

# 原子力施設 撤去技術 開發現況

## 世界的인 現況

산업용 설비를 영원히 사용하지 않게 하는 것, 즉 철거조치는 매우 큰 철거장비나 크레인을 운전하는 것으로 종종 묘사되는 일상적인 활동이다. 공장이나 건물이 낡거나, 구식이 되거나, 유지하기에 너무 비싸게 되어 버리면 이들 대부분은 간단하게 해체되거나 분리된다. 그리고 다른 것들은 깨끗이 청소되고, 검사·수리되어 다른 용도로 다시 이용된다. 그러나 반드시 산업용으로만 이용되는 것은 아니다.

몇년 후 원자력산업에서 철거조치는 중요성을 갖게 될 것이다. 많은 원자력발전소 및 시설은 전기를 생산하거나, 의료용 물자를 공급하거나, 또는 20년 이상 다른 임무를 제공하고 있다. 전 세계적으로 원형로 발전소, 연구로, 핵주기시설 및 시험설비 등을 포함하여 17개국의 143여개 원자력설비가 IAEA(국제원자력기구)의 철거조치 계획에 리스트되어 있다.

철거작업을 계획함에 있어 원자력설비 및 다른 산업설비를 철거하는데 과거 35년간에 걸쳐 얻은 경험이 중요한 자산이다. 특정 원자력부지에서 지금 연구, 시험 및 실증되고 있는 새로운 기술, 장비 및 절차는 원자로를 안전하게 그리고 유효하게 철거하는데 기여하게 될 것이다.

원자력시설 철거계획에 포함되어 있는 방사성 물질과 구조물의 처리에는 별도의 절차가 따른다. 그러나 이들 또한 해결될 것으로 전망된다. 대부분의 원자력발전소, 즉 약 85%는 운전중에 결코 방사화되지 않고 재래식 방법을 사용하여

해체되거나 제거된다. 게다가 방사능의 99%는 사용후핵연료내에 포함되어 있고, 철거작업이 진행되기 전에 제거되어 처리되는 폐기물내에 갇혀져 있다.

나머지 설비부분은 기술과 방법을 동원하고 때로는 제염과정에서 로봇장비를 사용하여 방사능을 제거하기 위하여 깨끗이 청소된다. 해체 후 이들 부분은 포장되어 방사성폐기물시설로 이송된다.

많은 나라에서는 여러 방법으로 원자력설비의 철거에 따른 앞으로의 활동을 위해 기술적인 경험을 축적해 가고 있다. 국제적으로 전문적 기술 및 방법으로 주변환경, 작업자 및 일반대중을 보호하면서 그 작업을 완수할 수 있다고 공통적으로 인식하고 있다.

이의 기술자료는 원자력분야에 활발히 개입되어 있는 IAEA 및 다른 국제원자력기관에서 문서화되어 있으며, 이러한 자료는 철거조치 구상을 완성하기 위해 원자력프로그램을 방금 시작한 국가, 또는 앞으로 시작할 계획을 갖고 있는 국가를 지원할 것이다.

## 戰略 및 段階

### 戰 略

철거과정은 발전소부지의 특성으로 인해 국가별로 상이하다. 그러나 제염 및 해체방법은 거의 같을 것이다. 궁극적 목적은 발전정지후 발전소에 남아 있는 방사성물질을 일소시키는 것이며, 이로 인해 발전소부지가 여러 용도로 사용될 수

있게 하는 것이다. 이것을 성취하는 시점은 다르나 목적은 같다.

여러 요인에 의해 어느 국가가 어떤 철거전략을 채택할 것인가를 결정하는데는 여러 요인이 관련된다. 원자력발전개발의 종합적 프로그램이 그중 주요 요인이며, 이 프로그램은 방사성폐기물 수송, 방사선 방어 등 폐기물처분에 관하여 다른 사항들이 포함되어야 하고, 아울러 국가 책임이나 아니면 산업계의 책임이나 하는 국가정책도 포함해야 한다.

다른 주요 요인으로는 발전소 위치, 규모 및 원자로형과 같은 설비 특성에 관련된다. 예컨대, 가압경수로에서의 방사능은 일차냉각재계통에 유지되지만, 비등경수로에서의 방사능은 증기터빈축까지 순환된다. 이러한 차이는 수행되어야 할 제염작업의 몰량에 영향을 미친다.

일정기간후 해체, 또는 즉각적인 해체의 긍정적, 부정적인 영향을 결정하기 위하여 분석이 이루어져야 한다. 80년 또는 100년 동안 단계3을 연기하면 방사선방호비용은 줄어든 것이다. 그러나 유지 및 점검비용은 높아지게 될 것이다. 이러한 분석에서 가장 중요한 고려사항은 작업자 및 일반대중의 방사선 안전이다.

앞으로 철거계획은 운전중인 원자력설비에서 진행중인 보수 및 수리작업으로 얻어지는 경험과 연구로의 철거로부터 좋은 결과를 얻을 것이다. 이런 경험은 원자로용기 및 내부구조물의 제염, 상이한 원자로부분의 교체 및 해체기술이 사용되는 다른 운영분야에 대해서 값진 교훈을 제공해 준다. 이에 더 나아가 이들 경험은 방사선 준위에 대한 정보, 사업수행에 소요되는 기간, 폐기물관리방법 및 비용 등에 대해서도 기여한다.

다시 말하면, 적은 규모의 설비 철거에 적용되어 온 현재 기술은 큰 규모의 설비에도 채택될 수 있다. 원자로용기 및 내부구조물은 원자로내에서 원격조정에 의해 해체되어야 하기 때문에 현재 겪은 경험으로부터 많은 정보가 얻어져 직접적으로 사용될 수 있다.

