

KINS / HR - 165

# 사용후핵연료 중간저장시설의 운전성능 평가체계 개발

(중과제명 : 사용후핵연료 중간저장시설 운영기준 개발)

최종보고서

1997.3.

연구기관  
경희대학교 레이저공학연구소

한국원자력안전기술원

# 제 출 문

한국원자력안전기술원장 귀하

본 보고서를 『사용후핵연료 중간저장시설의 운전성능 평가체계 개발』 과제  
의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 3. 6.

연구 책임자 : 김 명 현

연구 조 원 : 김 종 채

연구 조 원 : 김 동 규

연구 조 원 : 조 동 건

연구 조 원 : 배 강 목

# 요 약 문

## I. 제 목

사용후핵연료 중간저장시설의 운전성능 평가체계 개발  
(사용후핵연료 중간저장시설의 운영기준 개발)

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구의 목적은 사용후핵연료 중간저장시설의 운영에 관련한 기술기준을 개발함에 있어서 습식저장 시설의 안전 운영에 필요한 제반 기술적 요소를 평가하고, 외국의 운영 현황 및 제 규정을 검토하고 비교, 분석함으로써 운영기준 개발의 기초 자료를 개발하는 것이다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

먼저 운영기준 개발에 앞서 사용후핵연료 저장에 관한 국내 기술현황을 조사하고 관련 규정을 수집, 검토한다. 동시에 외국의 사용후핵연료 중간저장시설에 대한 운영현황 및 규제에 관하여도 자료를 조사한다. 사용 가능한 자료로는 스웨덴의 CLAB 시설의 운영 현황 및 운영 지침, 프랑스의 사용후핵연료 저장시설(La Hague) 운영 지침, 미국의 MRS 시설의 운영 지침 등을 들수 있다. 세번째로 습식저장 및 운영의 특성 파악을 위해서는 조사된 자료를 습식저장과 건식저장으로 분류하고 운영 특성을 비교 검토한다. 또한 운영기술 기준개발에 필요한 제반 기술적 쟁점사항들을 도출하고 중간저장시설 운영기준의 안을 작성한다.

#### IV. 연구개발결과

사용후핵연료 중간저장의 특성과 현재 기술들을 소내저장과 소외저장으로 또 습식 저장과 건식 저장으로 분류하여 검토 정리하였다. 또한 스웨덴과 미국의 중간저장시설 건설 및 운영 현황을 조사하였다. 사용후핵연료 중간저장시설과 관련한 국내 규정과 미국, 프랑스의 규정들을 정리하였다.

운영기준과 관련된 기술적 논거와 기준안을 다음의 형식으로 제시하였다.

- 기술기준의 총칙
- 시설운영 기술기준
  - 행정조직 및 업무관리
  - 사용후핵연료 중간저장소 시설별 관리업무
  - 작업종사자 피폭관리
- 정상운전 관리 기술기준
- 사고시 비상관리 기술기준

#### IV. 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 사용후핵연료 중간저장시설의 운영기준 개발을 위한 1단계의 1차년도 연구로서 아직 운영기준이 완성되지 않았으나, 관련된 운영기술을 논의하고 기본적인 골격을 완성하였다. 따라서 차후의 계속 연구에서는 본 연구의 결과를 기본으로 연구내용을 좀더 심화시키고 전문가들의 의견을 반영하여 정리하면 쉽게 운영기준이 개발될 것으로 기대한다.

# SUMMARY

## I. Project Title

Development of Operational Performance Evaluation System for the Interim Spent Fuel Storage Facility

(Development of Operational Criteria for the Interim Spent Fuel Storage Facility)

## II. Objectives and Importance of the Project

The final objective is to develop the technical criteria for the facility operation of the interim spent fuel storage facility. For this purpose, elementary technical issues are evaluated for the wet storage of spent fuels and status of operation in foreign countries are examined. Urgent objective of this study is to provide technical back data for the development of operational criteria.

## III. Scope and Contents of the Projects

For the back data for the development of operational criteria, domestic technical data for the wet storages are collected as well as standards and criteria related to the spent fuel storage. Operational status of spent fuel storages in foreign countries - CLAB in sweden and MRS in the united states are studied. Dry storage concept is also studied in order to find the characteristics of wet storage concept. Also basic technical issues are defined and

studied in order to build a draft of operational criteria.

#### IV. Results

Characteristics of spent fuel storage was evaluated for both On-Site storage and Away-From-Reactor storage. Wet storage concept was studied and compared with dry storage concept. Operational status and all relevant criteria and standards in Sweden and the United States were reviewed and summarized.

Technical description and draft of operational criteria were given as the following classification

- General Description of Operational Criteria
- Technical criteria for the facility operation
  - Administrational organization and personnel management
  - Definitions of management of each facility system
  - Radiation dose management for operational personnel
- Technical criteria for the normal operation
- Technical criteria for the abnormal condition and emergency planning

#### IV. Application Plan

This research was done as the first year work in the 1st stage of development project for the operational criteria. The final criteria was not provided in this work. However, basic frame of criteria was given as well as technical descriptions. It is expected that this report would help followers to extend and deepen this work after the consultation to the experts.

# 목 차

제출문 .....	i
요약문 .....	ii
SUMMARY .....	iv
목 차 .....	vi
표목차 .....	viii
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 중간저장 기술현황 .....	3
제1절 소내 저장시설의 기술현황 .....	3
제2절 소내 저장시설의 기술현황 .....	6
가. 습식 소외저장 .....	6
나. 건식 소외저장 .....	11
제 3 장 외국의 중간저장시설 현황 .....	15
제 1 절 스웨덴 .....	15
제 2 절 미국 .....	19
제 4 장 국내·외 관련 규정 .....	27
제 1 절 중간저장시설에 관한 국내 규정 .....	27
제 2 절 중간저장시설에 관한 미국의 관련 규정 .....	31
제 3 절 중간저장시설에 관한 프랑스의 관련 규정 .....	39

제 5 장	중간저장시설 운영 기준 개발	45
가.	기술 기준의 총칙	45
나.	시설 운영 기술 기준	46
다.	정상 운전 관리 기술 기준	65
라.	사고시 비상 관리 기술 기준	72
제 6 장	연구 결과 및 결론	74
참고문헌		75
부록	(사용후핵연료 중간저장시설 운영기준안의 기본 골격)	76



## 표 목 차

표 2.1	사용후 핵연료 건식저장 기술의 개발현황 .....	12
표 3.1	CLAB시설의 사양 .....	17

## 제 1 장 서론

사용후핵연료는 고준위의 방사성을 띠고 있으며 방사성 붕괴열로 인해 계속적으로 열을 발생하므로 재장전 작업후 바로 발전소 밖으로 수송하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 사용후 핵연료는 소내 저장 수조에서 일정 기간 저장되면서 냉각되도록 운영하고 있다. 사용후 핵연료는 핵연료주기 정책에 따라 다른 장소로 옮겨져 저장되거나 재활용되어야 하므로 소내 사용후 핵연료 저장조는 임시적인 저장을 위해서만 설계되어 있다.

프랑스나 영국에서는 핵연료를 재처리하는 정책을 갖고있기 때문에 사용후 핵연료를 재처리공장에 전량보내어 보관하였다가 재처리공정에 투입하고 있다. 이때 재처리공장의 핵연료 저장방식도 임시적인 저장이며 공학적으로 안전한 관리를 목적으로 하여 수조에 핵연료를 채우고 냉각과 방사선 차폐를 확보하는 습식저장 방식을 택하고 있다. 이런 저장을 중간저장 시설로 구분할 수도 있으나, 저장 기간을 30년 내지 40년으로 좀더 오래 보는 최근의 중간저장 시설 개념과는 다르다고 할 수 있다.

근래의 중간저장 시설 개념은 우리나라의 경우처럼 핵주기 정책상 재처리를 하지 않고 사용후 핵연료를 전량 영구 처분하는 경우에 해당된다. 전세계 공통적으로 핵연료의 영구처분장 건설 계획이 미루어 지고 건설 후보지의 선정조차 난항을 거듭하는 현재의 상황에서는 영구처분장 건설의 전망은 상당기간 불투명하다. 따라서 사용후 핵연료는 현재 소내 습식 저장조에 계속 축적하고 있다. 중간저장 시설이란 영구처분장의 건설이 이루어지기 전에 가능한 오랜 기간(30년에서 60년사이의 기간) 동안 임시로 핵연료를 저장하기 위한 소외(Away From Reactor) 독립저장 시설을 말한다.

우리나라 정부는 소내 저장시설에 저장될 사용후핵연료의 발생량이 저장 용량 한계량에 도달할 것을 인지하고, 1988년 제220차 원자력위원회 (1988.7.29.)에서 사용후핵연료 저장을 위한 중간저장 시설을 건설키로 의결하였다. 즉 국가정책이 최종적으로 결정될 때까지 독립 중간저장 시설 (Independent Spent Fuel Interim Storage Installation)을 1997년말까지 건설하여 사용후핵연료를 임시 저장기로 하였다. 이 결의는 부지내 (On-site) 저장에서 부지의 (Away From Reactor) 저장으로 기본 방침을 바꾼 것으로서 전혀 독립적인 시설의 건설/운영을 필요로 한다. 현재 이 계획도 상당 기간 연기되고 있는 실정이나 조속한 건설 계획이 수립될 것으로 전망된다.

이런 사용후핵연료의 중간저장시설은 일반 원자력 관련사업과는 다른 특성들을 갖고 있다. 우선 핵임계의 위험성을 방지하여야 하며, 붕괴열을 제거하고 기계적 건전성을 유지하는 기하학적 구조체를 갖추어야 한다. 또 유지, 관리에 어려움이 없도록 관리요원에 대한 방사선 차폐가 보장되어야 하며, 상정할 수 있는 어떠한 가상사고시에도 방사성물질의 방출이 규제치 이상이 되지 않도록 하여야 한다. 이상의 조건들은 건설 및 인/허가 절차 단계와 운영에 있어서 매우 상세한 규정과 지침 등을 필요로 한다. 그러나 규정과 기술기준을 정함에 있어서 사용후핵연료 중간저장시설의 성격이 무엇인가가 또한 중요하다. 현재 우리나라의 사용후핵연료 중간저장시설에 대한 개념은 습식저장 방식으로 PWR 핵연료와 CANDU 핵연료를 충분히 저장할 능력을 갖추며 60년 이상의 안전성이 보장되어야 하는 기준을 갖고있다.

## 제 2 장 중간 저장 기술 현황

### 제 1 절 소내 저장 시설의 기술현황

원자력발전소를 건설할 때 고려해야 할 기본적 설계 사항으로서 이 시설을 설치하게 되는 주목적은 재처리공장 혹은 폐기물처분공장으로 운반하기 전에 사용후 핵연료를 충분한 냉각시간 동안 안전하게 유지 관리하는 목적을 갖는다.

냉각기간을 통해 각종 방사성 핵종이 부분적으로 붕괴하도록 하는데, 비교적 짧은 반감기를 갖는 핵분열 생성물이 거의 붕괴하여 붕괴열에 의해 재처리공정에 쓰이는 화학약품들이 허용치 이상으로 방사 분해되는 것을 막도록 한다. 뿐만 아니라 베타 방사능 및 감마 방사능이 충분히 감쇠하여 원치 않는 일부 무거운 핵종들은 재처리시 분리될 수 있는 핵종으로 변하게 한다. 예로서 사용후 연료속에는  $U^{235}$ 의  $(n, \gamma)$ 반응에서 생긴  $U^{236}$ 이 다시  $(n, \gamma)$ 반응을 일으켜 생긴  $U^{237}$ 이 사용후 연료속에 남아 있으면 재처리시 다른 U 동위원소와 더불어 회수된다. 그런데  $U^{237}$ 은 반감기가 매우 짧은 핵종으로서 감마선을 방출하기 때문에  $U^{237}$ 이 존재하면 재처리에서 회수되는 우라늄 생성물을 취급하기가 어렵게 된다. 따라서 사용후 연료의 냉각기간중 이  $U^{237}$ 의 감마선 activity가 떨어지고, 또한 이 기간중  $U^{237}$ 이  $\beta^-$  붕괴하여  $Np^{237}$ 로 변하게 되면  $Np^{237}$ 은 재처리시 우라늄과 쉽게 분리될 수 있는 장점이 있다.

또한 핵연료의 교체 및 재장전 작업때 신연료를 임시로 저장하는 기능과 노심내 연료의 일부 및 그 전부에 대한 파손여부 검사가 필요할 때 노심내

연료를 일시적으로 저장해 두는 기능도 갖고 있으므로 핵임계의 방지를 위한 특별한 고려를 한다. 보통 저장 선반의 구조체를 설계함에 있어 가상적인 중성자 감속조건에서도 절대로 임계가 일어나지 않도록 핵연료집합체들이 충분히 거리를 두고 배열되게 한다. 이종의 안전성을 위해 중성자 흡수체를 구조체에 섞어 만들거나 저장용수에 붕산수를 섞기도 한다.

방사선 차폐의 문제는 수중에 사용후 핵연료를 저장함으로써 간단히 해결되며 물은 효과적인 차폐체일 뿐만 아니라 냉각재로서 쉽게 이용가능하고 쉽게 정화시킬 수 있기 때문에 수질관리가 쉽다. 핵통제를 위한 감시나 유지관리를 위해서는 수중에 핵연료를 넣어두는 것이 육안관찰과 핵연료의 취급을 쉽게 할 수 있어 습식저장 방식을 모두 사용하고 있다.

사용후 핵연료를 수중에 저장하는 기술은 1943년 최초의 원자로에서 사용후 핵연료를 배출한 이래 계속 개발되어 왔다. 초기에 연구로로부터 나온 핵연료는 보통 알루미늄 피복재를 사용한 것으로 인출된 후 곧 처리되었기 때문에 핵연료 취급장비나 저장설비가 매우 단순하였다. 그러나 상업로가 운전되면서 핵연료의 배열과 붕괴열 제거요인이 크게 변하여 지금의 저장개념으로 발달되어 왔다. 현재 많은 발전소에서는 고밀도 저장 방식으로 저장용량을 증가시켰는데 주요 기술 항목들을 열거하면 다음과 같다.

- 열교환기를 설치하고 물의 정화 조절장비를 보완하였다.
- 보다 정밀한 임계도 계산을 통해 유효중배계수값의 한계를 0.9 대신 0.95로 상향 조정하였다.
- 중성자 흡수체로 알루미늄에 붕소를 넣거나 스테인레스 강 혹은 붕소를 넣은 스테인레스 강을 사용하였다.
- 저장조의 여유 작업지역에 핵연료 저장 Rack을 추가 설치한다.

- 비연료용 Rack을 핵연료 저장에 적합한 Rack으로 교체한다.
- 수직으로 2단의 적재가 가능하도록 저장 방식과 Rack의 설계를 변경한다.

그런데 수직으로의 2단 rack 설치나 여유 작업공간을 이용한 저장 rack의 추가설치는 몇가지 고려해야 할 요건이 있다. 첫째, 2단설치는 기존 rack 위에 핵연료 집합체를 저장할 추가 rack의 높이가 요구되거나 기존 소내 저장조는 단지 한층의 집합체 높이만을 고려하여 설계되었다. 따라서 추가 rack을 설치하기 위해서는 충분한 저장조 깊이를 확보하고 구조변경을 시행할 때 많은 비용이 소요될 수 있다. 소내 저장조의 설계변경은 설사 설계중이거나 인허가를 받지 않은 발전소라 할지라도 건설지연을 예상할 수 있으므로 경우에 따라서는 비현실적인 조치일 수 있다. 둘째로 저장조의 여유 작업지역을 이용하는 방안은 저장조와 관련설비의 운전 유연성을 감소시키며, 작업지역은 단지 사용후 핵연료의 취급, 이송, 인출에 필요한 여러가지 보수, 검사를 위해 예비해둔 공간일 뿐으로 상대적으로 협소하며 정상원자로 운전을 보조하기 위해 반드시 필요하므로, 작업공간을 감소시키거나 없애는 것은 실제로 저장조 용량을 증대시키는 방안이 못된다. 따라서 다른 대안으로서 저장조의 작업지역에 전 노심분을 저장할 수 있는 임시 rack을 설치하는 방안이 연구되고 있다.

