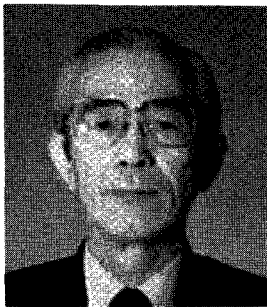


Shippingport 원자력발전소의 해체

미국의 Shippingport Station Decommissioning Project(SSDP)는 미국 에너지성(DOE)이 주용역계약자로 선정된 General Electric Co.(GE)에 의하여 일괄철거방식으로 해체되고, 해체후 부지는 규제 없이 사용할 수 있는 상태로 DOE 에서 토지소유자인 전력회사로 반환되었다.

본문은 필자가 원자로의 폐로연구차 1987년 3월에 Shippingport 발전소를 방문하였을 때 수집한 자료, SSDP의 최종보고서, 관련자료 등을 토대로 SSDP에 대하여 소개한 것이다.

우리나라 최초의 상업용 발전소인 고리 1호기(PWR, 587MWe)도 가동된지 17년이 경과하였고, 연구용원자로 1·2호기의 폐로가 거론되고 있는 시점에서, SSDP를 검토해 보는 것은 뜻이 있다고 본다.



서 두 완

한국원자력연구소
원자로관리실장

SSDP의 개요

1. 해체배경

Shippingport 원자력발전소(Shippingport Atomic Power Station: SAPS)는 미국 펜실베이니아주 피츠버그시의 북서쪽 약 40km의 오하이오강 남쪽 강변에 있는데, PWR의 기술개발과 운전의 실증을 목적으로 한 세계 최초의 대형 상업용 원자력발전소(72MWe)이다.

DOE와 부지 제공자인 Duquesne 전력회사(Duquesne Light Company : DLC)가 1955년에 발전소 건설공사를 착수하여, 1957년 12월에 운전을 개시하였다. 그 후 1982년의 운전정지때까지 25년동안에 70억 kWh 정도 발전하였다.

그동안 DOE는 원자로계통의 운전·보수를 담당하고, DLC는 터빈발전기계통의 운전·보수 및 전력공급을 담당하였다.

DOE의 기술개발과 실증연구가 마무리되는 시점에서, DOE는 DLC에 발전계속의 의향이 없음을 확인한 후에 SAPS는 영구적으로 폐쇄하기로 하였다.

DOE는 다음과 같은 목적으로 SAPS의 여러 시설중 정부소유물(관리건물과 터빈건물을 제외한 모든 건

물)을 해체·철거하고, 그 부지는 정지·녹화하여 DLC에 반환할 것을 1979년에 결정하였다.

가. 원자력발전소를 해체하고, 부지를 규제 없이 사용할 수 있는 상태로 복구한다.

나. 정부소유의 발전소시설을 현재의 기술을 사용하여, 안전하고 타당한 비용으로 해체한다.

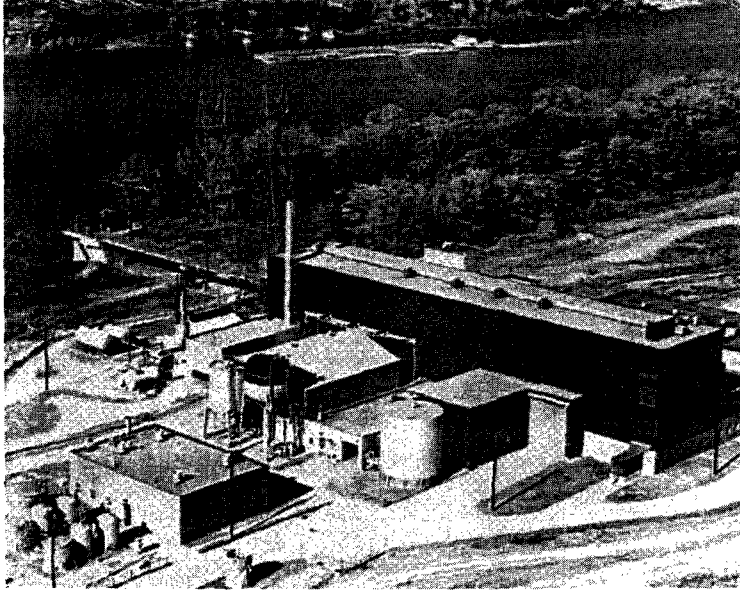
다. 장래의 폐로프로젝트를 위하여 알맞은 시기에 유익한 자료를 제공한다.

폐로의 기술적인 검토는 1980년 1월에 시작하여 1983년에 끝났다. 해체공사는 1985년에 시작하여, 처음 계획보다도 빠르게 1989년 7월에 끝났다.

2. 해체의 체제

발전소의 운전은 DOE의 선박용 원자로부(Naval Reactors : NR)의 관리하에 DLC가 맡고 있었지만, 1984년 운전종료검사와 연료인출이 끝난 시점에서, 발전소의 관리책임은 NR에서 DOE Richland의 잉여시설 관리계획국(Surplus Facility Management Program Office : SFMPO)으로 이관되었다.

SFMPO는 곧 SSDP를 설정하여 GE를 폐로주용역계약자(Decom-



해체전의 Shippingport 원자력발전소 전경

missioning Operation Contractor : DOC) Morrison Knudson-Ferguson Co.를 부용역계약자로 선정하였다.

또 DOE는 폐로에 관한 기술·비용·공정 등의 기술적인 지원을 얻기 위하여 Westinghouse Hanford Co. (WHC)를 기술지원용역업자 (Technical Support Contractor : TSC)로 지정하였다.

3. 해체공정

SAPS의 해체공사는 1984년 6월에 DOE의 인가를 얻어, 1985년 1월에 해체를 위한 준비작업에 들어갔다.

실제의 해체공사는 1985년 9월에서 1989년 7월까지 46개월동안 실시되었다.

1987년에는 1차계 기기·배관의 철거가 시작되어 해체공사는 절정에 도달하였다.

〈표 1〉은 주요한 프로젝트의 활동과 그 공정을 나타내고 있다.

