

日本原研 原子爐 解體技術 開發

= JPDR의 解體計劃 =

1. 解體作業이란?

原子爐의 解體는 일반건축구조물의 해체와 비교하면 시설내에 다량의 放射能이 존재한다는 점에서 대상이 명백하게 다르므로 이것을 安全하게 좋은 效率로 해체할 필요가 있다. 따라서 해체계획을 작성할때는 原子爐施設內에 방사능이 어느 정도 존재하며 어떻게 분포하고 있는가를 파악하는 것이 가장 중요하다.

施設內를 방사성폐기물로 취급할 필요가 없는 것, 즉 비방사화영역과 방사성폐기물이 존재하는 방사화영역으로 구분하고 필요에 따라 後者를 低레벨, 中레벨, 高레벨영역으로 구분한다. 原子爐의 해체를 다른 말로 표현하면 施設을 비방사성과 방사성의 폐기물로 나누는 것, 다시 필요에 따라 방사성폐기물을 앞에서의 레벨구분의 범위로 분류해서 處理保管作業을 행하는 것이다. 다만, 放射性和 非放射性的의 구분치는 미결정이며 日本原子力安全委員會의 방사성폐기물안전규제전문위원회에서 검토를 계속하고 있다.

日本原研의 動力試驗爐(JPDR) 해체철거개념을 그림1에 표시했다. 방사능이 존재하는 부분을 차례로 爐內構造物에서 시작해서 그다음 壓

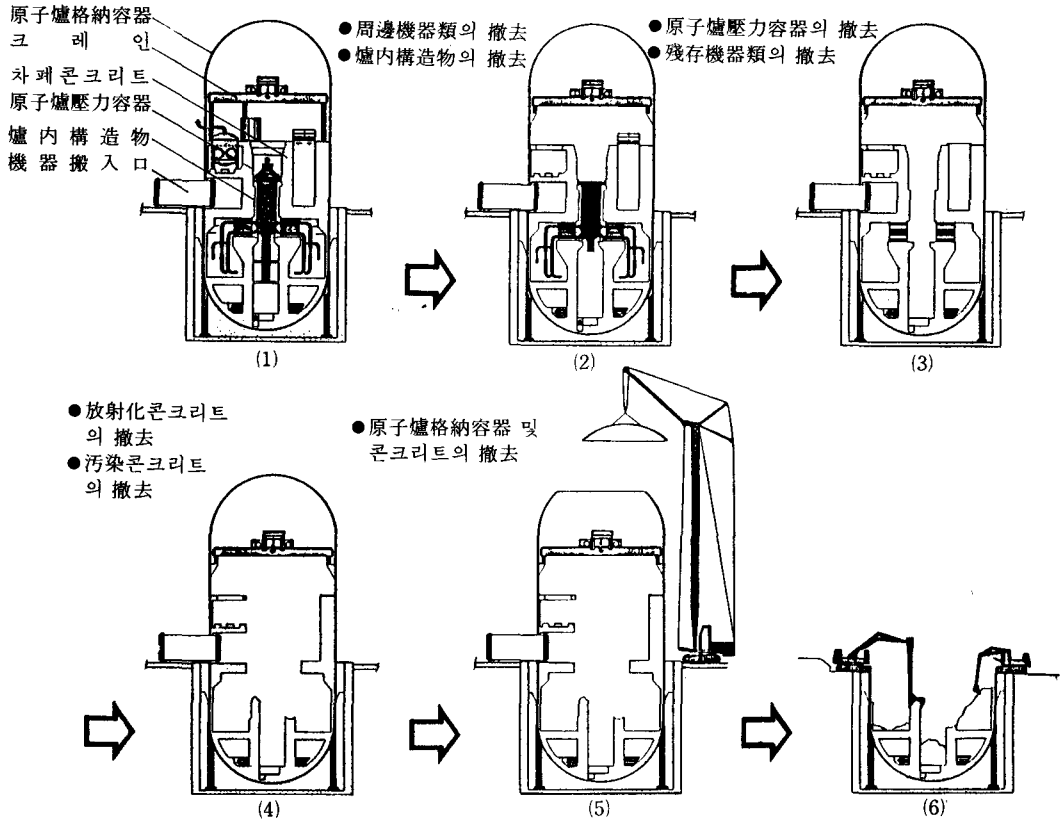
力容器를 절단철거하고 다시 차폐콘크리트의 방사화부분을 剝離撤去하게 될 것이다. 그후 콘크리트表面의 除染과 埋込配管의 방사능존재부 철거를 끝낸 시점에서 전체 방사선 서베이를 행하여 확인한 후 관리구역을 해체한다. 그 후에는 格納容器의 밀폐성이 요구되지 않으며, 頂部부터 차례로 격납용기를 해체하여 지하의 기초부까지 철거한다.

