

# 울진 1호기 사용후연료 저장능력 확장공사

## — 그 추진경위와 의의 —

### 최 장 석

한국전력공사 울진원자력발전소 기계부장

울진 1호기는 88년 9월 상업운전을 시작한 이래 96년 1월 현재 약 320다발의 사용후연료가 인출되어 연료저장조에 저장되어 있다. 이 저장량은 기존의 허용저장용량을 초과하는 양으로서 초과분은 지난해 3월 설치한 임시 저장대에 저장해 왔다. 최근 울진원자력본부에서는 현재 사용 중인 저장조의 저장능력을 가능한 한도까지 확장하기 위해 기존 저장대를 고밀도 저장대로 교체·설치하여, 2008년까지 발생하는 사용후연료를 저장할 수 있도록 하였다.

본 공사는 사용후연료 저장조에 고방사선 준위의 사용후연료가 저장되어 있는 상태에서 수행된 국내 최초의 공사로서, 수중작업을 수상작업으로 작업방법을 변경·수행하였다. 그 추진경위와 의의 등을 살펴본다.

## 예

진 1호기는 출력 950MW급의 가압경수로(PWR)로서 88년 9월 상업운전을 시작한 이래 6차례에 걸친 재장전을 통해, 96년 1월 현재 약 320다발의 사용후연료가 인출되어 연료저장조에 저장되어 있다.

이 저장량은 원자료의 보수나 검사시를 대비한 1노심(157다발)의 비상저장분을 제외한 기존의 허용저장용량 315다발의 101.6%를 차지하는 양으로서, 초과분을 수용하기 위해

95년 3월 울진 1호기 제6차 연료재장전시 사용후연료 저장조 내의 Cask Loading Compartment에 임시 저장대를 설치하여 인출된 사용후연료를 저장하였다.

울진 2호기의 경우는 초기 연료재장전 전인 90년에 기존의 연료저장대를 향후 2003년까지의 저장여유를 갖춘 고밀도 저장대(High Density Spent Fuel Storage Rack)로 교체·설치하여 17/3노심, 즉 893다발의 저장용량을 확보하였으며, 96년 1

월 현재 328다발의 사용후연료가 저장되어 있다.

울진 2호기의 사용후연료 저장여유분을 울진 1호기와 공유하는 방안도 고려해 볼 수 있었으나, 이는 98년까지의 저장능력에 불과할 뿐만 아니라 정부에서 추진중인 사용후연료 중간저장시설의 건설이 지연되고 있는 상황하에서는 근본적인 해결책이 될 수 없었다.

따라서 울진 1호기 사용후연료 저장조의 저장능력을 가능한 한도까지

확장하기 위해 기존 저장대를 고밀도 저장대로 교체·설치하였다.

새로 설치된 사용후연료 저장대는 20개의 고밀도형 저장대로 구성되어 있으며, 이는 2008년까지 발생되는 1,114다발의 사용후연료를 저장할 수 있는 용량이다.

### 기술기준과 설계요건

#### 1. 기술기준

##### 가. 규제요건

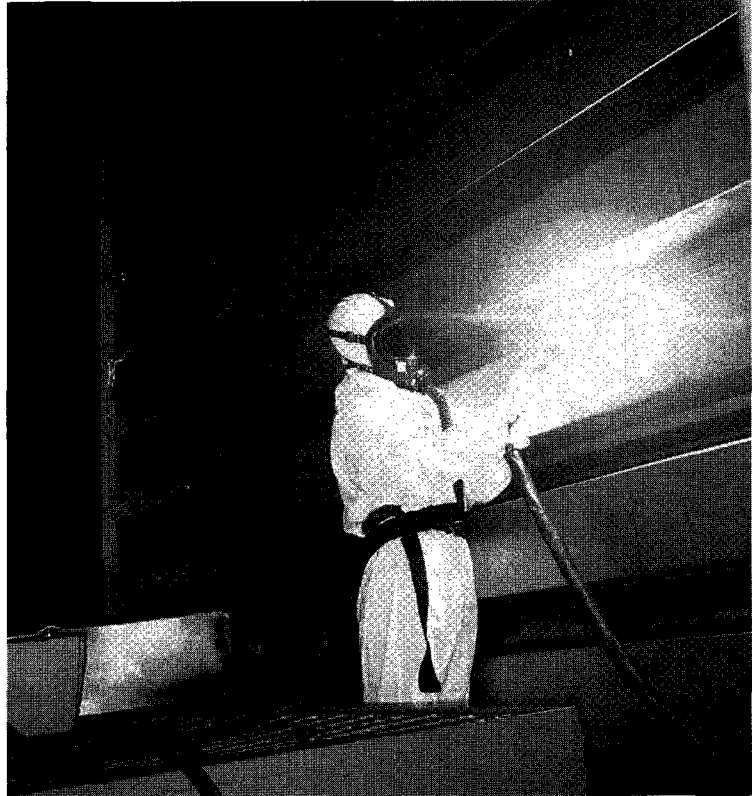
고밀도 저장대는 구조적으로 기존 스테인리스강 재질의 저장대와 같으나, 다만 저장용량의 극대화를 기하고자 저장대의 중심간 간격을 줄일 수 있도록 중성자 흡수체를 삽입 또는 구조재질 자체에 포함시킨 것으로서, 기존 저장대에 적용하는 규제요건과 같으며 다음과 같은 규제요건을 만족하여야 한다.