근래에는 소내저장조의 용량을 확대하는 방안이 검토되고 있으나 계획중이거나 건설중인 저장조의 설계변경은 추가 안전성 평가와 재설계가 요구되며 건설공기를 지연시키기가 쉽다. 또한 거의 모든 기존 발전소들은 설비의 큰 변경없이 구조변경을 시킬 수가 없도록 설계되어 있기 때문에 일부 발전소에서는 발전소안에 새로운 저장조를 건설하여 기존 저장조와 수로로 연결하는 방안을 강구하고 있다.

이외에 핵연료 집합체 저장간격을 줄이기 위해 일부 국가에서 검토되고 있는 방안들은 다음과 같다.

- 최대 허용 반응도를 설정하고 각 핵연료 집합체가 기준에 만족함을 입증하기 위해 반응도를 직접 측정한다.
- 초기 농축도나 기타 관련 인자들에 따른 최소 연소도를 설정하고 핵연료 집합체가 기준에 만족함을 입증하기 위해 직접 측정을 수행한다.
- 초기 농축도나 기타 관련 인자들에 따른 핵연료 집합체의 최소 연소도를 설정하고 연소도를 결정하기 위해 각 핵연료 집합체의 조사경력을 분석하며, 분석은 승인된 절차에 따라 엄격한 규제기관의 감시하에 수행한다.
- 사용후 핵연료의 집합체를 해체하여 개개 핵연료봉을 새로운 grid 구조물이나 용기안에 보다 조밀하게 배열하는 방법으로서 (rod consolidation) 용기나 grid는 보통 1개 이상의 핵연료 집합체를 수용할 수 있도록 설계하는 방안 등이 있다. 그러나 핵연료봉을 조밀하게 재배열한 용기나 grid 구조물을 저장하기 위해 rack이나 저장조 구조물을 개조해야 할 경우에는 기술적, 경제적 타당성을 입증할 수 있는 상세한 안전성 분석을 수행하여야 한다.

## 제 2 절 소외 저장 시설의 기술현황

### 가. 습식 소외 저장

습식 저장방식은 사용후 연료를 수조(water pool)속에 저장하는 방식으로 수조속의 물은 방사선 차폐 및 붕괴열 냉각등 두 기능을 갖는다. 물속

에는 스텐레스강 또는 알루미늄으로 만든 직사각형 모양의 격자구조물 (rack)이 설치되며 가압경수로와 중수로의 사용후 핵연료는 노심에서 인출된 그대로의 상태에서 이들 격자구조물속에 배치되게 된다.

수조는 그 주변에서 일하는 작업자의 방사선 피폭량을 허용치 이하로 줄이기 위하여 저장되는 핵연료봉 상부로부터 수조의 수면까지의 수위가 적당한 깊이 이상이 유지되도록 설계 된다. 또한 핵임계 방지를 위하여 격자구조물간 간격은 일정한 거리 이상으로 유지되게 하며 이 간격을 줄이기 위하여 중성자 흡수물질로서 붕소를 사용할 수도 있다. 이때 붕소가 사용되는 방식은 이를 물 속에 혼합하거나 또는 격자구조물의 재질을 보탈 즉,  $B_4C$ 와 알루미늄의 화합물로 택하는 방식이 있을 수 있다. 습식 저장시설에는 물냉각과 가열계통, 정수장치, 환기계통 등이 장치된다. 정상상태에서 물저장조는  $20^{\circ}C - 50^{\circ}C$ 로 유지된다. 그리고 정수계통은 핵분열 생성물과 부식에 의해 생겨난 불순물을 제거해 수질과 가시도를 좋게 만들며, 또한 저장수의 방사선농도를 조절해 주는 기능을 갖는다. 습식 저장시설은 상기한 장치외에도 다음과 같은 장치가 포함된다. 운반 작업중 연료집합체가 충돌하거나, 혹은 떨어지는 돌발적 사고를 방지하기 위한 연료취급장치, 연료를 들어 올리고 취급하는 장치, 저장시설로 집어 넣을 때 내용물의 상태를 온전하게 보존할 수 있도록 설계된 연료운반계통, 연료운반 작업중 연료취급장치의 어떠한 돌발적인 낙하도 방지할 수 있도록 설계되고, 필요한 만큼 물에 의한 차폐가 유지되도록 하기 위해선 한정된 높이만큼만 사용후핵연료집합체를 끌어 올리기 위한 Overhead Travelling Crane과 호이스트(Hoist)등이 포함된다.

70년대 중반까지만 하더라도 사용후 연료는 위에 언급한 저장소 속에서



임시로 저장 냉각한 후 재처리공장으로 운반해 간다는 개념하에서 핵연료 주기를 설계했다. 그리고 그 최소 냉각기간은 핵분열 생성물인  $^{131}\text{I}$  (반감기 8.05일)이 충분히 방사붕괴를 하여 재처리시 환경오염에 위험이 없도록 150일로 가정했다. 그러나 70년대 중반 이후에 “핵확산”을 막기 위해서는 상업용 재처리를 해서는 안된다는 국제 정치적 이유와, 우라늄 가격에 비해 재처리 비용이 너무 비싸서 재처리가 코스트면에서 득이 될 것이 없다는 경제적 이유로 사용후 연료의 재처리 전망이 매우 불투명해졌으며 많은 국가가 재처리 유무에 대한 결정을 유보한 상태에서 오늘에 이르고 있다. 이 때문에 사용후 연료의 장기간 저장이 불가피해졌고, 저장시설의 용량이 부족한 나라들에서는 저장시설의 증설 혹은 용량의 확장등이 주요한 과제로 등장했다. 이 결과 습식저장방식을 취하고 있는 여러 나라에서는 수조의 저장용량을 확대하기 위해 다음과 같은 방안이 연구 검토되고 있다.

#### 1) Reracking

Reracking은 저장소의 기존 rack을 저장밀도가 더 높은 rack으로 교체하여 저장용량을 늘리는 방법이다. 지금까지의 rack은 스텐레스강이나 알루미늄을 사용하여 유효 증배계수를 0.9이하가 되게 open frame형태로 설치했다. 이에 비하여 reracking 방식에서는 중성자 독물질을 섞어 만든 rack을 써서 유효증배계수를 0.95이하로 설계하기 때문에, rack간 간격을 기존의 것보다 훨씬 줄이고 이에 따라 저장용량이 늘어나게 되는 방법이다.

#### 2) Double Stacking Rack

Double stacking의 개념은 rack을 이층으로 설치하여 저장밀도를 두배로 늘리는 것이다. 이 방법은 동일한 저장조에 특별한 시설투자없이 저

장밀도를 높일 수 있으나 2층 rack으로 저장할 경우 하부rack에 저장되어 있는 핵연료집합체의 정기적인 관찰이 불가능하므로 관리가 어려운 것이 그 단점이다. 그러나 이 방식은 현재 미국의 Yankee Rowe 발전소에서 채택할 계획을 가지고 있고 알젠티의 Atucha 1호기에서도 증수로용 핵연료를 저장하기 위해서 사용할 계획을 가지고 있다.

### 3) Rod Consolidation

사용후 핵연료 집합체를 해체하여 핵연료봉만 캐니스터에 넣어 rack에 장전하는 방식이다. 사용후 핵연료의 해체는 상부 노즐을 제거한 후 핵연료봉만을 하나씩 뽑아내어 손상 여부를 검사한 후 캐니스터에 조밀하게 끼워 넣는다. 해체하고 남은 grid와 노즐 등은 압축하여 체적을 최소화한 다음 별도의 rack에 저장한다. 이와 같이 해체 저장하게 되면 저장밀도를 이론적으로 100% 증가시킬 수 있다. 다시 말하면 두개의 집합체를 해체하여 한개의 캐니스터에 넣어 저장할 수가 있다는 것이다. 미국에서는 Nuclear Assurance Corporation, Duke Power 회사에서 실증실험을 끝낸 상태에 있다.

습식 소외 저장조는 소내 저장조와 근본적으로 동일하다. 소외저장조는 소내저장조로부터 건식 혹은 습식용기에 담아 이송되어 온 사용후 핵연료를 수납하여 고정식 Rack 혹은 이동식 Basket에 저장한다. 미국과 같은 일부 국가에서는 재처리 시설의 사용후 핵연료 저장조를 제한된 소외저장조로 이용하고 있다.

재처리 공장의 핵연료 저장조는 일반적으로 수납한 사용후 핵연료를 바로 재처리한다는 개념하에 설계되었기 때문에 설비 운전용량의 3-4개월분에 해

당하는 용량밖에 가지고 있지 못하므로 일부 재처리 공장에서는 저장여유를 확보하기 위해 저장조의 저장용량을 증가시키고 있다. 독립적인 소외저장조와 비교해 볼때 재처리 부지의 소외저장조는 수질 관리, 열제거, 핵연료 조작성 측면에서 보다 보수적으로 설계되어 있다.

설계개념은 저장방식에 따라 차이가 있을 수 있으나 안전성에 관련된 기초는 동일하며 이에는 크게 핵연료 피복재의 건전성 보호, 방사선 차폐, 사고시 미임계, 폐기물 관리 및 저장조의 구조적 안전성 유지등이 있다. 습식 저장방식으로 중간저장시설을 결정할 경우 위 4개 기초에 대한 안전설계 개념은 다음과 같다.

첫째는 핵연료 피복재는 핵분열 생성물을 잡아두는 일차방벽이며 이를 위해서 핵연료 취급, 저장 시설의 설계는 피복재의 물리적 손상방지, 화학적 손상방지, 그리고 냉각재의 온도, 순도 조절을 통한 피복재의 건전성 확보가 설계시 고려되어야 한다.

둘째, 방사선 차폐는 사용후 연료 취급, 저장등 관련업무를 수행하는 작업자 보호를 위해 설계시 고려되어야 한다. 습식저장의 경우 이러한 문제는 저장조 벽의 두께와 저장되어있는 핵연료 집합체 상부의 수층 두께로 조절된다. 수층두께는 최상부 Rack에 핵연료 집합체를 저장할 경우 충분히 집합체의 총 길이가 잠길 수 있고 작업자를 적절히 보호할 수 있는 수심을 유지하여야 한다. 이러한 관점에서 원자로에서 바로 인출한 고연소도(30,000Mwd/tU)의 LWR연료인 경우 보통 3m정도의 차폐 깊이가 요구된다.

셋째, 핵임계는 어떠한 경우에도 일어나서는 안되며 예상되는 사고시에도 미임계가 확보될 수 있도록 취급설비, 저장시설, 운전절차등이 설계되어야 한다.

마지막으로 폐기물 관리 및 저장조의 구조적 안전성에 대한 안전설계를

하여 운전중 발생하는 정화계통의 폐수지, 폐필터 처리시 개인 피폭을 최소화해야 하며 저장조의 누수 방지 및 저장시설의 구조적 안전성이 확보되도록 사용후 핵연료 중간저장시설을 설계해야 한다.

## 나. 건식 소외 저장

습식저장은 1943년 이후 현재에 이르기 까지 역사가 오래된 저장 방법이며, 미국의 경우 사용후 연료 저장시설로 인가된 유일한 방법이었다. 그러나 사용후 핵연료를 장시간 물속에 저장할 경우 부식문제가 따르며, 물을 계속 순환시키면서 냉각, 정화시켜야 하기 때문에 저장시설의 운영비가 많이 들고 2차 폐기물의 발생도 수반된다. 따라서 공기를 냉각재로 하여 자연대류에 의한 냉각방식을 취하는 건식 저장방법이 현재 여러 나라에서 연구 개발 되고 있다. 특히 건식방법은 습식저장 시설의 부족을 메우기 위한 추가시설로서 그 저장 용량 조절이 용이하여 초기 시설비가 적게드는 장점도 갖고 있다. 건식저장의 장점은 다음과 같다.

- 저장용량을 자유롭게 정할 수 있으며 필요시 확장이 용이하다.
- 피동 냉각(Passive Cooling)방식이므로 운영이 쉽다.
- Cover Gas의 제어 부담이 적다.
- 2차 방사성물질 생성이 매우 적다.

사용후핵연료의 장기 저장은 Monitored Retrievable Storage(MRS)의 개념을 채택하는 추세인데, 저장 방식은 고유 냉각능력 확보라는 측면에서 건식 저장을 선호한다. MRS의 대표적인 후보 저장방식은 "Sealed Concrete Storage Cask (Silo)" 와 "Field Drywell"이다. 독일에서는 1984년 건식저

장의 AFR을 인가받고 운영중이다.

사용후 핵연료의 건냉 저장은 수냉 저장방법의 대안으로서 습식저장에 대한 임시방편 또는 장기 중간저장 방법의 두가지 적용 가능성에 대해 널리 연구중이다. 현재 세계 각국에서 연구중인 건식저장방법으로는 CASK저장, Vault저장, Silo저장, Drywell저장 방법등이 있으며 다음의 표는 이의 세계적인 연구 개발현황을 보여준다

표 2.1 사용후 핵연료 건식저장 기술의 개발현황

국 명	실험실 혹은 회사명	개 념	기술 상태
미 국	SNR	Silo(SSCC)	실 험 적
	Handford 연구소	Silo(SSCC)	실 증 적
	ANL	금속 밀봉	이 론 적
	CE	Cask	실 용
	REA	Cask	실 용
	W/H	Silo(SSCC)	실 험 적
	ARCO	Drywell	이 론 적
카나다	Whiteshell 연구소 AECL	Silo	실 용
영 국	Winfrith 연구소	Cask	이 론 적
	BNFL	Cask	실 용
	REL(GEC)	Vault	실 용
서 독	Ges. Nuklerservice	Cask	실 용
	Transnuklear	Cask	실 용
	NUKEM	Vault	실 용
	Kraftwerk Union	Vault	실 용
스페인	ENSA	Cask	설 계 시 험 중
스위스	EWI	Vault	설 계 시 험 중

## 1) Cask 저장

개념 : 현재 사용후 핵연료의 운송에 이용되고 있는 Cask와 동일한 Cask를 이용하여 저장하는 방법.

장점 : 운송과 겹해서 사용할 수 있고 저장시설물이 간단하며, 수요에 따라 저장용량을 증가시킬 수 있다. 또한 Cask에 밀봉되어 있으므로 2차 폐기물의 발생량이 적고 저장종료 후 저장시설의 해체가 용이하며 자연냉각이 가능하다.

## 2) Vault 저장

개념 : Vault는 미국, 영국, 캐나다등에서 경수로 핵연료를 저장하기 위하여 연구하였던 초기 건식저장 방법중의 하나로서 두가지 종류가 있다. 하나는 대류에 의한 냉각 방법을 이용하고 다른 하나는 전도에 의한 냉각방식을 택한다. 두 방법 모두 강제 공기 순환방식을 택할 수 있으나 자연대류방식을 이용하면 설비를 훨씬 소형화시킬 수 있어 비용절감 및 계통의 운전신뢰도를 향상시킬 수 있다.