그림2는 西獨이 검토한 解體廢棄物의 구성비율이다. 90%는 비방사성이며 나머지 10%중 4%는 제염작업에 의해 非放射性으로 하는 것이 가능하다고 보고 있다. 따라서 나머지 6%가 방사성폐기물로 처리·처분되어 보관되게 된다. 原子爐의 해체는 앞에서와 언급한 바와 같이 방사성폐기물의 분류작업이다. 가능한한 정확히 그림2의 右下의 작은 사각의 경계선에 따라 절단분류하는 것이 바람직하다.

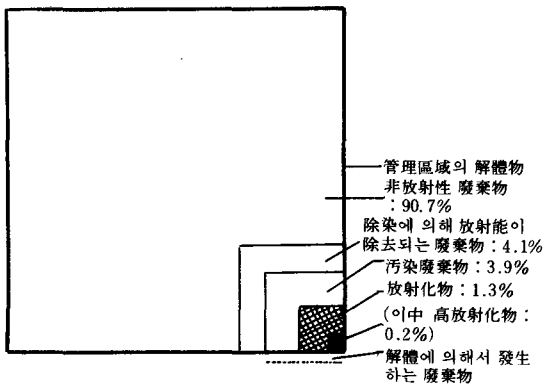
2. 原子爐解體技術開發의 目標

日本科學技術廳은 1981년도를 초년도로 해서 日本原研에 원자로해체기술개발을 위탁하여 현재 5년제에 접어들고 있다. 그 내용은 廢爐對策專門部會報告(1982년 3월16일) 및 原子力開

〈그림 1〉 JPDR의 解體撤去概念



〈그림 2〉 原子力發電所解體廢棄物의 構成比率



發利用長期計劃(1982년 6월30일)에 세워진 방침에 따라 계획되었으며 예산은 日本 電源開發 特別會計多樣化勸定에 의해 실시되어 왔다. 期間은 거의 10년을 예정하고 제1단계의 前半인 약5년은 JPDR해체실제시험이라고 하여 전반에

서의 개발성과를 이용해서 日原研의 JPDR을 試驗的으로 해체해서 기술의 실증을 도모할 계획이다. 금세기 말에는 필요하리라고 예상되는 대형 상업용 발전로의 해체를 염두에 두고, 개발되는 기술은 大型爐로의 연장적용이 가능한 내용을 계획했다.

개발 주제는 日原研에서 8개항목으로 하여 기술개발을 추진해왔다. JPDR의 主要仕樣을 表 1에 나타내었다. 기술개발에서의 착안점은 다음 두가지 점에 목표가 집중된다.

(1) 放射性廢棄物의 低減

그림2에서 右下의 작은 4角部 切斷分類의 精度가 저하되면 불필요하게 방사성폐기물량이 증대 또는 방사화 레벨구분에서 上位랭크에 혼입되는 量이 증대하여 결과적으로 코스트가 증대한다.

(表 1) JPDR의 主要諸元

原子爐型式	沸騰水型(BWR型)
原子爐熱出力	90,000kW(當初45,000kW)
電氣出力	12,500kW
爐心사이즈	直徑 127cm 높이 147cm
平均熱中性子束	$3.8 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
核燃料	種類 2.6%濃縮 2酸化우라늄 裝荷量 約4.2톤(UO ₂)(72核燃料體)
原子爐壓力容器	
材質	炭素鋼製(內面: 스텐레스鋼內張)
主要사이즈	높이 約8m 直徑 約2m 胴두께 約73mm
遮蔽壁	鐵筋콘크리트(普通콘크리트)構造 두께 約1.5~3m
原子爐格納容器	鋼製円筒型容器 全體높이約38m(地上部約24m)直徑約15m