해체공사

1. 공사의 특징

가. 해체를 위한 기술개발을 하지 않고, 현재의 기술을 사용하여 해체한다.

나. 원자로압력용기는 절단하지 않고, 노내구조물은 그대로 둔채 바깥쪽 중성자차폐탱크와 함께 한덩어리로 철거한다.

다. 열교환기·가압기 등의 주요기기는 개구부를 밀봉하여 한덩

어리로 매설처분한다.

라. 원자로압력용기는 Hanford의 폐기물 처분장으로 수상수송하여, 매설처분한다.

2. 공사범위

가. DOE의 소유시설인 원자로건설·방사성폐기물처리건물 등의 건물내에 있는 기기·배관을 모두 철거한다.

나. 건물구조물은 지하 3피트까지 모두 해체·철거한다.

다. 부지에 남게 될 건물구조물은, DOE가 정하는 부지해제판정 기준에 맞도록 제염한 후, 부지를 정지·녹화하여 무구속용지로 DLC에 반환한다.

〈그림 1〉은 SAPS 부지내의 건물해체범위를, 〈그림 2〉는 원자로건물의 단면도를 나타내고 있다.

3. 해체공법

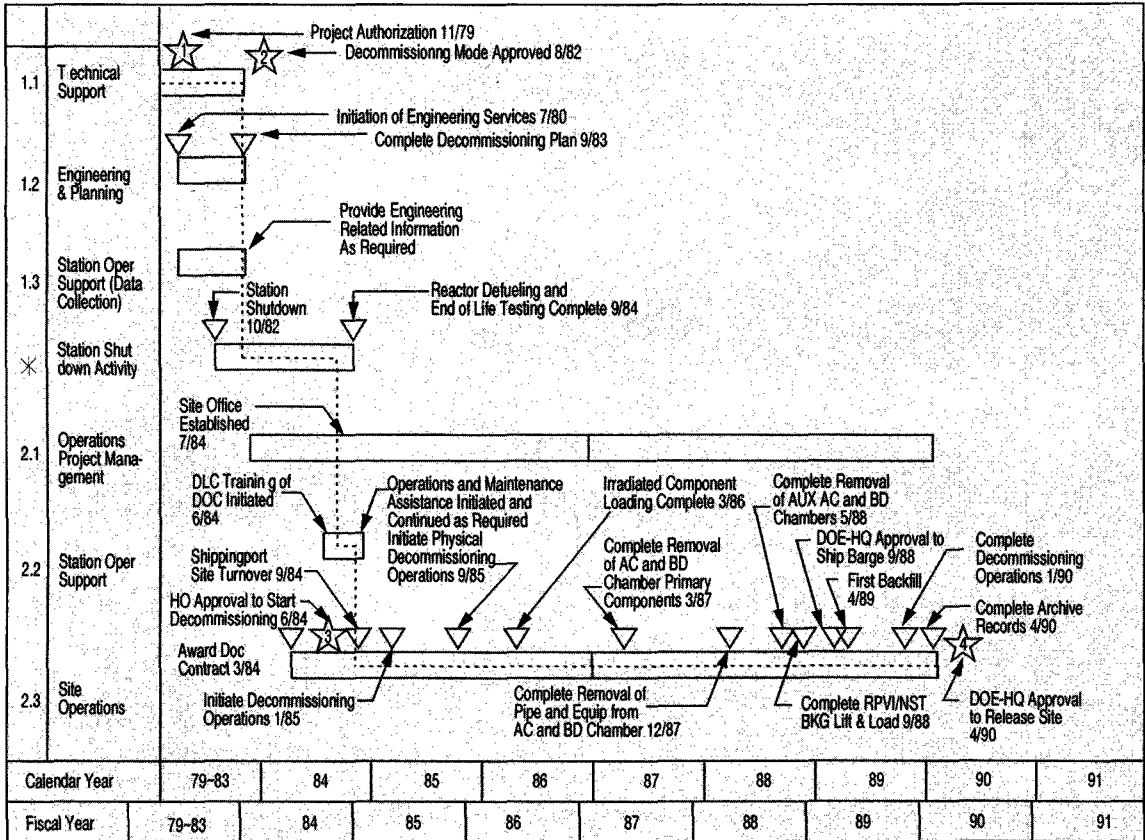
SAPS의 해체는 이웃에서 가동중인 Beaver Valley 원자력발전소 1·2호기(PWR, 830MWe)가 있기 때문에, 폭발공법은 금지되어 있지만, 이외의 공법은 DOE 및 DOC에서 특별히 제한하지 않았다.

따라서 실제의 공사에 사용된 공법은 DOE의 공사시방서, 공기 및 비용을 만족시키면 원칙적으로 용역업자가 제안한 것을 채용하였다.

다음은 해체공법의 세부내용이다.

가. 아스베스토스

〈표 1〉 프로젝트 주요 스케줄(1987년 현재)



☆ DOE-HQ Key Decision Points * Non-project Task Naylor Reactors Responsibility ▽ Project Milestone - - - - - Critical Path

탱크·기기·배관·덕트 등의 단열 재료로 사용된 아스베스토스의 철거에는 방호복과 전면마스크를 착용하는 등 엄격한 작업관리하에 실시하였다.

관리구역내의 아스베스토스에 대해서는 작업효율을 올리기 위하여, 아스베스토스를 방사성폐기물과 비방사성폐기물로 구별하지 않고, 모두 방사성폐기물로 취급하였다.

관리구역외의 아스베스토스는 유해

물질의 규제에 따라 처분하였다.

또 원자로건물의 외벽판 및 환기장치 의 덮개판 등에서 아스베스토스가 확산되어 있지 않은 패널은 한덩어리로 철거하였다.