##### ① 원자력법 시행령 제 86조

(연료취급장치)

연료 등을 취급하는 장치는 다음과 같이 시설하여야 한다.

- 정상운전시에 사용하는 연료 등을 취급할 수 있는 능력을 보유하는 것일 것
- 연료 등이 임계에 도달할 수가 없는 구조일 것
- 붕괴열에 의하여 연료 등이 용융하지 아니하는 것일 것
- 취급중에 연료 등이 파손될 우려가 없을 것



기존 렉 절단작업

- 연료 등을 넣을 용기는 취급중에 충격·열 등에 견디고 쉽게 파손되지 아니하는 것일 것

##### ② 미 연방법 일반설계요건 61

(연료 저장/취급 및 반응도 제어) 방사능을 함유하는 연료 저장/취급 계통은 정상조건 및 기상조건하에서 그에 적합한 안전성을 갖도록 다음을 고려하여 설계하여야 한다.

- 안전에 중요한 기기의 주기적 검사 및 시험을 허용하는 것일 것
- 잔열제거능력을 유지하는 것

일 것

##### ③ 미 연방법 일반설계요건 62

(연료 저장/취급시 미임계 유지)

연료 저장/취급 계통은 기하학적 안전구조로 설계하여 미임계가 유지되어야 한다.

나. 규제지침

원자력발전소의 연료저장설비의 설계기준은 규제지침서(Regulatory Guides)·검토요령서(Standard Review Plan) 및 기타 산업기준들에 폭넓게 기술되어 있으나, 미국 원자력

규제위원회(US NRC)는 고밀도 저장대를 도입하여 연료저장능력을 확장하는 등의 운전중인 연료저장조 설비개선에 관한 규제지침을 단일화하여, 78년 4월 14일 「OT Position for Review and Acceptance of Spent Fuel Storage and Handling Applications」로 발행하였다.

본 지침서에 의하면 저장대는 정상 및 사고조건하에서 다음의 기능을 유지하여야 한다.

- 미임계 유지
- 냉각능력 유지
- 지진 및 충격하중에 대한 구조적 건전성 유지
- 중성자 흡수체의 재질 건전성 유지
- 방사선 차폐 및 허용 피폭선량 유지
- 중량물 낙하사고에 대한 안전성 유지

**다. 규제기관 승인**

앞에서 기술한 바와 같이 고밀도 저장대는 미임계구조 및 잔열제거능력 등을 가져야 하며, 또한 낙하사고시 연료파손으로 인하여 주변환경 또는 작업장으로 방사성물질이 방출되지 않도록 구조적 안전성을 갖도록 설계되어야 한다.

본 기기는 사용후연료를 저장하고 필요시 신연료를 저장할 수 있는 기기로서, 원자력법 시행령 제9조에서 정의하는 관계시설의 하나인 연료물질의 취급시설 및 저장시설의 일부라고

볼 수 있다.

원자력법 제21조에는 “관계시설을 운영하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 바에 따라 과학기술처 장관의 허가를 받아야 하며, 허가받은 사항을 변경하고자 할 때에도 또한 같다. 다만 국무총리령이 정하는 경미한 사항을 변경하고자 할 때에는 이를 신고하여야 한다”라고 규정하고 있다.

본 사업은 최종 안전성분석보고서 제16장의 Technical Specification에 변경이 있기 때문에, 관련법에 따라 규제기관의 승인을 요하는 사항으로 분류된다