(2) 解體作業從事者の 被曝低減

개발시험단계에서 안전평가의 기초데이터를 정비한다. 예를 들면 切斷工法の 시험에 있어서 副次生成物(가스, 불꽃, 粉末飛散物, 슬러지 등)의 性質을 파악해두면 절단대상이 cold(방사능이 없는 것)에서 hot(방사능이 있는 것)으로 변했을 경우의 각종안전평가가 순서에 따라 가능하게 된다. 또, 作業對象物의 表面線量率이 높을때는 필요에 따라 원격작업을 계획해야 한다. 그밖에 예상되는 피폭의 主要原因이 1차냉각계통 내면의 오염인 경우는 이들의 오염을 제거한다.

3. 第1段階 進行狀況

日本原子力研究所에서는 다음 8개 항목에 대해 개발을 추진하고 있다.

- ① 解體시스템엔지니어링
- ② 放射能 인벤토리 評價技術
- ③ 配管系統內部 放射能汚染 非破壞測定技術
- ④ 解體工法·解體機器
- ⑤ 解體關聯除染技術
- ⑥ 解體廢棄物의 處理, 保管 및 處分技術
- ⑦ 解體에 관한 放射線管理技術

⑧ 解體遠隔操作技術

(1) 解體시스템엔지니어링

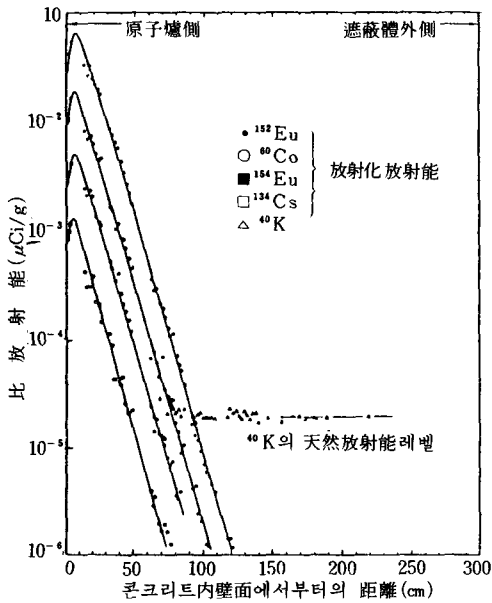
原子爐設施의 해체철거를 체계적으로 立案, 實施, 評價하는 것을 목표로 방법을 개발한다. WBS 네트워크방법을 사용해서 小型發電爐 解體시스템모델을 작성하여 방사선피폭량, 코스트 등의 계산이 가능해졌다. 이 시스템은 基本解體시나리오와 몇종류의 變型시나리오의 평가도 시도하고 있다. 앞으로는 평가결과的 精度를 향상시키는 것을 목표로 평가시스템의 개량과 데이터베이스의 정비를 추진한다. 또 최종적으로는 實用爐의 해체평가에도 적용이 가능하다고 기대되므로 同 시스템과 데이터베이스의 정비에도 착수한다.

(2) 放射能인벤토리 評價技術

原子爐의 해체는 방사성폐기물의 분류처리작업이라고 할 수 있는데, 그 계획작성에서는 대상 방사성폐기물의 「放射能」과 그 「分布」가 가장 기본적인 데이터이다.

放射能에는 두종류가 있다. 하나는 爐內의 核燃料에서 튀어나오는 中性子를 흡수하는 범위에 있는 재료의 放射化로서 爐內 構造物이나 壓力容器 등의 鋼材와 그 둘레의 차폐콘크리트가 대상이다. 강재 및 콘크리트속에 미량으로 존재하는 불순물인 코발트, 니켈, 니오브, 세슘, 유로퓸 등에 대한 中性子照射에 의한 방사화량의 추정이 필요한데, 주로 계산에 의해 평가한다. 두번째 인벤토리는 「放射能汚染」이라고 하여 주로 1차냉각 계통의 내면에 부착되어 있는 방사능이다. 1차냉각수속에 용해되어 있는 이온형태의 불순물은 핵연료주변을 통과할 때 中性子照射에 의해 방사화한다. 放射化된 이온은 여러 곳에서 주위의 조건에 지배되면서 內面に 析出하여 방사능오염이 된다. 放射能汚染量의 평가는 주로 측정 데이터에 의하는 방법으로서 계산에만 의존하는 것은 곤란하다. 放射化計算은 두종류의 코드를 개량개발중이

(그림 3) 生體遮蔽콘크리트의 放射能分布



다. 한편 壓力容器나 콘크리트에서 샘플을 채취하여 實測해서 코드에 의한 계산결과와 비교하면서 코드를 개량했다.