나 주요기기

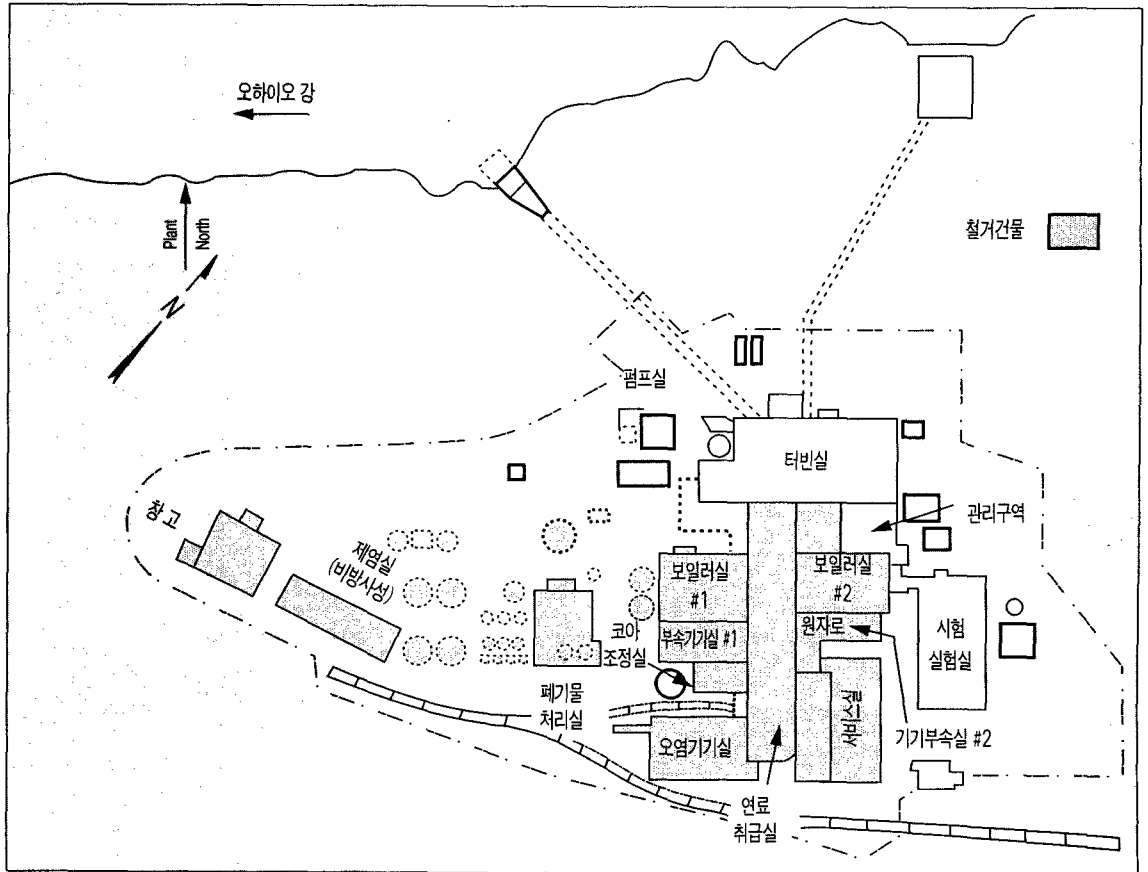
증기발생기·가압기 등은 한덩어리로 철거하는 것이, 절단하여 철거하는 것보다 비용·해체공수·공사기간 등에서 유리하기 때문에 한덩어리로 철거하였다.

철거한 기기는 미국 운수성의 방사성물질운반기준에 맞도록 제염한 후, 기기 자체를 운반용기로 이용하여 열차로 Hanford 매설처분장으로 반출하였다.

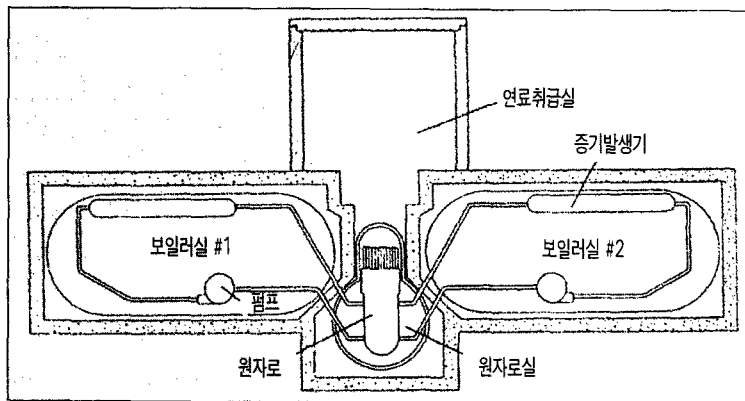
이들 기기는 속이 비어 있기 때문에 매몰할 때 기기의 변형에 따른 매설지의 지반함몰을 고려하여 기기내부에 모래를 채웠다.

다. 일반기기

펌프·배관 등의 일반기기는 기계



〈그림 1〉 Shippingport 발전소 부지



〈그림 2〉 원자로건물의 단면도

적 및 열적 절단공법으로 해체철거하였다.

이들 절단에 사용된 기기는 다음과 같다.

- (1) 기계적 절단공법
 - ① Portable blade saws
 - ② Reciprocating saws
 - ③ Electrical/hydraulic powered shears
 - ④ Hand operated hydraulic shears

(2) 열적 절단공법

- ① Oxy-acetylene/propane torch
- ② Plasma-arc torch

절단기의 선택은 절단장소, 절단대상물의 재질, 배관의 지름, 절단대상기기의 오염상태 등을 고려하여 결정하였다.

또 연료플래의 랙 및 캐스크의 절단에는 플라즈마 - 아크 토치를 사용하여 수중에서 절단하였다.

라. 건물구조물

건물구조물의 해체에는 기기·배관 등을 철거하고, 건물구조물의 표면을 제염한 후 실시하였다.

지상의 건물구조는 철근·콘크리트 블록이며, 이들의 해체에는 주로 철판나 불도저가 사용되었다.

건물지하, 트랜치, 핏트, 탱크기초 등의 철근콘크리트부분은 대형유압식 브리커 및 철판로 해체하고, 철근은 가스절단하여 쓰레기로 처분하였다.

남게 될 건물과의 격리절단에는 다이하몬드 톱니바퀴를 사용하였다.

지하구조물은 지표면에서 3피트까지 철거하고 분쇄하여, 부지의 재정지에 사용하였다.

