

일본의 무츠 사용후핵연료 중간저장시설  
기술현황분석보고서

The state of the art of the Recycle Fuel  
Storage Facility in Japan

*KAERI*

## 제출문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2010년도 “핵연료주기 시스템분석 연구” 과제의 기술현황분석보고서로 제출합니다.

2010. 08

KAERI

주저자 : 이 호 희

공저자 : 고 원 일

권 은 하

박 병 홍

서 중 석

김 민 영

## 요약문

우리나라의 원자력발전은 급속히 성장하여 현재 20기의 원자력발전소가 가동 중에 있으며, 8기가 건설 및 계획 중으로 2015년이면 총 28기의 원자력발전소가 운영될 예정이다. 2008년 12월에 발표된 제4차 전력수급기본계획에 따르면, 원자력설비 비중은 2008년 24.8%에서 2022년 32.6%로 확대될 전망이다. 이러한 원자력발전은 최근 고유가시대가 도래하고 지구온난화현상이 지속되면서 계속 확대될 것으로 예상된다.

원자력발전의 확대는 불가피하게 사용후핵연료의 발생량을 증가시킨다. 2009년 말을 기준으로 우리나라에서는 연간 약 700 톤의 사용후핵연료가 발생하고 있으며, 총 20기의 원자로에서 10,761 톤의 사용후핵연료가 발생되어 발전소 내에 저장되어 있다. 현재의 추세가 유지된다면 2030년경에는 사용후핵연료의 누적량이 약 30,000 톤에 이를 것으로 전망된다.

사용후핵연료의 안전관리는 원자력발전소의 안정적인 운전 보장과 미래 에너지자원의 효율적인 관리측면에서 매우 중요하다. 제 253차 원자력위원회(2004년 12월)의 결정에 따라 한국수력원자력(주)은 발전소 내에 설치된 기존시설의 저장능력이 포화되는 것에 대비하여 조밀저장대 교체·설치, 원전 호기간 이송 저장 및 건식저장시설 추가건설 등의 방법을 사용하여 2016년까지 발생하는 사용후핵연료를 저장할 능력을 확보하거나 저장용량 확장계획을 시행중에 있다. 그러나 사용후핵연료 저장용량이 2016년부터 부지별로 포화상태에 이를 것으로 전망됨에 따라 적기에 중간저장시설의 도입 등 대책이 시급한 실정이다.

이러한 국내 상황을 고려할 때 최근 인허가를 획득하여 건설 중에 있는 일본 무츠시에 위치한 사용후핵연료 중간저장시설인 “리사이클연료 비축센터”에 대한 기술현황을 조사하였다. 동 시설의 인허가는 2009년 3월에 신청되었으며, 본 사업은 2010년 7월경에 건설에 착수하여 2012년 완공을 목표로 하고 있다.

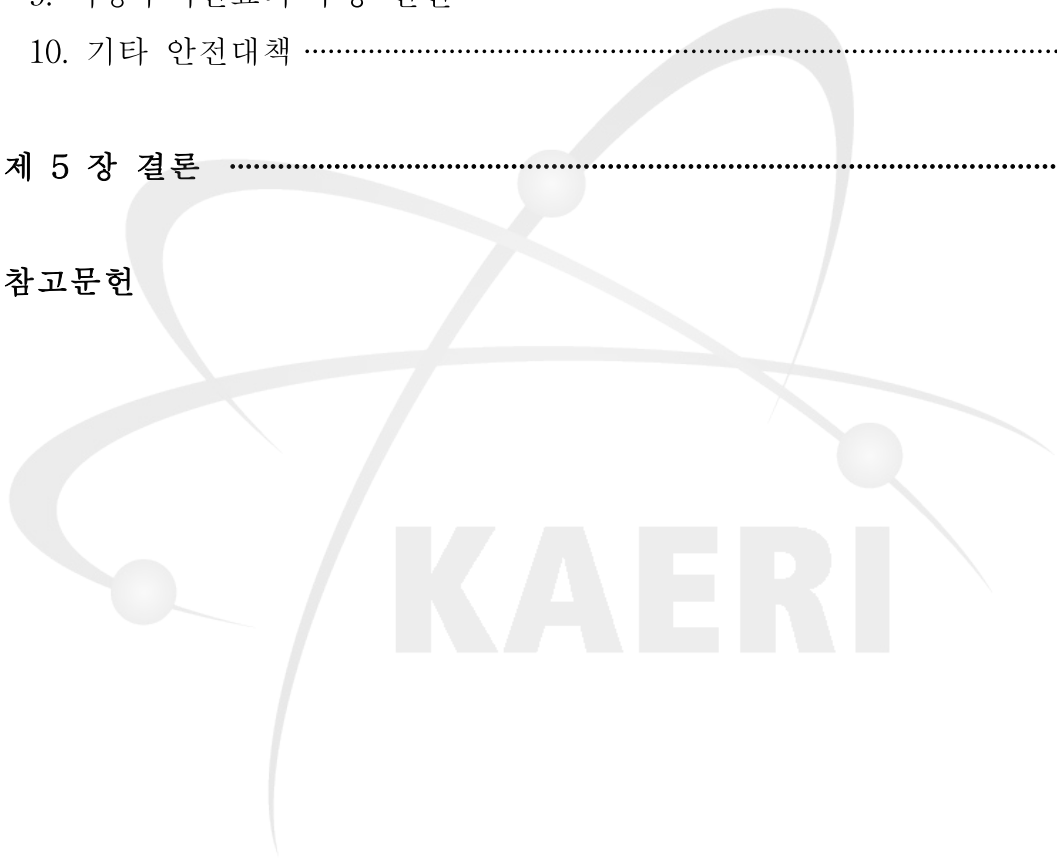
## Summary

Korea has experienced rapid growth of nuclear power generation so far. It has currently 20 nuclear reactors in operation, 8 more reactors under construction or planning, thus making the total 28 by the year 2015. According to the 4th National Electric Power Supply Plan announced in December 2008, the portion of the nuclear power from the total electric power generation in terms of the capacity of facility will be increased from 24.8% of 2008 to 32.6% by 2022. The expansion of nuclear power generation is expected due to the high oil prices and issue of global warming. The expansion of nuclear power generation inevitably result in the increase of spent nuclear fuel generation. Every year ~700t of spent nuclear fuels are accumulated and total of 10,761t of spent nuclear fuels generated from 20 reactors are stored within the reactor sites by the end of 2009. If this trend is maintained, it is expected that Korea will have ~30,000t of spent nuclear fuel by 2030. The safe management of spent nuclear fuel is of critical importance to the safe operation of nuclear power reactors and efficient management of resources. In compliance to the decision made by the 253th Nuclear Committee (December 2004), KHNP is now expanding and securing its reactor site storage capacity for the temporary storage of spent nuclear fuel by 2016. It installs high density racks in the pool, transports spent fuels to larger reactor pools and constructs dry storage facilities to prevent the pool capacity is reached. However, measures including the introduction of interim storage facility are urgently needed since the pools at reactor sites is expected to be full from 2016. Considering the domestic situation described so far, it would be very useful to examine the "Recycle Fuel Storage Facility" located in Muts, Japan which is very recently licensed and now under construction. The license was issued in March 2009 and the construction will start in July 2010 and finish in 2012.