Vault는 보강 콘크리트로 만들며 효율적인 차폐를 위해 구조물의 일부를 지하에 건설할 수도 있다. 현재 운전중인 시설로는 Peach Bottom과 Fort St. Vrain에서 나오는 HTGR 연료용의 Idaho Falls 저장시설과, 가스 냉각로에서 나오는 연료를 1979년부터 저장하기 시작한 영국의 Wylfa 저장시설이 있다.

장점 : 저장단가가 싸고 저장환경의 감시와 저장된 연료의 검사가 용이하며 자연냉각 방식의 채용도 가능하다.

단점 : 초기시설 투자비가 너무 많고 사용후 핵연료를 Canister에 넣어 저장해야 하므로 2차 폐기물이 발생한다.

### 3) Silo 저장

개념 : Vault 저장방식중 한개의 콘크리트 사일로만을 운전한다고 볼 수 있고 기계적, 전기적 혹은 다른 장비들이 전혀 필요없는 저장방식이다.

장점 : 외기의 자연대류에 의한 냉각방식을 이용하며 콘크리트 구조물로서 제작이 쉽고 가격이 싸다.

단점 : 저장밀도가 낮아 넓은 공간이 요구된다.

### 4) Drywell 저장

개념 : 미국에서 상업용 사용후 핵연료를 저장하기 위해 ARCO에서 개발한 방법으로 사용후 핵연료를 고건전성 강철 오버팩에 밀봉시켜 캡슐화한 뒤 지하 Drywell에 저장하고 주변 토양을 통해 지표면까지의 전도에 의해, 대기중으로는 대류에 의해 붕괴열을 분산시키는 것이다.

장점 : 주요 방사선 차폐는 주변 토양에 의하므로 다른 방법에 비해 상대적으로 방사능 준위가 낮고 회수성이 좋다.

건식저장 시설은 어떤 방식이든 온도조절을 용이하게 할 수 있어야 하고, 열전달 매체로서 공기를 사용하고 있으며 헬륨같은 불활성 기체를 사용하여 훨씬 높은 온도를 설계기준으로 이용할 수 있는 방안도 제시되고 있다. 온도기준은 주로 다양한 손상경로에 따라 설정되도록 연구중이며 사용후 핵연료 저장시 고려되어야 할 손상경로로는 응력파열, SCC(Stress Corrosion Cracking), 기계적 과적에 의한 파손등이 있다. 사용후 핵연료의 건식저장시 최대온도는 대개 250℃ - 410℃로 보고되고 있으며 불활성 기체를 열전달 매체로 사용할 경우에는 더욱 높은 온도인 570℃까지도 검토되고 있다.

## 제 3 장 외국의 중간저장시설 현황

### 제 1 절 스웨덴

스웨덴에는 현재 12기의 원자력발전소가 운영되고 있으며, 2010년까지 약 7,800MTU의 사용후핵연료가 발생될 것으로 예측하고 있다. 스웨덴은 국가정책으로 사용후핵연료를 재처리하지 않고 증양집중식으로 중간저장하였다가 영구처분할 것으로 결정하였다. 중간저장시설은 발전소 부지 외(Away From Reactor : AFR) 저장방식으로 Oscarsham 발전소 옆에 CLAB이라는 시설을 지하의 암반동굴내에 건설하여 이미 1985년 부터 운영하고 있다.

#### 가. 사용후핵연료 수송계통

SSI (스웨덴 방사선 방호연구소)의 방사선방호규제기준, SKI(스웨덴 원자력 안전검사국)의 안전규제기준과 IAEA의 권고를 준수 하도록 하고 있다.

##### 1) 수송용기

1980년에 TN MK2를 표준수송용기로 채택하였으며, 수송용기의 냉각 방식은 건식을 채택하고있다. 방사선 차폐 용기를 사용하며 방사선 위해와 손상을 방호할 수 있도록 견고하게 설계 되었다.

##### o 수송용기의 사양

- 중량 : 80 Tonnes
- BWR/PWR fuel : 17개/7개의 연료 집합체 수용가능
- 낙하시험 : 9 m 높이



- 수압시험 : 4000 m 깊이의 수중에서 내압
- 화재시험 : 800℃ 에서 30분간

## 2) 해상수송

사용후핵연료는 해상으로 선박(M/S sigyn)을 이용하여 각 발전소로부터 CLAB시설의 항만시설로 운반된다.

## 3) 부지내에서의 수송

발전소내에서 선박까지 수송후 선박으로부터 CLAB시설까지 Terminal Vehicle에 의해서 사용후핵연료를 육상운반 한다.

## 나. CLAB 시설

CLAB시설은 지상부분과 지하부분으로 나누어져 있으며 주요시설로서는 수납건물, 보조건물, Electrical Building, Fuel Elevator, 저장수조등이 있으며, 시설에 대한 설계 사양은 표 3.1에 나타내었다. 수납건물에서는 핵연료수송용기(TN 17 MK2)를 수납하여, 수송용기를 세척 냉각하고, 핵연료 손상여부를 검사하게 된다. 보조건물에서는 pool water의 정화, 폐기물처리, HVAC 및 중앙제어를 할 수 있으며, Electrical Building에서는 전원공급을 할수있고, Fuel Elevator 에 의해 핵연료를 수납건물에서 저장수조로 이송되어, 저장수조에 저장할 수 있도록 되어 있다.

### 1) CLAB시설에 대한 조건

발전소에서 최소 1년 이상 냉각된 사용후핵연료를 인수하는 것으로 하였으며, Kr-85를 제외한 기체 핵분열 생성물은 붕괴될 것이다. 그리고 1000 MTU 단위이상의 대량 핵연료를 저장하는 것으로 하였으며 열과 압력등에 대한 driving forces가 작아야하고, 정상적인 조건에서 안전성 위해가 적어야 한다.

표 3.1 CLAB시설의 사양

Storage capacity	3000t of Uranium
Receiving capacity	3000t of uranium/year
Storage pools	
Number	4 + 1 in reserve
Approximate water volume	3000 m <sup>3</sup> /pool
Approximate water depth	12.5 m
Pool design temperature	100 °C
Operating temperature (at sea water temp. of 18 °C and decay power of 6.5 MW)	32 °C
Cooling and cleaning system for Receiving Pools	
Number of circuits	1
Cooling Capacity	0.35 MW
Cooling and cleaning system for Storage Pools	
Number of circuits	2
Cooling capacity	6.5 MW
Cooling Water flow rate	300 L/s
Surface Building Storage Section	220,000 m <sup>3</sup>
Rock cavern	65,000 m <sup>3</sup>
Tunnels	15,000 m <sup>3</sup>
Dimensions of rock cavern Height x Width x Length	27 m x 20 m x 120 m
Thickness of rock cover	25-30 m

중간저장시설의 설계기준사고로서 다량의 방사능 방출을 유발하는 사고는 핵임계 사고, 핵연료에 대한 기계적 충격에 의한 파손 사고.

저장조에서 물의 상실 사고 등을 들 수 있다. CLAB 시설은 60년간 운영될 수 있도록 설계되어 있다. 책임계 안전성은 U.S. Reg. Guide 1.13 "Spent fuel facility"의 것을 적용하였으며,  $K_{eff} \leq 0.95$ 를 어떠한 사고 조건에도 적용할 수 있는 목표치로 설정하고 있다.

## 2) 수송용기 및 핵연료 취급

CLAB 시설로 수송용기가 Terminal vehicle에서 수납건물로 반입되면, 3개의 준비 cell 중의 한 cell에 위치하게 된다. 여기에서 수송용기는 오염 및 손상을 방지하기 위하여 외부에 skirt(철제외피)로 덮여진다. 그후 skirt와 수송용기 사이의 공간으로 순환수가 공급되어 순환수에 의하여 용기의 핀을 통하여 외부로부터 냉각된다. 이렇게 하여 물과 skirt 자체가 용기의 방사선차폐를 강화시키는 역할을 하며, 용기내부를 냉각시키기전에 내부의 방사선 기체를 감시하기 위하여 배기시킨후 내부를 냉각시킨다. 이때 만약 배기되는 기체에 방사능이 감지되면 핵연료손상이 운송도중에 발생된 것을 의미하며, 이러한 손상연료는 특별한 처리 및 취급되어야 한다. 정상적이면 입자가 수집되는 필터를 통과하는 순환수에 의하여 냉각된다. 물의 온도와 방사능이 허용치(acceptable value) 이하로 될때에는 냉각이 종료되고, 수송용기를 cell 밖으로 꺼내어, 수납조로 운송된다. 여기에서 수송용기의 뚜껑을 열고 핵연료 집합체를 하나씩 꺼내게 된다. Unloading(핵연료집합체의 모든 후속취급행위)은 수중에서 행하여지며, 핵연료 집합체를 저장용기(canister)로 이송하게 된다. 각각의 저장용기는 16BWR 핵연료 집합체 또는 5 PWR 핵연료 집합체를 수용하도록 설계되었으며, 저장용기는 시설내 서로 다른 저장수조간에 이송에 사용된다. 그리고 저장용기는 storage rack으로 사용된다. 한편 수송용기는 준비 cell로 돌

려 보내기전에 청소하여 방사능 오염을 제거하여, 다음의 사용에 대비하여야 한다.

## 제 2 절 미국

### 가. DOE에서 개발한 MRS (Monitored Retrievable Storage)

현재 미국 전체 전력의 약 20% 정도가 상업용 원자력발전소에서 생산되고 있다. 이 발전소들중 대부분은 금속 핵연료봉안에 담겨있는 우라늄 핵연료 펠렛의 형태인 핵물질을 사용하고 있다. 현재까지 약 20,000 톤 우라늄 정도의 막대한 양이 원자력 발전소 부지내에 사용후핵연료로서 보관되고 있다. 2,000년이 되면 이 양은 현재의 두배가량이 될 것으로 보이며, 현재 가동중인 원자력발전소들의 최종 운영이 끝나는 시점에서는 이 양은 약 84,000톤의 우라늄이 될 것으로 예상되고 있다. 사용후핵연료와 고준위폐기물에 대한 미국정부의 기본정책은 사용후핵연료와 고준위폐기물에 의해 야기될 수 있는 위험으로부터 일반대중과 환경을 보호하며, 또한 안전한 처분계통을 개발하고 이를 관리하는 데에 있다. 이의 법적 뒷받침을 위해 1982년에 미국의회는 핵폐기물정책법(The Nuclear Waste Policy Act)과 1987년에 이의 개정법(The Nuclear Waste Policy Amendments Act)를 통과시킴으로써, 핵폐기물기금(Nuclear Waste Fund)을 사용하여 DOE(미 에너지성)의 책임아래 고준위 폐기물과 사용후핵연료의 영구처분과 MRS (Monitored Retrievable Storage) 시설을 위한 부지선정, 건설 및 운영을 담당하도록 하였다.

사용후핵연료를 영구처분장으로 이동시키기 전에 일시적으로 저장하기

위하여 DOE에서 건설하려고 하는 MRS시설은 1998년부터 사용후핵연료를 인수하는 것을 목표로 하고 있으며, 대상 부지 선정은 1987년의 개정법에 의해서 DOE가 부지조사 및 평가를 통하여 선정하던지 또는 핵폐기물 협상자(Nuclear Waste Negotiator)의 노력으로 선정하던지 하도록 규정하고 있다. 현재, 가장 유력한 부지는 네바다주에 위치한 유카마운틴(Yucca Mountain site) 부지이며, 영구처분장에서 사용후핵연료를 인수할 시점까지는 약 10,000톤의 우라늄을 저장시킬 계획이다. 그 이후에는 약 15,000톤의 우라늄을 저장할 계획이다. 사용후핵연료를 취급하고 저장하는 기술에 관해서는 현재 미국 NRC에 의해 허가를 획득한 방법들과 또한 현재 인허가 과정이 진행중인 방법들이 있는데, 이들중 MRS 시설에 채택하기 위해 고려중인 대표적인 것은 다음과 같다.

- o Concrete casks
- o Metal casks
- o Multiple-element sealed metal canisters in Concrete modules
- o Modular vaults
- o Metal dual-purpose casks for transportation and storage

#### 1) Vertical concrete casks

이 용기는 고밀도 철근 콘크리트로 만들어지며, 두께는 방사선 차폐를 제공하기에 충분할 정도이다. 열은 수동적방법에 의해 제거된다. 용기의 내부에는 철 라이닝이 있으며 또한 사용후핵연료 집합체를 지지하는 금속바스켓이 있다. 일단 사용후핵연료가 용기내에 장전이 되면, 용기는 용기 캐비티 상부에 꼭 들어맞는 기계적 밀봉장치를 가진 실린더형 콘크리트 차폐 플러그에 의해 봉인되며, 이 플러그는 덮개로 용접된다.

## 2) Metal cask

이 용기는 사용후핵연료 집합체들을 지지하는 내부 바스켓을 가지고 있는 매우 크고 무거운 용기이다. 용기의 본체는 흔히 강철, 주철 또는 납 그리고 스테인레스강등으로 만들어진다. 용기의 벽을 감마선에 대한 차폐를 제공하기에 충분히 두꺼우며, 용기의 본체는 중성자를 흡수하는 물질을 함유하고 있다. 열은 수동적 방법에 의해 제거되며, 겉 표면은 부드럽거나 또는 냉각효율을 증대시키기 위하여 핀 형태로 되어 있다.

## 3) Horizontal multiple-element sealed canister

이 개념은 사용후핵연료를 밀봉된 스테인레스강 캐니스터의 내부에 장전하여 그 외곽을 콘크리트 모듈로서 차폐하고 보호하는 것이다. 이때, 핵연료로부터 열을 수동적으로 제거하기 위하여 콘크리트 모듈에 공기 채널이 설치되어 있다.

## 4) Modular vaults

이것은 콘크리트 구조물내에 수직으로 배열된 금속관들로서 이루어져 있다. 외각의 콘크리트는 사방에서의 필요한 차폐와 보호를 제공하며, 열은 수동적 방법에 의해 제거된다. 각 금속관은 하나의 사용후핵연료 집합체를 저장하며, 이 금속관은 탄소강으로 만들어졌다. 이러한 모듈 형태의 설계는 저장이 용이하고 경제적으로 확장시키기 위하여는 필요하다.

## 5) Dual-purpose transportable storage casks

이 이중목적 수송용 저장용기는 사용후핵연료를 수송하고 저장하는데에 공통적으로 사용할 수 있다. 이 개념은 현재 저장용 또는 수송용 용기로서 사용되고 있는 금속 용기에 근거하고 있다. 현재의 이중목적 용기의 설계 내용은 매우 큰 용량이며, 핵연료가 장전되었을 경우에는 그 무게가 100톤이 넘는다. 이러한 용기는 원자로 부지에서는 고하중크레인에 의해서만 취급될 수 있으며 또한 철도를 통한 수송만이 가능하다. 이러한 용기는 원자로부지에서 장전된 후, MRS 시설로 옮겨진 후 검사를 거치고 개봉되지 않은 상태에서 저장된다. 이 용기는 NRC에 의해 승인된 설계 내용대로 제작되며, 수송용기에 적용되는 것과 동일한 엄격한 시험을 통과해야만 한다.

### 나. General Electric의 Morris 시설

미국 제너럴 일렉트릭사는 시카고 남서쪽 50마일 거리에 위치한 모리스에 약 750톤의 우라늄을 저장할 수 있는 사용후핵연료저장시설을 설치 운영중에 있다. 1972년부터 PWR 및 BWR 원자로의 사용후핵연료를 인수 받아 저장을 시작해온 본 시설은 1989년말 현재 전 저장용량이 포화되어 이제는 더이상 사용후핵연료를 인수하지는 않고, 기존의 사용후핵연료만을 저장,보관하고 있다. 저장하고있는 핵연료의 설계 기준은 최초의 우라늄-235 농축도가 5% 이하인 UO<sub>2</sub> 핵연료로서 스테인레스강, 지르코늄 또는 지르칼로이로 된 피복재를 가진 핵연료이다. 또한 이 핵연료는 40kw/kg 정도의 출력준위에서 조사되어 연소도가 44,000 MWD/MTU에 이르며, 원자로에서 인출된 후 이곳 저장 장소인 모리스에 도착하기까지 최소한 일년이상 냉각된 사용후핵연료를 설계기준으로 하고 있다. 모리

스 사용후핵연료 저장시설에서 수행되는 사용후핵연료의 인수 및 저장 절차는 크게 다음과 같은 네가지 단계로 구분된다.