적절하게 수정·보완된 정보는 소요인력의 결정, 발생폐기물의 몰량 및 대규모 철거계획의 전

체 비용에 도움을 줄 것이다.

## 段 階

IAEA는 국제적으로 인정되어 온 철거를 3단계로 정의한다.

### <단계 1 (점검을 통한 저장)>

이 단계에서는 첫번째 오염방호벽은 운전시와 같이 보존된다. 그러나 기계작업 개구부는 영원히 밀봉된다. 오염건물은 폐쇄되고, 제도적인 관리를 받게 된다. 또한 발전소가 양호한 상태로 유지되는지를 확인하기 위하여 점검, 감시 및 검사활동이 수행된다.

### <단계 2 (제한적 부지활용)>

이 단계에서는 첫번째 오염방호벽은 쉽게 해체되는 부분들을 제거함으로써 최소한의 규모로 감소된다. 장벽의 밀봉은 물리적 방법에 의해 강화되고, 생물학적 방호가 필요시 장벽을 완전히 에워싸기 위해서 확장된다. 오염제거후 오염건물은 방사선 안전에 더 이상 요구되지 않는다면 변형되거나 제거될 것이다. 건물로의 접근도 허용되며, 부지내 비방사성 건물은 다른 용도로 사용될 수 있다.

### <단계 3 (비제한적 부지활용)>

아직까지 높은 수준의 방사능을 갖는 발전소의 모든 물질, 기기 및 부품 등을 제거한다. 발전소 및 그 부지는 비제한적 사용이 허용되며, 더 이상의 검사나 감시가 필요치 않다.

이들 단계들은 연속적으로, 또는 특정 시간내에 수행될 필요가 없다. 이들은 100년 이상의 장기간에 걸쳐 수행될 수도 있다. 기간을 연장함으로써 오염제거계획에 도움을 주기도 한다. 이는 방사능붕괴로 인해 방사선 준위가 만족스러운 수준까지 감소하기 때문이다. 해체 및 오염제거는 그후 더 안전할 수 있으며, 적은 비용이 소요되고, 작업자피폭도 최소한으로 유지될 수 있다.

## 國家的 접근방법

대규모 오염제거작업 전에 세가지 기본조건이 만족되어야 한다.

○ 잘 훈련된 작업자를 포함하여 모든 필요한

기술수단이 동원되어야 하며,

○ 제염으로 인한 모든 폐기물을 저장할 허가된 처분시설이 갖추어져야 하고,

○ 주어진 제염계획의 이행을 위해 구체적 방침이 확정되어야 한다.

현재 17개국에서 제염작업의 경험이 있으며, 일부는 계획을 진행중에 있다. 그러나 각 국가별 접근 정도는 매우 상이하다. 이러한 상이한 상황은 다음과 같이 특정지워질 수 있다.

○ 어떤 국가에서는 단계3의 제염작업을 시작하기 전에 5~10년의 안전한 저장기간이 고려되고 있다.

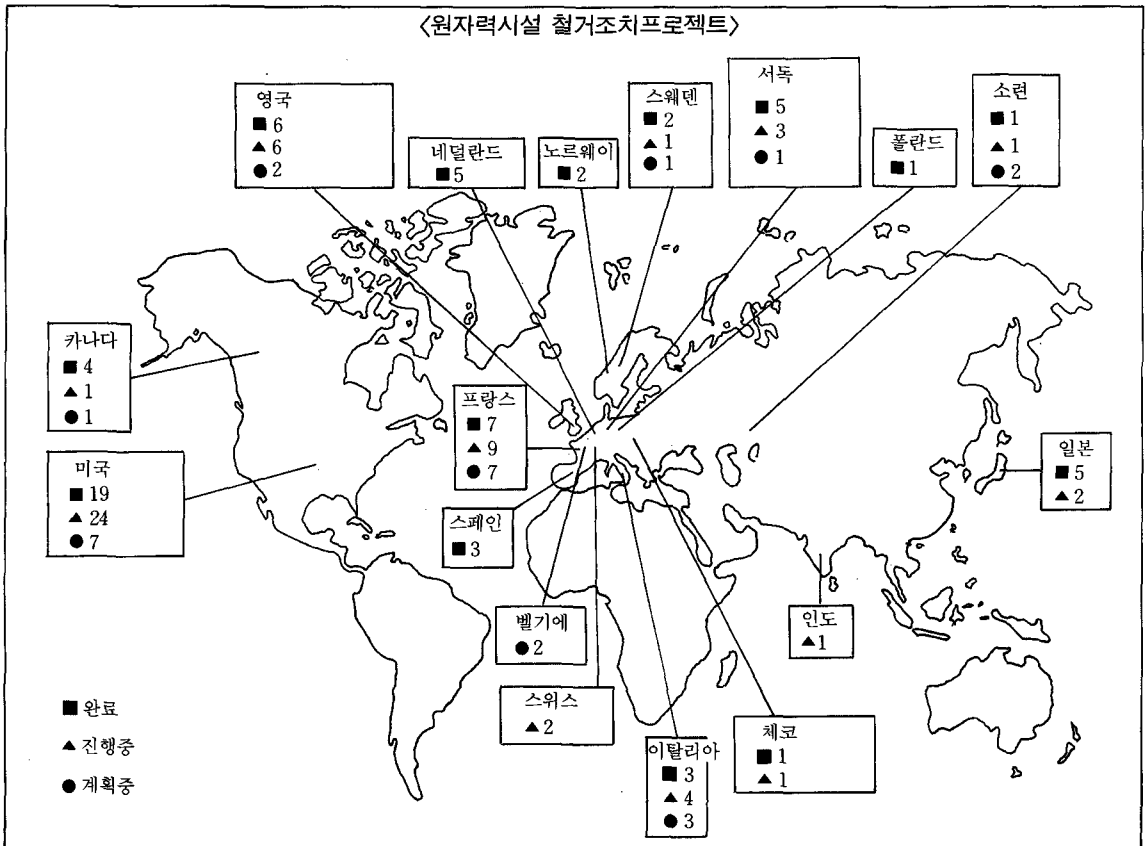
○ 다른 국가에서는 단계1의 이행전략이 기초를 이루고 있으며, 단계2를 고려하고 있다. 그러나 단계3의 이행은 수십년(100년까지) 연기하고 있다.