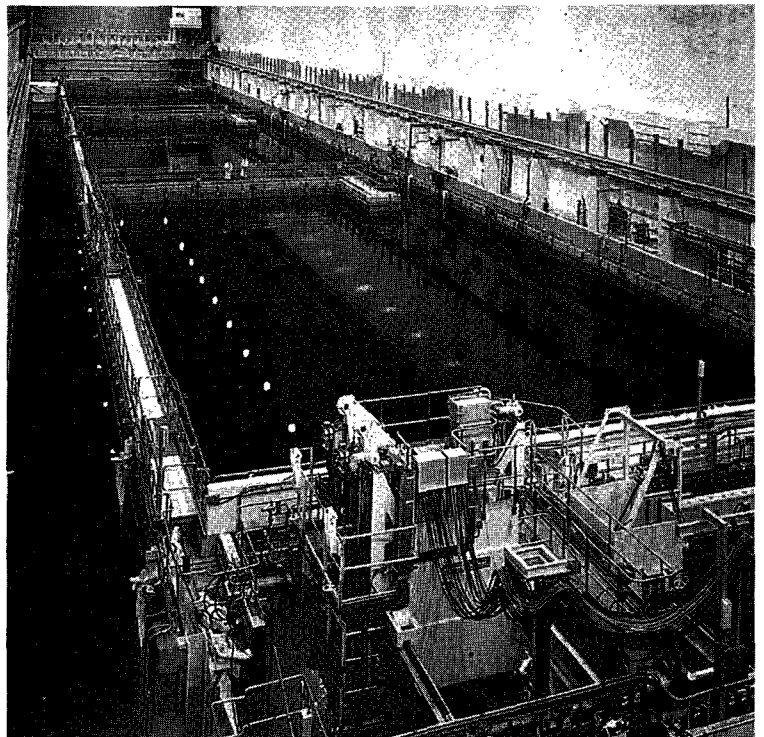
**2. 설계요건**

**가. 농축도 및 연소도**

사용후연료 저장조는 지진사고를 포함하는 발전소의 모든 조건하에서 미임계상태를 유지하여야 한다.

미국 원자력규제위원회의 SRP 9.1.2의 III. 2. a에 따르면, 사용후연료의 안전저장을 위한 임계도 한계는 ‘사용후연료가 저장대에 모두 저장된 상태로 순수(비봉산수) 내에 있을 때, 중성자 유효증배계수( $K_{eff}$ )가 0.95를 초과하지 않는 미임계조건(Subcritical Condition)’이어야 한다.

저장대 각 저장용기(Cell)의 중심



사용후연료 저장조

간 간격(Center-to-Center Spacing)은 상기 미입계조건을 만족하는 범위 내에서 결정되어야 한다.

기존의 저장대는 일률적으로 신연료의 초기 최대농축도인 3.7w/o를 기준으로 설계되었으나, 근래에는 노심 해석 결과의 정확성이 입증되어 사용후연료 저장조의 임계도 계산에서도 연소도를 고려하게 됨으로써, 고밀도 저장대 설계시 동일한 저장공간내에 저장용량을 극대화할 수 있는 두 영역 개념(Two Region Concept)을 적용하고 있다.

제 1영역(Region I)의 저장대는 신연료나 불완전연소 연료를 저장할 수 있는 고밀도 저장대로서, 미연소 신연료의 최대농축도를 설계변수로 하고 있다.

제 2영역(Region II)의 저장대는 사용후연료 저장용인 고밀도 저장대

로서, 사용후연료의 최소연소도를 추가로 고려함으로써 제 1영역 저장대에 비해서 중심간 간격 또는 중성자 흡수체의 양을 줄일 수 있는 장점을 지니고 있다.

이번 올진 1호기에서는 저장용량의 극대화를 위하여 고밀도 저장대를 5/3노심의 제 1영역과 제 2영역으로 구분하였다.

장주기 연료를 기준으로 한 최대농축도 및 최소연소도가 올진 1호기 고밀도 저장대의 설계기준이다.

미 원자력규제위원회가 권고하는 최소연소도는 평균연소도의 80%값을 사용하며, 이때의 평균연소도는 Batch별 평균연소도 중 최하의 값으로 다른 연료보다 한주기 더 사용하는 특별연소연료는 제외하고 있다.

나. 중성자 흡수체 재질  
저장대의 중성자 흡수체 재질로는

Boral, Boraflex 및 Borated Stainless Steel이 주로 사용되는데 올진 1호기의 고밀도 저장대는 Boral을 채택하였다.

중성자 흡수체 재질별 구성성분을 기술하면 다음과 같으며, 그 재질별 특성과 저장대 셀의 단면도는 <표 1>과 <그림 1>에 나타내었다.

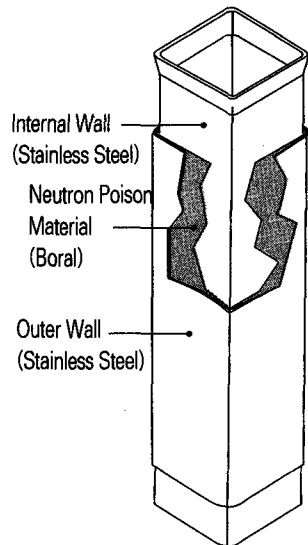
① Boral

Boral은 탄화붕소(B<sub>4</sub>C)와 알루미늄 1100합금으로 구성된 복합재로서 3개의 층으로 이루어진다.