- o Receiving and cleaning the cask
- o Preparing the cask for unloading
- o Unloading and storing the fuel
- o Preparing the cask for reshipment.

이의 과정을 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

### 1) 수송용기의 인수 및 세척

수송용기가 인수시설에 도착하게 되면, 수송도중에 발생하였을지도 모르는 영향을 점검하기 위해 수송용기를 검사한다.

#### 가) 방사능오염 및 외견 검사

수송용기와 차량의 방사성물질로 인한 오염을 감지하고, 외부선량을 조사하기 위해 방사선탐사를 수행한다. 이때, 규제치 이상의 양이 감지되면, 보고에 관한 규제 지침에 따라 작성된 절차서에 의해 보고한다. 수송용기와 차량을 외부의 물리적 손상에 대하여 검사된다. 만일 손상이 발견되면, 이 사실을 수송용기의 탁송자나 소유주에게 알리고 손상의 정도에 따라 수송용기의 인수과정을 진행하기 전에 보수가 필요할 것인지 아닌지를 결정한다.

#### 나) 수송용기의 분리

수송용기는 수송용기 인수지역에서 차량으로부터 분리된다. 이때 125톤 정도의 크레인이 사용되며, 수송용기는 제염설비 지역에 곧바로 세워진다.

#### 다) 외부세척(cleaning)

수송용기는 저장조로 옮겨지기 전에 표면에 묻어있는 먼지나 더러



운 것들이 세척된다. 이는 수송용기를 저장조에서 꺼낸후에 제염을 실시하는 노력을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 저장조 물의 청정도를 유지하는 데에도 도움이 된다.

## 2) 하역을 위한 수송용기 준비

### 가) 내부세척(Flushing)

수송용기의 내부를 저장조의 물로써 세척하여, 이물의 일부를 시료채취하여 결합핵연료의 유무를 가리기 위한 수단으로서 방사성물질의 오염준위를 분석한다. 만일 결합 핵연료가 존재하는 징후가 발견되면, 특별히 마련된 절차서에 의해 수송용기의 개봉 및 하역작업이 수행된다. 내부세척에 사용된 물은 저장조의 필터에 의해 여과된 후에 저장조로 다시 들어가거나 저농도 폐기물 (Low Activity Waste) 계통의 탱크에 보관된다.

### 나) 뚜껑제거를 위한 준비

다음에 수송용기는 일정한 수의 뚜껑 밀봉 볼트(또는 너트)를 제거하므로써 수송용기 하역 준비를 수행한다. 나머지 볼트(또는 너트)는 수송용기가 저장조에 안착하기 전에 기울어지거나 떨어지는 경우에 수송용기의 뚜껑을 안전하게 지지하고 있어야 한다.

### 다) 수송용기 하역 저장조에 안착

수송용기는 제염설비에서 들어올려져서 수송용기 출발선반위에 올려진 후 여기에서 최종 밀봉 볼트(또는 너트)를 푼다. 이후 수송용기는 크레인이나 그의 케이블이 저장조의 물에 잠기지 않도록 하기 위한 연장 고리를 사용하여 수송용기 하역 저장조에 안착된다. 그리고 수송용기의 뚜껑이 케이블에 의해 들려진다.

### 3) 사용후핵연료의 하역 및 저장

사용후핵연료는 5톤의 용량을 가진 사용후핵연료 취급크레인에 의해 하역된다. 한편 수증 핵연료의 하역작업을 도운다. 수송용기내에 담겨있던 사용후핵연료는 하나씩 하나씩 크레인에 의해 들려져서 핵연료 바스켓( PWR형 : 2 X 2, BWR형 : 3 X 2)에 옮겨진 후, 이 핵연료 바스켓이 다 채워지면 핵연료 저장조 지역으로 이동되어 저장. 보관된다.

### 4) 수송용기의 재사용을 위한 준비

수송용기하역후 저장조내에서 텅 비워진 수송용기는 뚜껑을 닫은 다음 크레인에 의해 들어올려져서, 수송용기 출발 선반위에서 수송용기 내부와 표면에 묻어있는 저장조의 물을 다 제거한 후 다시 중류수를 이용하여 수송용기의 표면을 세척한다. 그리고 나서, 수송용기는 제염 설비로 이동되며 제염을 실시하고 뚜껑의 볼트(또는 너트)를 조인다. 이후 수송용기는 다시 수송차량에 실리게 된다.

한편, 이 모리스 저장시설은 원자력발전소에서 생성된 경수형 사용후핵연료를 저장하도록 허가받았다. 이때 설계기준으로 적용된 40kw/kgU으로 조사되어 연소도가 각각 24,000 MWD/MTU와 44,000MWD/MTU에 이른 후, 일년동안의 냉각기간을 거친 사용후핵연료내에 존재하는 핵분열 생성물의 방사능 세기에 대해 평가를 받았다. 저장시설에 인수되어 저장될 대표적인 사용후핵연료는 33,000 MWD/MTU 이하의 연소도를 가지며, 냉각기간이 1년 이상인것이 대부분이다. 1988년 4월 현재 저장중인 BWR형 사용후핵연료의 평균 연소도는 17,000 MWD/MTU 이며, PWR형은 약 25,500MWD/MTU이다. 총 평균연소도는 18,750 MWD/MTU으로서 44,000 MWD/MTU보다 훨씬 낮다. 한편, 1988년 4월 현재 전체적인

평균 냉각기간은 약 13.3년이다. 방사성핵종별 농도준위는 저장조에 보관되는 사용후핵연료의 증가 추세와 저장조 정화계통의 필터의 운전 방법에 따라 약간씩 변화한다. 저장조내의 방사능농도는 작업자의 방사선 피폭에는 크게 기여하지 않을 정도이다.

## 제 4 장 국내·외 관련 규정

### 제 1 절 중간저장시설에 관한 국내 규정

#### 가. 원자력법 제77조 (허가기준)

분배시설, 저장시설 및 폐기시설 ( 이하 “폐기시설등”이라 한다 )의 위치, 구조 및 설비가 대통령령이 정하는 기술기준에 적합하여 방사선물질등에 의한 인체, 물체 및 공공의 재해방지에 지장이 없을 것.

#### 나. 원자력법 시행령 제229조의 2 (사용후 핵연료 중간저장시설)

1) 사용후 핵연료 중간저장시설의 구조, 설비는 습식 및 건식으로 구분하여 다음에 정하는 요건에 적합하도록 과학기술처 장관이 정하는 기술기준에 따라야 한다.

가) 사용후 핵연료의 취급 및 저장에 충분히 대처할 수 있는 방사선차폐 능력을 유지할 것.

나) 사용후 핵연료의 임계 도달을 효율적으로 방지할 것.

다) 붕괴열 등으로 인하여 사용후 핵연료가 용융되지 아니하도록 충분한 냉각 능력을 유지할 것.

라) 태풍, 홍수, 폭설 및 지진등에 의한 손괴로 인하여 일반인에게 방사선에 의한 장애가 발생되지 아니하도록 할 것.

마) 화재 및 폭발 등으로 인한 영향에 충분히 대처할 수 있도록 할 것.

바) 기타 방사선 안전사고 및 방사능 유출 등으로 인한 주변환경 및 일반대중의 방사능 영향을 방지할 것.

다. 원자로 시설의 설비 관련 규정

원자력법 시행령 제58조에 명시된 원자로 시설의 구조 및 설비에 관한 기술 기준 (영 제59조 내지 제93조)중 설비에 관련된 내용의 요약은 다음과 같다.

- 1) 소화설비 및 경보설비가 있어야 하며 내화재료를 사용해야 한다.
- 2) 지진 및 진동에 의한 손상을 받지 않도록 시설해야 한다.
- 3) 출입제한 시설의 설치 및 표지를 부착해야 한다.
- 4) 안전설비의 다중성 및 손상방지 조치를 해야한다.
- 5) 내압시험에 따른 누설을 방지해야 한다.
- 6) 정상운전시 압력, 온도, 방사선에 의한 재료의 성질을 유지하도록 해야 한다.
- 7) 1차 냉각재의 배출 처리장치를 시설해야 한다.
- 8) 방사선물질 함유 배관 또는 폐기물 처리설비의 역류방지밸브를 설치해야 한다.
- 9) 방사성물질 농도의 계측장치 및 경보장치를 설치해야 한다.
- 10) 1차 냉각계통 및 방사성폐기물 처리설비에 관련되는 주요기기의 동작상태 표시장치를 시설해야 한다.
- 11) 핵연료 집합체 또는 사용후 핵연료 저장설비는 다음과 같이 시설해야 한다.
  - 가) 연료동이 임계에 도달할 우려가 없는 구조일 것
  - 나) 붕괴열에 의하여 연료동이 용융하지 아니하는 것일 것
  - 다) 저장수조는 물이 넘치거나 새어나올 우려가 없고, 방사선 차폐에 필요한 양의 물이 있어야 하며, 연료동의 피복이 현저하게 부식할 우려가 있는 경우에는 이를 방지할 수 있을 것.
  - 라) 저장용량이 충분할 것

마) 취급자외의 자가 출입하지 아니하도록 할 것

사) 연료취급장치는 다음과 같이 시설해야 한다.

- (1) 연료등을 취급할 수 있는 능력을 보유하는 것일 것
- (2) 연료등이 임계에 도달할 우려가 없는 것일 것
- (3) 붕괴열에 의하여 연료등이 용융하지 아니할 것
- (4) 취급중에 연료등이 파손될 우려가 없을 것
- (5) 연료등을 넣는 용기는 취급중에 충격, 열 등에 견디기 쉽고 파손되지 아니하는 것일 것.

12) 방사능물질로 오염된 공기에 의한 방사선 장애를 방지할 필요가 있는 것에는 다음과 같이 환기설비를 시설해야 한다.

- 가) 방사선 장애를 방지하기 위하여 필요한 환기능력을 가질 것
- 나) 오염된 공기가 누설되기 어려운 구조이고 역류할 우려가 없을 것
- 다) 배출하는 공기를 정화하는 장치를 설치한 경우에는 여과장치의 방사성 물질에 의한 오염의 제거 또는 여과장치의 교체가 쉬운 구조일 것
- 라) 흡기구는 방사성 물질에 의하여 오염된 공기를 흡입하지 아니하도록 시설할 것

13) 방사성폐기물을 처리하는 설비는 다음과 같이 시설해야 한다.

- 가) 공기 및 수중 방사성물질의 농도가 허용농도이하가 되도록 시설에서 발생하는 방사성폐기물 처리 능력을 보유할 것.
- 나) 방사성폐기물 이외의 폐기물을 처리하는 시설과 구별하여 시설할 것.
- 다) 방사성폐기물이 누설하기 어려운 구조이고 화학약품 등에 의하여 현저히 부식할 우려가 없는 것일 것.
- 라) 배수로의 경사에 의하여 유체상의 방사성폐기물이 배수구정으로 흐르는

구조이고 유체상의 방사성폐기물의 누설확대를 방지하기 위한 독이 시설되어 있을 것.

마) 방사성폐기물이 시설밖으로 누설되는 것을 방지하기 위한 독이 시설되어 있을 것. 다만, 시설이 지표면보다 낮아 누설될 우려가 없을때는 제외한다.

14) 방사성폐기물을 저장하는 설비는 다음과 같이 시설하여야 한다.

가) 정상운전시에 발생하는 방사성폐기물을 저장할 수 있는 용량일 것

나) 붕괴열 및 방사선 조사에 의하여 발생하는 열에 견디고 화학약품 등에 의하여 현저히 부식할 우려가 없을 것

다) 방사성폐기물에 의한 오염이 확산하지 아니하도록 할 것

라) 유체상의 방사성폐기물을 저장하는 설비는 시설밖으로 누설되는 것을 방지하기 위한 독을 시설할 것.

15) 비상 예비 동력장치 시설

가) 내.외부 전원공급 중단시 안전확보에 필요한 여러장치의 기능을 유지할 수 있도록 비상예비 동력장치를 시설해야 한다.

나) 시설의 안전확보에 필요한 장치는 무정전 전원장치 또는 이와 동등이상 의 기능을 가진 장치를 해야 한다.

## 제 2 절 중간저장시설에 관한 미국의 관련 규정

사용후 핵연료 중간저장시설 (이하“중간저장시설”이라 한다.)에 관한 미국의 규제요건 및 기술기준은 거의 완벽하게 확립되어 있다. 중간저장시설의 설계에 관련된 미국의 관련 법령, 규제요건 및 기술기준의 내용은 다음과 같다.

### 가. 미연방법령 (10 CFR 72, Subpart F)

사용후 핵연료 중간저장시설에 적용할 수 있는 일반설계기준은 10 CFR Part 72 “사용후 핵연료 중간저장시설의 인허가 요구사항”의 부항목 “일반 설계기준”으로 중간저장시설의 설계기준에 대한 최소요건이 기술되었으며, 이러한 설계기준에는 안전성에 중요한 구조물, 계통 및 기기의 설계, 제작, 건설, 시험 및 성능에 대한 요건들이 설정되도록 기술되었으며, 계통및 기기에 관련된 설계기준은 다음과 같다.

#### 1) 화재 및 폭발에 대한 방어

안전성에 중요한 구조물, 계통 및 기기는 화재나 폭발사고시에도 그들의 안전기능이 효과적으로 계속 수행될 수 있도록 설계, 배치되어야 한다. 가능한 곳에는, 특히 주요 방사성물질 관리구역 및 안전제어기능유지에 필수적인 구역은 내화재료와 불연재료를 사용해야 한다. 폭발 및 화재의 감지, 경보 및 소화계통은 폭발이나 화재발생시에 안전성에 중요한 구조물, 계통 및 기기등에 미치는 악영향을 최소화 하는데 충분한 용량과 능력을 갖도록 설계되어야 한다. 중간저장시설은 소화계통의 작동 또는 고장으로 초래되는 악영향이 방지될 수 있도록 설계되어야 한다.



## 2) 계통 및 기기의 공동 사용

안전성에 중요한 계통 및 기기가 다른시설과 공동사용시 안전기능 수행상 공동사용에 따른 능력손상이 없다고 확증된 경우를 제외하고는 다른 시설과의 공동사용을 금한다.

## 3) 주변시설

다른 원자력 시설 부근에 중간저장시설이 위치할 경우에는 다수시설의 동시 가동에 따른 누적영향이 공중의 보건과 안전에 위험을 초래하지 않도록 중간저장시설을 설계 및 운전하여야 한다.

## 4) 계통과 기기의 시험 및 보수유지

안전성에 중요한 계통과 기기는 검사, 보수 및 시험이 가능하도록 설계되어야 한다.

## 5) 비상시 능력

계통 및 기기는 비상시에 대비할 수 있도록 설계되어야 한다.

## 6) 격납방벽 및 계통

가) 연료 피복관은 부식 및 파손으로 부터 보호되어야 한다.