○ 몇몇 국가에서는 다른 용도로 발전소부지를 재활용할 목적으로 가능한 한 빨리 실용적인 방

법을 통해 단계3으로 추진하고 있다.

몇개의 원자력설비가 제염되었거나 제염되고 있으나, 제염을 위한 특별한 규제요건이 모든 나라에서 수립되지 않았다. 일반적으로 규제요건과 기준이 제염계획의 이행으로 작업자나 일반대중에게 단지 최소한의 위험을 나타내도록 보장하기 위해서 수립되어야 한다고 인식되고 있다. 무엇보다도 지구환경으로 폐기물의 비제한적 방출을 방지하기 위한 법률과 마찬가지로 제염작업으로 부터의 쓰레기물질의 재사용을 다루는 규제요건 및 기준이 가장 중요하게 고려되고 있다.

몇 국가에서는 지금 제염작업이 시작되기 전에 필요한 조건으로서 제염허가의 발행을 고려하고 있다. 몇 나라에서는 제염계획이 발전소의 운전허가 전에 이미 요구되고 있다. 그러나 대부분 국가에서는 제염을 위한 규제체도가 이제야 부각되고 있다.



〈제염 및 철거조치프로젝트〉

국 가	대상설비	설비내역	운전기간	선택철거단계
벨기에	Eurochemic	핵연료재처리	1966-1974	단계 3
캐나다	Gentilly-1 Nuclear Power Demon- stration (NPD)	중수감속, 비등경수 원형로 캔두 원형로	1967-1982 1962-1987	단계 2 단계 1의 변형
프랑스	Rapsodie G 2 AT 1	나트륨냉각시험고속로 전기 및 핵물질 생산 고속증식로의 파일로트 재처 리시설	1967-1982 1958-1980 1969-1979	단계 2 단계 2 단계 3
서독	Kernkraftwerk- Niederaichbach Kernkraftwerk-Lingen MZFR	가스냉각, 중수감속로 비등로 가압로	1972-1974 1968-1977 1966-1974	단계 3 단계 1 단계 1
이탈리아	Garigliano	비등로	1964-1978	단계 1 (격납건물)
일본	JPDR(동력시험로)	비등로	1963-1976	단계 3
영국	Windscale AGR BNFL Co-precipitation Plant	개량형 가스냉각로 혼합연료생산	1962-1981 1969-1976	단계 3 단계 3
미국	Shippingport West Valley Demonstration Project	가압로 경수로 재처리시설	1957-1982 1966-1972	단계 3 단계 3

措置 및 作業機器

원자력발전소는 거의 모든 것, 즉 발전소내 사고, 지진, 화재 또는 홍수 및 비행기충돌까지도 감당할 수 있도록 지어졌다. 전형적으로 8만m<sup>3</sup>의 콘크리트, 약 8천톤의 구조철근, 1,500km 이상의 철근, 그리고 2m 이상의 벽으로 구성되어 있다. 꼼꼼하게 보일지는 모르지만, 그럼에도 불구하고 발전소는 현재의 기술을 사용하여 수명 후 안전하게 철거될 수 있다.

“철거”란 용어는 일반적으로 두가지 상이한 그러나 상호 관련된 과정을 의미한다.

○ 제염(Decontamination)이란 표면에 부착된 방사성 침전물의 제거를 포함한 청결작업과정이며,

○ 해체(Dismantlement)란 방사능을 띤 모든

물질의 제거작업이며, 제염작업이 동시에 가능하고, 또는 제염작업 없이도 가능하다.

많은 방법들이 화학적, 물리적, 전기화학적 및 초음파적 과정을 사용하여 오염된 물질을 청결하게 하기 위하여 개발되었다. 채택된 방법은 오염 성질과 정도, 표면형태 및 제염될 물질의 형상에 따라 변한다.

마루, 벽 및 기기의 표면오염은 가장 광범위하게 퍼져있지만, 방사능 전채로 보아서 매우 적은 부분이다. 미끄러운 표면의 경우에는 제염하기가 가장 쉽다. 일반가정의 세척제를 사용하여 쓸고, 진공청소하고, 닦고, 문지르는 작업이 보통이다.

거친 표면은 더 정교한 기술방법이 요구되는데, 고압의 물을 분사시키는 Hydrolaser의 사용 등을 들 수 있다.



밀봉된 기가, 즉 원자로의 냉각계통을 구성하는 많은 파이프, 펌프 및 밸브들의 내부표면에 대해서는 제염용액을 계통내에 얼마간 순환시킨 후 배수시키고 나서 깨끗한 물로 세척한다. 추출된 방사성물질은 압축, 고체화, 포장되어 폐기물 처분장으로 수송된다.

적은 금속물질은 정상적인 방법이나 초음파적 방법에 의한 진동으로 화학수조안에 넣어두어 제염시킬 수 있다. 다른 일반적 화학방법은 전기적 세척작업으로 전기적 흐름에 의해서 방사능의 얇은 금속층을 용해시키는 것이다.