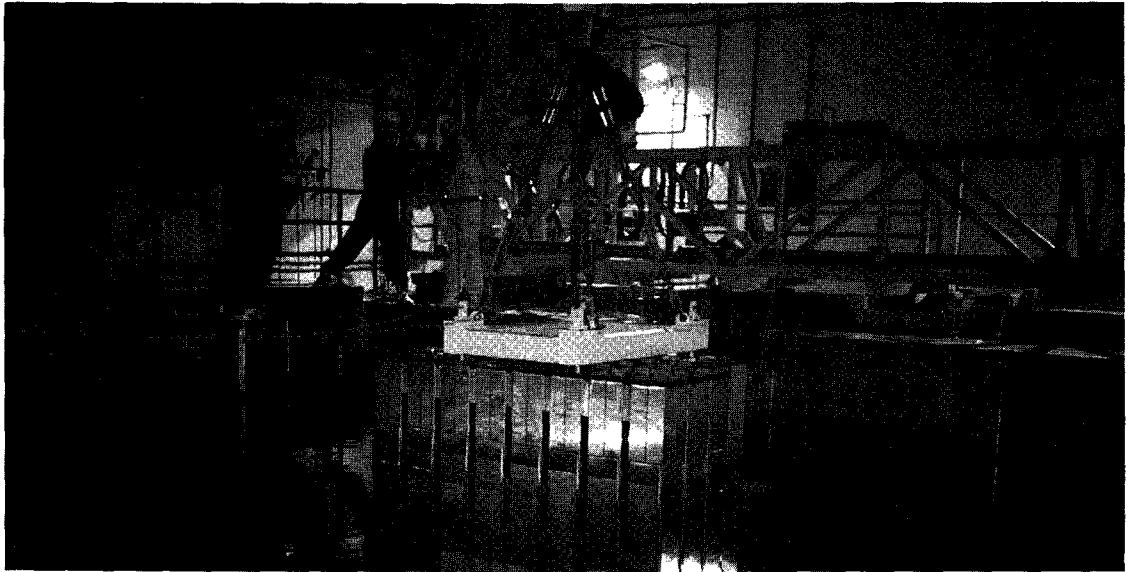
외부 두 층은 알루미늄 1100합금 재질로서 고내식성 산화피막으로 덮혀 있으며, 내부층은 중성자 흡수체 질인 미세한 탄화붕소입자가 알루미늄 합금판에 균일하게 고용된 재질이다.

<표 1> 중성자 흡수체 재질별 특성

특 성	중성자 흡수체 재질		
	Boral	Boraflex	Borated Stainless Steel
운전시 문제점	없 음	방사선조사에 의한 재질 저하 및 수축	Intergranular attack으로 인한 연성 및 충격강도 감소
저장조 용수속으로의 붕소재질 누출여부 검출	불가능(저장용수가 붕산수이기 때문)	불가능 (〃)	불가능 (〃)
기계적 안정성	안 정	취성(Brittlement)	붕소농도 증가시 취성증가
내식성	우 수	우 수	우 수
In-service Surveillance Program	필 요	필 요	필 요
적 용	올진 1호기	올진 2호기	고리 3호기



<그림 1> 저장대 셀 단면도



고밀도 렉 설치작업

Boral은 미 원자력규제위원회로부터 인허가 받은 BWR 및 PWR 사용후연료 저장대의 중성자 흡수체이다.

② Boraflex

Boraflex는 미세한 탄화붕소입자가 실리콘 중합체에 고용된 재질로서 화학물질에 대한 내식성과 200℃ 이상의 고온에서 열적 안정성을 갖고 있다.

Boraflex 역시 미국 원자력규제위원회로부터 인허가를 받은 BWR 및 PWR 사용후연료 저장대의 중성자 흡수체이다.

③ Borated Stainless Steel

중성자 흡수재질 Boron과 스테인리스강의 합금체로서, 끓는 65% 질산용액에서의 부식실험에 의하면 Borated Stainless Steel은 붕소의 함량이 증

가함에 따라서 인장(Tensile)·항복(Yield) 강도와 경도는 증가하지만, 연성(Ductility)·충격(Impact) 강도 및 내부식성은 감소하는 특성을 갖고 있다.

다. 저장대 모듈크기 및 무게

연료건물 트럭 출입문의 실측 크기는 폭 5.0m, 높이 5.0m이고, 연료건물의 Operating Floor로 연결되는 Handling Hatch의 실측 크기는 가로 3.8m, 세로 4.9m이다.

그리고 Cask Loading Compartment와 Cask Decontamination Compartment의 크기는 가로 4.0m, 세로 4.7m이다.

따라서 저장대 모듈의 제작크기는 저장대 운반시의 여유를 고려하여 최대 가로 3.2m, 세로 4.1m 이내로 제

한하였다.

또한 단위 모듈의 무게제한과 관련하여, 현재 사용후연료 저장조 상부에는 5톤 용량의 브리지크레인이 설치되어 있으므로 이를 7.5톤으로 개조하여 철거 및 설치작업에 사용하였고, 저장대 모듈의 무게는 안전율 25%를 감안하여 인양도구의 무게를 포함, 7.5톤으로 제한하였다.