나) 냉각수의 정화와 저장조의 수위관리 계통은 비정상운전 또는 고장으로 인하여 저장조의 수위가 안전수위 이하로 내려가지 않도록 설계되어야 하며, 비정상운전 또는 고장으로 인하여 상당량의 냉각수 손실을 유발시킬수 있는 배수설비, 고정연결계통 및 기타 설비의 설치는 설계상 제외되어야 한다. 저장소 수위의 경보를 위한 수위측정기를 구비해야 한다.

다) 환기 및 배기계통을 설치해야 한다.

## 7) 계측 및 제어계통

정상 또는 비정상상태에서 안전성에 중요한 계통을 감시할 수 있어야 하며, 사고시에도 정상적인 안전제어 기능을 발휘할 수 있도록 설계되어야 한다.

## 8) 유틸리티 공급계통

가) 비상시에 대응할 수 있도록 설계되어야 하며, 안전성에 중요한 계통은 하나가 고장이 나도 안전기능의 수행능력과 적절한 용량을 갖춘 예비계통을 구비해야 한다.

나) 각 계통의 안전기능 수행능력 및 용량에 대한 시험이 가능하고, 관련 안전계통의 운전이 가능하도록 설계되어야 한다.

다) 안전저장에 필수적인 모든 계통을 유지하는데 필요한 전력을 공급할 수 있는 비상전력계통을 구비해야 한다.

## 9) 핵임계 안전설계

사용후 핵연료의 취급, 운반 및 저장계통은 미임계상태를 유지할 수 있고 핵임계 사고가 일어나지 않도록 설계되어야 한다.

## 10) 피폭관리

시설내의 작업종사자가 방사선 또는 방사성 부유물질에 노출될 수 있는 모든구역과 작업에 대해서는 방사선 방어계통이 마련되어야 한다.

운전, 보수유지 및 요구되는 검사시에 이러한 피폭이 야기될 수 있는 구조물, 계통 및 기기들은 작업종사자에 대한 체내외적 방사능 피폭을 억제할 수 있도록 설계, 제작, 배치, 차폐, 관리 및 시험되어야 한다.

### 11) 방사능 경보계통

작업구역내의 방사선이나 공기중 방사능준위가 설정치를 초과하거나 배출물중의 방사능 농도가 제한치를 초과할 경우 작업종사자에게 경보를 알릴 수 있는 방사능 경보계통을 구비하여야 한다. 경보계통은 이의 성능을 검사하고 보정할 수 있도록 설계하여야 한다.

### 12) 배출물과 방사선 감시

정상 또는 사고시 배출물중 방사성핵종의 양과 공기나 물과 같은 희석 매질의 유량을 측정할 수 있어야 한다. 방사성물질이 존재하는 구역내 또는 주변의 방사선준위를 측정할 수 있는 계통이 구비되어야 한다.

### 13) 배출물 관리

중간저장시설은 정상운전시 배출물로 나가는 방사성물질을 개념에 따라 제한하도록 설계되어야 하고, 사고시 방사성물질의 배출량을 제한할 수 있도록 설계되어야 한다. 환경으로 배출되는 방사성물질의 감시계통은 교정과 계통의 기능을 시험할 수 있도록 설계되어야 한다.

### 14) 사용후 핵연료와 방사성폐기물의 저장 및 취급계통

사용후 핵연료와 방사성폐기물의 저장, 취급계통 및 사용후 핵연료 관련 방사성물질을 함유하고 있거나 이들을 취급하는 계통은 정상 또는 사고시에 적절한 안전성이 보장될 수 있도록 설계되어야 한다. 이들 계통은 다음과 같은 사항들을 고려하여 설계되어야 한다.

- 가) 안전성에 중요한 기기들을 시험하고 감시할 수 있는 능력
- 나) 정상 또는 사고조건에서 방사선 방어를 위한 적절한 차폐
- 다) 격납구조물 및 계통

라) 냉각능력

마) 방사성폐기물의 발생량을 최소화 할 수 있는 수단

15) 폐기물 처리

방사성폐기물 처리시설을 구비하여야 하며, 부지내에서 발생하는 저준위 방사성폐기물을 수송하기 위한 포장시설이 구비되어야 한다.

16) 시설 해체 기준

저장시설은 해체가 가능하도록 설계되어야 한다. 중간저장시설을 해체할 경우 구조물과 기기의 제염이 용이하고, 방사성폐기물과 오염기기의 발생량을 최소화하고, 방사성폐기물과 오염물질의 제거가 용이하도록 설계되어야 한다.

나. 미국의 규제지침

1) 사용후 핵연료 저장시설 설계기준(USNRC Reg. Guide 1.13)

본 규제지침서는 원자력발전소의 사용후 핵연료 저장시설의 설계기준을 이행하는데 필요한 방법을 기술한 것으로 저장시설의 설비에 관한 내용을 요약하면 다음과 같다.

가) 사용후 핵연료의 취급 및 저장시설의 설계시 중요사항

- (1) 사용후 핵연료를 노출시킬수 있는 핵연료 저장조 냉각수의 상실 방지
- (2) 사용후 핵연료의 기계적 손상방지
- (3) 사용후 핵연료로부터 증대한 방사능 누출사고시 잠재적 소외피폭을

## 제어하기 위한 능력 구비

### 나) 설비의 설계요건

- (1) 사용후 핵연료 취급작업을 진행하지 않을때 저장된 사용후 핵연료상부로 크레인이 지나가는 것을 방지하는 연동장치를 구비하여야 하며, 이 연동장치는 우회해야 하는 필요성이 최소화 되도록 설계하여야 한다.
- (2) 사용후 핵연료 저장조는 관리 구역내에 두고, 환기계통 및 여과계통은 핵연료집합체 1개의 모든 핵연료봉 피복관이 파손된다는 가정하에 설계하여야 한다.
- (3) 사용후 핵연료 저장시설은 재장전 용기를 포함한 증량물 취급시 취급 크레인에 의한 사고위험이 없도록 설계하여야 한다.
- (4) 냉각수량과 수질을 유지하기 위한 계통은 오동작 또는 고장으로 인하여 사용후 핵연료가 노출되지 않도록 설계하여야 한다.
- (5) 저장조 수위 및 방사선준위의 감시장비를 구비해야 한다.
- (6) 저장조에 안전적으로 냉각수를 보충해 줄 수 있는 보충수 공급계통을 구비하여야 한다.

### 2) 습식 사용후 핵연료 중간저장시설의 설계 (USNRC Reg. Guide 3.49)

본 규제지침서는 10CFR Part 72의 Subpart F “일반설계기준”에 따라 습식 사용후 핵연료 중간저장시설의 설계시 승인지침을 제시한 것으로 중간저장시설을 ANSI/ANS 57.7에 따른 설계시의 승인조건을 기술하였다.

### 3) 주요설계기준 (Reg. Guide 3.44, Chapter 3)

사용후 핵연료 중간저장시설의 안전성분석보고서 작성지침(Reg. Guide 3.44)의 제3장 주요설계기준등 설비에 관한 설계상 고려해야할 내용은

다음과 같다.

가) 격리방법 및 계통

환경으로의 방사능 누출발생을 방지하기 위하여 다음사항을 포함한 격리방법

- (1) 내부사고 또는 외부 자연현상에 대한 방어
- (2) 용기, 배관, 유출계통 및 보조밀납에 적용된 방어
- (3) 시설의 운전으로 인한 방출의 실제준위 최소화

나) 공기조화계통

정상 및 비정상 조건에서의 다음 사항을 포함한 환기 및 배기계통의 설계기준

- (1) 오염관리를 위한 공기유동형태 및 속도
- (2) 계통내 주요지점에서의 최소부압
- (3) 배기 및 환기계통의 상호작용
- (4) 최소한의 필터 성능 및 최대압력 강화
- (5) 기타 방사능 제거장비의 최소성능
- (6) 완충기 및 제어장치의 최소성능

다) 기기 및 계측장비

- (1) 주요기기 및 계측장비의 설계기준과 이들의 시험가능성

라) 핵임계 안전성

- (1) 최악의 운전 및 저장조건에서 미임계 확보방안 및 오류기능 기준
- (2) 검증분석에 사용하는 모델 또는 프로그램의 확인을 위한 기준

마) 방사선 방어

- (1) 피폭의 최소화를 위한 시설물의 출입제한 방법 및 절차
- (2) 연간집적선량을 최소화하는 차폐 방법과 각지역 및 운전에 따른 예상선량

(3) 방사선 경보체계의 작동 기준

바) 화재 및 폭발상호

- (1) 화재 및 폭발상태에 대비한 안전기능의 확보를 위하여 선정할 설계 기준

사) 사용후 핵연료 취급 및 저장

- (1) 사용후 핵연료 취급 및 저장계통의 설계기준
- (2) 냉각요건, 핵임계와 저장수의 처리 및 오염관리
- (3) 손상핵연료 취급기준

아) 방사성폐기물 처리

- (1) 폐기물 감량
- (2) 처리시의 방사성물질 방출관리
- (3) 고화처리
- (4) 운반 또는 저장을 위한 제작용기의 적합성
- (5) 소내 저장시 안전밀납 및 소내저장의 검사
- (6) 해체시 저장폐기물의 최종제염, 복구 및 처분
- (7) 폐기물 저장시설

자) 산업 및 화학 안전

- (1) 종사자 및 시설안전에 중요한 특정설계기준
- (2) 여러형태의 산업사고(화재, 폭발)로 인한 영향과 화학반응의 잠재적 위험성

차) 해체고려사항

- (1) 해체시를 위한 시설 및 보조계통의 설계를 포함할 것.

### 제 3 절 중간저장시설에 관한 프랑스의 관련 규정

#### 가. 프랑스 저장조 설계 주요 특성

프랑스의 사용후 연료 저장조 설계 기본개념은 '88년 운영허가된 La Hague E 저장조가 대표적으로 설명될 수 있다. 즉,

- 강화된 콘크리트 저장조는 지진에 대비하여 탄력있는 지지대가 설치되어 있으며 열팽창에 견딜 수 있는 외부와 독립된 구조물로 설계 되어 있다.
- 콘크리트 안쪽은 Stainless Steel Lining으로 설치되어 있다.
- 저장조 정화/냉각은 NYMPHEA라 부르는 독특한 설계로 구성되며, 동 설계 방식에 의해 과거의 설계보다 20%정도의 저장조 용량감소를 달성한 것으로 보고되고 있다. 정상수조의 온도는 대략 40℃이며 펌프가 정지되면 열교환은 thermosyphon효과에 의해 유지되며 저장조 온도는 60℃까지 올라간다. 저장조의 방사능은  $5 \times 10^{-4} \text{Ci/m}^3$  이하로 유지하여 작업자의 방사능 피폭을 방지하고 있다.
- compact basket (9 PWR, 16 BWR집합체)을 사용하여 저장하고 있다. 저장조내 연료집합체들은 높이 5.290mm, 단면이 1010 x 1010mm Basket 내에서만 움직이며 잠금 뚜껑에 의해 덮혀져 있다. 전체 저장조의 저장능력은 1.100 x 1,100m의 간격으로 720개 basket을 수용한다. Basket은 120KN의 용량과 17m의 전장을 가진 polar crane에 의해서 물 깊이 9m인 저장조 내에서 이동한다. 2개의 수평방향 이동속도가 가능하다. 저속은 부하가 crane에 걸려있을때 2m/min, 고속은 부하가 없을때 8m/min이다. 승강과 하강속도는 0.5m/min이다. Basket의 들어올림이 끝나면 다음의 기능이 조작틀에서 수행된다.
- 4개의 lifting lugs로 연료 basket을 잡는 기능



- basket 뚜껑의 제거 및 이동

저장조는 위에 보수용 crane을 갖고 있으며, 연료다름을 위한 polar crane은 안전정지 지진사고에도 기능 건전성이 유지되도록 설계제작되어 있다. 이들 연료 Basket은 재배치를 쉽게하기 위해 rack에 저장되는 것이 좋으며, 정확한 위치 장치가 장착되어 있는 bridge crane에 의해 이동된다. 이들 Basket의 이동 및 재위치 이동 작업은 원격자동제어반에서 수행될 수 있다. polar-crane의 두개 조정계통은 다음과 같다.

- 조정계통은 모든 정보를 분류조사하고 설비작동을 위해 필요한 모든 조정 동작을 수행한다.
- 안전조정계통은 안전에 관계되는 정보와 동작을 위해서 조정역활의 다중성을 주기위해 센서들중 두번째 세트와 조정장치를 포함한다. 세개의 작동모드들은 pool 내에서 Basket들을 저장위치에서 다른 위치로 이동하는데 이용된다.
- 자동모드 : 운전자는 초기조건들이 주어진 cycle과 일치하는가 그리고 초기, 말기 위치 좌표의 타당성을 확인후 조정실로 부터 프로그램 되어진 동작 cycle을 명령한다.
- 원격수동모드 : 이것은 예외적으로 운전자가 조정실로 부터 polar-crane의 동작을 단계적으로 제어하는 모드이다.
- 현장모드 : 운전자가 현장조정 데스크에서 단계적으로 동작을 명령한다. 이 데스크는 현장수동모드가 조정실과 현장에서 모두 선택되어질때 작동하게 된다.

잠재적인 사고는 방사학적 영향에 따라서 세가지 등급으로 분류 되어진다. 공중의 방사학적 영향이 등급S1 (S1은 연간 법정제한의 30배와 같음 :  $S1 = 0.15 \text{ Sv}$ )이상으로서 사고확율은 설비당, 발생범주당, 그리고 년당  $10^{-7}$

이하이다.

공중의 방사학적 영향이 S1과 S2사이로서 (S2는 연간선량 법정한계와 같은 : 5mSV) 사고 빈도수는 설비당, 발생범주당, 그리고 년당  $10^{-5}$  이하이다. 공중의 방사학적 영향이 S2와 S3사이로서 (S3는 연간선량 법정한계인 0.1배와 같음) 사고 빈도수는 설비당, 발생 범주당, 그리고 년당  $10^{-3}$  이하이다.  $10^{-7}$ /년 미만의 확률인 사고는 설비 설계시 고려하지 않는다. 그러나, 내부 비상대책 (Internal Emergence Response )절차서가 작성되어 있으며, 몇몇 경우 설계 및 구조물 대책이 이들을 고려하여 준비한다.

## 나. 저장 Baskets 설계기준

### 1) 피복재 손상사고

조작운전중 피복재는 연료 basket위로 연료 basket의 낙하, 혹은 하중물의 낙하, 혹은 basket 서로간의 충돌로 인해 손상을 입을 수 있다. 만약 한 집합체내에 모든 연료핀이 수중에서 손상되었다면 피복재내 Kr<sup>85</sup>의 일부는 저장조 건물내로 방출된다.

이런 환경아래서 작업자가 10분간 저장조 건물안에 있을경우 0.4mSv 등가 선량을 피폭하는 것으로 계산된다.

### 2) 핵임계

핵임계 안전성은 사용후 핵연료 저장 Basket의 기하학적 형상 및 구성물질 (PWR 핵연료 저장 Basket의 한구역에 10mg/cm<sup>2</sup>의 천연붕산을 함유하는 Borated Steel Sleeve를 설치) 에 의해서 보장되며, 저장할 핵연료 집합체의 U-235농축도에 대한 기술지침이 있다. 핵연료 저장 Basket의 형태가 변

형되면 핵임계에 도달할 수 있다.

예로서, 3.5 w/o의 농축도를 갖고 노심에서 16,000 MWD/MTU 정도 연소된 3개의 핵연료 집합체가 나란히 놓이고, 한쪽은 20cm의 물로 반사되고 또 한쪽은 60cm두께의 Concrete로 반사되는 형태에서 유효 증배계수(keff)는 1.023에 이른다. 이는 저장 Basket 내에 핵연료 집합체를 보관하는 것의 중요성을 시사하고 있다.

