변경)중에 있다.

지속 가능한 발전을 위해 세계적인 해체 및 부지 복원 현황과 고려해야 할 요소와 요소별 보완점 등을 살펴보려고 한다.

세계 원전 해체 현황

우선 세계적으로 운영을 마치고 해체중이거나 해체를 기다리고 있는 원자력 시설 수를 살펴보면 상업용 원전이 90여개이고, 연구용 원자로는 250여기에 달하며, 광산이 100여개이고, 핵주기 시설이 50여개에 달하고 있다(Uranium Information Center Ltd.).

원자력 발전소가 일반 발전소의 해체와 다른 점은 방사성 폐기물이 발생한다는 점인데, 방사능 재고량이라고 하는 방사성 물질 발생량은 중성자에 의해 방사화되는 양과 표면 오염 재고량의 합으로 표현된다.

원자력 발전소에서는 방사화 재

고량이 총방사능 재고량의 99% 정도를 차지하므로 오염되는 양은 쉽게 생각하면 발전량에 대체적으로 비례한다고 볼 수 있다.

따라서 여기서는 방사성 물질이 다량으로 발생하는 상업용 원자료를 중심으로 해체 현황을 살펴보기로 한다.

우선 해체 방식을 살펴보면, 아래 3개 방식으로 구분할 수 있다. 국가 별로 조금씩 다른 용어를 사용하고 있으나 2가지 방식으로 보면 즉시 해체 및 자연 해체로 나눌 수 있고, 3방식으로 나누면, ① 즉시 해체 후 부지를 재활용 ② 해체시까지 안전 저장 ③ 해체나 제염시까지 차폐하여 격리하는 방식으로 구분할 수 있다.

최근 세계적으로는 상업용 원자로의 해체가 본격화되고 있다.

미국은 밀폐 관리라고 하는 해체시까지 안전 저장하는 방식을 주로 사용하여 왔으나, 1990년대에는 즉시 해체하는 원전이 주류를 이루어 총13호기가 즉시 해체중이거나 해체 완료 후 녹지 상태로 부지를 복원하였으며, 2000년대에는 전력 부족으로 계속 운전이 인정되고 원전의 가동률이 향상되어 폐로하는 원전이 없다.

프랑스, 영국에서는 압력 용기를 장기간 안전 저장하고 주변 기기는 해체 철거하고 있으며, 독일에서는 즉시 해체가 주류를 이루고 있다.

가까운 일본에서도 Tokai 원전을 즉시 해체중에 있다.

안전 저장 방식을 택하고 있는 원자력 발전소는 20년 내지 80년 후 부지를 재활용하기 때문에 해체 후 부지 복원까지 일련의 정보를 얻기 어렵다.

즉 부지 복원에 대해서는 아직 큰 관심이 없는 경우가 대부분이며 활용 계획도 불명확한 경우가 많다.

따라서 즉시 해체 원자력 발전소를 주대상으로 해체 및 부지 복원 사례에 대해 살펴보기로 한다.

전 세계적으로 해체를 완료하고 부지를 녹지 상태로 복원한 상업 원자력 발전소 사례는 아직 미국의 Shippingport 2(1989), Pathfinder(1991), Shoreham(1995), Fort St. Vrain(1997)과 독일의 Niederaichbach(1995)에 불과하나, 현재 다수의 원자력 발전소가 녹지 상태까지 부지 복원을 거의 완료했기 때문에 2005년도에는 다수의 해체를 완료한 원전이 증가할 전망이다.

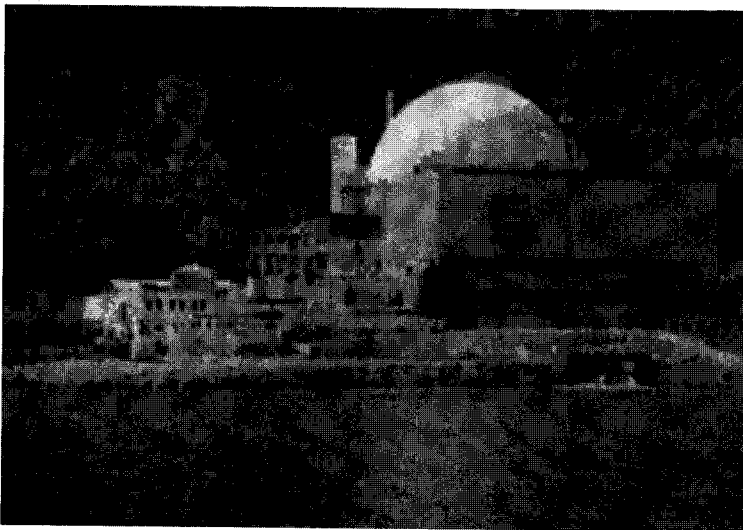
즉시 해체를 위주로 각국별 해체 현황을 살펴보면 다음과 같다.