공사관련 주요내용

1. 공사 일반사항

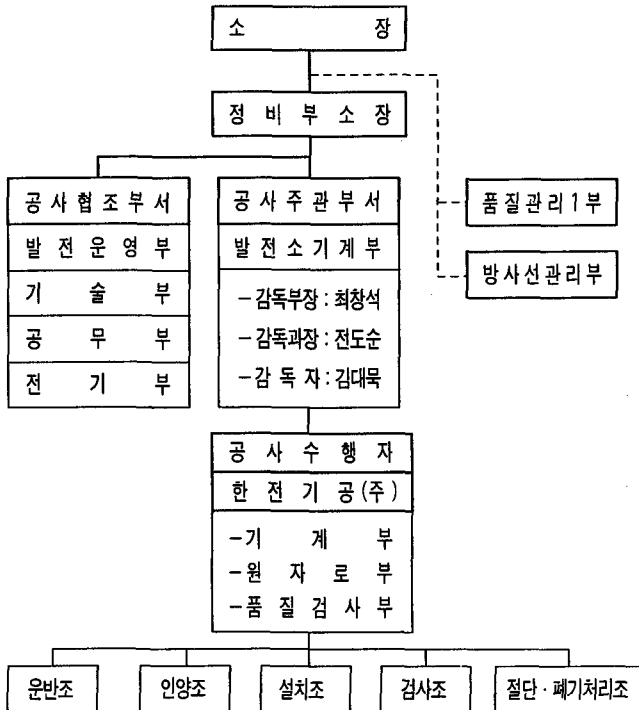
- 공사명 : 울진 1호기 사용후연료 저장능력 확장공사
- 공사내용 : 사용후연료 저장조 내의 기존 저장대 철거·절단·폐기 및 고밀도 저장대 설치

- 공사기간 : 95. 5. 31~95. 10. 23(146일)
- 설비제작 : 미국 Holtec사
- 공사수행 : 한전기공(주)

## 2. 저장설비 비교

〈표 2〉 저장설비 비교

항 목	공 사 전	공 사 후
랙 총 수	9랙	20랙
셀 총 수	472셀	1,114셀 { 영역1 : 264셀 영역2 : 850셀
랙 재 질	SUS	SUS + Boral
랙 지지 대 구조	방진책	Free Standing
단 위 랙 최 대 무 게	약 6.2톤	약 4.76톤
단 위 랙 최 대 크 기	3.32 × 2.52 × 4.378(m)	2.26 × 1.6 × 4.44(m)
포 화 시 점	1995년	2008년
셀 간 간 격	370mm	영역1 : 276mm 영역2 : 227mm



〈그림 2〉 공사수행조직

〈표 2〉 참조

## 3. 공사 수행조직

〈그림 2〉 참조

## 4. 주요 공사내용

### 가. 공정별 작업내용

#### ① 사전준비사항

㉠ 130톤 크레인 Hook Pin 제작 : H3랙 임시설치 및 기타 작업목적

㉡ H3랙 임시설치 : 공사전 1호기 사용후연료 저장 셀의 잔여분 저장용량이 1호기의 6차 O/H시 인출되는 전체노심분연료(157개)를 모두 수용할 수 없어, 이의 수용목적으로 고밀도 랙 1개(H3)를 Cask Loading Compartment에 임시 설치하였음

㉢ 7.5톤 보조 Hoist 설치 : 기존 랙의 최대무게가 6.2톤으로 기설치된 5톤 크레인 Hoist의 용량으로는 철거가 불가하여 7.5톤으로 교체하였음