핵임계 사고를 예방할 수 있는 방법은 낙하나 충격을 예방하는 방법과 같다. 또한 저장 Basket의 두께는 핵임계를 예방하기 위해 저장 Basket에 bolting되어야 한다. 낙하되었을때, 두께는 안의 핵연료 집합체가 저장 Basket밖으로 이탈되지 않도록 한다.

사용후 핵연료 저장조에서의 핵임계 도달의 영향은 아직 상세히 평가되지는 않았다. 그러나 저장조에서의 핵임계 폭주는 저장조 건물내의 종사자들에게 심각한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. La Hague사용후 핵연료 저장조에서의 대부분의 핵연료 저장 Basket 취급운전은 원격자동 조종되며, 따라서 저장조 건물에 종사자가 있어야 할 필요성이 없다.

핵연료 집합체 저장간격이 유지되고 핵임계 예방조치가 취해진다면, 핵임계는 일어나지 않을 것으로 간주되어지므로 시설의 설계기준에 포함되지 않는다.

#### 다. 저장수 및 냉각 계통 설계기준

저장수의 방사능 농도는 Nympheas로 알려진 이온교환 정화계통에 의해  $5 \times 10^{-4}$  Ci/m<sup>3</sup> 정도의 낮은 수준으로 유지되고 있다. Co-60이 저장조 방사능의 중요한 근원이다. 손상된 핵연료 집합체들은 특히 Cs-137에 의한 저장수 오염을 방지하기 위해 "Bottle"에 저장된다. 만약 저장조의 구조물(Concrete 와 Linging)에 균열이 가고 저장수가 바닥에 도달한다면, 즉각적인 영향은

낮으나 (Level S3누출) 핵연료 집합체의 가열에 의한 장기적인 영향은 심각해진다. 구조물의 균열과 같은 저장조를 위태롭게 할 수 있는 내부 원인사고 ( Internal Initiating Event)는 없다. 핵연료 집합체가 공기중에 노출되는 저장조 구조물의 균열은  $10^{-7}$ /년 보다 작으며 다음과 같은 비정상적인 환경에서만 발생할 수 있다.

- 안전여유지진 (Safety Margin Earthquake)이상의 지진 또는
- 대형비행기의 충돌(그 확률은  $10^{-7}$ /년 보다 크게 낮음)

#### 라. 냉각계통 설계기준

허용가능한 시간이상동안 냉각시킬때는 저장수의 비등 및 저장조의 완전고갈을 초래하며, 저장능력의 상실에 의한 급격한 저장수 상실사고와 유사한 사고를 초래한다. 그러한 사고의 영향은 확실히 Level S1이상이다. 그러므로 그러한 사고 Scenario의 확률은  $10^{-7}$ /년 이하로 감소시켜야 한다.

##### 1) 전원상실

20분내의 외부전원 상실시, 소내 발전기로 부터의 임시전력이 저장조 열교환기 및 환기계통의 전동기들의 절반에 공급된다. 외부전원 상실사고시, 핵연료로부터의 정격열출력이 10MW라 가정할때, 저장수 온도는 정상온도인 40 - 45℃로부터 약 200시간내에 65℃로 증가하여 안정된다. 이 온도에 도달하는데는 매우 오랜시간이 필요함에도 불구하고, 저장수 정화를 위한 수지의 이온교환능력이 약 60℃에서 상실되므로 이 사고는 허용되지 않는다.

##### 2) 냉각능력 완전상실

만약 저장조의 모든 전력공급이 중단된다면, 저장조의 초기온도에 따라 저장수가 비등하는데는 비교적 긴 시간이 걸린다. 2400MTU를 저장할 수 있

는 저장조의 경우, 비등점에 도달하는 시간은 다음과 같이 예상된다.

저장수의 초기온도	비등점 도달시간(hr)
40℃	115
65℃	65
79℃	29

이러한 시간을 장비실패시 수리를 위해 주어진 시간으로 가정하고, 비등점 도달 확률을 결정하기 위한 신뢰도 분석이 수행되었다. 2,400MTU 저장용량의 저장조에 대해서는 전력상실에 의한 비등점 도달 확률은  $1.5 \times 10^{-8}$ /년이며 수력학적 실패에 의한 확률은  $8 \times 10^{-8}$ /년으로서 총  $1.6 \times 10^{-8}$ /년이다. 보조 디젤 발전기는 물론 소내 전력계통의 세 디젤 발전기가 기동불능이 될 수 있는 공통원인고장 (Common Mode Failure)도 신뢰도 분석시 고려되었다. 이 연구결과는 확률의 크기로 볼때, 저장수 비등에 도달할 수 있는 냉각능력 완전상실사고 발생 확률은 극히 작다는 것을 보여주고 있다.

## 제 5 장 중간저장시설 운영 기준 개발

### 가. 기술 기준의 총칙

#### 1) 목적

이 기준은 사용후핵연료 습식 중간저장시설의 운영 및 운전에 관련한 제반 기술 기준을 제시하여 시설 운영자로 하여금 운전 지침서 및 비상 대응 지침서를 만드는 기준이 되게 한다.

#### 2) 적용 범위

중간저장시설의 운영 기술기준으로서 다음의 내용을 포함한다.

- 이 시설에서 관리하는 대상은 다음과 같다.

상업용 발전소에서 배출되는 모든 사용후 핵연료로서 가압경수로(PWR)과 가압중수로(CANDU)의 사용후 핵연료를 포함하며, 여기서 사용후 핵연료란 소내 저장조에서 1년이상 저장되었던 핵연료에 국한한다. 또한 핵연료집합체 자체와 함께 수송용기(CASK)에 밀봉된 상태의 핵연료도 포함한다.

- 시설의 운영 및 관리에 관한 기술기준
- 시설의 정상 운전관리 기준 및 감시 기준
- 사고시 대응 관리방안 및 훈련 절차
- 시설 운전원들의 방사선 피폭 관리 기준

## 나. 시설 운영 기술 기준

### 1) 행정 조직 및 업무 관리

#### 가) 관리 조직

- 사용후핵연료 중간저장 시설은 24시간 감시되어야 하며, 운영중에 중요한 운전 관련 계측자료를 계수하고 정리하며, 정기적으로 상부 기관에 보고할 수 있는 조직을 갖추어야 한다.
- 시설의 운영 조직은 다음의 상주 조직을 확보하여야 한다. 이 조직은 3교대 근무조를 편성함을 원칙으로 하나, 시설관리 책임자의 판단에 따라 주간 근무조와 최소한의 야간 대기조로 편성할 수도 있다.

시설의 운영 상태를 감시하고 시설에 관련한 계측 자료를 계수 관리하는 조직

작업자 및 시설의 환경 방사선 준위를 감시하고 방사화학 자료를 관리하는 조직

- 시설의 운영 조직은 다음의 비 상주 조직을 확보하여야 한다. 이 조직은 시설관리 책임자의 통제하에 시설의 조직으로 편성함을 원칙으로 하되, 시설 책임자가 필요에 따라 각 조직의 업무를 제3의 기관에 위탁할 수 있다.

시설의 행정 관리 조직

시설의 보수 및 정기 점검을 관할하는 조직

사고시 비상 안전 대책을 수행하는 조직

운전원 및 시설 관리자를 정기적으로 교육하고 훈련하는 조직

## 나) 시설 관리 기술 요원의 임무

### - 시설관리 책임자의 임무

책임자는 시설을 안전하게 운영하는 책임을 갖으며 제반 기준에서 정하는 바에 따라 시설의 운전 상태를 상부기관에 정기적으로 보고하는 업무를 수행한다.

### - 행정 요원의 임무

행정 요원은 시설내에서의 사용후핵연료 수납, 검사, 이송, 저장에 관한 제반 행정적 업무와 함께 각 운전 조직들의 업무를 지시, 감독하는 업무를 수행한다.

### - 운전 요원의 임무

운전원은 시설의 기계적 건전성을 항시 감시하여 핵연료 저장조의 책임계 안전성과 핵연료의 열적 안전성을 확보하고, 핵연료의 수납, 검사, 이송 및 적재 작업시 각 관련 기준에서 정한 원칙에 따라 작업을 수행한다. 또한 시설의 보안과 관련된 시설 감시 및 방어 업무를 수행한다.

### - 방사선 방호 요원의 임무

방사선 방호요원은 시설내의 방사선 방호기준에 맞추어 방사선의 누출을 감시하며, 작업 종사자의 피폭관리를 담당한다. 또한 방사화학실을 운영하여 각 액체 시료의 방사능 준위를 계량하고, 시설의 부지 환경 방사능 준위를 감시한다.

### - 보수/검사 요원의 임무

보수/검사 인력은 시설관리 책임자가 정한 운영 지침에 따라 정기적으로 시설의 상태를 정기 점검하고 필요시 보수하는 책무를 갖는다.



- 비상 대응 대기 요원의 임무

비상 대기조는 시설관리 책임자의 명령에 따라 사고시 미리 정한 규정에 따라 시설의 격리, 사고후 조치 및 운전원 대피를 담당한다.

- 훈련/교육 요원의 임무

시설관리 책임자는 연수시설을 갖추고 훈련/교육 요원으로 하여금 정기적으로 운전원의 보수교육을 수행한다.

다) 시설 운영 조직의 인원 개인 자격

- 시설관리 책임자의 자격

다음의 자격조건 중 하나가 해당될 때 적정자격을 갖춘 것으로 본다.

1. 방사선 취급 감독 면허 소지자로서 원자력 시설 관리 분야에서 5년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.
2. 원자력 발전, 핵연료 및 방사선 관리 분야 중 하나 이상의 기술사 자격을 소지한 자로서 원자력 시설 관리 분야에서 5년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.
3. 원자력공학의 박사학위 소지자로서 원자력 시설 관리 분야에서 5년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.
4. 원자력 시설 관리 분야에서 10년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.

- 시설관리 인력의 자격

다음의 자격조건 중 하나가 해당될 때 적정자격을 갖춘 것으로 본다.

1. 방사선 취급 감독 면허 소지자.

2. 원자력 발전, 핵연료 및 방사선 관리 분야 중 하나 이상의 기술사 자격을 소지한 자.
3. 원자력공학의 학사학위 소지자로서 원자력 시설 관리 분야에서 2년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.
4. 원자력 시설 관리 분야에서 5년 이상의 실무 경험을 갖춘 자.

## 2) 사용후핵연료 중간저장시설의 관리 업무 정의

### 가) 핵연료 저장수조의 관리

#### (1) 핵연료 저장수조의 제원

##### - 수조의 크기 및 재질

핵연료 저장조는 총 3,000MTU (1,815 MTU의 PWR핵연료와 1,185 MTU의 CANDU 핵연료)를 저장하며 PWR용과 CANDU용 저장조로 나누어져 있다.

##### - 수조의 내부 Lining

- 저장수조는 극심한 지진하에서도 최소의 안전설계 수위가 유지되어야 한다.

#### (2) 핵연료저장 rack의 구조 및 제원

##### - rack의 크기 및 재질

##### - 내진 설계 기준

#### (3) 저장조 저장수의 관리

##### - 저장수의 수위 관리

방사선의 직접적인 피폭을 막기 위해서는 차폐수의 수위가 핵연료집합체 상단으로 부터 8ft(2.44m) 이상 유지되어야 한다.

- 저장수는 제염된 물로서 다음의 품질 기준을 맞추어야 한다.

전기 전도도 < 0.1 micromho/cm at 25℃

Silica (SiO<sub>2</sub>) < 0.02 ppm

PH at 25℃ 6.8 - 7.2

Sodium (Na) < 0.01 ppm

Calcium (Ca) < 0.01 ppm

Chloride (CL) < 0.015 ppm

Suspended Solids < 0.1 ppm  
Potassium (K) < 0.01 ppm  
Magnesium (Mg) < 0.005 ppm  
Dissolved Oxygen < 0.1 ppm

## 나) 저장조 정화 계통

### (1) 저장수 정화계통

#### (가) 정화 용량 및 정화 방식

- 수중 관측장비를 통해 핵연료집합체 인식표의 식별이 가능하도록 냉각수의 투명도 및 청정도가 유지되어야 한다.
- 핵연료 피복관과 구조재의 기계적 건전성이 유지되도록 화학적 특성을 조절할 수 있어야 한다.
- 72시간이내 전 냉각수를 순환하여 저장조 냉각수의 총 방사능 준위를 설계치 이하로 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- 방사성물질 제거비를 5:1이상으로 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- 저장조 냉각수에서 포집된 방사성물질의 관리, 보관 및 처리 계통을 별도로 구비하여야 한다.
- 방사능 농도기준은 정상운전시  $5 \times 10^{-4} \text{ Ci/m}^3$  이하가 되어야 하며 사고시에는  $1 \times 10^{-3} \text{ Ci/m}^3$  이하가 되어야 한다.
- 냉각수는 정기적으로 시료로 채취되어 수질관리 검사를 시행한다.

#### (나) 저장조 수질 관리

- 수조주위에서의 작업자에 대한 피폭선량율은 과학기술처 고

시 제90-11호 “방사선량 등에 관한 규정” 제3조의 최대 허용 피폭선량 미만이 되도록 해야한다.

- 요오드의 설계제염계수값을 유지할 수 있는 물의 화학적 제어 능력을 갖추고 있어야 한다.
- 저장조의 물은 감시가 가능하도록 투명도를 유지하여야 하며, 투명도를 유지할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.
- 저장조 냉각수는 필터 및 이온교환수지에 의해 정화된다.

## (2) 저장조 공기 정화계통

- 설계 사건등급 I, II에서 공기 오염구역과 비오염구역을 완전격리할 수 있어야 하며, 공기중 방사성 입자를 발생지점 근처에서 포집할 수 있어야 한다.
- 각 구역의 공기 흐름은 오염 가능성이 낮은 구역에서 오염 가능성이 높은 구역으로 공기가 흐르도록 관리되어야 한다.
- 각 구역은 작업자를 위한 요건에 규정된 온도와 습도를 조절할 수 있는 장치를 갖추고 있어야 한다.
- 공기압은 외기압보다 낮게 (수두차이가 6.35mm이상) 유지될 수 있어야 한다.
- 직원용 건물과 중앙 제어실 건물은 고방사선 물질 누출에 대비하여 완전격리가 확보되어야 한다.
- 건물내의 공기 조건은 다음과 같이 조절되어야 한다.

건물 공간	여 름		겨 울	
	온도 (℃)	습도 (%)	온도 (℃)	습도 (%)
핵연료 인수 및 하역 시설	15 - 28	70 이하	15 - 28	70 이하
핵연료 저장 건물	15 - 28	70 이하	15 - 28	70 이하
1차 보조 기기 건물	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음
2차 보조 기기 건물	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음

이 조건은 공기정화계통 설계기준(SF-070-DC-P001-6)과 안전계통 설계기준(SF-070-DC-P001-7)을 따르며, 공기중 방사능 준위는 ICRP 26과 ICRP 30에서 정한 표본추출 공기 농도 기준을 따른다.

- 공기 정화계통은 공기 공급계통과 공기 방출계통으로 구분된다.
- 공기 공급계통은 공기흡입구와 3개의 50% 용량의 공기처리 계통, 공기배관, 계측장비로 구성된다. 공기처리계통은 필터(Moderate Efficiency Filter), 고온수 가열코일, 저온수 냉각 코일, 송풍팬으로 구성된다.
- 공기 방출계통은 4개의 33.3% 용량의 방출필터 장치, 공기배관, 계측장비로 구성된다. 각 방출필터 장치는 필터(Moderate Efficiency Filter), 전기 가열기, HEPA 필터, 송풍팬으로 구성된다.
- 건물내에 부압이 보장되도록 항상 공기 방출계통이 공기 공급계통보다 먼저 작동되도록 상호 연계되어 있다.
- 정상 운전시는 3개의 공기 공급계통중 2개가 4개의 공기 방출계통중 3개가 작동되며, 계통중에 하나가 고장나면 대기하던 계통이 자동으로 작동 개시한다.