콘크리트표면은 표면오염을 제거시키기 위해서 깎아내려 진다. 오염된 벽은 방사능을 흡수하여 쉽게 떨어지는 특수 코팅물질로 달라진다.

방사능이 구조물의 일부가 되어 그로부터 분리될 수 없는 무겁거나 부피가 큰 것은 어떻게 처리되는가? 여기서는 해체방법이 도입된다. 해체방법은 대부분 절단, 분리 및 폭발 작업이다. 대부분의 기기는 청결될 수 없고, 그 대신 처분장으로 수용되기 위해 여러 부분으로 분리될 수 있다. 금속은 아크튕, 플라스마불꽃, 폭발물 등으로 절단되며, 콘크리트는 폭발, 중장비를 사용하여 깨뜨리어 제거될 수 있다. 고방사능 영향을 최소화하기 위하여 원자로의 내부는 수중에서 절단될 수 있다. 원자로를 플라스마불꽃 또는 아크 튕을 사용하여 원격조종함으로써 분리될 수 있다. 일본에서는 이러한 해체가 일본동력시험로(JPDR)의 원자로 내부물 제거시 개발되었다.

콘크리트에 대한 생물학적 방호시에 콘크리트의 고밀도성, 철근 및 두께로 인하여 특별히 문제가 있으며, 원격관리수단을 이용하여 제어되는 폭발작업으로써 구조물이 완전하게 분쇄될 때까지 한겹 한겹 떼어낸다. 이러한 비슷한 작업이 원자로 오염건물의 내부물을 해체하기 위해서 사용되며, 그후 철거장비가 마무리작업에 동원된다.

원자로의 제거와 격납건물의 철거는 제염작업 단계3을 이행하는 마지막 작업부분이다. 부지의 청소후 마지막 전체적 점검으로 아직까지 남아있는 방사능이 규제치 이하인지 아닌지를 확인한다. 그후 부지는 비제한적 용도로 사용될 수 있다.

이에 덧붙여 많은 나라에서 다른 제염방법 및 기구를 실증하기 위하여 노력하고 있다. 예를 들면, 이탈리아에서는 콘크리트구조물의 해체 및 금속기구에 대한 제어기술을 개발하기 위한 작업이 진행중에 있다. 일본은 동력시험로의 생물학적 방호벽을 해체하는데 이용하고자 연마성 투사방법을 개발하고 있으며, 영국에서는 더욱 정확한 폭발기술을 개발하고 있다.

연구개발의 목적은 기술 및 기법이 시험·입증되어 원자력발전소의 대규모 제염작업시 활용할 수 있는가를 확인하는 것이다. 제염시 작업 표면으로 부터 오염물을 효율적으로 제거시킬 수 있는 기술의 개발에 목적을 두고 있으며, 또한 방사성폐기물을 감소시키는데 역점을 두고 있다. 다른 목표는 이미 개발된 절차를 향상시킴으로써 방사선준위를 낮게 하여 물질의 재사용을 유효하게 할 수 있도록 하는데 있다.

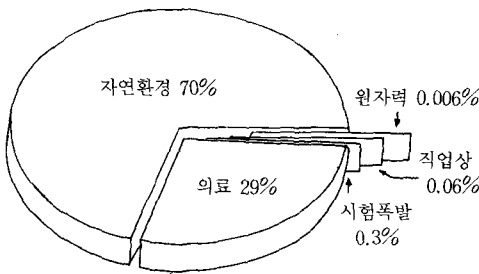
폐기물관리분야에서 고체폐기물량을 더 감소시키는 것도 한가지 목적이다. 이는 더 효율적인 용적감소체계를 사용하고 소각 등을 통하여 성취될 수 있다. 사용후 제염용액과 세척물 및 기타 액체폐기물의 많은 분량은 기화되며, 더 나아가 고체화하기 쉽도록 가열된다.

### 放射線防禦 및 安全

원자력발전소 운영은 국가 규제기관에 의해

제정된 엄격한 안전규제요건을 적용받는다. 이들은 발전정지후 강화되며, 철거과정까지 확장 적용된다. 결과적으로 일반대중에 대한 방사능 위험도는 적다. 평균적으로 철거작업으로 인한 일반대중의 방사선피폭은 자연환경방사선피폭의 0.1% 이하이다.

〈개인 연간 방사선피폭에 대한 방사선원별 점유비율〉



(주) 연간 전체 방사선피폭에 대해 원자력의 점유비율은 적고, 원자력발전소 폐지작업동안 작업자 방사선피폭은 일상운전중 피폭보다 높지 않으며 일반대중에 대한 피폭도 무시할 정도임.

원자력시설에서 철거작업자는 방사선구역에 들어가야 하며, 오염되었거나 전리된 물질에 대해 작업하여야 한다. 그러므로 철거작업에 대한 신중한 계획이 매우 중요시 된다. 이는 철저한 방사선 조사, 기지의 평가 및 숙련공이 있어야 한다.

작업자에 대해서는 방호복, 방사선측정기 및 호흡장비의 강제 착용으로 방사선피폭을 효과적으로 억제하고, 철거작업동안 오염된 먼지의 흡입을 예방한다. 또한 방호물 설치, 표시판 설치, 시간장치 설치 및 특별한 감독을 통하여 방사선구역으로 부주의한 출입을 억제한다. 통제구역의 식별 및 특별한 의복실을 배정하는 것도 전체적 안전확보에 기여한다.

작업자의 위험도는 방사선피폭 저감방법에 대한 국가 규제요건 및 국제적 지침을 따르고 최신 기술을 사용함으로써 최소화될 수 있다.

작업자 안전수칙

철거조치동안 작업자의 방사선피폭을 감소시키는 방법에 관한 IAEA 기술보고서의 주요 요소는 다음과 같다.