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 무츠 사용후핵연료 중간저장시설 사업개요 .....	3
1. 사업계획 개요 .....	5
2. 부지 개요 .....	9
3. 지반 .....	10
4. 지진 및 지진동 .....	11
5. 지진수반재해 .....	16
6. 기상 .....	16
7. 수리 .....	16
8. 화산 .....	17
9. 사회 환경 .....	19
제 3 장 사용후핵연료 저장시설 개요 .....	21
1. 전체 배치 계획 .....	21
2. 저장 건물 개요 .....	22
3. 설비 개요 .....	23
4. 사용후핵연료 반입·저장·반출 공정 .....	25
5. 내진 설계 .....	30
6. 방사성 폐기물 처리 .....	30
7. 저장 종료 후 사용후핵연료 반출 .....	30
8. 평상시 선량 평가 .....	31
9. 안전성 평가 .....	31
제 4 장 사용후핵연료 중간저장시설의 안전성 .....	32
1. 방사성물질 밀봉 .....	32

2. 방사선 차폐 .....	33
3. 임계 방지 .....	34
4. 제열 기능 .....	35
5. 화재·폭발 방지 .....	35
6. 지진 대책 .....	36
7. 비산물 대책 .....	37
8. 방사선관리 .....	37
9. 사용후핵연료의 수송 안전 .....	38
10. 기타 안전대책 .....	38
제 5 장 결론 .....	39
참고문헌	



## 표 목차

표 1. 리사이클연료 비축센터 사업추진 경위 .....	4
표 1. 사용후핵연료 저장용량 산정표 .....	6
표 2. 금속 캐스크 기본 사양 .....	25
표 3. 저장 사용후핵연료 종류 .....	25



## 그림 목차

그림 1. 사용후핵연료 반입, 저장 및 반출 시나리오 .....	7
그림 2. 시설 건설기간 및 조업기간 .....	8
그림 3. 무츠 사용후핵연료 저장시설의 부지 위치 .....	10
그림 4. 부지주변 주요 피해지진 진앙분포 .....	13
그림 5. 부지주변 활성단층 분포 .....	14
그림 6. 기준지진동 Ss 책정 흐름 .....	15
그림 7. 부지주변 제4기 화산 .....	18
그림 8. 리사이클연료 비축센터 주변의 철도 및 주요도로 .....	20
그림 9. 리사이클연료 비축센터 전체배치도 .....	21
그림 10. 사용후핵연료 저장건물 개요 .....	22
그림 11. 금속 캐스크 개요도 .....	26
그림 12. 사용후핵연료 반입 개요 .....	27
그림 13. 캐스크 취급 공정 및 저장건물 구성 개념도 .....	28
그림 14. 금속 캐스크 밀봉 개요 .....	32
그림 15. 방사선의 차폐기능 개요 .....	33
그림 16. 피폭 저감을 위한 차폐 설계 개요 .....	34
그림 17. 임계 방지 설계 개요 .....	34
그림 18. 제열 설계 개요 .....	35
그림 19. 내진 설계 개요 .....	36
그림 20. 금속 캐스크의 저장 건물바닥 면 고정 방법 .....	37



# 제 1 장 서 론

1979년 고리 1호기의 상업운전이 시작된 이래, 우리나라의 원자력발전은 급속히 성장하여 현재 20기의 원자력발전소가 가동 중에 있으며, 8기가 건설 및 계획 중으로 2015년이면 총 28기의 원자력발전소가 운영될 예정이다. 이러한 원자력발전은 최근 고유가시대가 도래하고 지구온난화현상이 지속되면서 계속 확대될 것으로 예상된다. 2008년 12월에 발표된 제4차 전력수급기본계획에 따르면, 원자력설비 비중은 2008년 24.8%에서 2022년 32.6%로 확대될 전망이다.

원자력발전의 확대는 불가피하게 사용후핵연료의 발생량을 증가시킨다. 2009년 말을 기준으로 우리나라에서는 연간 약 700 톤의 사용후핵연료가 발생하고 있으며, 총 20기의 원자로에서 10,761 톤의 사용후핵연료가 발생되어 발전소 내에 저장되어 있다. 현재의 추세가 유지된다면 2030년경에는 사용후핵연료의 누적량이 약 30,000 톤에 이를 것으로 전망된다.

사용후핵연료의 관리는 원전의 안정적인 운전 보장과 미래 에너지자원의 효율적인 관리측면에서 매우 중요하다. 우리나라는 세계 6위의 원자력 발전국임에도 불구하고 사용후핵연료 최종관리정책을 마련하지 못하고 있는 실정이다. 다만, 제 253차 원자력위원회(2004년 12월)에서 중간저장시설의 건설 등을 포함한 사용후핵연료의 종합관리방침을 국가정책과 국내외 기술개발 추이 등을 감안하여 중장기적으로 충분한 논의를 거쳐 국민적 공감대 하에서 추진하되 적기에 그 추진방침을 결정하고, 사용후핵연료는 원전 부지 내의 임시저장능력을 확충하여 2016년까지 각 원전 부지 내에서 저장·관리하도록 의결한 바 있다.

제 253차 원자력위원회 결정에 따라 한국수력원자력(주)는 발전소 내에 설치된 기존시설의 저장능력이 포화되는 것에 대비하여 조밀저장대 교체·설치, 원전 호기간 이송 저장 및 건식저장시설 추가건설 등의 방법을 사용하여 2016년까지 발생하는 사용후핵연료를 저장할 능력을 확보하거나 저장용량 확장계획을 시행중에 있다. 그러나, 사용후핵연료 저장용량이 2016

년부터 부지별로 포화상태에 이를 것으로 전망됨에 따라 적기에 중간저장 시설의 도입 등 대책이 시급한 실정이다.

이러한 국내 상황을 고려하여 주요국의 사용후핵연료 중간저장시설의 최근 현황을 파악하는 것이 향후 국내에서 이러한 사업을 수행하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 이에 따라 최근 인허가를 신청한 무츠시에 위치한 사용후핵연료 중간저장시설인 “리사이클연료 비축센터 사용후핵연료 저장사업”에 대한 기술현황을 조사하였다.