- 사고가 발생하여 공기중 방사능 준위가 올라갈 위험이 생기면 2개의 공기 공급계통과 2개의 공기 방출계통이 작동 중지되고 1개의 공기 방출계통만 작동한다. 또 공기 방출구에 장치된 방사능 계측기의 신호에 의해 자동적으로 비상 공기공급 고립 완화장치(Isolation Damper)가 닫히고 비상 공기 흡입 완화장치(Intake Damper)가 열린다. 또 전원상실사고가 발생하면 디젤 비상 전원으로 똑같은 절차가 자동적으로 작동된다.

#### 다) 저장수 냉각 계통

##### (1) 저장수조의 저장수 냉각 기능 관리

###### (가) 저장수의 정상 운전온도

냉각계통은 연평균 저장조 냉각수의 온도가 33℃이하, 그리고 가장 더운 여름 4개월(6월-9월)동안 냉각수의 온도가 43℃를 초과하는 시간이 평균하여 이 기간의 5%를 초과하지 않도록 설계되어 있으며 이 기준을 초과하지 않도록 유지되어야 한다.

###### (나) 저장수의 최대 허용 온도

사고시 허용되는 최대 온도는 65℃로서 어떤 조건에서도 이 온도를 초과하지 않도록 안전장치가 작동되어야 한다. 안전장치로는 2개의 탈염 냉각수 보충탱크를 갖는다. 전원 상실의 중대사고시에는 자동으로 비상 전원이 작동되나 필요에 따라 수동으로도 작동시킬 수 있다.

###### (다) 저장조의 냉각 기능

- 설계 사건등급 II의 조건에서 제한시간동안 외부전원이 상

실되거나 저장조 냉각 수 계통의 기능이 상실되어 강제냉각 기능이 상실되더라도 저장조내에서 부분 비동이 일어나지 않도록 자연대류 냉각기능이 유지되어야 한다. 저장조는 5.5 MW의 열원을 감당하도록 설계되어 있다.

- 냉각 계통은 3개의 독립적이고 동일한 냉각순환 계통을 갖으며 각 순환계통은 전체 냉각능력의 50% 용량을 갖는다. 각 순환계통은 다시 2개의 병렬 능동냉각 펌프와 1개의 수동 냉각장치를 갖는다. 정상운전은 3개의 냉각순환 계통중 2개 이상의 순환계통이 작동하는 조건을 뜻하나 붕괴열이 현저히 낮은 조건에서는 한 개의 냉각 순환계통 만을 운전해도 된다.

## (2) 냉각계통의 건전성 관리

- 설계 사건등급 II, III의 조건에서 강제 냉각기능이 상실되었을 때, 냉각 계통을 복구할 수 있는 능력이 갖추어 져야 한다.
- 저장조 냉각수위는 항상 일정하게 유지되어야 하며, 증발에 의한 냉각수 손실률보다 큰 탈염수 보충 능력을 확보하고 있어야 한다.

### 라) 2차 냉각수 냉각 계통

- 2차 냉각수 냉각계통은 저장수 냉각계통 열교환기에서의 열과 냉각순환계통의 비정상 운전시 펌프의 열을 2차 냉각시키는 장치로서 안전등급 1에 해당된다. 즉 어떤 경우에도 고장이 허용되지 않는 계통으로서 다음의 가상조건에서도 작동이 보장되어야 한다.

설계기준 홍수, 태풍, 미사일의 충격, 설계기준 지진,



화재, 계통내 단일 부품 고장 사고

- 이 계통은 보충수의 보충 능력 범위내에서는 냉각수의 누출이 허용된다.
- 냉각 계통은 3개의 독립적이고 동일한 냉각순환 계통을 갖으며 정상운전은 3개의 냉각순환 계통중 2개의 순환계통이 작동하고 1개는 대기하는 조건을 뜻하나 붕괴열이 현저히 낮은 조건에서는 한개의 냉각 순환계통 만을 운전해도 된다. 각 순환계통은 정상운전시 2개의 냉각 펌프중 1개의 냉각 펌프가 작동된다.

마) 핵연료 인수/이송 시설

핵연료의 하역 및 이송은 중앙통제소의 지시에 따라 순차적으로 한번에 한군데서의 작업만을 시행하며 수동조작으로 작업한다. 중앙통제소는 각 작업반에 별도로 지시를 순차적으로 보내며 모든 작업 명령절차는 자동화된 컴퓨터의 통제에 의해 하달되도록 한다. 각 시설의 작업 시설은 아래와 같으며 작업 순서는 다음과 같다.

- 트럭 하역소에서 수송용기를 인수하고 충격완화 장치를 제거한다.
- 수송용기를 사용후핵연료 수송용기 저장소에 저장한다.
- 저장조내에서 수송용기를 개봉한다.
- 사용후 핵연료를 인출하고 수송용기는 다시 닫은후 꺼내어 세척한다.
- 수송용기의 오염제거 작업을 거친후 하역소로 보내어 다시 시설 밖으로 보낸다.
- 사용후 핵연료는 사용후 핵연료 이송장치에 적재하고 결함 핵연

송장치가 움직이는 터널로 설계되어 진다.

바) 핵연료 이송 계통

(1) 사용후핵연료 이송용기 관리

(2) 사용후핵연료 이송용기 운반시설 및 감시시설

(3) 저장조내 핵연료 운반시설 및 감시 시설

- 수송용기의 하역, 이송, 저장의 모든 작업이 수중에서 이루어져야 하며, 작업 과정을 감시할 수 있는 카메라 및 모니터 시설이 갖추어 져야 하며, 중앙 제어실에서 모든 작업을 동시에 감독할 수 있어야 한다.

사) 운전 통제소 및 계측 및 자료 기록관리 시설

(1) 운전 통제소의 인원 관리

- 중앙 통제소는 항상 적정 인원이 상주하여 정상운전 담당하고, 비상운전에 대비하여야 한다.
- 각종 계기 및 조정관은 MMIS로 설계되어 있으므로 잘 훈련된 인원이 배치되어 있어야 한다.

(2) 운전 통제소 및 관리 시설의 공기 정화 계통

- 건물내의 공기 조건은 다음과 같이 조절되어야 한다.

건물 공간	여 름		겨 울	
	온도 (℃)	습도 (%)	온도 (℃)	습도 (%)
운전 통제소 및 컴퓨터 실	22 - 24	40 - 70	22 - 24	40 - 70
Battery Room	25 - 35	제한 없음	25 - 35	제한 없음
디젤 발전기 실	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음
행정/관리 건물	22 - 27	40 - 70	22 - 27	40 - 70
해수 흡입펌프실	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음
2차 냉각수 열교환기실	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음
소방 시설	10 - 40	제한 없음	10 - 40	제한 없음
보안 요원 건물	22 - 27	제한 없음	22 - 27	제한 없음

이 조건은 공기정화계통 설계기준(SF-070-DC-P001-6)을 따른다.

### (3) 자료 계측 및 자료 보관 컴퓨터실의 관리

- 모든 시설은 자동화되어 있어야 하며, 디지털 시그널 시스템으로 되어있어 운전원의 작동상태가 MMIS로 잘 표시되도록 한다. 또한 중앙 컴퓨터에 모든 기록이 수록되도록 하여야 하며, 정기적으로 기록을 편집하여 보고할 수 있게 관리하여야 한다.

### 아) 비상 안전 시설

#### (1) 비상 저장수 보충장치

저장수 냉각기능의 상실시 보충수 공급장치와는 별도로 설치된 장치로서 건물 밖에 위치한 탱크와 펌프로 비상 냉각수를 공급한다. 이 장치는 설계기준 지진에서도 작동이 보장되어야 한다.

다.

(2) 화재 방호 계통

- 화재 방재 계통, 화재 탐지 계통, 소화 계통으로 구성되어 있다.
- 소화 계통에는 스프링클러, 소화전, 하론-1301 소화기 등으로 구성된다.
- 화재 탐지계통에는 연기감지 이온계측기, 연기감지 광전탐지기, 화염탐지기, 온도 감응탐지기 등이 있다.
- 다음은 각 구역별 소화 및 화재 진압 방법을 열거한 것이다.

중앙제어실	HARON-1301 소화기
Cable 실	자동 살수장치
디젤 발전기실	자동 Sprinkler
디젤유 저장실	자동 Sprinkler
변전기 실	자동 살수장치
트럭 하역조	자동 Sprinkler

자) 제염수 공급 장치

- 제염수 공급장치는 제염수 저장조에서 2개의 공급펌프로 다음의 각 장치로 보충수나 용수를 공급한다.
- 저장수 냉각장치, 저장조 냉각수 정화계통, 수송용기 냉각/세척 계통,  
수송용기 제염계통, 폐기물 처리 계통, 실험실 및 세척실 등

- 공급하는 제염수의 기준은 다음과 같다.

전기 전도도	< 0.1 micromho/cm at 25℃
Silica (SiO <sub>2</sub> )	< 0.02 ppm
PH at 25℃	6.8 - 7.2
Sodium (Na)	< 0.01 ppm
Calcium (Ca)	< 0.01 ppm
Chloride (CL)	< 0.015 ppm
Suspended Silids	< 0.1 ppm
Potassium (K)	< 0.01 ppm
Magnesium (Mg)	< 0.005 ppm
Dissolved Oxygen	< 0.1 ppm

#### 차) 전력 계통 시설

##### (1) 교류전력 공급계통

- 전력공급은 정상전원, 대기전원, 비상전원으로 구분되어 준비된다.
- 정상전원은 한국전력의 전력망에서 공급되고, 정상전원의 상실 시 디젤 발전기에 의해 대기 전원이 공급되어야 한다. 비상전원은 안전계통의 하나로서 2개 이상의 디젤발전기가 준비되어야 한다.
- 정상운전중이란 세 전원계통이 한국전력망에 의해 교류전력을 공급받고 있는 상태를 지칭하며, 정상운전중에는 예기치 않은 상태로 정해진 조건에 도달하면 정해진 전력공급계통이 가동 가능하여야 한다.

- 정상전력망이 상실된 비정상 운전시에는 대기전원 공급계통과 비상전원 공급계통이 작동되어야 한다.
- 비상운전이란 비상전원 공급계통만이 가능한 상태를 말하며 대기중이던 디젤발전기를 가동한 후, 전력조건이 안전한 상태에 도달할 때 전원망에 접속시키는 비상절차를 별도로 따라야 한다.

## (2) 직류전력 공급계통

- 직류전원은 110V 직류전원 공급계통과 24V 직류전원 공급계통으로 구성되어 있다.
- 110V 직류전원 공급계통은 110V 직류배터리와 충전기, 제어기, 배전반 등으로 구성되며 독립적으로 작동된다.
- 24V 직류전원 공급계통은 24V 배터리와 충전기, 배전기로 구성되며 계기들의 동작을 위한 별도의 전원이다.
- 정상운전시 직류전원 공급계통은 리레이 논리전류합, 단전기의 작동, 유도 밸브, 디젤 발전기 및 각종 전기 장치들을 위한 전원을 공급하며 이중 24V 직류전원 공급계통은 계측기와 starter를 위한 전원만을 공급한다.
- 비정상 운전이나 비상운전시에는 교류전원이 상실되므로 직류전원 공급계통이 매우 중요한 역할을 한다. 즉 시설의 안전보호 계통의 작동을 자동제어 한다.

### 카) 보안/통제 시설

#### (1) 핵통제 시설의 관리

- 정해진 절차에 따라 “물량 통제 구역(Material Balance Area)” 내에서는 반입되고 반출되는 물질의 총량이 엄밀히 계수되어야 한다.
- IAEA에서 요구하는 구역에서는 “주요 계측소(Key Measurement Point)”를 지정하고 핵물질의 재고량과 유입량 유출량을 계수해야 한다.

#### (2) 일반 보안시설의 관리

- 보안설비(감시 카메라, 자물쇠, 보안 탐지기 등), 시설내에서와 시설밖과의 통신, 출입통제 시설, 비상 경보 기능이 갖추어져야 한다.

### 3) 작업종사자 피폭관리

#### 가) 상주 근무자 피폭관리

작업종사자의 피폭은 ALARA원칙에 의거 최대한으로 피폭량이 적게 관리한다.

#### (1) 방사선 구역 설정

시설은 제한구역, 보전구역, 및 관리구역으로 분류되며, 각 구역은 다음과 같이 정의된다.

- 제한구역

구역안의 방사선피폭선량이 과학기술처장관이 정하는 최대허용 피폭선량을 초과할 우려가 있는 장소로서 업무상 출입하는 작업자 이외에는 출입을 제한하기 위해 울타리를 설치하고 제한구역임을 나타내는 표지를 부착한다.

- 보존구역

원자력관계 시설의 보전을 위하여 특별한 관리를 필요로 하는 장소로서 울타리를 설치하고 보존구역임을 나타내는 표지를 부착하여 출입 제한과 물품반출 제한을 하여 보안조치를 강구한다.

- 관리구역

외부방사선의 방사선량이 과학기술처장관이 정하는 방사선량을 초과하거나, 공기중이나 수중의 방사성물질 농도가 과학기술처장관이 정하는 농도를 초과하거나, 방사성물질에 의해 오염된 물건 표면의 방사성물질오염도가 과학기술처장관이 정하는 오염도를 초과하거나 초과될 우려가 있는 장소로서 과학기술처 장관이 정하여 관리하는 구역으로서 울타리를 설치하고 관리구역임을 나타내는 표지를 부착하여 출입 제한을 하여 보안조치를 강구한다.

(2) 피폭량 관리

- 정기 피폭량 검척기간 및 검척방법 명시
- 개인선량 보고 방법

나) 방문자 피폭관리

(1) 출입통제소 관리



## 다. 정상 운전 관리 기술 기준

정상운전이란 “설계 사건등급 I”을 말하며, 이는 시설의 정상운전 상태에서 정기적으로 혹은 때때로 일어날 수 있는 다음의 사건들을 포함한다.

- 시설의 가동 및 운전, 정지
- 수송용기 수납, 검사, 하역 및 보수유지
- 수송용기에서 저장조로 혹은 저장조에서 수송용기로 이송되는 사용후 핵연료의 이송
- 중간저장시설 운전중 발생한 공기중의 혹은 수중의 방사성 핵종의 포집 및 제거

## 1) 기록 및 보고 관리

### 가) 안전 요소

#### (1) 핵임계

##### (가) 핵임계 방지 설계 한계

- 핵임계 안전성에 관련한 기술적 요건은 ANSI/ANS 8.1-1983 (Nuclear Criticality Safety in Operation with Fissionable Material Outside Reactors)를 준용한다.
- 저장조내에 저장되는 핵연료집합체와 저장수, 기타 구조물의 기하학적 구조 및 물리적 조건은 “이중 우발성의 원리”에 입각하여 계산하였을 때, 계산 방법과 실험자료에 대한 편차를 고려하더라도 임계도가 0.95보다 커서는 안된다.
- 핵임계도 계산시 수용성 중성자흡수체에 의한 중성자 흡수 효과는 고려하지 않으며, 핵연료 연소에 의해 발생한 핵분열생성물 함량에 의한 임계도 여유는 고려하지 않는다.