- 방사선원 제거
  - 부유 및 부착 방사능 제거
  - 해체전 사용후핵연료 및 제거가능한 고방사성 기기 및 부품을 저장시설로 이동
  - 방사능 붕괴가 이루어지도록 철거조치를 연기
- 피폭 및 오염예방
  - 방호복 착용
  - 고방사성물질의 제염, 분해 및 포장을 위해 차폐시설 설치
  - 필요시 원격조정기기 사용
- 방사선구역에서 작업자 소요시간 제한
  - 제염 및 해체를 위한 잘 계획된 전략 수립
  - 훈련용 섬비 사용
  - 관리구역으로의 접근에 관한 명백한 정의

오늘날의 기술 및 도구는 기술자로 하여금 물질을 직접 접촉하지 않고 해체할 수 있도록 도와주고 있다. 로봇은 통제구역에 들어갈 수 있도록 프로그램되어 있으며, 방사선량을 측정하고, 제염 및 해체작업을 할 수 있도록 되어 있다. 원격조정기기는 원자로용기내로 들어가 그 내부물을 절단한다. 작업자는 방호벽 뒤에서 민감한 물질을 포장하고 분리시킨다.

과거나 지금의 철거계획의 실제경험을 통하여 가능한 한 합리적으로 적게 피폭(ALARA) 받는다는 개념보다도 더 적게 피폭받을 수 있음을 보여주고 있다.

ALARA는 국제방사선방어위원회(ICRP)에 의해 추천된 방사선량 제한의 한 원리이며, 전세계 대부분 국가에서 법제화되어 있다.

### 원격조종기기

원격조정기기가 개발되어 원자력산업에 사용되어 오고 있다. 특히, 고방사능분야에서 인간에게 해로운 환경에서 각종 작업을 수행하는데 유용하다고 증명되었다. 예컨대 원자력 의료 및 기타 분야에서 사용되는 방사성동위원소의 생산 뿐만 아니라, 원자력발전소시설에서 취급, 검사, 해체, 조립 및 수리 작업에 원격조종기기가 사용된다.

IAEA는 원격조종기기의 기준을 개발했다. 철거조치시 사용될 기기의 설계 또는 선정시에 다음 사항을 권고하고 있다.

- 기계능력이 목적에 적합할 것
- 모듈화된 건설이 가능한 한 많이 채택될 것
- 설계시 기기의 배치, 운전 및 철거를 용이하게 허용할 것
- 기기는 제염하기 쉬울 것
- 운전원의 능력이 떨어지지 않도록 기기 관리시에 인간공학적 사항을 고려할 것
- 기기는 최종 임무에 들어가기 전에 철저한 시험 실시
- 설계는 가능한 한 간단하면서 향후 기준에 적합할 것

### 事故後 清潔作業

다른 산업에서와 같이 원자력산업에서의 사고는 중요한 교훈을 제공한다. 1986년 체르노빌 및 1979년 TMI 원전 사고가 그러하다.

두 사고에서 사고손상으로는 광범위한 제염작업과 청결작업이 요구되었으며, 그 노력은 유효했다. TMI의 경우 사고 발전소로 인해 일반대중 및 작업자에게는 위험이 없었다. 사고시 손상을 입지 않은 동일 부지의 다른 원자로를 운전을 재개했으며, 전기를 생산하고 있다.

### 체르노빌事故

체르노빌사고에서 사고결과는 매우 방대했으

며, 노심 및 관련 구조물은 파괴되었고, 방사능은 약 9일동안 환경으로 방출되었다. 사고는 원자력발전소중에서 겪은 가장 중대한 것이었다.

위험은 통제되었고, 원자로는 결국 폐쇄되었으며, 방사선의 추가 방출을 예방했다. 사고 이후 광범위한 지역에 걸쳐 표면오염의 청결작업 및 오염물질의 안정화에 많은 노력이 경주되었고, 일반대중에게는 문제가 없었다. 이에는 공학적 안전주의와 원격조종기기가 사용되었다.

### TMI事故

TMI 2호기는 심한 원자로심 손상을 입었다. 외부환경으로의 방사선 방출은 매우 적었으나, 원자로건물내에 방사성 물질이 확산되어 사고후 몇개월은 접근 불가능할 정도였다.

청결작업프로그램상 작업자 피폭을 가능한 한 낮게 유지하기 위하여 방대한 물량의 폐기물 및 핵연료 부산물을 제거하는데 곤욕을 치렀다.

이 일을 수행하기 위하여 재래의 청결방법이 개선되었으며, 특별한 제염 및 해체 방법이 개발되었다. 제염 및 원격조종분야에서의 기술적 혁신으로 철거작업에 적용될 기술적 기반 확충에 공헌했다.

### 放射性廢棄物

철거조치로 인한 대부분의 방사성폐기물은 저준위 폐기물이다. 저준위 폐기물은 열을 발생시키지 않으며, 차폐없이 포장될 수 있다. 소량의 중준위 폐기물은 원자로 내부물로 부터 발생된다. 발전소의 대부분인 85%가 거의 방사능이 없으며, 일반 쓰레기로 처리된다. 철거폐기물은 정상적인 원자로운전으로 부터 나오는 폐기물과 동등하게 처리될 수 있음을 경험적으로 알게 되었다.

경제협력개발기구·원자력기관(OECD/NEA)의 연구에 의하면, 원자력발전소 철거로 부터의 방사성 철거폐기물량은 발전소 운전기간동안 발생하는 방사성 폐기물량보다 많지 않을 것으로 전망된다. 철거폐기물량은 원자로철거정책에 달려있다. 만약 단계3 철거계획이 운전정

지 즉시 적용되면 전형적으로 1,000MW 가압경수로에서의 저준위 폐기물은 약 1,700m<sup>3</sup>로서 6년에 걸쳐 1년에 230트릭분의 선적량과 거의 같다고 미국에너지개발위원회(USCEA)가 보고한 바 있다.