일본은 에너지 자원이 풍부하지 않기 때문에 에너지의 안정적 확보와 환경보전의 차원에서 미래의 경제활동을 유지·발전시켜 가기 위해 원자력 연료사이클 사업을 원활히 진행시켜 나가는 것을 국가정책으로 삼고 있다. 일본은 현재 55기의 원전을 가동 중이며, 사용후핵연료의 연간발생량이 약 1,400톤이다. 로카쇼 재처리시설 내에 3,000톤 저장용량의 습식저장시설을 운영하고 있으나, 연간 재처리용량보다 발생하는 사용후핵연료가 많기 때문에 중간저장시설이 필요한 상황이다.

무츠시의 사용후핵연료 중간저장시설은 원자력 연료사이클 사업의 일환으로 재처리 능력을 초과하여 발생하는 사용후핵연료를 재처리 할 때까지 일정기간 저장하는 시설이다. 동 시설에 저장하는 최종적인 사용후핵연료의 저장용량은 5,000 tU이며, 우선 3,000 tU 규모의 저장건물 제 1동을 건설하고, 그 후 2,000 tU 규모의 저장건물 제 2동을 건설하는 것으로 계획하고 있다. 동 시설의 인허가는 2009년 3월에 신청되었으며, 본 사업은 2010년 7월경에 건설에 착수하여 2012년 완공을 목표로 하고 있다.

## 제2장 무츠 사용후핵연료 중간저장시설 사업개요

일본 아오모리현 무츠시에 위치하는 무츠 사용후핵연료 중간저장시설인 “리사이클연료 비축센터” 사업은 2000년 6월 원전 부지이외의 시설에 사용후핵연료를 저장 가능하도록 관련법이 개정되면서 본격적으로 시작되었다. 같은 해 10월 금속 저장용기를 이용한 중간저장시설을 위한 안전심사 지침이 세워지고, 12월 리사이클연료 비축센터의 부지 관련 기술 조사에 착수하였다. 2001년 무츠시 내에 특별조사위원회가 설치되고 현지조사가 시작되었으며, 이러한 조사를 바탕으로 2003년 도쿄전력은 리사이클연료 비축센터 건설이 기술적으로 가능하다는 내용의 보고서를 발간하여 무츠시에 제출하였고, 같은 해 공식적인 리사이클연료 비축센터 유치 표명이 이루어졌다.

2005년 10월 아오모리현과 무츠시는 공식적으로 리사이클연료 비축센터 입지를 승낙하고, 리사이클연료 비축센터 주관회사인 도쿄전력, 일본 원자력발전과의 사용후핵연료 중간저장시설에 관한 협정을 체결했다. 같은 해 11월 도쿄전력과 일본 원자력발전은 사업추진을 위해 공동출자로 리사이클 연료 저장 주식회사를 설립하면서 리사이클연료 비축센터 건설을 위한 준비가 본격적으로 착수되었다.

2005년 11월 리사이클연료 비축센터 건설 부지에 대한 상세조사를 시작하여, 2007년 3월 이러한 조사를 바탕으로 사용후핵연료 저장사업에 대한 인허가를 신청했다. 2008년에는 리사이클연료 비축센터 건설을 위한 기초공사를 착수하였다. 리사이클연료 비축센터는 2012년 상반기까지 건설공사를 마무리하고, 2012년 하반기부터 본격적으로 운영될 예정이다.

리사이클연료 비축센터의 사업추진경위는 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1. 리사이클연료 비축센터 사업추진 경위

날 짜	사 업 추 진 내 용
2000년 6월	사용후핵연료 소외 저장시설에 관한 일본 원자력법 개정
2000년 11월	도쿄전력(주)에 RFSF 부지 관련 기술 조사 의뢰
2001년 1월	무츠시에 6개 조사소 개설 및 일본 원자력연구개발기구 소유 세키네빈항(항만시설) 주변 지역 조사 개시
2001년 3월	무츠시에 RFSF를 위한 특별조사위원회 설치
2001년 4월	무츠시 현지조사 개시
2003년 3월	도쿄전력(주), RFSF 건설의 기술적 입지 가능성 보고서 발행
2003년 4월	무츠시에 입지 가능성 보고서 제출, 사업 구상 공표
2003년 6월	공식적인 RFSF 유치 표명
2003년 7월	무츠시, RFSF 입지 요청 수령
2004년 2월	RFSF 사업 개요 공표 및 아오모리현, 무츠시에 입지 협력 요청
2005년 1월	RFSF의 안전성에 대한 검사/검토회 개최
2005년 10월	아오모리현, 무츠시, RFSF 입지 최종 승낙, 도쿄전력(주) 및 일본 원자력발전(주)와 RFSF에 관한 협정서 조인
2005년 11월	도쿄전력(주), 일본 원자력발전(주)의 공동출자로 무츠시에 "Recycle Fuel Storage(주)" 설립
2005년 11월	RFSF 부지 상세조사 실시
2007년 3월	RFS(주), 사용후핵연료 저장사업 허가 신청
2008년 2월	기초공사 전 공사내용 지역설명회 개최
2008년 3월	RFSF 건설을 위한 기초공사 개시
2009년 4,6,8,12월	사업 허가 신청 보정서 4회 제출
2012년 7월	RFSF 준공 및 운영 시작 예정

## 1. 사업계획 개요

### 가. 사업주체

도쿄전력(주)을 주축으로 일본원자력발전(주)과 공동으로 새롭게 설립하는 회사 “리사이클연료 저장 주식회사”가 국가의 원자로 등 규제법에 근거하는 사업의 허가를 받아 사업주체가 되어 시설 건설 및 운영을 수행한다.

### 나. 사업명 및 소재지

본 사용후핵연료 중간저장시설은 아오모리현 무츠시에 위치하고, 사업의 명칭은 리사이클연료 비축센터이다.

### 다. 저장대상 사용후핵연료 종류

저장대상 사용후핵연료는 도쿄 전력 주식회사 및 일본 원자력발전 주식회사의 BWR 및 PWR원자로에서 배출된 사용후핵연료 집합체를 저장 대상으로 한다.

### 라. 저장용량

사용후핵연료 중간저장시설은 도쿄전력(주) 및 일본원자력발전(주)의 원자력발전소에서 발생하는 사용후핵연료를 안전하게 저장·관리하는 시설로서, 최종적인 저장용량은 우라늄 중량 5,000 tU으로 이중 제1동의 저장용량은 3,000 tU이다. 저장용량 설정의 근거는 아래와 같다.