② 기존랙 철거공정〈표 3〉

③ 고밀도랙 설치공정〈표 4〉

④ 기존랙 절단공정〈표 5〉

나. 공정흐름도〈그림 3〉

## 5. 공사방법 개선

### 가. 개선사항

본 공사는 사용후연료 저장조에 고 방사선준위의 사용후연료가 저장되어

(표 3) 기존랙 철거공정

순서	공정구분	내용	비고
1	방진대 철거	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철거대상랙의 방진대 해체</li> <li>· 철거대상랙의 방진대 제염(10분)</li> <li>· 방진대 방사선준위 측정(전부위)</li> <li>· 인양허가</li> <li>· Washing 셀 이동</li> <li>· 랙철거공정 완료 후 전체 방진대(16개)를 금속운반용기에 적재 후 A/C 건물로 이동</li> </ul>	SFP 수중 Kx-20m
2	철거대상랙제염(1차)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 셀 내부 방사선준위 측정(샘플 30%)</li> <li>· 제염기를 사용 2,500~3,000PSI 압력으로 셀당 20분씩 전체 셀 및 랙상판 제염</li> <li>· 셀 내부 방사선준위 측정(샘플 30%)</li> <li>· 필요시 추가적으로 부분제염</li> <li>· 인양허가</li> </ul>	SFP 수중
3	철거대상랙인양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철거대상랙의 인양 Lug에 Air Gripper를 사용 Chain Sling 체결(수중)</li> <li>· 랙 모서리 4곳에 랙 흔들림 방지용 로프 고정(Air Gripper 사용, 수중)</li> <li>· Sling 체결 후 체결상태 및 랙의 무게중심을 확인하며 서서히 인양</li> <li>· 인양중 랙 Base Plate 및 셀과 셀 사이(외부) 제염</li> <li>· 인양후 랙의 전체표면에(12곳) 방사선준위 측정</li> <li>· 랙의 물기 제거</li> <li>· Washing 셀로 이동</li> </ul>	SFP 수중 → Kx-20m
4	철거랙제염(2차)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 방사선준위 측정(샘플 30%)</li> <li>· 셀당 5분씩 2차제염</li> <li>· 방사선준위 측정(전부위)</li> <li>· 반출조건(접촉 50mR/Hr 이하, 1m 이격 10mR/Hr 이하) 만족시까지 추가제염</li> <li>· 랙 적재 허가(운반용기)</li> </ul>	Kx-20m Washing 셀
5	철거랙적재 (금속운반기)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적재 간섭부위를 절단기로 절단(Lug, 랙 상판 돌출부위 등) 및 랙 상부에 <math>\phi 10\text{cm}</math> Hole 가공(4곳)</li> <li>· 10톤 지게차, 7.5톤 Hoist 및 Upender(직립기)를 이용하여 랙을 높히고 랙을 이동하여 운반용기에 적재한 후 용기뚜껑 닫음</li> <li>· 적재완료 후 용기표면 제염, 방사선준위 측정</li> <li>· 반출허가</li> </ul>	Kx-29m → Kx-0m
6	금속운반기운반	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kx-0m 바닥제염</li> <li>· A/C 건물 문 개방허가</li> <li>· 7.5톤 Hoist 및 Spread Beam 이용 5톤 트럭에 운반용기 적재</li> <li>· A/C 건물(절단작업장)로 이동</li> </ul>	Kx-0m → A/C 건물
7	Tent 내부안착	<ul style="list-style-type: none"> <li>· A/C 건물 내부 바닥 제염</li> <li>· A/C 건물 문 개방허가</li> <li>· 금속용기 반입후 A/C 건물 크레인(13톤) 및 Spread Beam을 이용 용기뚜껑 분리, 철거랙 인출</li> <li>· 13톤 크레인 이용, Tent 내부에 랙 안착</li> </ul>	A/C 건물
8	금속운반기운반	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 금속용기 결합 후 표면제염 및 오염도 측정</li> <li>· A/C 건물 문 개방허가</li> <li>· 금속용기 반입허가</li> <li>· 다음 철거랙 적재 위해 Kx-0m 이동</li> <li>· 금속용기 하부는 Kx-0m, 뚜껑은 Kx-20m에 위치시킴</li> </ul>	A/C 건물 → Kx-0m
9	반복	· 기존랙 철거 완료시까지 1~8항목 반복수행	

〈표 4〉 고밀도랙 설치공정

순 위	공정구분	내 용	비 고
1	바 닥 누 설 점 검	· 고밀도랙 설치주위 저장조 바닥 누설여부 육안점검	SFP 외부
2	저 장 조 바 닥 청 소	· 저장조 바닥을 Underwater Vacuum Cleaning 장비 이용, 청소	SFP 수중
3	Bearing 패드 설치	· Bearing 패드 정열대를 저장조 바닥에 위치시키고, 정열대 4곳 모서리에 Eye-bolt 3개가 체결된 Bearing 패드를 1개씩 안착 · 설치완료 후 Eye-bolt 연결 슬링을 1개씩 시계 반대방향으로 돌려서 Eye-bolt를 Bearing 패드에서 분리 · Pole을 이용 Bearing 패드 상부 수평높이 측정(설치대상랙 Leg 길이조정 목적)	SFP 수중
4	고 밀 도 록 내 외 부 세 척	· 설치순서에 따라 대상랙을 창고에서 반출(5톤 트럭 이용) · 순수를 사용, 락 세척	창고·옥외
5	고 밀 도 락 반 입	· Kx-0m 반입지역 방사선준위 측정 및 방사선관리부 반입허가 · 10톤 지게차를 이용 Kx-0m로 반입	옥외 → Kx-0m
6	고 밀 도 락 직 립	· Upender에 락을 안착, 체결 후 7.5톤 크레인 Hoist 및 10톤 지게차 이용, 직립 · Bearing 패드 수평높이 수치를 근거로 Leg 길이 미세조정	Kx-0m
7	고 밀 도 락 인 양 용 T o o l 체 결	· 7.5톤 Hoist에 Lifting Tool 체결 · 체결 후 Turn Buckle 이용, 락 수평도 조정	Kx-0m
8	고 밀 도 락 이 동 및 설 치	· 7.5톤 Hoist 이용, 락 이동 · Kx-20m에서 락 Lifting Tool 모서리 4곳에 위치조정용 로프 고정 · SFP 내부로 위치조정용 로프와 7.5톤 크레인을 이용, 락의 무게중심과 수평을 유지하여 서서히 내리면서 락과 벽, 락과 락간의 간격을 맞추어 안착 · 락 수평도 및 락과 벽, 락과 락간의 간격측정 · Drag 테스트 실시(대상 셀의 10% 이상)	Kx-0m → Kx-20m → SFP
9	인 양 용 Tool 해 체	· 해당랙 설치완료 후 Lifting Tool 해체	
10	반 복	· 설치공정이 완료될 때까지 1~9항목 반복수행	