4. 해체공사의 순서

원칙적으로 방사능으로 오염된 기기·배관 등을 해체·철거하고, 해체대상 건물·구조물을 제염하여 관리구역으로 해제한 후, 통상적인 해체공법으로 건물을 해체·철거하였다.

SSDP의 공정상 많은 시간이 소요된 원자로계통의 해체부분은 다음과 같다.

가. 해체철거의 준비

나. 원자로1차계 배관 및 부품의 해체철거

다. Reactor Pressure Vessel/ Neutron Shield Tank(RPV/NST)의 패키징

- (1) 원자로격납용기의 해체·철거
- (2) RPV내의 그라우트(grout) 채움
- (3) NST내의 중성자차폐수의 배수와 그라우트 채움

라. RPV/NST패키지의 반출

- (1) 원자로건물상부의 구조물 및 B/D 보일러건물의 해체·철거
- (2) B/D 보일러실의 재매몰
- (3) 리프트(lift)장치의 설치
- (4) RPV/NST패키지를 원자로건물에서 반출

마. 해체후 부지의 무구속해제

- (1) A/C 보일러건물 및 보조건물의 해체·철거
- (2) 원자로건물, A/C보일러건물, 보조건물의 재매몰
- (3) 최종 부지해제를 위한 제염, 방사선측정 및 DOE의 확인·승인

원자로입력용기의 일괄철거

1. 개요

SSDP에서는 해체하기 전에, RPV

의 철거에 있어서 일괄철거공법과 분할철거공법에 대하여 공기·비용·작업자의 피폭 등을 비교·검토하였다.

그 결과 전자쪽이 후자에 비하면 공기는 1년, 비용은 400만달러, 피폭은 1.5mmSv를 절감할 수 있다고 평가되어 일괄철거공법이 채용되었다.

따라서 RPV는 절단하지 않고 노내 구조물을 그대로 둔채 바깥쪽의 NST와 한 덩어리로 패키징하여 일괄철거하고, RPV/NST를 바지(barge)선으로 수상수송하여, 미국 서해안의 Hanford에 있는 DOE의 방사성폐기물처분장에 매설하였다.

2. 패키징작업

GE가 해체공사를 개시하였을 때는 이미 RPV의 연료집합체는 철거되어 있었고, 저준위로 임시덮개가 있는 상태였다.

패키징작업순서는 다음과 같다.

가. 임시덮개를 벗기고 연료플래까지 수위를 높여 연료집합체의 끝부분을 수납한 4개의 캐스크를 RPV내에 집어넣고, 작업후 수위를 본래의 위치까지 낮춘다.

나. RPV에 뒷덮개를 붙이고, RPV내의 물을 뺀다.

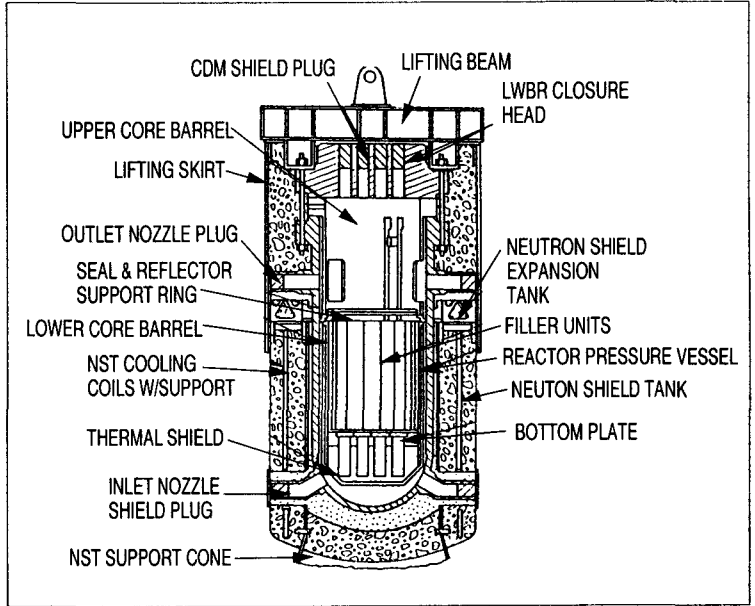
다. RPV내의 방사화물을 고정시키기 위하여 약 56yd³의 무수축 그라우트를 RPV내에 채운다.

라. NST의 물을 빼고, NST 및 NST와 RPV 사이에 그라우트를 약 140yd³ 채운다.

마. RPV/NST 패키지 상부에 들어 올릴 때 사용하는 리프팅빔과 스커트판을 붙인다.

바. 스커트판 안쪽에 그라우트를 채운다. RPV/NST 패키지의 크기는 지름 18피트, 1 길이 41 피트, 무게 약 1,000톤이며, 내장방사능은 약 16,000Ci이다. 패키지의 표면선량당량률은 표면적 90%는 0.1m·rem/h 이하이며, 허용표면선량당량률인 200m·rem/h 보다 훨씬 작은 값이다.

RPV/NST 패키지 집합체는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> RPV 패키지 집합체

3. RPV/NST의 끌어올림과 부지 내의 운반

RPV/NST 패키지를 끌어올려 육송용트레일러에 설치하는데 까지, 패키지무게를 지탱하기 위하여 원자로 핏트·콘크리트구조물 위에 리프팅장치를 설치하였다.

끌어올리는 데는 리프팅장치에 설치된 4대의 센터홀형유압잭(1대당 최대하중 600톤)이 사용되었다.

이 유압잭으로 패키지를 끌어올려 서쪽으로 수평이동시켰다.

수평이동은 철제리프트프레임 위의 런웨이가더에 부착된 잭피년방법을 사용하고, 구동은 2대의 유압모터를 사용했다.

패키지를 트레일러 위에 옆으로 눕히기 위하여 유압잭으로 패키지 꼭대

기를 조금씩 낮추는 동시에, 원치로 RPV하부의 베이스판을 남쪽으로 이동시켜 패키지를 트레일러에 적재하였다.

패키지가 완전히 시핑스키드 위에 설치된 후, 독자적으로 바퀴높이를 조절할 수 있는 320바퀴의 육송용트레일러로 부지의 남쪽에 있는 임시장소로 옮겼다.