- 도쿄전력(주) 원자력발전소의 사용후핵연료 발생량은 현재 계획중인 발전소를 포함해 연간 500 tU 정도이며, 록카쇼 재처리시설로 반출되는 사용후핵연료는 연간 300 tU 정도이므로 중간저장을 필요로 하는 사용후핵연료의 발생량과 반출량과의 차는 연간 200 tU 정도이다.
- 발생량과 반출량의 차인 연간 200 tU을 고려하여, 현재 사용후핵연료

의 발생예정기간인 2030년경까지 약 20년을 고려하고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 도쿄전력(주)이 4,000 tU정도의 저장량이 필요하고, 일본원자력발전(주)의 사용후핵연료 저장량도 대략 1,000 tU정도가 필요하므로, 도쿄전력(주) 및 일본원자력발전(주)에서 발생하는 사용후핵연료의 저장용량은 합계 5,000 tU으로 설정되었다. 사용후핵연료 저장용량 산정표는 표 2에 나타낸 바와 같다.

표 2. 사용후핵연료 저장용량 산정표

구 분	도쿄전력(주)	일본원자력발전(주)
원자력발전소의 사용후핵연료 연간 발생량 (예상)	500 tU/y	100 tU/y
룩카쇼 재처리시설로의 사용후핵연료 연간 반출량	300 tU/y	50 tU/y
사용후핵연료 연간발생량과 룩카쇼 재처리시설로의 연간 반출량 차	200 tU/y	50 tU/y
사용후핵연료 발생기간	현재 사용후핵연료 발생량으로 20년간의 발생량 고려	
사용후핵연료 중간저장시설의 저장용량	4,000 tU	1,000 tU

#### 마. 저장기간

저장기간은 시설마다(순차적으로 건설하는 저장 건물마다)의 운영 기간을 50년, 캐스크마다 최장 50년까지 저장하는 것으로 가정하였다.

조업 개시 후 40년째까지 리사이클연료 저장 주식회사는 지역과 반출에 대한 협의를 실시하고 50년 동안 저장했던 사용후핵연료를 모두 반출한다. 저장시설 제 2동도 앞에서 언급한 바와 같다.

#### 바. 사용후핵연료 반입예정량

사용후핵연료를 안전하게 반입하기 위해 전용 수송선으로 운반한다. 전용 수송선에 적재되는 사용후핵연료의 양은 현재, 록카쇼 재처리시설의 수송선의 적재능력도 고려해서 1회당 50~80 tU 정도가 된다. 1년간의 반입량이 200~300 tU이므로, 연간 4회 정도의 반입을 실시하게 된다.

이에 따라 조업 개시후 연간 200~300 tU씩 저장량이 3,000 tU이 될 때까지 약 10년에서 15년간에 걸쳐 사용후핵연료를 저장 시설에 반입하는 것으로 가정한다.

제 1동 저장시설의 운영 기간을 고려한 사용후핵연료의 반입, 저장 및 반출 시나리오는 그림 1에 나타낸 바와 같다.

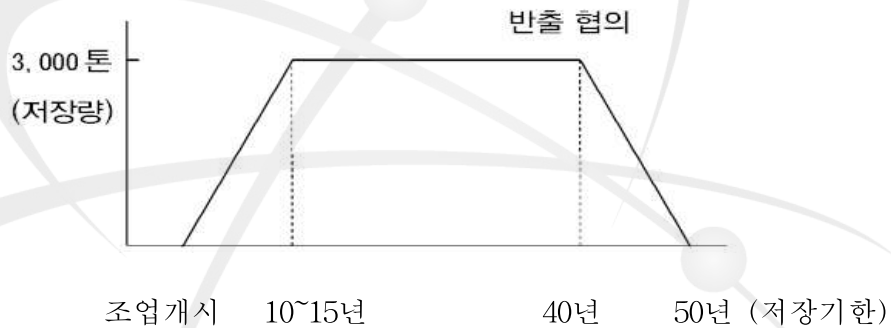


그림 1. 사용후핵연료 반입, 저장 및 반출 시나리오.

#### 사. 시설건설 일정계획

2009년 3월 “리사이클연료 비축센터 사용후핵연료 저장 사업” 인허가를 신청하여 현재 심사 중이며, 2010년 7월에 공사를 개시하여 2012년 7월에 시설운영의 개시를 희망하고 있다.

중간저장시설은 제 1동과 제 2동 저장건물로 나눠서 건설한다. 1동 저장 건물 규모는 지상 1층, 철근 콘크리트 구조물로 건물의 크기는 폭 약 60 m로 추정되며 건설기간은 약 3년이 소요된다. 제 2동 저장건물은 필요에 따라 순차적으로 건설한다. 또한 조업에 필요한 시설과 안전설비도 설치한다. 시설의 건설기간 및 조업기간의 개념도는 그림 2에 나타낸 바와 같다.

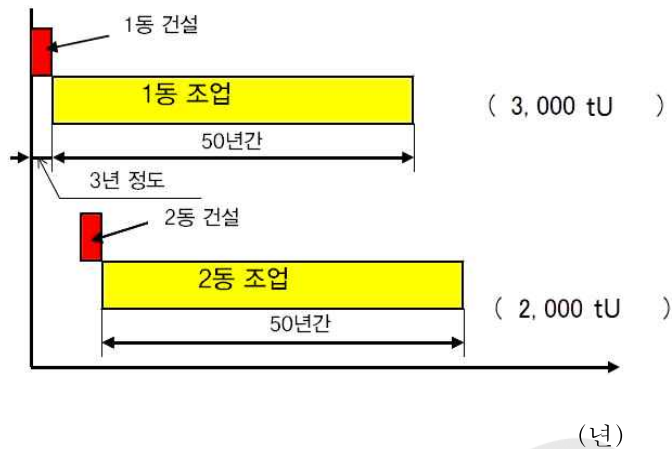


그림 2. 시설 건설기간 및 조업기간.

아. 시설 건설비

금속 캐스크를 포함한 건설비는 약 1,000억엔 정도로 예상하고 있으며, 이중에서 금속 캐스크 비용이 70~80 %를 차지할 것으로 추정된다.

자. 소요인력

사용후핵연료 중간저장시설과 관련된 인원은 경비 등의 위탁을 포함하여 조업 단계에서 20~30명 정도가 소요될 것으로 추정되며, 건설 기간 중 고용인원은 약 21만명·년 정도로 예상된다.

차. 시설·기기 구성

사용후핵연료 저장시설의 주요 시설·기기는 다음과 같다.

- ① 사용후핵연료를 반입·저장·반출하기 위한 설비
  - 저장건물
  - 금속 캐스크



- 금속 캐스크 취급시설
- 기타 부대시설(방사선 감시시설 등)

② 항만시설

일본원자력연구소 세키네하마항의 항만을 이용한다.

③ 수송도로

원자력 발전소에서 해상 운송하는 금속 캐스크를 세키네하마항에서 저장시설로 수송하기 위하여 세키네하마항과 사업 예정지의 사이에 전용도로를 건설한다.