〈표 5〉 기존랙 절단공정

순 위	공정구분	내 용	비 고
1	장비준비, 절단작업대 배	· 절단작업장 내외부 청소, 제염 및 절단작업대 준비 · 공드럼 준비 · 절단장비 준비(플러즈마 절단기)	A/C 건물
2	셀 절 단 · 적 재	· 락을 Tent 내부로 반입후 절단방법에 따라 표기: 셀, 락 상하판, 기타 · 셀 절단부위 표기에 따라 절단(전체절단 및 세부절단)	Tent 내부
3	상 하 판 절 단 · 적 재	· 표기된 간격으로 상하판 절단 · 절단된 상하판 조각을 셀 조각이 적재된 드럼의 공간에 채움(드럼 발생량 감소 목적)	Tent 내부
4	기 타 부 속 품 절 단	· Lug, Pin 등 돌출부위 절단 · 절단된 조각을 드럼공간에 채움(드럼 발생량 감소 목적)	Tent 내부
5	적 재 드 럼 반 출 · 공 드 럼 반 입	· 드럼적재 완료후 Tent 내외부 방사선준위 측정 및 드럼표면 오염도 측정 · 방사선관리부 반출허가 · 드럼 반출(평균: 15~16드럼/랙) · 공드럼 반입 및 지정된 장소에 위치시킴	A/C 건물 *드럼 적재완료후 무게: 약 400kg
6	정 리	· 현장(Tent 내외부) 청소, 제염, 정리 및 방사선준위 측정 · 다음 철거랙 반입허가	A/C 건물
7	반 복	· 락절단 작업 완료시 까지 1~6 공정반복	-
8	방 진 대 및 부 속 품 절 단	· 절단방법에 의거 방진대 및 부속품을 세부절단 · 공드럼에 적재	A/C 건물
9	최 종 정 리	· 모든 작업이 완료된 후 절단작업장 내외부 청소, 제염 · Tent 보수	A/C 건물