폐기물량은 기계적, 열적 그리고 화학적 방법에 의하여 감소될 수 있으며, 이들 방법은 이미 과거나 현재 진행중인 프로젝트에서 실증되어 왔다. 작업자 방사선피폭량을 줄이기 위해 사용되는 제염방법은 일반적으로 폐기물 용적을 감소시키는데 기여한다. 제염물의 재활용으로 더욱 용적을 감소시키고 있으며, 폐기물은 유용한 물질로 전환된다.

쉽게 포장하고, 처리하고, 수송하기 용이하게 하기 위해서 고체화시킬 필요가 있으며, 철거폐기물은 시멘트, 아스팔트 또는 고체성 물질로 처리된다. 부피가 큰 폐기물은 절단되어 작은 부분으로 분리된다. 처리되어 수송되는 폐기물은 어떤 주요 문제도 야기시키지 않는다. 이들은 통상적으로 운용되며, 국가적, 국제적 규제요건에 의하여 규제받는다.

### 廢棄物의 再活用 및 基準

폐기물로서 취급하는 대신에 부품의 재활용에

오늘날 더욱 관심을 두고 있다. 철거된 원자력설비로 부터 나온 기기를 비제한적 용도로 이용하기 위해서 국제적으로 인정된 방사선 기준을 개발하기 위한 작업이 진행중에 있다. 이유는 경제적 측면과 환경적 측면이 있다. 이 부품들을 재활용함으로써 폐기물 처분, 에너지 및 원자재에 소요되는 비용을 줄일 수 있다.

값비싼 잡고체는 철거프로젝트로 재활용될 가장 유망한 재료의 하나이다. 강철은 콘테이너 제작에 재활용된다. 크레인, 펌프 또는 터빈과 같은 큰 기기조작은 아직까지 운전중인 비슷한 발전소의 예비품으로써 가치를 갖는다. 예를 들면, 서독 Gundremmingen Unit - A 발전소 터빈건물 철거조치시 발생된 총 3,000톤의 폐기물중 50톤만이 방사성 폐기물로 처분되고, 나머지 2,950톤은 재활용되었다. 즉, 강철고체는 폐기물 선적을 위한 콘테이너 제작에 사용되었다.

### 基 準

1988년 유럽공동체위원회(CEC)의 전문가그룹은 원자력설비로 부터의 강철의 재활용을 위한 기술지침을 발표했다. 베타/감마 방출핵종의 농도가 그램당 1 베크렐보다 적고, 부유표면오염도가 제곱센티미터당 베타/감마 방출농도가 0.4 베크렐 이하이고, 알파의 경우 0.04베크렐 이하

〈발전소운전 및 폐지에 따른 중·저준위 폐기물량(추산)〉

(단위 : m<sup>3</sup>)

구 분	캐나다	서독		스웨덴		미국	
원자로 규모 및 노형	4×515MWe PHWR	1200MWe PWR	800MWe BWR	900MWe PWR	1000MWe BWR	1000MWe PWR	1000MWe BWR
25년 운전 폐기물	6,900~ 27,500	6,100~ 11,000	6,000~ 20,000	6,300	7,500	21,700	40,000
철거 폐기물 (단계3, 즉시)	10,000	6,900	12,400	7,000	15,000	15,200	16,300
총 폐기물 (운전+철거)	16,900~ 37,500	13,000~ 17,900	18,400~ 32,400	13,300	22,500	36,900	56,300
총폐기물에 대한 철거 폐기물 비율	0.3~0.6	0.4~0.5	0.4~0.7	0.5	0.7	0.4	0.3



이면 그 강철은 규제관리요건에서 제외되어도 좋다고 상기 전문가그룹은 권고하고 있다.

이런 허용수준은 강철 재활용과 관련된 보건 위험도의 분석에 근거한다. 잠재성 방사선량은 매우 적으며, 인위적 방사선원을 규제관리에서 제외시키기 위해 IAEA 및 NEA가 수립한 방사선기준 이하라고 결정되었다.

IAEA는 원자력핵주기로부터 나온 물질의 재활용 적용을 위한 실질적 면제기준을 개발하고 있다. 이 분석활용은 유럽공동체위원회(CEC) 연구에 의존하고, 강철 뿐만 아니라 콘크리트 및 알루미늄의 재활용을 고려하고 있다. 아울러 약간의 오염된 기구, 기기 및 오염건물의 재활용도 고려하고 있다.

### 費用과 財政確保

여러 요인이 직접적으로 철거비용에 영향을 미친다. 예컨대 원자력설비 형태, 원자로철거전략, 철거단계 및 폐기물 처분방안들이고, 또 다른 요인으로는 물가상승률, 할인률 및 통화변동 요인이다.

이러한 변수 때문에 철거비용은 국가마다 다르며, 또한 발전소마다 상이하다. 철거비용의 가장 신뢰할 수 있는 추산은 단지 특정 국가의 특정 발전소에 대한 기술적 연구 결과로 얻을 수 있다.

국제적으로 원자로 철거비용은 대략적으로 3개 분야로 추산된다. 즉, 작업활동성 기인 비용(실제 해체, 제염, 포장, 수송 및 처분작업으로부터 발생하는 비용), 시간성 기인 비용(프로젝트 및 건설관리, 보건, 안전 및 보안, 인허가 및 품질보증에 관련된 비용), 그리고 특별 비용(특별장비 구매, 세금과 같은 일회용 비용 등)이다.