④ 사무·관리 건물

부대시설로 사무·관리건물을 배치한다.

## 2. 부지 개요

### 가. 사용후핵연료 저장시설 위치 및 지형

사용후핵연료 저장시설을 설치하는 부지는 시모키타반도의 츠가루해협 중앙부에 위치하며 완만한 평지로 이루어져 있다. 부지 형상은 거의 정방형이며, 부지 전체의 넓이는 약 26만 m<sup>2</sup>이다. 부지 위치는 그림 3에 나타낸 바와 같다.

도쿄전력(주)이 실시한 사용후핵연료 중간저장시설의 입지 가능성 조사의 결과를 바탕으로 아래의 사항을 확인하였다.

- 부지의 아래 및 주변에 활성단층이 없다.
- 화산활동에 의한 영향을 받을 가능성이 극히 낮다.
- 산사태나 침식 등의 영향을 받지 않는다.
- 시설의 지지층이 될 수 있는 지층이 존재한다.
- 해일의 경우, 최대급의 해일(4 m정도)이 발생한다고 해도 사업예정지의 표고가 20 m이상으로 영향을 받지 않는다.

- 기상이나 사회 환경조사에서도 시설 입지와 관련한 고려사항은 발견되지 않았다.

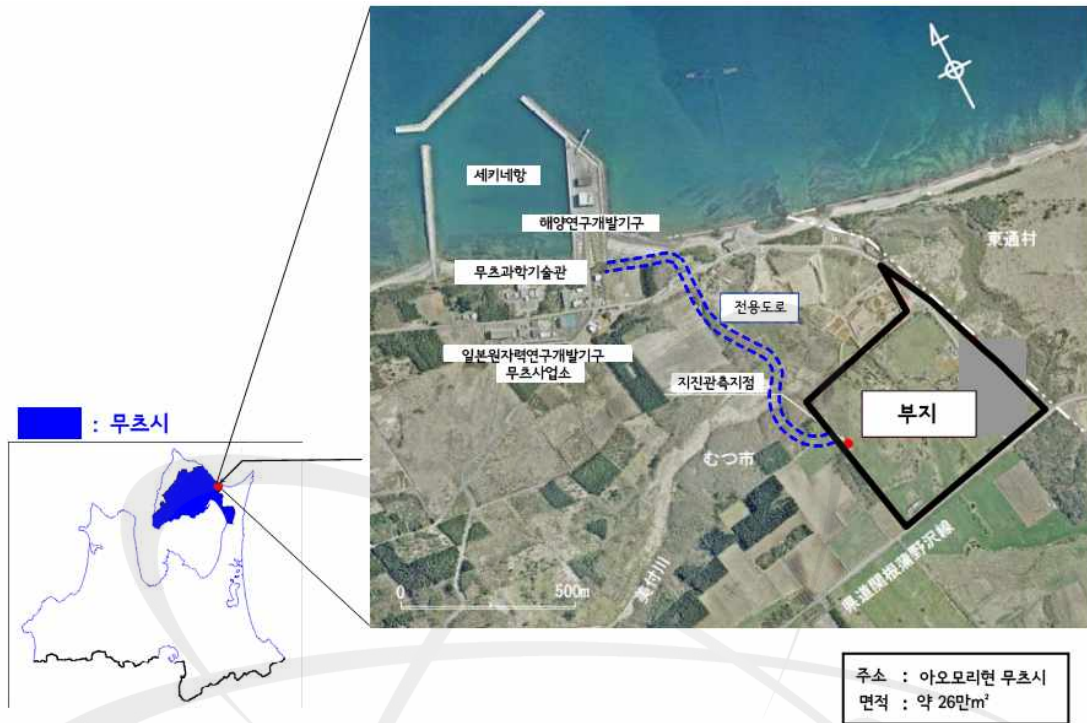


그림 3. 무츠 사용후핵연료 저장시설의 부지 위치.

### 3. 지반

#### 가. 부지 지질 및 지질 구조

부지 지질은 하위부터 신생대 제3기 플라이오세기~제4기 초기의 스나고마타층, 제4기 중기의 타나부층 및 제4기 말기의 중위단구 축척물의 위에 실리는 롬층, 제4기 현세기의 충적층 등으로 이루어져 있다.

사용후핵연료 저장건물은 말뚝기초 구조로 말뚝 끝단 부분에는 반고결의 경석이 포함된 사암으로 이루어진 스나고마타층이 분포하고 있다. 스나고마타층은 대개 수평인 분포를 나타내고 있고 저장건물이 설치될 위치 부근에서 기초 지반의 안정성 검토 시 고려해야 할 단층은 존재하지 않는다고 판단된다.

#### 나. 설치 지반

사용후핵연료 저장건물 기초 지반의 암석·암반 물성에 대해서는 불링 조사에서 채취한 시료를 이용하고, 물리적 특성, 강도 특성 및 변형 특성에 관한 제반시험을 실시와 동시에 PS검층, 표준관입시험, 저장 건물에 사용되는 말뚝의 모의 말뚝압입시험 및 말뚝 수평재하시험을 실시하고, 저장 창고 건물의 지지 지반의 성질과 상태 등을 고려하여 평가를 실시하였다.

물리 시험 및 3축 압축 시험의 결과에 의하면 스나고마타층(상부 경석 포함 사암)의 습윤 밀도는 평균  $1.82 \text{ g/cm}^3$ , 축 차이 강도는 평균  $1.12 \text{ N/mm}^2$ , 초기변형계수는 평균  $300 \text{ N/mm}^2$  이고 말뚝 끝단 부근(표고 21.5 m)의 습윤 밀도는 평균  $1.81 \text{ g/cm}^3$ , 축 차이 강도는 평균  $1.23 \text{ N/mm}^2$ , 초기 변형 계수는 평균  $408 \text{ N/mm}^2$ 로 조사되었다.

상기 지질 조사와 실내 시험 및 현장 시험에서 얻어 낸 결과를 바탕으로 저장 건물 기초 지반의 안정성에 대한 관용법을 이용하여 지지력 및 침하검토를 실시하고 유한요소법(Finite Element Method)으로 동적 해석을 이용한 지지력과 미끄럼 및 침하 검토를 실시한 결과, 저장 건물 기초 지반은 지지력, 미끄럼 및 침하에 대해서 충분한 지지 성능을 가지고 있다고 판단된다.

### 4. 지진 및 지진동

#### 가. 지진

부지 주변 피해 지진은 아오모리현의 내륙, 아오모리현 토호오키에 걸친 일본해협부근에서 발생하고 있고 기상청 진도 5이상으로 추정되는 플레이트간 지진은 1968년 토카치오키 지진(매그니튜드 M7.9), 1994년 산리쿠하루카오키 지진(M7.6)이 있다. 해양 플레이트 내 지진, 내륙 지각 내 지진 및 기타 부지의 기상청 진도 5이상으로 추정되는 지진은 발생하지 않았다.