그 후 RPV/NST패키지는 오하이오강 남쪽 강변에 건설된 바지선장에서 트레일러와 함께 바지선에 실었다.

4. 수상수송

바지선은 길이 61m, 폭 6m, 최대 적재중량 1,877톤, 선체가 물에 잠기

는 최대깊이는 3m이다.

Shippingport를 출발한 바지선은 오하이오강, 미시시피강을 남하하여 멕시코만, 파나마운하, 태평양을 지나 콜롬비아강을 북상하여 Hanford근처의 벤톤 항구까지 운반되고, 거기서 트레일러로 Hanford의 처분장까지 운송되었다.

전 여정은 약 13,100Km, 소요일수는 47일간이다.

제업

1. 제업계획

가. 제업방법

제업방법은 다음과 같은 사항을 고려하여 제업계획을 작성하였다.

- (1) 제염범위 · 장소 · 제염표면의 상태.
- (2) 간단하게 제염기기 · 자재를 조달할 수 있을 것.
- (3) 2차오염을 방지할 수 있을 것
- (4) 액체폐기물 및 유해폐기물의 발생이 적을 것.
- (4) 염으로 생긴 2차폐기물의 처분이 간단할 것.

나. 제염작업

제염작업은 다음과 같이 3단계로 나누고 있다.

(1) 스케줄작성

제염작업은 표면제염과 내부제염으로 나뉘어서 작성하였다.

표면제염의 범위와 방법은 오염이력과 부지구역의 방사선측정 결과를 토대로 작성하였다.

연료풀 등의 콘크리트제염에는 표면박리법이, 유리성 오염이 예상되는 장소나 유리성오염이 된 장소는 손작업(swip, wash, vacuum cleaner)에 의한 제염방법이 적용되었다.

유리성오염의 제염은 비교적 간단히 제염할 수 있기 때문에, 상주하고 있는 GE의 작업자가 맡고, 고착성오염이나 내부오염의 제염은 하청업자에 발주하여 실시하였다.

이것은 비교적 짧은 시간에 제염기 술자를 동원할 수 있다는 것과, 해체 기간중 많은 제염작업자를 대기시킬 필요가 없기 때문이다.

(2) 초기제염

이 제염목적은 △ 제염장소를 확보

하는 것, △ 백그라운드를 낮추어 해체폐기물의 방사선을 측정할 수 있을 것 △ 오염준위가 높은 방사성폐액탱크를 저준위방사성(Low Specific Activity : LSA)폐기물로 만들어 수송할 수 있도록 할 것 △ 이후의 제염작업을 위한 경험과 정보를 얻을 수 있을 것 등을 위해서 수행되었다.

(3) 최종적 제염

이 제염은 △ 1차계의 설비 · 기기 및 사용후수지탱크, 폐액처리탱크 등을 LAS폐기물로서 수송할 수 있도록 하는 것 △ 부지를 무구속으로 해제하는 것 등을 위해서 수행되었다.

부지의 무구속해제를 위한 제염은 오염기기의 철거 후에 실시되었다.

2. 표면제염

가. 콘크리트

콘크리트의 표면박리는 부지를 무구속해제하기 위하여 수행한 것으로서, 제염범위는 과거의 운전이력과 부지구역의 방사선측정 결과를 근거로 결정하였다.

적용기기는 주로 scabblar가 사용되고, 오염면적이 좁은 곳이나 hot spot 등에 대해서는 hand breaker, roto hammer가 사용되었다.

나. 금속표면

이것에는 주로 진공 blast가 사용되었고, 진공blast의 혼합재는 25~40 메쉬의 철분(chilled iron grit)을 사용하였다.

이 진공 blast의 제염작업효율은 1

시간당 약 3.2m²이다.

그외의 고착성오염의 제염에는 페인트 · 스트립퍼, 그라인더 등이 사용되고, 부유성오염에는 스메어법, 세척, 진공 클리어 등이 사용되었다.

3. 내부오염

내부오염에는 액체폐기물처리탱크, 1차계기기, 매설배관 등의 제염이 있다.

액체폐기물처리탱크 및 1차계기기의 제염은 LSA폐기물로 하기 위하여 실시되었다.

각각의 제염방법은 다음과 같다.

가. 액체폐기물처리탱크

사용후수지나 슬러지를 꺼낸 후, 물젼트로 제염하였다.

탱크 내부 전체를 제염한 후, hot spot가 있는 경우에는 작업자가 탱크속으로 들어가서 제염하였다.

나. 1차계기기

가압기, 플래시탱크 등의 제염은 이들 기기를 LSA 폐기물로서 수송기준에 맞도록 하기 위한 것으로서, 탱크의 제염과 같은 물젼트를 사용하였다.

다. 매설배관

부지를 무구속해제하기 위한 것으로서, 콘크리트내부 배설배관을 대상으로 물젼트 및 특별히 개발한 밀링기계를 사용하였다.

이 두가지 방법으로 매설배관을 효율적으로 부지의 무구속해제기준치 이하로 제염할 수 있었다.

매설배관의 선량당량률은 배관내의 여러 곳에 TLD를 수시간 삽입하여 평가하였다.

폐기물 관리

해체로 생기는 모든 폐기물을 안전하고 경제적으로 처리처분할 수 있는 방법을 정하고 실시하는 것이 본업무의 기본방침이다.

따라서 해체로 발생하는 각종 폐기물의 분류, 절단, 패키징, 일시보관, 반출 등을 적절히 수행하기 위하여 폐기물취급절차, 반출시의 방사선측정 지침, 수송기준 등을 정하는 동시에, 이들 업무에 관여하는 담당자의 책임과 역할을 명확히 규정하여, 원활하게 폐기물처리를 수행할 수 있도록 체제를 정리하였다.

SSDP에서 생긴 폐기물중, Reg. Guide 1.86의 규정치인 백그라운드를 뺀 값이 5,000dpm(fr)/100cm² (유리성오염에 대해서는 1,000 dpm(fr)/100cm²)을 초과하는 방사능을 갖는 것은 모두 방사성폐기물로 취급하였다.

방사성폐기물은 모두 Hanford 방사성폐기물처리분장으로 운반하고 매설 처분하였다.