재정확보 방법은 국가마다 상이하다. 원자력발전소 철거비용을 계상하는 방법중 일반적인 방법은 다음과 같다.

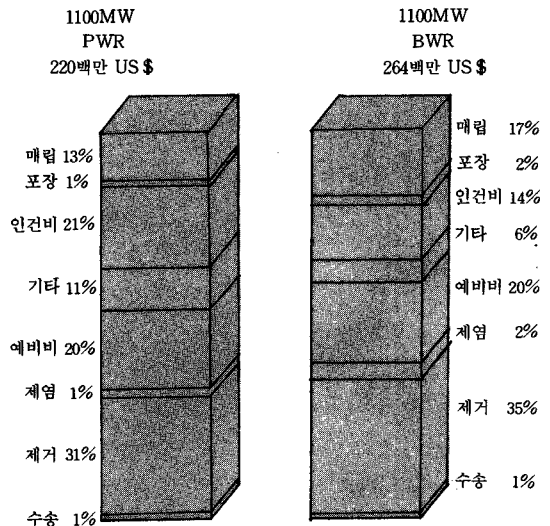
○ **충당금** : 철거비용을 감당하기 위하여 발전소가 운전하기 전부터 분리된 계정에 적립한다. 이는 철거 목적 외에 인출될 수 없는 위탁금, 조건부 증서, 정부기금, 정기예금 등으로 운용된다.

### 〈철거비용(추산)〉

(단위 : US mills / kWh, 1984. 1)

국 가	원자로형	단계 3 (즉각 폐지)	단계1 / 30년 저장 / 단계 3
미 국	가 압 로	0.2	0.1
	비 등 로	0.2	0.1
서 독	가 압 로	0.2	0.1
	비 등 로	0.3	0.1
스 웨 덴	가 압 로	0.2	
	비 등 로	0.2	
핀 란 드	가 압 로	0.2	
	비 등 로	0.1	
카 나 다	중 수 로	0.2	0.1

### 〈원자로형별 철거비용 및 내역〉



(주) 미국 발전소 대상, 단계 3(단, 발전정지후 즉시) 철거비용

자료 : AIF-NESP, 1986. 5

○ **외부투자기금** : 이는 수용가에게 부과되는 전기요금의 일정부분을 몇년동안 점진적으로 조성된다. 발전소 운영자가 관리할 수 없는 위탁기금으로 투자 또는 적금된다.

○ 내부유보금 : 외부투자기금과 같이 일정률로 철거작업을 위해 적립된다. 그러나 발전소 운영자는 이 자금을 운용할 수 있으며, 다른 목적이나 투자를 위하여 대출할 수 있다.

○ 보증기금, 신용증서 또는 보험 : 이의 활용으로 철거비용은 충당될 수 있다.

## 國際協力

앞으로 10년에 걸쳐 전세계 60개 원자력발전소 및 256개 연구로가 철거조치될 것으로 전망되고 있다. 각종 국가적, 국제적 회의를 통하여 국가간에 작업경험기반을 넓히기 위하여 협력하고 있다.

IAEA 및 많은 기타 국제기관은 협력회의를 오랫동안 개최해 왔으며, 이를 통해 철거조치에 대한 경험 및 지식을 공유하고 있다.

### IAEA

철거조치 및 제염작업은 1973년 이래 IAEA 프로그램에 포함되어 있다. 지금까지 12개 기술 보고서 및 간행물이 발간되었으며, 다른 것들이 이 분야에 여러 국가들을 지원하기 위해서 준비중에 있다.

이의 기본 목적은 회원국가가 방사선평폭의 최소화에 노력을 경주하면서, 안전하고 적기에 적절한 비용으로 철거작업을 계획하고 수행할 수 있도록 지원하는 것이다.

관련 자료는 정기간행물, 기술서류 및 정보자료로서 IAEA 회원국가에서 활용되고 있다. IAEA는 회의, 심포지움, 세미나 등을 통하여 정규적 정보교환을 실시하고 있으며, 전문가를 파견하기도 하고, 회원국가가 자국의 프로그램을 수행할 수 있도록 체제수립 및 기기 구매시에도 도와준다.

제염 및 철거조치에 대한 IAEA의 현행 프로그램은 연구로 및 소규모 원자력시설의 정비 또는 철거작업계획 및 관리에 우선권을 두고 있다.

관심있는 분야는 규제요건 및 지침분야이다. 원자력발전프로그램을 갖고 있는 국가들은 원자력에너지를 규제하는 국가적 법률을 준수하고

있다. 그러나 철거활동이 자주 발생함에 따라 이런 방법으로 규제하는 것이 실용성이 없고 편리하지 않을 것이다.

철거조치에 관한 특별한 규제요건 및 지침이 필요하다. IAEA는 일반적 규제지침을 제공할 목적으로 철거에 관한 안전지침을 준비하고 있다. 이는 장기간 방사성 핵종을 사용한 산업시설 뿐만 아니라, 원자력 핵주기시설의 철거를 담담케 될 것이다.

또 다른 관심분야는 사고후 청결작업분야이다. 청결을 위한 예비계획은 전반적으로 비상대응분야의 일부로 구성되어야 한다. IAEA는 그러한 청결활동을 위한 운영계획연구를 완료했으며, 광범위한 전략 및 기술적 접근방법, 관리체제, 여러 기기의 통합, 효율적 이행을 위한 계획안을 기술하는 일련의 문서를 준비하고 있다. 넓은 지역의 청결기술 또한 이행되고 있다.