또, 부지에 영향을 줄 우려가 있는 지진으로는 지진 조사 연구 추진 본부가 공표한 플레이트간 지진인 「산리쿠오키 북부 지진(모먼트 매그니튜드 Mw8.3)」 등이 있다. 활성단층은 요코하마 단층(단층 길이 L=15.4 km, 진앙거리  $\Delta$ =26 km)과 시리야자키 남동쪽 앞바다 단층(L=14.5 km,  $\Delta$ =34 km) 등이 있다.

#### 나. 지진동

내진 설계 기준이 되는 지진동으로는 「부지 마다 진원을 특정하여 책정하는 지진동」 및 「진원을 특정하지 않고 책정하는 지진동」에 대해서 기반표면에서 수평 방향 및 연직 방향의 지진동으로 각각 책정하고 있다.

「부지 마다 진원을 특정해 책정하는 지진동」은 부지 주변의 활성단층의 성질, 과거 및 현재의 지진 발생 상황 등을 고려하여 지진발생 양식 등으로 지진 분류를 실시하고 검토용 지진으로 요코하마단층 지진, 시리야자키 남동쪽 앞바다 단층지진 및 산리쿠 북부지진(가정)을 선정하였다. 이러한 지진의 응답 스펙트럼에 근거하여 지진동 평가 및 단층 모델을 이용하는 방법으로 지진동 평가를 동시 실시하여 기준 지진동 Ss책정 과정에 수반되는 불확실성을 고려한 다음, 기준 지진동 Ss를 책정 하였다.

「진원을 특정하지 않고 책정하는 지진동」은 진원과 활성단층을 관련 짓기 곤란한 과거 내륙 지각 내지진은 진원 근방의 관측기록을 수집한 문헌 등을 조사하여 기준 지진동 Ss를 책정하였다. 부지 주변의 주요 피해 지진의 진앙 분포는 그림 4에, 부지 주변의 활성단층 분포는 그림 5에, 기준 지진동 Ss책정 흐름은 그림 6에 나타낸 바와 같다.

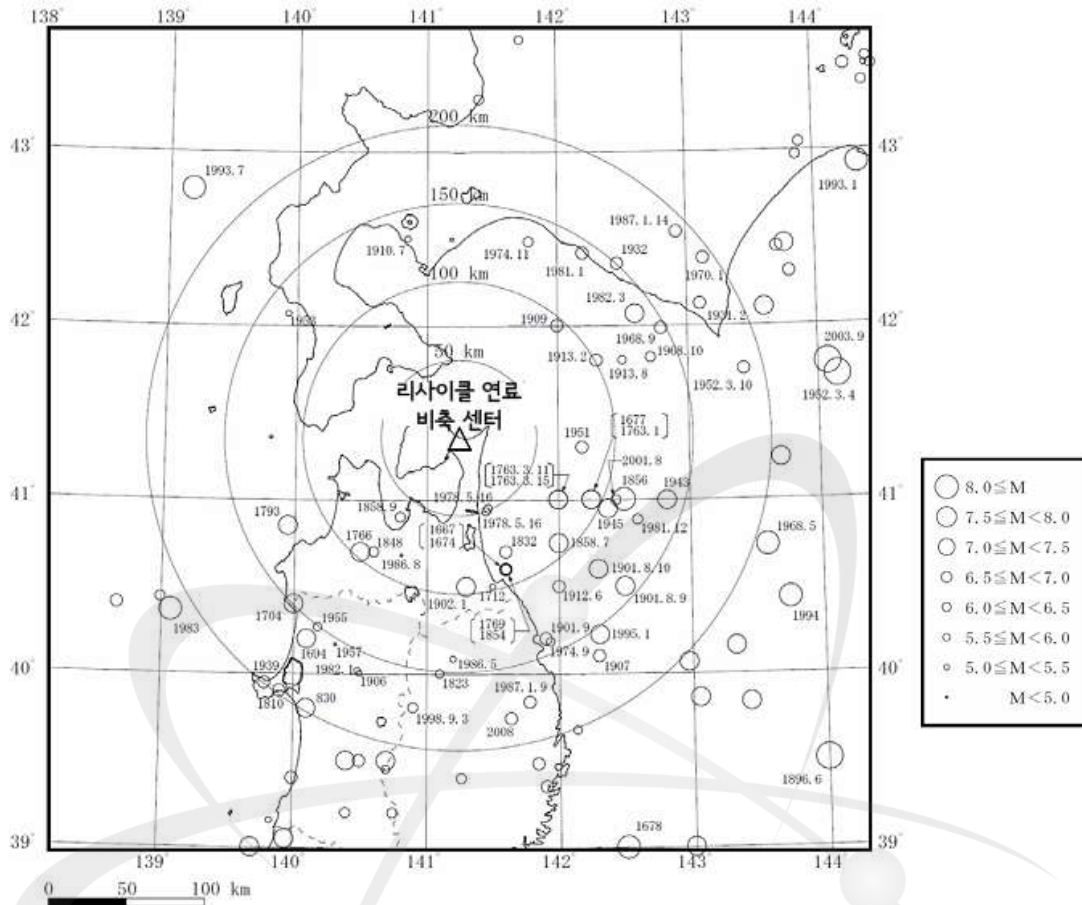


그림 4. 부지주변 주요 피해지진 진앙분포.