또 고준위방사성폐기물은 운전종료 후에 모두 철거되어 있었기 때문에, 해체로 생긴 방사성폐기물은 모두 LSA폐기물로 취급할 수 있었다.

주요 해체폐기물의 처리·처분방법

은 다음과 같다.

1. RPV/NST 패키지

RPV내에 노내구조물, 연료집합체의 끝부분 및 방사화된 부품을 넣은 뒤, RPV와 NST내에 그라우트를 주입하여 RPV/NST 패키징하여 한덩어리로 Hanford처리장에 매설처분하였다.

2. 1차계 주요기기

증기발생기, 가압기, 프래시탱크, blow-off 탱크 등의 기기는, 일괄철거하여 수송기준에 맞도록 제염한 후, 밀폐처리하여 매설처분하였다.

이것은 전용열차로 Hanford에 운반하였다.

3. 아스베스토스

SAPS의 단열재의 90% 이상은 아스베스토스이다.

관리구역내의 아스베스토스는 철거 후, 이중폴리에틸렌 포대에 담고 목재상자에 넣어 Hanford처리장에 매설하였다.

비관리구역의 아스베스토스는 유해 폐기물로 취급하여 공적으로 인정된

처리장에 폐기하였다.

4. 기타 방사성 고체폐기물

일괄철거의 주요기기를 제외한 1차계기기·배관 등의 금속류, 표면제염으로 생긴 콘크리트, 오염토양 등은 각종 LSA상자에 넣어서 트럭으로 Hanford 처리장에 수송하였다.

5. 비방사성 고체폐기물

방사선을 측정하여 기준치 이하로 판정된 chamber steel, 철근 등의 금속류, 콘크리트구조물 해체에 생긴 콘크리트덩어리 등이다.

금속류는 지역업자에게 고철로 매각하고, 콘크리트덩어리는 건물해체 후의 재매물에 사용하였다.

6. 방사성 액체폐기물

해체기간중에 생긴 저준위방사성폐액은 액체폐기물처리계에서 처리한 후, 희석시켜 오하이오강에 방출하였다.

고준위방사성폐액, 슬러지 등은 드럼통에 시멘트 고화하여 Hanford처리장으로 수송하였다.

약 16,600Ci의 방사능을 갖는 4,300톤의 방사성고체폐기물이 트럭,

(표 2) Hanford에 수송한 폐기물량

	Units	K(ft ³)	M(#)	Tons	Ci
Trucks	200	192	6.6	3000	116
Railcars	8	12	1.0	456	24
Barge	1	10	1.8	817	16,470
Totals	209	214	9.4	4273	16,610

Non-Radioactive Releasable Scrap=400Tons

화물열차 및 바지선에 의하여 Hanford처리장으로 운반되었다.

Hanford에 수송된 폐기물량은 <표 2>와 같다.

방사선관리

1. 방사선관리구역

SSDP의 관리구역은 방사선관리구역과 표면오염관리구역으로 나누고 있다.

방사선관리구역은 1m·rem/h 이상의 선량당량률인 구역이며, 100m·rem/h 이상의 구역에 대해서는 고방사선구역으로서 항상 시건관리하였다.

관리구역과 비관리구역의 경계에는 울짚이 설치되고, 퇴역시에는 frisker (GM계수관)로 검사하였다.

450pCi/100cm² 이상으로 표면오염된 구역은 표면오염관리구역으로 지정하였다.

또 공기오염에 대해서는 1×10⁻³ pCi/ml 이상의 오염장소에 들어갈 때는 가스마스크를 착용토록 하였다.

2. 방사선피폭관리

방사선작업종사자는 방사선작업종사자교육을 받고 시험에 합격하고 건강진단을 받은 후, 방사선작업종사자로 인정하였다.

이들의 자격검사는 1년마다 실시되었다.

관리구역으로의 출입시에는 포켓선

량계와 TLD(열형광선량계)를 착용해야 한다.

또 표면오염관리구역에서는 방사능 오염방호복을 입어야 한다.

착용기준은 오염준위에 따라 고무장갑, 덧신 등의 부분적인 용구(450pCi/100cm² 미만), 용구일체(450pCi/100cm² 이상, 1,000pCi/100cm² 미만), 2중용구(1,000pCi/100cm² 이상)의 3단계로 구분되고 있다.

또 TLD는 3개월마다 체크하고, 1년에 한번씩 전신방사선측정장치(whole body counter)로 체내피폭을 검사하였다.

3. 환경오염관리

기체폐기물에 대해서는 HEPA 필터를 통과한 후의 샘플링, 즉 부지의 각 4개소에 설치한 공기샘플러로 1주일에 한번씩 공기중의 방사선물질의 농도를 측정하여, 그 방사능농도가 펜실베니아주 및 DOE의 방출방사능농도기준을 만족시키고 있음을 확인하였다.

부지경계의 선량당량률측정은 TLD를 부지경계의 울타리에 설치하여, 4분기마다 측정하였다.

그 선량당량률은 항상 10m·rem/3개월 이하이며, 제한치인 500m·rem/년 보다 훨씬 낮은 값이다.

방사성 액체폐기물에 대해서는 배수시 이외에도 4분기마다 오하이오강의 배수구에서 샘플링하여 방사성물

질의 농도를 측정하는 동시에, 강바닥의 침전물에 대해서도 1년에 한번씩 샘플링하였다.

SAPS에서 방출된 폐액농도는 DOE의 제한치보다 훨씬 낮았다.

부지해제

부지를 무구속으로 해제하기 위하여, 부지의 용도에 관계 없이, 일반주민에 대한 피폭선량을 100m·rem/년 이하로 한다는 것과 ALARA정신에 따라 피폭저감을 꾀한다는 DOE의 지침을 토대로, DOE는 그 시나리오로서, 앞으로 예상되는 부지사용상황을 상정하여 부지무구속해제의 실시계획을 작성하였다.

1. 시나리오의 상정

DOE는 장래의 부지 재사용에 대하여, 아래와 같은 4가지의 시나리오를 상정하여 허용방사능기준치를 정하였다.