1. 미국

미국은 즉시 해체, 안전 저장, 차폐 격리 중 어떤 방안이든 선택할 수 있으나 운영 정지 후 60년 이내에 해체 부지를 아무런 구속없이 개방하여야 한다.



〈그림 1〉 철거 후의 shippingport 부지 모습



〈그림 2〉 해체 전 Yankee Rowe 원자력 발전소

2004년 12월 31일 현재 미국에서 운영을 종료한 상용 원자로는 23기이며, 차폐 격리 방식은 거의 없고 대형 해체 폐기물의 처분을 특

징으로 들 수 있다. 현재 해체를 실시하거나 실시중인 원자력 발전소의 현황은 다음과 같다.

가. Elk River 원자력 발전소,
(BWR, 2.3만 kWe)

1964년부터 1968년까지 운영되었고 3년간의 밀폐 관리 후 해체는 1971년부터 시작되어 1974년에 원자로 시설 전부를 해체하고, 철거 부지는 흙으로 덮어 원래 상태로 복원하였으며, 터빈은 화력 발전 시설로 전용하였다. 발전로로는 세계 최초의 해체 사업이었다.

나. Pathfinder 원자력 발전소
(BWR, 6.3만 kWe)

1966년부터 1967년까지 단기간만 운영되어 방사능 준위가 낮았으며, 원자로 용기는 일괄 철거 방식으로 해체하였다. 원자로를 해체한 후 화력 발전소로 개조되었다.

다. Shippingport 원자력 발전소
(PWR, 10만 → 5.2만 kWe)

1957년부터 1982년까지 운영되었고 3년간의 밀폐 관리 후 해체는 1985년부터 시작되어 1989년에 종료되었다. 즉시 해체의 대표적인 예이다. 원자로를 Hanford 처분장으로 해상 이송하였다. 오염되지 않은 터빈 건물과 관리 건물을 제외한 원자력 시설은 전부 해체되고 부지는 다른 용도로 사용할 수 있는 상태가 되었다. 원자력 발전소를 해체하고 부지를 복원하는 계기가 되었다 (〈그림 1〉 참조).

라. Fort St. Vrain
(고온가스로, 34.2만 kWe)

1973년부터 1989년까지 운영되

었으며, 해체는 1992년에 시작되어 1996년에 종료되었다. 해체 후 발전 계통을 가스 터빈으로 사용할 수 있는 것에 착안하여 천연 가스 화력 발전소로 전환할 것을 결정하고 즉시 부지를 재이용하였다.

미국원자력규제위원회(NRC)는 소유자(Public Service Co. of Colorado)의 의도대로 부지를 활용할 수 있도록 하였으며, 현재 가스 터빈 발전소로 개조하여 운영중이다.

마. Yankee Rowe 원자력 발전소 (PWR, 18.5만 kWe)

1961년부터 1992년까지 32년간 운영된 발전소이므로 그 해체 경험이 중요하다고 볼 수 있다. 해체는 1993년에 개시되어, 4기의 증기발생기가 철거되고 1996년 11월 원자로 용기의 철거 작업이 종료되어 1997년 4월부터 5월 사이에 반월 처분장에 도착하였는데, 수송 기준을 만족하기 위하여 내부에 차폐재로 약 80톤의 콘크리트를 넣었다.

2005년 부지를 복원 완료할 계획이다. 주민과의 소송 등으로 주민과의 적극적인 대화 필요성을 느끼게 되는 계기가 되었다.

바. Trojan 원자력 발전소

(PWR, 117만 kWe)

1975년부터 17년간 운영 후 1992년 운영을 종료하였다. 1998년부터 본격적인 해체를 시작하여 4기의 증기발생기를 일괄 철거하여 1995년



〈그림 3〉 2005년 6월의 Yankee Rowe 원자력 발전소 부지



〈그림 4〉 2005년 7월 현재 Maine Yankee 원자력 발전소 부지

11월 Hanford 처분장에 보냈는데 수송 기준을 만족하기 위하여 Yankee Rowe와 같이 내부에 차폐재로 콘크리트를 넣었다. 또한 대형의 원자로 압력 용기도 일괄 철거

하여 처분하였다.

부지는 사용후연료 건식 저장 시설 등 일부 시설을 제외하고 국립공원으로 재활용하는 방법이 검토되고 있다. 주민과의 적극적인 대처

를 보인 대표적 사례이다. 2005년 부지의 복원 완료가 예상된다.

사. Haddam Neck 원자력 발전소(PWR, 58.2만 kWe)

Connecticut Yankee라고도 한다. 1968년부터 1996년까지 운영되었다. 해체 전 계통 제염을 통해 방사선량률을 1/10로 저감시켰다. 증기발생기, 가압기 및 원자로 냉각 펌프 등을 철거하여 반월 처분장으로 보냈으며, 부지는 가스 터빈 발전소로 활용할 계획이다.