그림3은 JPDR 차폐콘크리트부의 방사화상화를 나타낸 것이다. 코발트, 유퀴뮴(2종), 세슘 등 네종류의 핵種이 분포하고 있으나 모두 같은 勾配이며 25cm内测으로 들어감에 따라 한자리 상승하고 있다. 이 그림에는 칼륨의 천연방사능 값도 나타내었다(약 2×10^{-5} 마이크로 퀴리/그램). 이에 따라 천연방사능이상의 범위는 콘크리트 두께 1미터이내의 범위에 한정된다고 할 수 있다. 또 運轉期間이 한자리 길어져서 10배가 되더라도 각각의 핵종에 대한 곡선은 25센치 이동함에 불과하다.

(3) 配管内汚染 非破壞測定技術

配관을 해체하기 위해 절단하던가, 그전에 오염을 제거하고 절단하는 경우 모두 사전에 汚染狀況을 측정할 필요가 있다. 汚染이 內面에 부착된 배관을 모의해서 管의 외부에서 부터 측정했는데, 오차가 10%이하의 우수한 결과가 얻어졌다.

이 裝置는 가스냉각형 게르마늄검출기로서 종래는 액체질소에 의해 냉각되고 있었기 때문에 장치가 대단히 대형이었다. 이것을 고압질소의 切斷膨脹에 의한 냉각방식으로 바꾸어서 소형화하는데 성공했다. 原子爐解體前뿐만 아니라 사용중인 원자로의 정기검사시에도 활동가능이 예상되어 작업종사자의 피폭저감대책 입안시에 큰 기여가 기대된다.

(4) 解體工法·解體機器

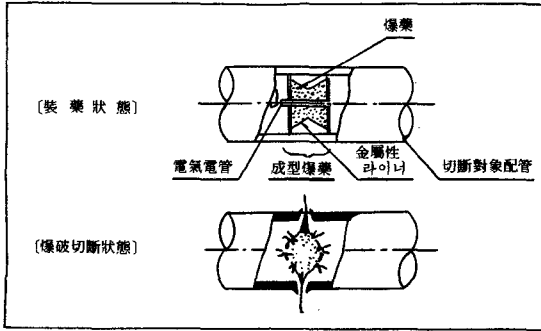
절달해체의 대상은 鋼構造物과 콘크리트구조물의 두가지로 대별된다. 鋼構造物은 爐內構造物(주로 스텐레스), 원자로 압력용기(炭素鋼母材에 스텐레스 라이닝) 및 이와 연결된 배관(스텐레스 등)이 대표적인 절단 대상물이다. 콘크리트는 원자로주변의 차폐체가 주대상으로서 굵은 직경의 철근이 사용되고 있으며, 그림3에서와 같은 放射化分布를 前提로 이들을 계획절단선(또는 面)에 따라서 좋은 精度로 분리할 수 있는 것이 요망된다.

鋼構造物에서는 대상마다 主工法을 정해서 개발을 추진해왔다. 爐內構造物에서는 plasma arc torch를 채택하기로 하고 아르곤과 수소의 혼합가스를 作動氣體로 선택하여 1,000암페어의 전류값으로 130밀리미터 두께의 스텐레스를 水中切斷하는 試驗을 끝마침으로서 대형 경수로의 로내구조물 절단이 가능해졌다.

原子爐壓力容器的 切斷에는 arc saw를 개발하고 있다. 製材工場の 회전톱과 같은 개념으로 切斷對象金屬을 接地시키고 円板側에 플라스 전압을 준다. 円板은 두께12밀리미터, 직경 900밀리미터의 炭素鋼材로서 바깥쪽과 절삭대상 사이에 발생하는 아크로서 용융절단한다. 원판직경의 30%까지는 두께는 절단이 가능하다고 하는데 최대 200밀리미터두께까지 시험을 끝마쳤다고 한다.