가. 거주화시나리오

장차 부지에 사람이 살며, 부지내의 우물물을 마시고 생활에 사용하며, 대부분의 식물은 부지내에서 자급한다는 상황을 상정

나. 사무소화시나리오

부지에 매몰된 지하의 콘크리트구조물을 사무소로 재이용한다는 것을 상정.

다. 노출슬래브시나리오

콘크리트구조물이 어떤 이유로 노

출되어, 옛 부지를 방문할 사람이 계속적으로 피폭되는 상황을 상정.

라. 기념품시나리오

옛 부지에서 콘크리트덩어리를 파내어 자택으로 가지고 가서 기념품으로 사용하는 것을 상정.

어느 시나리오에도 해당되지 않는 콘크리트부재는 흙으로 간주하고, 그의 일반주민에 대한 피폭의 정도는 거주화시나리오를 통해서 평가하였다.

2. 허용방사능기준치

부지사용의 4개 시나리오를 고려하여 일반주민에 대한 선량을 100m·rem/년의 부지해체기준을 만족하도록, 각 지하콘크리트구조물체 및 토양에 대한 허용기준치를 아래와 같이 설정하였다.

가. 토양

(지하 3m까지) 방사능농도 평균 6pCi/g(Co160환산), 최대 60pCi/g 이하.

나. 토양

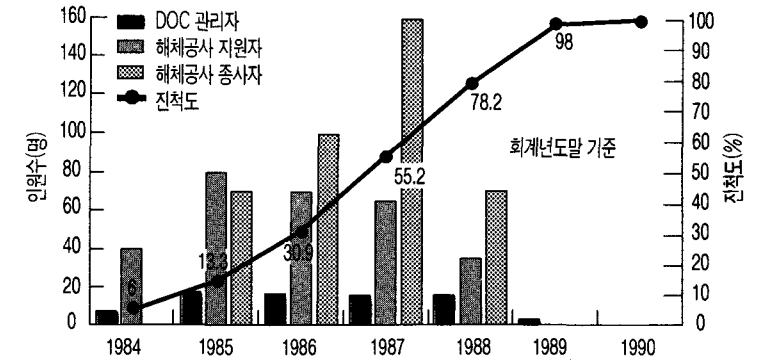
(지하 3m 이상) 방사능농도 평균 100pCi-g, 최대 1,000pCi/g 이하.

다. 지하콘크리트구조체

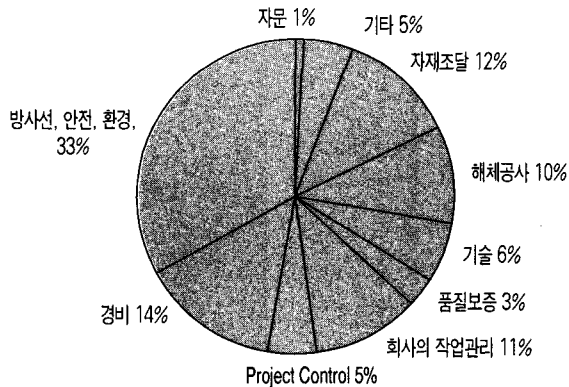
(지하 3m까지, 일면 3m, 밀면적 100m²이상, 사무화 시나리오에 대응)

표면선량 평균 0.05mR/h at 1m, 최대 0.5mR/h at 1m, 평균 0.2mR/h at contact, 최대 1.0mR/h at contact 이하

라. 지하콘크리트구조체



〈그림 4〉 투입인력과 공사진척률



〈그림 5〉 해체공사지원자의 내역

(지하 3m까지, 일면 1m, 밀면적 2m² 이상, 노출 슬래브시나리오에 대응)

표면선량 평균 0.6mR/h at 0.5m, 최대 6mR/h at 0.5m 이하

마. 콘크리트덩어리

(지하 3m까지, 50kg이하, 기념품 시나리오에 대응)

표면선량 최대 2mR/h at contact 이하.

부지해체의 실시절차는 DOE가 부지를 제염하고 방사선을 측정 한 후,

Independent Verification Contractor(IVC)라는 독립된 조직에 의하여 최종확인을 위한 방사선측정이 실시되었다.

작업관리자료

SSDP에서 얻은 정보는 장래의 원자력 시설폐지를 위하여 도움을 주게 한다는 것이, 이 프로젝트의 중요한 사명의 하나이기 때문에, 많은 자료가 수집·보존되어 있다.

본문에서는 해체공수, 작업자피폭 및 해체비용에 대하여 소개한다.

1. 해체공수

〈그림 4〉는 해체공수를 용역계약자의 관리자(DOC Management) 해체공사지원자(Decommissioning Support) 및 해체공사종사자(Decommissioning)의 3가지 직종으로 구분하여, 해체공사의 진척률과 함께 나타낸 것이다.

공사의 최성기인 1985년에서 1987년까지는, 매일 170~240명의 작업자가 투입되었다.

공사전체를 보면, 일반건축물의 해체와 비교해서 해체공사종사자에 대한 해체지원자의 비율이 높다.

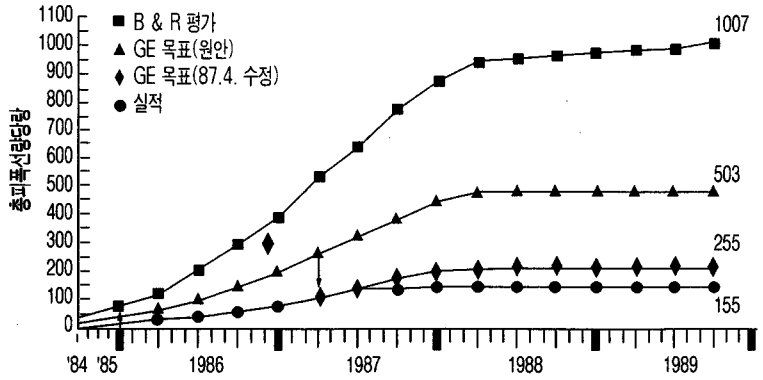
최성기에는 항상 70~80명의 해체공사지원자가 해체공사를 지원하고 있었다.