아. Maine Yankee 원자력 발전소(PWR, 1990만 kWe)

1972년부터 1996년까지 운영되었다. EPRI가 개발한 제염법을 사용하여 제염 후 증기발생기, 가압기 및 원자로 냉각 펌프 등을 철거하여 반월 처분장으로 보냈다. 부지의 복원 후 활용 계획은 명확하지 않으나 <그림 4>와 같이 가스 화력 발전에 전용하는 등에 활용이 가능하도록 복구한 상태이다.

자. Big Rock Point 원자력 발전소(BWR, 6.7만 kWe)

1962년부터 1997년까지 운영되었다. 화학 제염 후 원자로 압력 용기를 제외한 설비 등을 철거하여 반월 처분장으로 보냈다. 단기간에 안전하게 녹지로 복원할 계획을 갖고 있다.

차. San Onofre 원자력 발전소(PWR, 45.6만 kWe)

1967년부터 92년까지 운영되었다. 2013년까지 안전 저장 예정이었으나 방침이 변경되어 해체를 시작했다. 규모의 경제성을 위해 인근 호기가 수명 종료되면 같이 해체할 예정이었으나 즉시 해체를 결정하였다.

미국에는 Dresden Unit 1 처럼 부지내의 다른 원전들의 해체시까지 안전 저장중인 원전들도 있다. 안전 저장 경우는 생략하기로 한다.

2. 독일

독일은 현재 운영을 종료한 원자로 18기에 이르고 있다. VVER 6기는 안전성에 문제가 있다고 해서 모두 1990년에 정지시켰다.

정지한 원자로는 즉시 해체하는 것을 원칙으로 하고 있다. Lingen 등 일부만이 안전 저장중이다. 해체 및 부지 복원 사례는 아래와 같다.

가. KKN(Kernkraftwerk Niederaichbach) 원자력 발전소(HWGCR, 10.6만kWe)

1972년에 초임계에 이르렀지만 2대의 증기발생기에서 누설이 발견됐기 때문에 1974년에 운영을 종료했다.

증기발생기의 수리가 기술적으로 곤란하고 원자로 방식 등의 문제로 인하여 1987년에 해체를 개시하여 1995년 8월에 원자로 및 건물의 해체를 마쳤다. 비방사성 콘크리트의

일부를 주변의 산길의 노반재로서 재이용했다.

독일 등 유럽에서는 이와 같이 폐기물의 재이용을 적극적으로 하려는 것으로 보인다.

원자력법에 의해 1997년 11월에 부지 규제가 해제되었으며, 독일에 서 처음으로 원자로를 해체한 부지가 무제한적으로 경작이 가능한 상태로 녹지화되었다.

나. Gundremmingen A 원자력 발전소(BWR, 25만kWe)

1966년도부터 1977년도까지 운영되었다. 1983년 해체를 시작하였으며, 1993년도부터 원자로 용기, 원자로 구조물 및 생체 차폐체 해체를 개시하여 해체가 종료된 상태이다.

발전소의 내부를 철거하고 건물을 가동중인 BWR의 오염 기계 보수 작업장으로 쓸 예정이다.

다. Greifswald 1 ~ 5 원자력 발전소(VVER, 44만×5 kWe)

1973, 1974, 1977, 1979, 1989년부터 각각 운영되기 시작하여 1990년 모두 안전성 문제로 인하여 정지되었다.

독일 통일 후 연방 정부의 지원으로 해체 작업이 2012년까지 종료 목표로 진행되고 있다.

1~4호기는 운전 중에, 5호기는 출력 운전 직후에, 6~8호기는 건설중이었다. 5호기는 약간만 오염

되어 1~4호기 해체의 실물 모형(mock-up)으로 사용하려 하고 있다. 현재 세계 최대의 해체 현장이다.

경험자의 활용 및 고용 확보를 위해 즉시 해체가 채택됐다. 폐기물 처분 시설의 전망이 밝지 않아 이 부지에 해체와 병행하여 이미 대형 폐기물 중간 저장 시설이 건설되고 해체 폐기물과 사용후연료가 저장되고 있다.

라. Wuergassen 원자력 발전소 (BWR, 67만 kWe)

1995년 8월에 노심 슈라우드 및 그리드 플레이트에 균열이 발견되어 1995년 5월에 해체가 결정되고 화학 제염이 수행됐다. 2009년 완료를 목표로 해체가 진행되고 있다.

마. Karlsruhe 다목적원자로 (PHWR 5.7만 kWe)

칼스루에 연구센터에 있는 다목적원자로는 아르헨티나에 건설된 34만kWe 발전로(Atucha)의 실증로로 1966년부터 1984년까지 19년간 운전됐다.

1차 계통을 제염하여 제염 계수 15를 얻었고 배관의 해체 작업의 피폭 절감 효과를 보았다. 1999년 11월부터 노내 구조물, 2000년 9월부터 원자로 압력 용기의 해체를 시작 후 건물 제염 및 해체를 하고 2005년까지 부지를 녹지화할 계획이다.