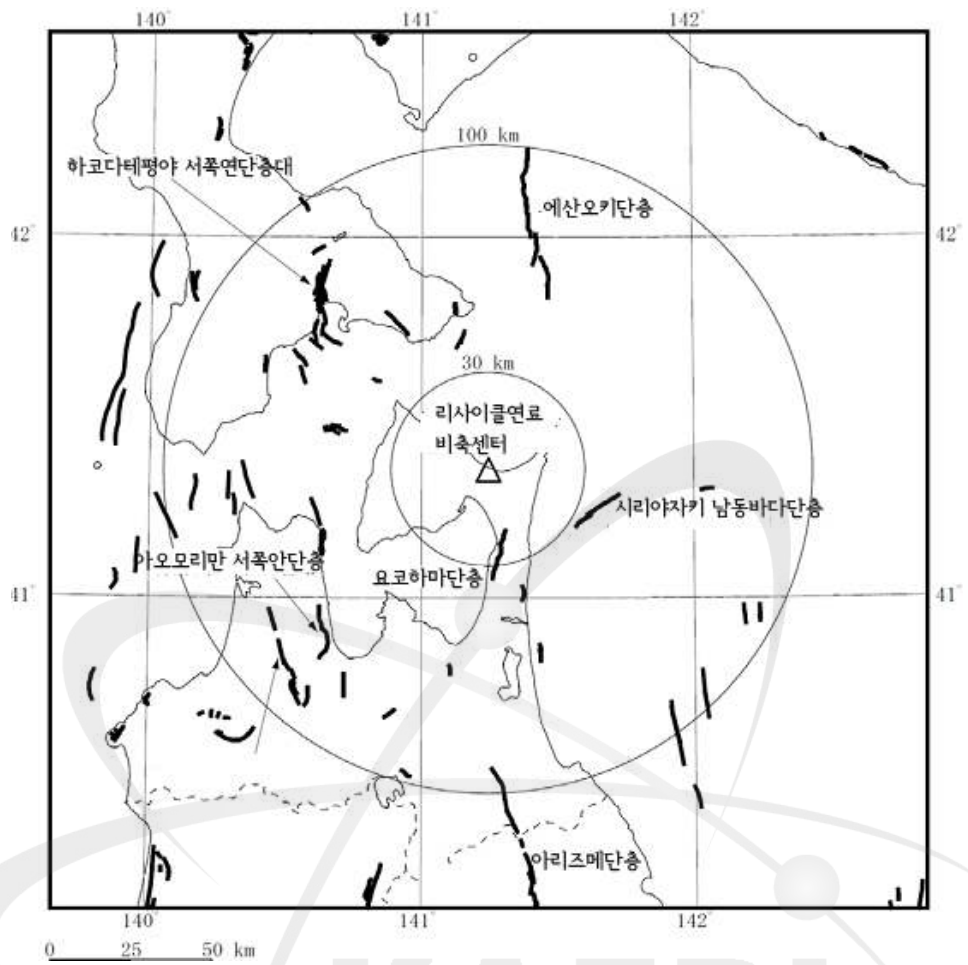


그림 5. 부지주변 활성단층 분포.

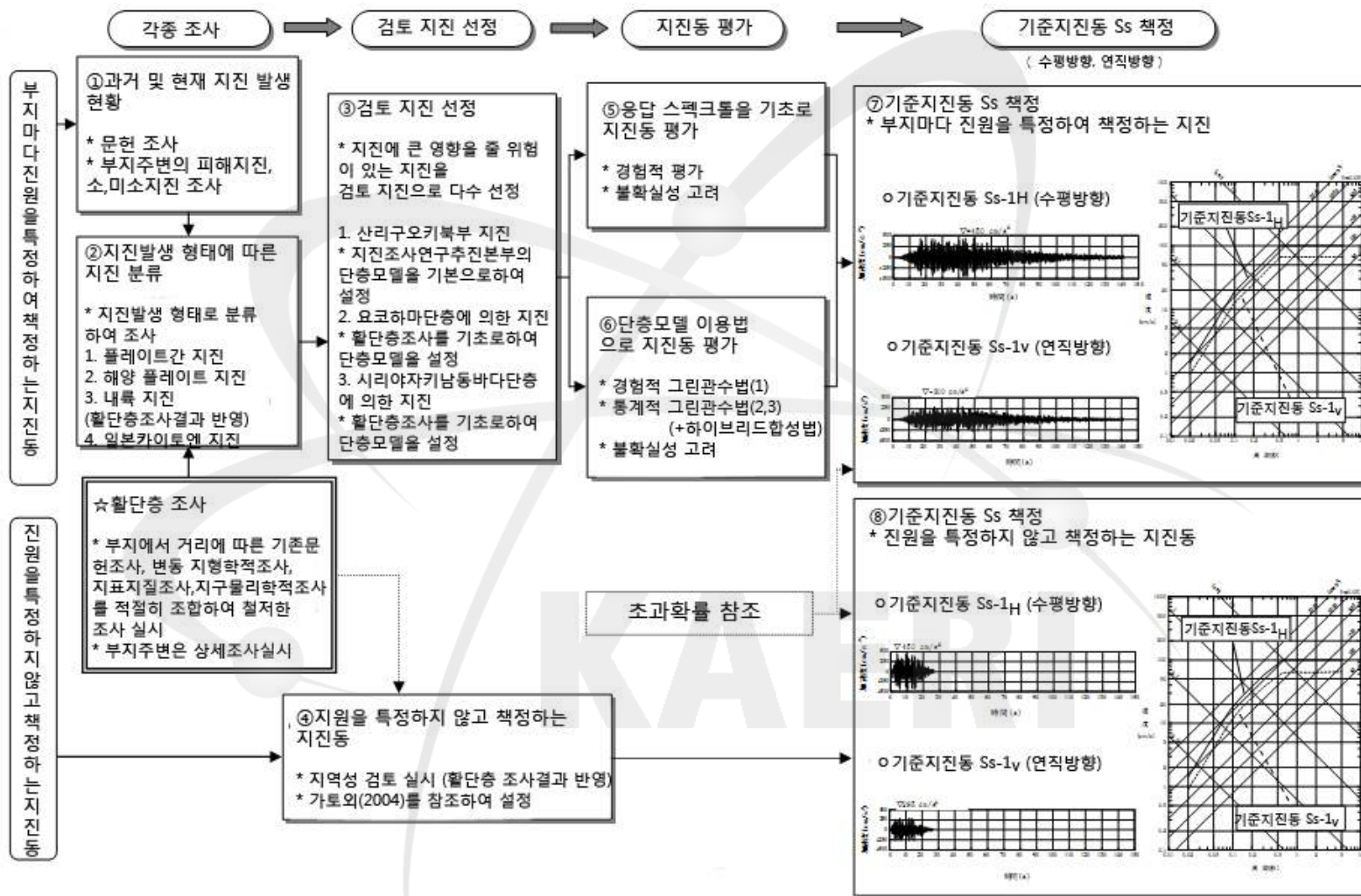


그림 6. 기준지진동 Ss 책정 흐름.

## 5. 지진수반사건

부지는 표고 약 20~30 m의 완만한 대지의 표고 16 m에 조성하며 부지 전면의 해안은 표고 약 15 m의 해식벼랑이 연속되는 지형으로 저장 건물과의 거리는 약 500 m로 해일에 의해 사용후핵연료 저장시설의 안전 기능이 중대한 영향을 받을 우려는 없다. 또 저장건물 설치 위치 부근에는 안정성 평가의 대상이 되는 주변 경사면은 존재하지 않는다.

## 6. 기상

부지 근처의 기상 관측인 무츠 특별지역기상 관측소 및 하코다테 해양기상대의 자료를 바탕으로 장기간 관측 기록을 조사하고 있다.

기후구분은 일본해 토호쿠·홋카이도형 기후구에 속하며 강수량은 연간 약 1,200 mm, 평균 기온 약 9 °C이며 여름에는 편동풍 바람이 많고 그 외의 계절에는 편서풍 바람이 많다.