해체공사지원자의 내역은 〈그림 5〉와 같이 안전, 환경평가, 방사선관리 등을 포함한 업무를 담당하고 있는 HS&E(Health, Safety and Environment)가 33%로 제일 많고, 경비 14%, 자재조달 12%로 되어 있다.

2. 작업종사자 피폭

작업종사자의 총피폭선량당량은 해체개시전에 Buns & Roe사(Engineering회사)에 의하여 100man-rem으로 어림되었다.

그후, GE는 목표치를 503man-



〈그림 6〉 예상 및 실제 피폭선량당량의 비교도

〈표 3〉 SSDP의 해체비용

(단위: 백만원)

1단계 엔지니어링	계 획	실 적
A/E=BRISC	4,669	4,669
TSC=UNC	1,397	1,397
1단계 합계	6,066	6,066
2단계 해체업무		
TSC=WHC/UNC	8,330	5,560
Duquesne Light Company(DLC)	1,000	1,000
DOC=GE/MK-F		
-관리	6,348	5,975
-운영/지원	25,535	27,895
-해체	35,016	36,373
-Fee	5,225	6,153
기타	0	2,925
예비비	10,780	6,353
2단계 합계	92,234	92,234
전체 합계	98,300	98,300

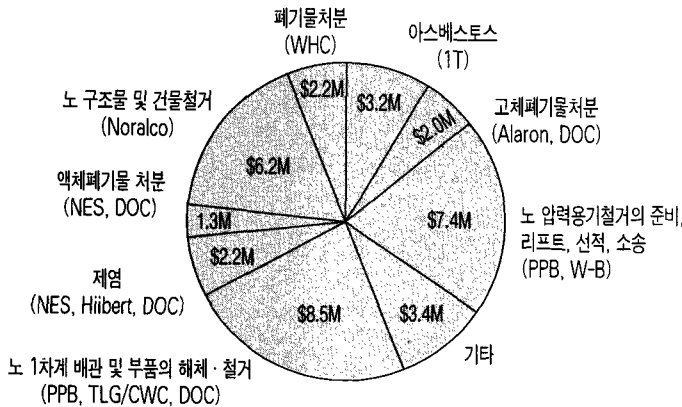
* Indicates Total Project Underrun
A/E=Architect Engineer(설계용역)
TSC=Technical Support Contractor(기술지원용역업자)
DOC=Decommissioning Operations Contractor(폐로 주용역계약자)
(Ref. Completion of the Shippingport Reactor Decommissioning)

rem으로 설정하여 공사를 시작하였지만, 공사의 진척에 따라 목표치를 225man-rem으로 수정하였다.

최종적인 실제의 총선량당량은 155man-rem으로 되어, 최초 어림량의 약 15%였다.

〈그림 6〉은 예상피폭선량당량과 실제피폭선량당량의 비교를 나타내고 있다.

이와 같이 피폭선량당량을 줄일 수 있었던 것은 GE가 모든 작업항목에 대하여 작업계획을 재평가하여, 작업



〈그림 7〉 해체작업별 비용

방법 등을 개선하였기 때문이다.

방사선피폭이 많은 작업은 폐기물 관리 및 제염(44man-rem), 기기·배관철거(38man-rem), 아스베스토스의 철거(22man-rem) 등이다.

3. 해체비용

프로젝트의 총비용은 어렵단계에서는 98.3백만달러로 잡고 있었지만, 실제의 해체비용은 그것 보다 7백만 달러 적은 91.3백만달러로 실시할 수 있었다.

이것은 Hanford 방사성폐기물처분장의 매설처분비가 인상되기 전에 주요기기를 예정보다 빨리 수송하였고, 것, 해체공법이나 순서를 수정하여 실시하는 등 세심한 노력의 축적에 있었던 것이다.

〈표 3〉은 해체비용의 내역을 나타내고 있다.

해체에 있어서 현재의 기술을 이용하였기 때문에, 해체기술개발비용은

되지 않았다.

〈표 3〉에서 알 수 있는 것과 같이, 실제의 해체공사비에 대하여, 주용역 계약자에 대한 기술적지원, 프로젝트 관리, 안전성평가 등의 기술적인 검토로 해체공사를 지원하기 위한 비용의 비율이 높다.

이것은 Shippingport의 해체는 대형 원자력발전소로서 처음 일이며, 다량의 방사능이 있고, 선량당량률이 높은 구조물을 안전하고 경제적으로 해체하기 위해서 충분한 검토와 공사관리를 하였기 때문이다.

해체작업별의 비용은 〈그림 7〉과 같다.

단열재로서 사용된 아스베스토스의 철거에는 전면마스크를 착용하는 등 엄격한 작업관리하에서 실시되었기 때문에, 많은 비용을 차지하고 있다.

RPV의 일괄철거비는 노내구조물

및 RPV를 담기 위한 폐기물 수납용기, RPV를 절단하기 위한 비용 등은 필요하지 않았다.

맺음말

SAPS의 해체공사는 최초의 대형 원자력발전소의 해체라는 점에서 세계의 주목을 받으면서 1985년 9월에 개시하여 46개월 동안 공사가 순조롭게 진척되어 1989년 7월에 완료하였다.

SAPS의 해체에 있어서, 원자로 압력용기의 일괄철거방식은 분할철거방식보다도 비용, 공기, 작업피폭 등의 면에서 이점이 있다고 보고 이 방식이 선택되었지만, 실제로 이 프로젝트의 수행을 통해서, 이에 대한 유효성이 확인되었다.

이 프로젝트의 방침의 하나로서 기존기술을 사용하여 해체한다는 것들을 들 수 있는데, SSDP의 완료에 따라 특별한 기술을 개발하지 않고, 기존기술만으로 원자력발전소를 해체할 수 있다는 것이 실증되었다.

또한 원자력발전소의 해체부지를 민간에게 무구속해제한 것은 첫 사례이며, 이를 위한 부지해제기준의 작성은 이 프로젝트의 또 하나의 성과라 할 수 있다.

앞으로 원자력시설을 해체할 때는, 이 SSDP에서 얻은 지식이나 자료와 함께 부지해제의 개념이, 많은 참고로 될 것이다. ☞