바. Stade 원자력 발전소 (PWR, 67.2만 kWe)

2002년 녹색당과 사민당 연합정권에서 탈원전 정책을 추진하여 전력 회사와 정부의 합의로 1903년 운영 종료하였다. 즉시 해체를 결정하고 해체 계획을 진행하고 있다.

3. 영국

운영을 종료한 원자력 발전소는 GCR 14기, AGR 1기, 고속중식로 2기 및 중수감속형 수냉각로 1기이다.

영국은 노내 구조물과 원자로 압력 용기를 안전 저장 구조물 안에 100~135년 저장한다는 것이 영국의 전력 회사의 방침이나 폐로 비용 총당금의 부족도 한 가지 원인이라고 알려져 있다.

노심부의 해체에 원격 장치를 이용하지 않아도 용이하게 해체할 수 있을 때까지 안전 저장(35년간)하여 그 후 해체한다는 전략을 취하고 있다.

마그녹스형 가스로의 소유자인 영국핵연료공사(BNFL)는 이 방식이 선량이 감소할 때까지 안전하게 저장하기 때문에 해체 부지 이용 등의 제약이 없고 현지 주민이 납득하면 해체나 수송에 따른 피폭 가능성이 적기 때문에 가장 안전하고 저비용의 방식으로 생각하고 있다.

BNFL은 폐로에 적극적이며, 이의 예로서 미국 Big Rock Point

원자력 발전소 해체 사업 수주에 성공하였다.

Windscale 원자력 발전소를 제외하는 다른 발전소는 안전 저장 방식에 의한 해체를 준비중이다.

장기간의 안전 저장을 위해 원자로 건물은 원자로 정지 약35년 후에 내구성이 있는 S/S 또는 아연강철로 재구축한다. 이 폐로 방식은 원자로 정지 약 135년 후에 해체하고 부지는 완전하게 개방된다.

가. Windscale 원자력 발전소 (AGR, 3.6만kWe)

셰라필드의 Windscale 원자력 연구소에 건설되어 1962년부터 1981년까지 운영되었다. 운영 종료 후는 장래의 상업용 원자력 발전소의 해체 기술 및 경험 취득을 목적으로 해체가 진행되었다.

해체는 1983년부터 시작되었으며, 4개의 증기발생기는 내부를 제염하고 방사능 준위를 저감시킨 후 드립 방사성 폐기물 처분장으로 수송되었다.

원자로 내부구조물을 해체하는 주요 작업은 1998년 시작되어 빠르게 진행되었다. 예정 공기보다 빠르게 진행되고 있으며, 2005년 해체 완료가 예상되고 있다.

나. Berkeley 1, 2원자력 발전소 (16.7만 × 2kWe, GCR)

영국의 최초의 상업용 원자력 발전소로 1962년에 운영을 개시하여 1989년에 정지됐다.

8기의 증기발생기는 분리하여 ^{60}Co 이 감쇠되고 고철로 방출할 수 있을 때까지 지상에 수평 상태로 보관되고 있다.

증기발생기는 주위의 보온재를 박리하고 접속 배관을 절단하여 개구부를 용접하였다. 금속이 부식되어 내부 오염이 외부로 누출될 수는 없다고 평가하고 있다.

증기발생기 1기는 무제한 방출준위까지 제염하는 시험에 이용하였으며, 원자로 압력 용기는 밀폐하였다. 터빈 건물 등의 주변부는 이미 해체하였다.

부지 내에 폐기물 중 저장 시설과 폐기물 처리 설비를 추가 설치하고 있다.

다. Trawsfynydd 원자력 발전소 (23.5만kWe×2)

국립공원 내에 설치되어 있기 때문에 발전소가 경관에 미치는 영향을 줄이려고 원자로 건물의 높이를 약 50%(20m) 낮게 하여 안전 저장하는 계획이 진행되고 있다. 원자로 건물 내에 있는 증기발생기의 상부는 해체할 예정이다.

라. Hunterston A1,2 원자력 발전소(16.9만 kWe×2)

안전 저장을 준비중이다.

5. 일본

일본은 상업용 원자로 해체의 기본 방침은 원자로 운영 종료 후 가능한 한 빠른 시기에 해체하고 해체

후 부지는 원자력 발전소 부지로 계속해서 유효하게 이용하는 것을 원칙으로 하고 있다.

한편 상업용 원자력 발전소 이외의 원자력 시설의 해체는 개별적으로 해체한 후의 대지 또는 잔존 시설의 이용 계획 및 방사성 폐기물의 처리 처분 등을 종합적으로 판단해서 실시하고 있다.