압력용기와 연결된 배관의 절단은 관 밖에서의 절단이 곤란하다고 예상되어 內面에 디스크

〈그림 4〉 成型爆藥에 의한 配管切斷概念



커터 또는 成型爆藥을 裝入하는 절단공법을 개발중이다. 디스크 커터로 12인치의 管을 절단하는 시험을 끝마쳤다. 그림4는 성형폭약에 의한 배관절단의 설명그림이다. 사용장소는 한정되겠지만 물속에서의 절단 등과 같이 非散物의 억제효과가 있는 곳에 특히 활용이 크다.

콘크리트 構造物의 절단해체에 제어폭파법, 기계식 커터, 물체제 절단법이 대표적이다. 폭파에 의한 해체는 큰 속도로 광범위한 제거가 가능한데 목적범위 밖으로의 크랙傳播防止 등을 위해서 기계적인 예비가공이나 시간차 폭파의 도입에 의해 좋은 결과를 얻고 있다.

道路工事나 빌딩해체에 사용되는 콘크리트 커터의 활용도 가능하다. 코어보링기는 직경 10센치미터 전후의 鋼材円筒 선단부에 다이아몬드粒자를 부착시킨 것인데, 회전시키면서 콘크리트에 구멍을 뚫는다. 인접해서 연속적으로 구멍을 뚫으면 임의형상으로 절단이 가능하다. 같은 기계적절단법에 속하는 것에 콘크리트 커터가 있다. 鋼製円筒의 先端部에 다이아몬드粒자를 부착시켜 회전톱과 마찬가지로 콘크리트 절단이 행해진다. 코어보링機와 커터機를 조합시켜서 차폐콘크리트 모의시험체의 절단시험을 행하였다.

(1) 所要切斷能力의 確認: 예를 들면 원자로압력용기를 대상으로 하는 공법에서는 소요 두께200밀리미터이상의 鋼材가 절단가능할 것. 동시에 현실적인 효율, 속도로 실시가능하며 소

모품의 교환이 빈번하지 않을 것.

(2) 計劃線에 따른 切斷의 精度가 충분할 것. 불충분할 경우 廢棄物의 레벨에 의한 구분과 관련하여 불필요하게 폐기물의 量이 증대된다.

(3) 安全平價에 의한 기초데이터를 수집한다. 工法에 의해서 가스, 미립자, 슬러지 등이 발생하는 작업이 hot의 환경에서 행해졌을 경우를 추정할 수 있는 데이터를 정비한다. 동시에 安全防護對策을 검토해서 작업종업자 및 公衆의 안전확보에 대비한다.

(5) 解體關聯 除染技術

放射性汚染을 씻어내는 작업에 의해 제거하는 것들을 除染이라고 한다. 제염에는 해체전 제염과 해체후 제염 두단계가 있다. 절단해체작업 담당자의 피폭저감을 도모하기 위해 오염상황의 測定値가 어느 값 이상인 장소에서는 절단전에 제염작업이 행해진다. 이 해체전 제염작업에 대해 해체후 제염은 절단후 부품의 세척으로서 목표는 방사성오염을 실질적으로 제로로 해서 일반 산업폐기물로 하는 것인데, 이 경우에는 재료의 再利用이 가능하다.

해체전제염에 적용하는 계획으로 化學藥品에 의한 제염외에 流動研磨除染法이나 酸化環元電位除染法의 개발도 추진하고 있다. 오염물의 組成이 배관재료에 비해서 특히 크롬이 많을 경우 酸化前處理프로세스를 부가시킴으로서 200이상의 큰 除染率을 얻을 수 있다.

해체후 제염에서는 電解除染法을 主技術로 취급해서 JPDR의 밸브 등을 떼어내어서 適用性試驗을 하였다. 단순형상물에 대해서는 충분한 시간을 소비함으로써 所期의 목적을 완전달성할 수 있었으므로 앞으로는 복잡한 형상물에 대한 적용성을 확인한다.