(나) 핵임계 방지 방법 관리

- 핵임계 사고를 방지하려면 핵연료 저장수조내의 어떠한 기하학적 구조의 변경이나, 물질 성분의 변화, 설계 기준 이상의 조밀한 적재 등을 방지하면 된다.
- 핵임계 안전성을 추가적으로 보장하기 위해서는 저장수조에 중성자흡수물질인 붕산수를 섞거나, 저장 rack을 중성자 흡수물질로 만들거나, 저장 rack사이에 중성자 흡수체를 설치할 수 있다.

(2) 핵연료 냉각

(가) 저장수의 정상 운전온도

냉각계통은 연평균 저장조 냉각수의 온도가 33℃이하, 그리고 가장 더운 여름 4개월(6월-9월)동안 냉각수의 온도가 43℃를 초과하는 시간이 평균하여 이 기간의 5%를 초과하지 않도록 설계되어 있으며 이 기준을 초과하지 않도록 유지되어야 한다.

(나) 저장수의 최대 허용 온도

사고시 허용되는 최대 온도는 65℃로서 어떤 조건에서도 이 온도를 초과하지 않도록 안전장치가 작동되어야 한다. 안전장치로는 2개의 탈염 냉각수 보충탱크를 갖는다. 전원 상실의 중대사고시에는 자동으로 비상 전원이 작동되나 필요에 따라 수동으로도 작동시킬 수 있다.

(다) 냉각 능력의 유지

정상 운전이나 사고시 모두 설계조건에서 정한 냉각 계통과 비상 냉각수 보충 계통의 작동이 확인되어야 한다. 또한 2차

냉각수 냉각 계통도 작동되어야 한다. 이 냉각 계통은 전기에 의해 능동적으로 작동하는 계통들이므로 무엇보다도 시설내 전원 공급이 확보/유지 되어야 한다. 소외 전원이 상실되는 사고에는 비상 디젤발전기가 작동되어야 하며 72시간내에 소외 전원공급이 재개되어야 한다.

(3) 핵연료 파손 감시 및 관리

- 핵연료의 기계적 파손은 곧바로 냉각수내의 방사능 준위를 올려준다. 따라서 냉각수내의 시료를 정기적으로 채취하여 방사능 준위를 측정하면 파손 여부를 감별할 수 있다.
- 사용후핵연료의 부식은 장기간 수중에 저장할 때 핵연료내의 방사능과 붕괴열 또 냉각수내의 불순물에 의한 산화로 인해 가속될 수 있다. 따라서 냉각수는 제염된 순수한 조건을 유지하고 산소 용해도를 낮춤으로써 방지할 수 있다. 따라서 냉각수를 정기적으로 채취하여 불순물 및 산소 함유량, 산성도를 점검하고 화학 처리 및 정화 작업을 통해 이상적인 조건을 유지하여야 한다.

(4) 핵보장 조치

- 핵연료 재고량 조사 및 점검 방법
- IAEA 보고 및 감시 방법

(5) 방사선 누출 방지

- 저장소내 방사선 환경 규제치 한계 설정
- 수조주위에서의 작업자에 대한 피폭선량은 과학기술처 고시

제90-11호 “방사선량 등에 관한 규정” 제3조의 최대 허용 피폭선량 미만이 되도록 해야한다.

방사선의 직접적인 피폭을 막기 위해서는 차폐수의 수위가 핵연료집합체 상단으로 부터 8ft(2.44m) 이상 유지되어야 한다.

- 방사성 동위원소의 대기중 누출 방지 관리

시설 부지 대기로의 방사능 누출은 공기 정화장치의 방사능 측정기에 의해 감시되고 있다.

- 방사성 동위원소의 지층 누출 방지 관리

저장조는 지진 등의 설계 기준 조건에서도 구조물의 변형 및 파손이 일어나지 않도록 설계되어 있다. 확률이 거의 없지만 비정상적인 저장조 물의 누출은 저장조의 수위가 비정상적으로 낮아지지 않는가를 점검하면 냉각수의 누출 여부를 확인할 수 있다.

나) 안전요소 감시 계속 자료

(1) 핵임계

- 핵연료 저장rack의 기하학적 구조 변형치 (항시 유관 점검)
- 저장조내 핵연료 저장 배열 변경 여부 (항시 유관 점검)
- 저장조내 물의 밀도 변화 및 온도 변화량 (항상 감시)
- 저장조내 물의 수위 (항상 감시)
- 저장수내 수질의 변화 (주기적 점검)

(2) 핵연료 냉각

- 냉각수 온도 (항시 계측)
- 냉각수 유동수량 변화 (항시 계측)
- 냉각수 수위 (항시 감시)

(3) 핵연료 파손 감시 및 관리

- 냉각수내 방사능량 변화 (주기적 검사)

(4) 핵보장 조치

- 핵연료 재고량 (반입, 반출시 계수)
- 작업 내용 (감시 카메라에 녹화)
- 보안 계측기의 작동 여부 (주기적 정기 점검)

(5) 방사선 누출 방지

- 소내 공기내 방사능 변화량 (항시 계수)
- 소외 지표면 방사능 측정치 변화 (주기적 정기 계수)

## 2) 정기 점검 및 보수 관리

### 가) 정기 점검 항목

#### (1) 계통 작동 검사

- 저장조의 운전 안전에 직접 영향을 주지 않으면서 각 계통의 정상 작동여부를 점검하는 방법 기술
- 다중성, 다양성에 근거한 시스템의 경우 정기점검 방법 기술

#### (2) 부품 및 계통 건전성 검사

- 각종 계측기의 검사 방법 기술
- 배관의 건전성 검사 방법 기술
- 계통의 성능 검사 방법 기술

### 나) 부품 및 계통 교체 시기 규정

- 부품 교체 시기에 교체하는 절차 및 방법 기술

### 다) 주요 안전 변수 계측 및 기록 방법

- (1) 냉각수 온도
- (2) 냉각수 유량
- (3) 냉각수 수위
- (4) 냉각수 수질 및 특성
- (5) 냉각수내 방사성 동위원소 농도
- (6) 저장조내 공기중 방사성 동위원소 농도
- (7) 소내/외 환경 방사능 준위
- (8) 소내 Key Measurement Point에서의 Material Balance Assessment
- (9) 보안 감시 자료

라) 자료 보관 및 보고 요령

- (1) 자료 보관 컴퓨터의 자료 보관 방식
- (2) 자료의 신뢰성 진단 방법
- (3) 보고 자료의 작성 방법

## 라. 사고시 비상 관리 기술 기준

사고란 “설계 사건등급 II”, “설계 사건등급 III”, “설계 사건등급 IV” 를 의미하며 각 등급은 아래와 같이 정의된다.

### 1) 안전등급의 정의

#### 가) 설계 사건등급

##### (1) 설계 사건등급 II

정기적으로 일어나지는 않지만 드물게 혹은 1년에 1번 정도 일어날 확률이 있는 다음의 사건

- 기능 수행이 요구되는 어떤 단일 작동기기의 고장
- 어떤 작동기기의 오동작
- 제한시간동안 외부전원 상실
- 기기 연결부위나 배관 연결부위에서의 소량 누설
- 운전원의 오조작과 이에 대한 적절한 시정조치

##### (2) 설계 사건등급 III

시설의 수명기간동안 한 번정도 발생이 예견되는 극히 드문 사건

- 방사성 용액이 통과하는 배관에 손상을 유발할 수 있는 구조물에서 비파괴검사에 의해 구조물의 건전성을 입증할 수 없는 철 구조물의 불연속적인 구조적 손상 혹은 배관의 파열사고
- 제한시간 이상의 외부 전원 상실
- 핵연료 집합체의 정상 이송 위치로부터의 낙하 사고

##### (3) 설계 사건등급 IV

이 사건의 결과로 부지주변 환경에 최대의 방사선 피해 영향을



미칠수 있는 사건

- 지진, 폭풍 및 홍수 등의 설계 자연재해
- 한 개의 사용후 핵연료 집합체내에 있는 모든 핵연료봉의 파손

## 나) 내진 안전 등급

### (1) 내진 안전등급 I

저장조, 사용후 핵연료집합체 수송용기,  
저장조 냉각수 정화계통, 저장조 냉각 계통, 2차 냉각수 냉각  
계통,  
비상 저장수 보충장치,  
공기 정화계통,  
중앙 통제소,

### (2) 내진 안전등급 II

핵연료 수송용기 이송장치, 수송용기 조작장치,

### (3) 내진 안전등급 III

하물 하역장 크레인, Nacelle 크레인,  
핵연료 수송용기 냉각 및 세척 장치,  
핵연료 수송용기 제염 장치,  
액체 폐기물 처리 시설, 고체 폐기물 처리 시설,  
제염수 공급 장치,  
화재 탐지 계통,

## 2) 안전 등급별 보고 및 대처 방안

## 3) 비상운전 절차 및 사후 조치

## 제 6 장 연구 결과 및 결론

본 보고서에는 사용후핵연료 중간저장시설과 관련한 제 기술사항을 요약 정리하였으며, 국내의 관련 규정과 미국, 프랑스의 관련 규정을 모아 정리하였다.

중간저장시설 운영 기준의 초안을 작성 완료하였으며 그 기본 골격은 부록에 자세히 보여 준다. 현재의 연구 결과는 '기술 기준' 자체라기 보다는 지침서 성격으로 기준개발에 필요한 기술적 항목들을 정의하고 설명하였다. 향후 기준 개발을 위해서는 다음의 사항이 보완되어야 한다.

- 핵연료저장조 저장 rack에 대한 설계 기준 및 관리에 관하여 연구
- 작업종사자 피폭관리 사항이 미비되어 있으므로 연구후 보완
- 핵보장조치에 관한 기록 및 보고 절차에 대해 연구후 보완
- 정기점검 및 보수 관리에 대해 연구후 보완
- 주요안전변수들의 계수 방법 및 기록 방식에 관하여 연구후 보완
- 안전등급별 비상조치 및 보고 요령에 관하여 연구후 보완
- 비상운전 절차 및 사후조치에 대해 연구후 보완
- 전문가 자문을 통해 자료 수정/보완
- 기준 개발을 위해 보완 연구
- 개발된 내용을 선별하여 기술기준을 정립

본 연구 결과는 현재 상태로는 미비한 것이지만, 기준 개발의 기본 골격으로 삼을 수 있고, 광범위하게 자세히 논의하였으므로 추후의 기술기준 개발의 2단계 연구에 많은 도움이 되리라고 확신한다.

## 참 고 문 헌

1. "Final Report of Conceptual Design for Interim Spent Fuel Storage Facility," Chapter 3 and 4, SF-480-DC-P001, KAERI, KOPEC and SGN, 1990.12.
2. "사용후 핵연료 중간저장에 관한 연구," KRC-84N-T18, 한국전력공사 기술연구원, 1985.6.
3. "Proceedings of Symposium on Safety of Radioactive Waste Management," KINS, 1996.11.
4. "Proceedings of the 2nd Japan-Korea Seminar on Advanced Reactors," RLNR, T.I.T., 1996.10.
5. "방사성폐기물 관련 기술기준 설정을 위한 연구," 제3권 사용후핵연료 중간저장시설 관련 기술 기준, KINS/GR-035, 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센터, 1991.
6. "방사성폐기물 관련 기술기준 설정을 위한 연구," 제3권 사용후핵연료 중간저장시설 관련 기술 기준, KINS/GR-068, 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센터, 1993.
7. "Korea-AFR", Asea-Atom, 1986.

## 부 록

사용후핵연료 중간저장시설 운영기준안의 기본 골격

가. 기술 기준의 총칙

- 1) 목적
- 2) 적용 범위

나. 시설 운영 기술 기준

1) 행정 조직 및 업무 관리

- 가) 관리 조직
- 나) 시설 관리 기술 요원의 임무
- 다) 시설 운영 조직의 인원 개인 자격

2) 사용후핵연료 중간저장시설의 관리 업무 정의

가) 핵연료 저장수조의 관리

- (1) 핵연료 저장수조의 제원
- (2) 핵연료저장 rack의 구조 및 제원
- (3) 저장조 저장수의 관리

나) 저장조 정화 계통

- (1) 저장수 정화계통
  - (가) 정화 용량 및 정화 방식
  - (나) 저장조 수질 관리
- (2) 저장조 공기 정화계통

다) 저장수 냉각 계통

- (1) 저장수조의 저장수 냉각 기능 관리
  - (가) 저장수의 정상 운전온도
  - (나) 저장수의 최대 허용 온도
  - (다) 저장조의 냉각 기능

(2) 냉각계통의 건전성 관리

라) 2차 냉각수 냉각 계통

마) 핵연료 인수/이송 시설

(1) 사용후핵연료 수송용기 하역시설 관리

(2) 사용후핵연료 하역 시설 관리

(3) 사용후핵연료 이송 및 저장시설 관리

바) 핵연료 이송 계통

(1) 사용후핵연료 이송용기 관리

(2) 사용후핵연료 이송용기 운반시설 및 감시시설

(3) 저장조내 핵연료 운반시설 및 감시 시설

사) 운전 통제소 및 계측 및 자료 기록관리 시설

(1) 운전 통제소의 인원 관리

(2) 운전 통제소 및 관리 시설의 공기 정화 계통

(3) 자료 계측 및 자료 보관 컴퓨터실의 관리

아) 비상 안전 시설

(1) 비상 저장수 보충장치

(2) 화재 방호 계통

자) 제염수 공급 장치

차) 전력 계통 시설

(1) 교류전력 공급계통

(2) 직류전력 공급계통

카) 보안/통제 시설

(1) 핵통제 시설의 관리

(2) 일반 보안시설의 관리

3) 작업종사자 피폭관리

가) 상주 근무자 피폭관리

(1) 방사선 구역 설정

(2) 피폭량 관리

나) 방문자 피폭관리

(1) 출입통제소 관리

다. 정상 운전 관리 기술 기준

1) 기록 및 보고 관리

가) 안전 요소

(1) 핵임계

(가) 핵임계 방지 설계 한계

(나) 핵임계 방지 방법 관리

(2) 핵연료 냉각

(가) 저장수의 정상 운전온도

(나) 저장수의 최대 허용 온도

(다) 냉각 능력의 유지

(3) 핵연료 파손 감시 및 관리

(4) 핵보장 조치

(5) 방사선 누출 방지

나) 안전요소 감시 계측 자료

(1) 핵임계

(2) 핵연료 냉각

- (3) 핵연료 파손 감시 및 관리
- (4) 핵보장 조치
- (5) 방사선 누출 방지

2) 정기 점검 및 보수 관리

가) 정기 점검 항목

- (1) 계통 작동 검사
- (2) 부품 및 계통 건전성 검사

나) 부품 및 계통 교체 시기 규정

다) 주요 안전 변수 계측 및 기록 방법

- (1) 냉각수 온도
- (2) 냉각수 유량
- (3) 냉각수 수위
- (4) 냉각수 수질 및 특성
- (5) 냉각수내 방사성 동위원소 농도
- (6) 저장조내 공기중 방사성 동위원소 농도
- (7) 소내/외 환경 방사능 준위
- (8) 소내 Key Measurement Point에서의 Material Balance Assessment
- (9) 보안 감시 자료

라) 자료 보관 및 보고 요령

- (1) 자료 보관 컴퓨터의 자료 보관 방식
- (2) 자료의 신뢰성 진단 방법
- (3) 보고 자료의 작성 방법



라. 사고시 비상 관리 기술 기준

1) 안전등급의 정의

가) 설계 사건등급

- (1) 설계 사건등급 II
- (2) 설계 사건등급 III
- (3) 설계 사건등급 IV

나) 내진 안전 등급

- (1) 내진 안전등급 I
- (2) 내진 안전등급 II
- (3) 내진 안전등급 III

2) 안전 등급별 보고 및 대처 방안

3) 비상운전 절차 및 사후 조치