***Tokai 원자력 발전소 (GCR 16.6만 kWe)**

동해 발전소는 일본 최초의 상업용 원자력 발전소이다. 1965년부터 1998년까지 운영되었다. 2001년 12월 폐로에 착수하였다. 합리적인 해체나 폐기물 처리 처분을 실현하고 경수로 폐로에 도움이 되도록 시도하고 있다.

직영화 범위의 확대 및 폐기물 재활용을 추진하고 비용 절감에 노력함과 동시에 장래의 폐로의 사업화를 위한 기술을 축적할 계획이다.

6. 프랑스

운영 종료한 원자력 발전소는 가스로 8기, 경수로 1기, 중수로 1기 및 고속 증식로 1기로 합계 11기이다.

프랑스의 폐로 방식은 1차 계통 등을 해체하고 방사능이 높은 노심 부만을 차폐 격리하여 이 상태에서 약 40~50 년간 방사능을 감쇠시키고 최종적으로 전부를 해체하는 것이다. 즉 장기 차폐 격리 방식을

기본 전략으로 하고 있다.

이 전략은 2001년 프랑스전력공사(EDF) 소유의 제일 세대 원자로를 지금보다 빨리 해체를 완료시키도록 변경되었다.

프랑스는 원자력이 주요 전력원이지만 부지 문제는 중요하지 않다. 발전소의 면적이 넓기 때문에 부지 내의 운전 호기는 50년간의 안전 저장 후 원자로를 해체하고 신규 원전을 교대로 건설하는 시나리오가 있다.

가. Monts d'Arree 원자력 발전소(HWGCR, 7.5만 kWe)

EDF 최초의 발전로로 중수 감속 탄산가스 냉각로이다. 1967년부터 1998년까지 운전되고 1997년부터 폐로중이다.

현재 부속 시설 해체중이고 2007년부터 원자로 본체 해체가 시작되고 부지 정화 및 복구를 2018년까지 완료할 예정이다.

나. Chinon A1,2,3 원자력 발전소(GCR, 8.4, 21, 37.5만 kWe)

Chinon A1은 프랑스 최초의 마그네틱스형 가스로 상업용 원자력 발전소이기 때문에 밀폐 관리하고 기념물로 남아 있다. Chinon A2는 차폐 격리 중이다. Chinon A3는 차폐 격리 작업중이다.

이 원자로들은 순차적으로 2012년부터 본격 해체를 진행하여 부지 정화 및 복구를 2023년까지 완료

할 예정이다.

다. Saint-Laurent A1, 2 원자력 발전소(GCR, 40.5, 46.5만 kWe)

Saint-Laurent A1 및 A2는 현재 차폐 격리 작업 중이다. 부속 시설의 해체를 추진하고 순차적으로 2011년부터 본격 해체를 진행하여 부지 정화 및 복구를 2026년까지 완료할 예정이다.

라. Bugey 원자력 발전소 (GCR 55.5 만 kWe)

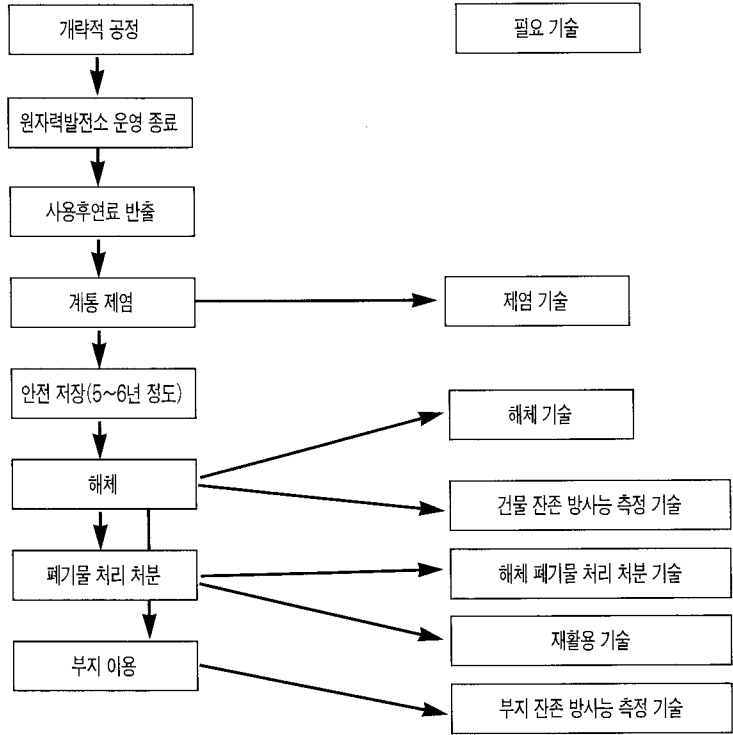
EDF가 마지막으로 건설한 GCR으로 1994년까지 운전됐다. 현재 차폐 격리 작업 중이다. 2009년부터 본격 해체를 시작하여 부지 정화 및 복구를 2024년까지 완료할 예정이다.