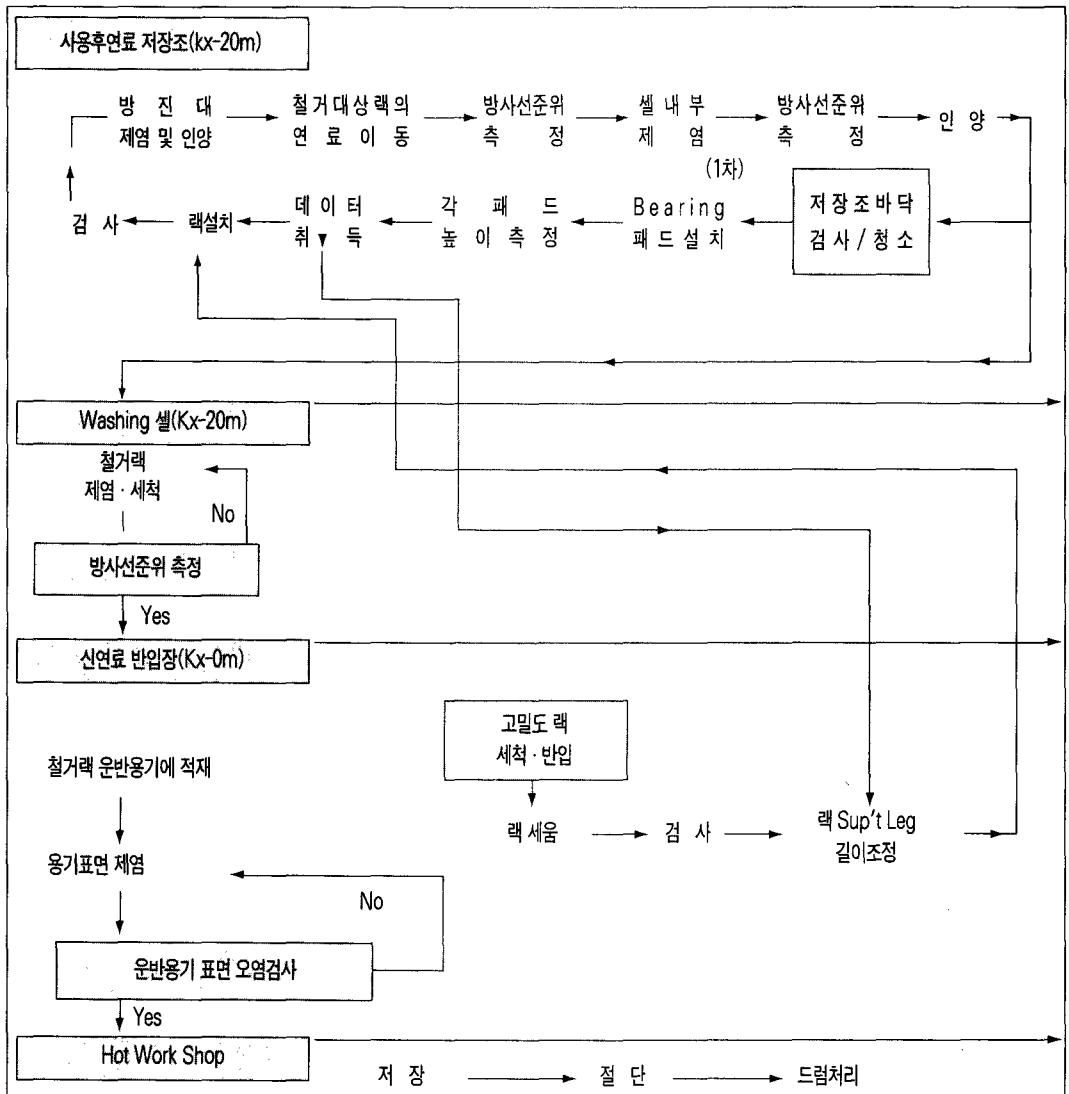


있는 상태에서 수행된 국내 최초의 공사로서, 사용후연료 저장랙 교체 전문 회사인 미국의 Holtec사가 잠수부를 사용후연료 저장조 안으로 투입하여

공사하는 수중작업으로 설계하였으나, 현장실무자들의 창의력과 기술력으로 8여종의 특수공기구를 자체 고안·제작하여 수중작업을 수상작업으로

작업방법을 변경하였다.

그럼으로써 첫째, 방사선피폭량을 획기적으로 줄일 수 있었고, 둘째, 외국인 용역비를 절감하였으며, 셋째,



(그림 3) 공정흐름도

공사가 최적의 작업공정으로 관리되 (표 6) 공사방법 개선효과  
 었다.

나. 개선효과(표 6)

다. 작업공정별 개선내용

① 기존랙 철거공정(표 7)

② 고밀도랙 설치공정(표 8)

항 목	계 획	실 적	비 고
공 사 기 간	150일	146일	4일 단축
방 사 선 피 폭 량	40man-rem	2man-rem	38man-rem 저감
기존랙절단후드럼적재량	330드럼	157드럼	173드럼 절감
외 국 인 활 용 공 량	528MD	110MD	418MD 절감
공 사 비 절 감	5억원	2억원	3억원 절감

(표 7) 개선된 기존랙 철거공정

항 목	변 경 전	개 선 내 용
기존랙간 연결고리 해체방법 -재질 : SUS -두께 : 10mm -폭 : 100mm	수중에서 잠수부가 Hydraulic Saw(특수장비)를 이용, 연결고리 절단후 해체(11개소)	· 연결고리를 절단하지 않고 분해하여 해체 : 락 철거순서 변경(최초설치순서의 역순) -방사선피폭 저감효과 : 0.408man-rem -작업시간 단축효과 : 99H
방진대 해결방법 (16개)	수중에서 잠수부가 직접 해체	· 수상에서 Remote Control Finger 이용, 체결 -방사선피폭 저감효과 : 0.377man-rem
기존랙인양 Tool 연결방법	수중에서 잠수부가 직접 체결	· 수상에서 Remote Control Finger 이용, 체결 -방사선피폭 저감효과 : 1.728man-rem
철 거 공 정	기존랙 설치순수와 상관없이 일률적으로 3개/회 x 3회 철거	· 기존랙 설치순서의 역순으로 3회에 걸쳐 각각 3개 · 5개 · 1개 철거
기존랙 · 방진대 이동 방법	개별 비닐 포장하여 A/C 건물로 이동	· 전용 금속용기를 사용, 밀봉 이동 -방사선피폭 저감효과 : 1.19man-rem

항 목	변 경 전	개 선 내 용
설 치 공 정	고밀도 락을 3단계로 나누어 4개 → 4개 → 12개 설치	· 5개 → 1개 → 14개 설치 -공정 최적화로 작업시간 단축효과
베 어 링 패 드 설 치	수중에서 잠수부가 직접 설치	· 현장 제작 Tool 사용, 수상에서 설치 -방사선피폭 저감효과 : 1.11man-rem
고 밀 도 락 설 치 방 법	수중에서 잠수부가 설치보조	· SFP 벽면과 설치될 락의 이격거리를 조정할 수 있는 현장제작 Jig를 사용하고 수중에서 락의 위치를 조정할 수 있도록 락 설치용 Tool 4곳에 조정 로프를 체결하여, 사전에 계산된 설치랙의 중심좌표와 크레인 중심을 일치시켜 락 설치 -방사선피폭 저감효과 : 1.17man-rem
핵 연 료 이 동 공 정	수중작업시 잠수부 피폭저감을 위해 최근 인출연료(고방사선)를 잠수부 작업공간으로부터 최대한 이격시켜야 하기 때문에 공정마다 2~3번씩 핵연료 이동을 반복하여야 함 -6개 공정(1,000회 이동)	· 락 철거 및 설치작업이 수상에서 가능하므로 최근인출연료의 단계별 위치변경을 고려할 필요가 없으며, 공정의 최적화로 작업시간 단축효과 -4개 공정(469회 이동)으로 공정단축효과 -2개 공정, 연료이동횟수 531회 단축 -작업시간 단축효과 : 97.35H