그 다음의 관심분야는 원격조종기기분야이다. 그러한 기기는 작업자의 방사선평폭 감소 및 원자력설비의 운전신뢰성을 위해 필수적인 것으로 널리 인정되고 있다. 전자, 컴퓨터, 광학 및 재료 기술분야의 발전은 원격조종 기술분야의 혁신 및 개선에 기여하고 있으며, 특히 로보트분야는 더욱 그러하다.

IAEA는 우라늄 채광 및 정광시설의 폐지 및 사고후 원자력발전소와 관련된 분야에 적극적으로 임하고 있다.

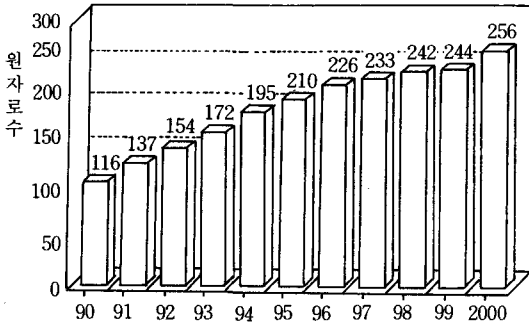
### OECD/ NEA

경제협력개발기구·원자력기관(OECD/NEA)는 벨기에 등 8개국의 15개 국가적 프로젝트의 철거프로그램과 관련된 협력프로그램을 갖고 있다. 이를 프로젝트는 매우 중요한 것으로 고려되고 있다. 협력프로그램에는 참여국가간의 쌍방협정이 수립되어 있다.

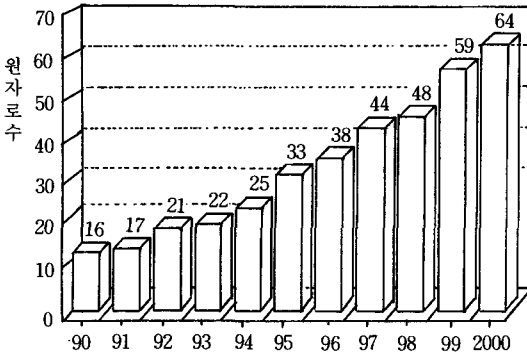
### CEC

유럽공동체위원회(CEC) 철거프로그램의 주안점은 연구 및 개발이다. CEC는 얼마전 이 분야에서 2차 5개년 계획(1984-1988)을 마무리하고, 3차 5개년 계획(1989-1993)을 시작했다.

〈30년 운전의 원자력연구소〉



〈30년 운전의 원자력발전소〉



신규 프로그램에는 CEC가 선정한 4개의 해체프로젝트에 공동비용분담형식으로 참여하고 있다. 즉, 영국의 윈스케일 개량형 가스냉각로, 서독의 KBB-A 비등경수로, 벨기에의 BR-3 가압경수로 및 프랑스의 AT-1 핵연료재처리설비프로젝트이다.

프로그램과 관련된 계약 자료는 회원국의 국가조직 및 개인회사에 배분된다. 이로서 유럽 공동체내 관련된 조직간에 긴밀한 협력을 진작시키고 있다.

### 現況 및 展望

1960년 이후 전 세계적으로 65개 이상의 원자로 및 기타 원자력설비가 철거되어 왔다. 대규모 원자력발전소는 아직까지 안전하게 해체된 바 없으나, 경험은 많다. 낡은 원형/실증 원자력발전

소는 몇개 국가에서 해체되고 있다.

금세기 말에 64개 원자로 및 256개 연구로가 30년 이상의 전기생산 및 연구목적으로 운전되고 있을 것으로 전망된다. 이들이 철거조치의 대상이 될 것이다.

철거작업동안 적용될 국가적, 국제적 기준이 방사선방어, 폐기물 처분, 수송, 환경보호, 품질관리, 안전 및 기타 중요 분야를 위해 마련되고 있다. 그러나 많은 국가에서는 철거조치에 특별한 철거요건이 이제야 부각되고 있는 실정이다.

수시로 철거활동을 관리할 국가적 규제요건은 IAEA 및 기타 국제적 기관의 표준 및 권고사항으로 부터 종종 연유된다.

관련 폐기물의 처분을 포함하여 원자력발전소의 철거비용은 적으며, 항상 전기생산비용의 2%를 초과하지 않는다. 몇 국가는 전기요금에 철거작업비용을 포함시키고 있다.

원자력설비의 대부분, 약 85%는 비방사화된 것이거나, 매우 저준위로 오염되어 있다. 철거로 인한 모든 폐기물의 90% 이상이 저준위 폐기물로 처리되며, 철거작업으로 인한 대부분의 물질 및 기기는 재활용될 수 있다. 일단 발전정지하면 발전소는 추가의 방사성 물질을 생산하지 않는다.

여러가지의 안전하고 효율적인 철거전략 및 선택사항이 있다. 국가기관이 적절한 전략 선정 및 관련 활동의 규제에 대하여 책임을 진다.

발전소부지가 비제한적 용도로 사용될 수 있도록 하기 위해 원자력발전소를 안전하게 철거하는데 많은 시간이 소요되며, 발전소부지는 모든 방사성물질이 안전하게 부지로 부터 제거되어야 한다. 즉각적인 해체는 10년내로 발전소부지를 마음대로 활용할 수 있으나, 방사능준위가 저준위까지 감소하도록 해체작업을 연기한다면 시간은 더 소요되어 길게는 100년이 걸린다.

방사선에 대한 작업자피폭은 원자력발전소의 일상적인 운전기간동안보다 철거작업동안이 높지 않으며, 엄격하게 규제되고 감시된다.

철거활동으로 인한 방사선에 대한 일반대중의 피폭은 무시할 정도이며, 환경내 자연방사선피폭의 0.1% 보다 적다