마. Chooz A 원자력 발전소 (PWR, 32만 kWe)

소형로이므로 경제성 문제로 1991년에 정지되고 현재 차폐 격리 작업 중이다. 원자료와 보조 건물 두 개의 바위동굴에 위치해 있다. 2008년부터 본격 해체가 시작되어 부지 정화 및 복구를 2024년까지 완료시킬 예정이다.

바. 고속 증식로 슈퍼피닉스 원자력 발전소(FBR 124만 kWe)

1997년 경제성 등의 이유로 폐로가 결정되고 1998년 12월 폐로가 허가됐다. 1999년부터 2001년에 연료가 노심으로부터 인출됐다. 2006년부터 본격 해체를 시작하여



(그림 5) 해체 공정별 필요 기술

2026년까지 폐로를 완료할 예정이다.

7. 캐나다

국토가 넓기 때문에 원자력 발전소 해체 후 그 철거 부지의 재이용을 고려한 필요가 별로 없어 밀폐 관리 방식을 취하고 있다 (Douglas Point, NPD).

또한 온타리오하이드로사는 원자로 운영 정지 후 사용후연료를 인출하고 30년간 밀폐 관리한 후, 약 10년 동안 시설을 해체하는 방법을 검토하고 있다

가. Gentilly-1 (중수로, 25만 kWe)

중수로 원형로로 1971년에 운영이 개시됐지만 시설 관리비의 절감과 발전소의 일부를 다른 목적에 사용하려는 등의 이유로 1979년에 운영이 정지됐다.

1984년부터 1986년에 걸쳐 해체되고 원자로 건물은 원자로 압력 용기, 재순환 펌프 등 주요 기기를 남겨 두고 밀폐 관리하고 있다.

한편 제어실, 사용후연료 저장조, 기계실 등을 포함한 보조 건물은 건물 내의 모든 기기를 철거하였



〈표〉 해체 방법별 장단점 비교

구 분	안전 저장 후 지연 해체		즉시 해체
	안전 저장	차폐 격리	
전체 소요 비용	비슷함		비슷함
인건비	점점 증가		중
방사선 피폭량	소		대
폐기물 발생량	소		대
부지 재활용	불가		즉시 재활용
기타 장점	미래에 개발될 기술 사용		안전 이력 파악 및 해체 인력 확보 용이 후세에 부담을 주지 않음
기타 단점	처분비 증가 경향 향후 조치에 대한 불확실성		

고, 건물은 제염 후 시뮬레이션 훈련 설비 등을 갖춘 원자로 운영 센터로 이용되고 있다.

나. Douglas Point

(중수로, 21.8만kW)

터빈 건물은 자재 창고나 사무실로, 신연료 저장고는 식당으로 이용하고 있다. 원자로 건물만을 밀봉 보관하고 있기 때문에 소장 이외에 전임 근무자는 없다. 최근 인접한 Blues 1, 2호기도 운영 종료됐다.

해체 요소별 추진 방향

원자력 발전소 해체 및 부지 복원 시에도 원자력 건설보다 규모는 작지만 여러 가지 요소들이 결부되어 있다. 따라서 정책적·기술적 및 사회적 요소별로 고려되어야 할 사항이 매우 다양하다.

해체의 개략적인 순서를 살펴보면, 원자로가 운영 종료하면 우선 사용후연료를 반출하고 해체 전에

피폭을 줄이기 위해 계통 제염을 하고, 즉시 해체하거나 안전 저장 기간을 해체를 거쳐 부지를 재이용하는데, 대략적인 순서와 단계별 필요한 기술 요소를 〈그림 5〉에 표시하였다. 단계별로 해체 기술, 제염 기술, 계측 기술, 처분 기술 등이 관련되어 있다.

한국수력원자력에서도 이러한 다양한 해체에 필요한 기술 장기 확보 대책을 수립하고 계속 운전과 1996년 해체 정책 수립시의 상황 변화를 감안하고 그 당시 없었던 대용량 원전의 해체 및 부지 복구 사례를 감안하여 해체 정책을 재수립중에 있다.

우선 경제적인 면으로는 적절한 폐로 비용이 현세대에서 충분히 확보돼야 하는데, 현재 전기사업법(2005. 5. 20)에 의거, 2003년 말 기준으로 호기 당 3,251억원이 충당되고 있으며, 이 비용은 예전의 1,619억원에 비해 증가하였을 뿐만

아니라 5년마다 검토를 거쳐 필요에 따라 조정할 수 있어 현재계의 큰 문제점은 없다고 볼 수 있다.

또한 폐로 비용은 원전 가동 기간에 충당되므로 후세에 부담을 주지 않고 있다.

부지 재활용에 관해서는 외국의 예를 보면 즉시 해체 후 부지 재활용하는 나라는 미국·독일·일본이며, 지연 해체 후 부지를 재활용하는 나라는 영국·프랑스 등이다.