建物콘크리트는 바닥면 및 측벽하부표면의 오염을 주목해서 필요부의 제염을 실시해야 할 것이다. 이를 위해 마이크로波照射法을 실시하였는데, 表面에서 數밀리의 破碎剝離能力이 확인

되었으며, 더스트의 회수나 입자비산방지책 등의 전망이 얻어지고 있다.

(6) 解體廢棄物의 處理, 保管 및 處分技術

金屬類 解體物의 감용처리기술로 압축절단 및 고압축처리법(약2,000kg/cm²까지)의 유효성이 확인되었다. 이로 인해 파이프나 機器類를 일괄해서 原容積의 3분의 1까지 압축할 수 있을 것으로 예상되고 있다. 表面汚染固定處理에서는 해체한 콘크리트표면에서 부터의 더스트 비산을 억제하는데 塗布劑의 사용이 유효하다고 지목된다. 한종류 또는 두종류의 도포방식에 의해 定着의 전망을 얻었으므로 앞으로는 현장작업용 도포장치의 試作實証을 계획하고 있다.

(7) 解體에 관한 放射線管理技術

높은 放射線量率을 측정하는 장치는 공중에서의 측정외에 물속에서도 많이 이용된다고 생각되어 두가지 방식을 개발했다. 이들로 인해 爐內構造物 등의 高表面線量率을 측정할 수 있게 되었다. 搬出物品自動汚染檢査裝置를 試作試驗하여 기초데이터를 얻고 있는 단계이나, 이것으로 현장에서 반출되는 작업용기재 대부분의 오염검사가 가능하다.

(8) 解體遠隔操作技術

높은 선량하에서의 해체작업 등에 활용할 수 있는 원격조작시스템의 개발을 목표로 輕作業로봇裝置(취급중량 약10킬로그램)와 重作業로봇裝置(100킬로그램)의 開發試驗을 추진하고 있다. 兩者 모두 수중작업을 전제로 하고 있으며, 앞으로는 綜合作業로봇으로 완성시킬 계획이다. 해체실제시험에서는 爐內構造物의 절단해체에 있어서 압력용기내에서의 수중작업을 전제로 플라즈마 아크토오치를 매니플레이터로 조작하는 작업에 적용한다. 이를 위해 제어기술이나 센서技術 등 기본기술의 개발에 착수하여 輕作業 및 重作業로봇의 시험을 추진하면서 동시에 耐방사선, 耐水, 耐電氣雜音 등의 환경대책도 도모해나가고 있다.

4. JPDR 解體實際試驗으로의 移行

日本原子爐解體技術檢討委員會의 報告書는 日本原研에서의 개발현상을 다음과 같이 평가하고 있다.

(ㄱ) 開發狀況은 대체로 순조로우며 JPDR 해체개시의 준비는 거의 정리되었다. 해체실시에 의한 기술실증의 有効性은 매우 높다고 판단된다.

(ㄴ) 實用爐의 해체에 활용할 수 있는 기술개발의 기본방침은 목표를 향해 실시중이다.

(ㄷ) 같은 시기에 병행해서 추진되는 해외의 해체계획에 관한 國際技術情報交換은 유용한수 많은 지식의 입수가 기대되므로 相關기관으로의 정보보급방법까지 포함해서 體制를 정비한다.

(ㄹ) 고체방사성폐기물의 區分値 檢討狀況에 유의하여 日本原研의 기술개발 및 JPDR의 해체계획에 유효하게 반영시키도록 노력한다.

5. JPDR 解體計劃

JPDR의 解體詳細實施計劃은 현재 검토를 계속하고 있다. 지금까지의 개발성과를 시험적으로 적용하여 데이터集積을 계획하고 있으므로 기간적으로 다소의 여유를 고려해서 약 5년을 여기에 소요하려고 한다. 開始時期는 예산조치에 따라 다르겠지만 1986년을 예정하고 있다.

○ 第1期(1986年度)

원자로 주변기기, 터빈계기기, 펌프, 콘덴서系機器를 철거하고, 제2기의 작업준비를 한다.

○ 等2期(1986~1990年度)

爐內構造物, 원자로압력용기, 차폐 콘크리트를 철거하고 그밖의 건물을 철거한다.

○ 第3期(1990年度 後半)

建物撤去後 跡地의 오염검사를 끝마친 다음 整地를 하여 완료한다.