부지 재활용은 각국의 부지 사정, 정책, 주민 의사, 경제성 등을 고려하여 결정하는데, 우리나라의 현재 어려운 원자력 발전소 건설 부지 확보 상황을 고려하면 운영중인 원전의 인력을 활용하여 해체를 진행할 수 있도록 5~6년 안전 저장 후 즉시 해체하고 부지를 즉시 재활용하는 방안이 바람직할 것으로 예상된다.

이 방식은 해체에 현종사자를 이용할 수 있기 때문에 관련 분야 경험이 있는 전문가를 확보하기 쉽고, 운전원의 경험 및 지식을 활용할 수 있는 장점이 있다.

또한 비교적 설비가 양호한 상태에서 해체하는 이점이 있는 반면, 해체시 방사선 준위가 비교적 높은 단점도 있다.

그러나 최근 원격 해체 기술이 발전되고 인공 방사능의 대부분인 단반감기 핵종은 단시간에 붕괴되는 특징이 있기 때문에 후세에 불필요

한 부담을 주지 않는 본 방식을 미국·일본 및 독일 등이 현재 주로 사용하고 있다. <표>는 즉시 해체와 지연 해체의 방법 비교표이다.

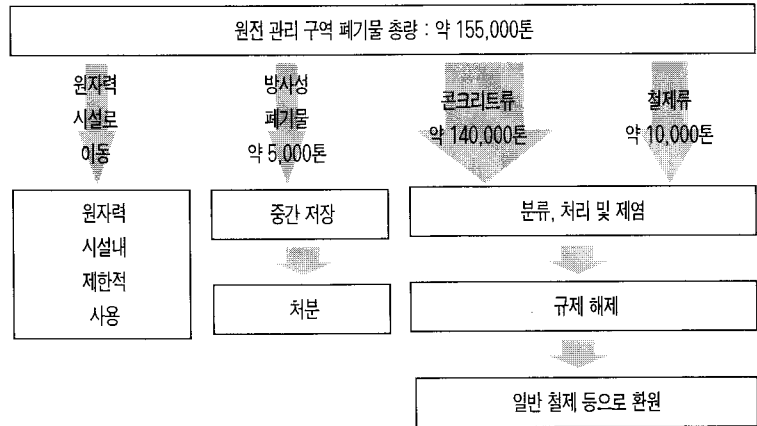
페로시에도 방사성 폐기물 문제는 지속 가능한 원자력 발전을 위해 고려돼야 될 주요 사항이다.

해체 방사성 폐기물은 가동중 원전에 비해 발생량이 매우 많으며, 운영중 발생 폐기물에 비해 다소 높은 방사성 폐기물도 발생하며 대형 폐기물을 절단하지 않고 처분장으로 이송할 겨우도 있으므로 이에 대한 법적 고려가 필요할 것으로 본다.

따라서 법적 방사성 폐기물 구분보다 더 세세하게 방사성 폐기물을 구분하여 준위별로 제염, 자체 처분, 재활용 등 적절한 방안을 계획하고 추진하는 것이 필요하다.

방사성 폐기물 처분을 위해 처리 시에는 인수 기준에 맞지 않아 다시 처리함으로써 처리비가 이중으로 들지 않도록 해야 하며 지속 가능한 발전을 위해서 인수 기준은 규제자나 인수자가 인수 가능해야 할 뿐 아니라 일반인이 납득 가능할 수준이어야 한다.

해체 방사성 폐기물 처분을 위해 고려해야 할 사항으로는 저준위 방사성 폐기물 처분장이 있어야 하는 것은 물론, 저준위 방사성 폐기물 처분장 인수 기준을 초과하는 방사성 폐기물을 장기 보관하기 위한 보



(그림 6) 독일의 해체시의 재활용 체계

관 장소도 별도로 필요하다.

해체 제염 기술의 특징은 원자력 발전소 계통 제염 기술과 달리 모재의 손상이 허용된다는 점이며, 재활용 확대와 피폭량 저감을 위해 필요한 기술이다.

또한 환경 부담을 줄이기 위해 모든 시설을 해체하기보다는 재사용을 확대할 필요가 있다.

해체시에는 관리 구역 내에서 많은 양의 콘크리트와 금속 폐기물이 발생하는데, 이 중 3.5% ~ 5%만이 방사성 폐기물이 발생하므로 규제 해체 이하인 폐기물의 재활용을 확대해야 한다.

해체시에는 석면 및 PCB 등 방사성 물질 외의 유해 물질까지 고려하여야 한다.

<그림 6>은 독일의 해체 경험을 바탕으로 한 재활용을 묘사하고 있다.

기술적인 면을 살펴보면 바람직한 해체 공정의 개발을 위해 해체 계획에 엔지니어링 개념이 추가로 고려되어야 한다.

또한 해체에 필요한 기술은 이미 미국의 경우 Shippingport 원전의 해체시 현재의 기술로 충분히 해체 가능하다고 입증되었지만 필요한 해체 관련 기술을 도출하여 개발해 나가야 하며, 이 부분에는 해체 전이라도 원전 해체 총당금을 사용할 수 있을 것이다.

또한 관련 기술 개발시에는 해체 관련 조직에 관련 기술이 확보되도록 하여 실질적으로 해체시에 활용되도록 하여야 한다.

이러한 보장을 전제로 산·학·연 협력이 필요할 것으로 본다.

세계적으로 몇 년 전까지 연구로 급에 국한되었었지만 현재는 사례가 증가하고 있는 녹지 상태로의 상용 원전 부지 복원 사례를 참조하여 기술 전수 및 협력을 통해 원전 해체 및 부지 복원 관련 기술이 확보되어야 한다. '원자력 발전소에 관해 필요한 안전 규제가 모두 불필요한 상황으로의 전환'을 의미하는 지속 가능한 원전 해체 및 부지 복원 실



현을 위해서도 지난 5년간 연구가 수행되었지만 해체 안전성 확보와 관련하여 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

해체 및 부지 복원시에도 운영중인 원전과 같이 주민 및 작업자에 대한 신규 ICRP 권고가 고려되어야 한다.

최종적으로는 부지가 복원되어 재사용 가능한 상태로 되었음을 확인하는 기준 및 기술에 관해서는 이론적인 보완과 함께 의논되고 있는 0.15 mSv/년이나 0.25 mSv/년뿐만 아니라 법상 주민에게 허용되는 1mSv를 기준으로 제한적인 부지 재활용까지 고려하는 발생 가능한 다양한 부지 조건을 포함하는 개념을 준비하는 것이 좋을 것이다.

사회적으로는 증가되고 있는 주민 참여 요구를 감안해서 해체 계획 수립시부터 주민 설명회 혹은 공청회 등의 개최가 필요하다.

국의 협력을 통해 얻어진 외국 폐로 경험과 자체 기술 개발로 기술적 안전성·신뢰성 확보에 노력하는 동시에 투명한 정보 공개와 대화를 통해 이해와 신뢰를 구축함으로써 지속 가능한 발전을 위한 원자력 발전소의 해체 및 부지 복원을 추진해야 한다.

또한 외국 대용량 원자력 발전소의 해체 경험을 활용하는 것이 시행착오를 줄이고 해체 사업비를 최적화하는 계기가 될 것이므로 다각적

교류 방안을 모색하여야 한다고 생각한다.

결론

세계적으로 원자력 발전소 해체 및 부지 복원 사례를 살펴보았으며, 즉시 해체가 증가 경향인 것을 확인하였다.

우리나라에 맞는 해체 방식을 고려하였는데, 우리나라의 원자력 발전소 부지 확보 상황을 고려하고 지속 가능한 발전을 위해 필요한 해체 방식에 대해 살펴보았으며, 수년간의 안전 저장 후 즉시 해체가 필요할 것으로 예상하였다. 우리나라 실정에 맞는 방식을 찾는 노력이 필요하다.

우리나라에서는 계속 운전을 추진하고 있지만 향후 지속 가능한 발전을 위해 원자력 발전소를 해체하고 부지를 녹지화하려면 다양한 요소들이 고려되어야 한다.

지속 가능한 발전(發展)을 위한 원자력 발전(發電)을 위해서 현세대에 해체 및 부지 복원이 바람직하며, 이를 위해서는 부지 해체 및 복원시점, 부지 재활용 기준, 해체 비용 같은 정책적인 면과 방사성 폐기물 처분, 재활용, 안전 규제 체계, 해체에 필요한 제염 기술, 엔지니어링 기술, 원격 해체 기술 등 기술적인 면이 잘 준비되어야 한다.

또한 사회적으로는 지속 가능한

발전을 위해 주민의 참여가 필요하며 국외 협력을 통해 얻어질 외국 폐로 경험과 자체 기술 개발로 기술적 안전성·신뢰성 확보에 노력하는 동시에 투명한 정보 공개와 대화를 통해 이해와 신뢰를 얻으면서 철저하게 해체 및 부지 복원을 추진해야 한다.

〈참고 문헌〉

1. THE DECOMMISSIONING AND DISMANTLING OF NUCLEAR FACILITIES STATUS, APPROACHES, CHALLENGES, NUCLEAR ENERGY AGENCY, OECD.

2. 원자력 시설폐지조치의 기초 지식, 재단법인 일본 원자력 시설 폐로 연구협회

3. 원자력 발전소 부지제염 및 재활용 방안, 김경덕, 방사선안전심포지움

4. 산업자원부 고시 제2005-52호, 원자력 발전소 사후처리충당금 산정변수에 관한 규정

5. World Nuclear Industry Handbook

6. US NRC Decommissioning of Nuclear Facilities

7. 일본원자력백과사전 ATOMICA (<http://mext-atm.jst.go.jp/atomica>)