무츠 특별지역 기상 관측소의 관측 기록에 따르면 최고기온 34.2 °C(1994년 8월 12일), 최저 기온 -22.4 °C(1984년 2월 18일), 일 최대 강수량 162.5 mm(1981년 8월 22일), 적설량 월 최대치 170 cm(1977년 2월 15일), 최대 순간 풍속 38.9 m/s(1961년 5월 29일)였고, 하코다테 해양기상대 관측 기록으로는 최고기온 33.6 °C(1999년 8월 4일), 최저 기온 19.4 °C(1900년 2월 14일), 일 최대 강수량 176.0 mm(1939년 8월 25일), 적설량 월 최대치 91 cm(1985년 2월 10일), 최대순간 풍속 46.5 m/s(1999년 9월 25일)였다.

## 7. 수리

부지 근방 하천으로는 유역 면적 약 4.1 km<sup>2</sup>, 유로 연장 약 5 km인 비츠케강이 있고 남쪽에서 북쪽으로 흐르며 츠가루해협으로 유입되고 있다. 부지의 지하수면은 주로 타나부층 내에 있고 다소 변동은 있지만 부지의 대지 중앙 부근에서 지표면 2~3 m 정도 아래에 있으며 북쪽으로 낮게 이루어져 있다.

또, 지하수는 오로지 강수로 함양되어 있다. 기상청 시모키타검조소의 조위



(Tide Level) 관측기록(1997년~2006년)에 따르면 최고조위는 도쿄만 평균 해면(이하 「T.P.」)+0.896 m(2004년 9월 1일)이며, 음력 초하루와 보름 평균 만조위는 T.P.+0.611 m, 음력 초하루와 보름 평균 간조위는 T.P.0.711 m, 평균 조위는 T.P.+0.059 m 이었다.

해일은 1933년에 발생 한 쇼와 산리쿠해일 당시 무즈시 데토강 1.6 m, 무즈시 세키네에서 1.0 m를 기록했으며 1960년 칠레 해일 당시에는 무즈시 세키네나야 1.5 m, 히가시이리구치 1.7 m의 높이로 기록되어 있다.

농림 수산성 외 (1997), 아오모리현(1997) 및 중앙 방재 회의(2005)에서 과거 기록을 바탕으로 실시한 수치 시뮬레이션의 결과에 따르면 가정 할 수 있는 최대 규모의 해일 높이는 부지 근방(무즈)에서 최대 3.7 m였다.

부지 전면의 해안과 저장 건물과의 거리는 약 500 m로 부지는 표고 약 20~30 m의 평탄한 대지면 위에 조성되고 저장시설은 표고 16 m 부근에 설치되므로 홍수나 이상조위 또는 해일에 의한 피해는 없을 것으로 판단하고 있다.

## 8. 화산

화산 활동 가능성 및 영향 가능성에 대한 검토를 실시하였다. 부지를 중심으로 반경 160 km의 범위에 있는 제4기 화산을 「일본 제4기 화산 카탈로그」를 바탕으로 자료를 수집해서 이러한 화산의 최대 휴지기간과 최근 활동이 있고나서 경과 기간과의 관계와 이러한 화산 현상이 부지에 도달한 흔적 등으로 검토한 결과 주의해야 할 화산은 오소레잔 및 무즈 히치다케 화산 등이 있다. 이 중에서 무즈 히치다케 화산은 지하 심부를 포함한 저주파 지진은 확인되지 않았으며 분기 활동도 없으므로 현 시점에서 무즈 히치다케 화산은 화산활동이 멈춰 있다고 판단하고 있다. 오소레잔 화산은 공용 기간 중에 수증기 분화 발생 가능성은 있지만, 마그마가 분출하는 활동은 없다고 판단했다. 제4기 화산의 화산쇄설암 및 화산활동으로 발생하는 해일의 영향에 대해서도 검토하였다.

그 결과 사용후핵연료 저장시설의 공용 기간 중에 고려해야 할 화산 현상으로는 오소레잔 화산의 화산쇄설암, 화산탄 등의 탄도 분출물, 화쇄난류(pyroclastic surge), 암설사태(debris avalanche), 화산가스, 새로운 화구 형성, 2차적인 토석류



## 9. 사회 환경

본 리사이클연료 비축센터가 위치하는 무츠시와 인접하는 카자마우라무라 지역, 오오마마치 지역, 사이무라 지역, 히가시도리무라 및 요코하마마치의 총인구는 2005년 10월, 약 89,000 명이며 아오모리현 전체인구의 약 6 %를 차지하고 있다. 시읍면 별로는 무츠시가 가장 많은 약 64,000 명이다.

무츠시의 취업자수는 약 29,000 명이며, 그 중 제1차 산업 약 7 %, 제2차 산업 약 22 %, 제3차 산업 약 71 %에 종사하고 있으며, 제3차 산업의 비율이 높아지고 있다.

리사이클연료 비축센터와 인접한 철도 노선으로는 동일본 여객 철도 주식회사 오미나토선(노헤지~오미나토)이 있고 부지와 가장 인접한 시모키타역은 남남서 약 9 km 떨어진 곳에 위치하고 있다.

주요 도로로는 국도 279호선, 국도 338호선, 주요 지방도 무츠 시리야자키선 등이 있으며 국도 279호선과 주요 지방도 무츠 시리야자키선을 잇는 일반 현도 세키네가마노사와선에 접하고 있다.

부지 근처의 항만으로는 남서 약 10 km에 위치 한 지방 항만인 오미나토항(무츠시)이 있고 10,000 중량톤급 암벽이 설치되어 있다. 그리고 사용후핵연료의 운반에 있어서는 독립 행정법인 일본원자력연구개발기구 소유의 세키네하마항에서 부지에 이르는 전용 도로를 이용한다. 리사이클연료 비축센터 주변의 철도 및 주요 도로는 그림 8에 나타낸 바와 같다.

항공 관련에 있어서는 리사이클연료 비축센터 북서 약 58 km의 지점에 하코다테 공항, 남쪽 약 73 km에 미 공군 및 항공 자위대 미사와 기지의 미사와 비행장 및 미사와 공항, 남서 약 84 km에 아오모리 공항이 있으며 남서 약 17 km 지점에 해상자위대 오미나토 비행장이 있다. 부지의 남남동 약 52 km에는 미 공군 미사와 지상 훈련 구역이 있다. 또, 본 리사이클연료 비축센터 상공에는 항공로 「V11」 및 광역 항법(RNAV)경로 「Y11」이 있고 그 중심선은 부지 동방향 약 5 km 상공을 지나고 있다.

민간 항공기, 자위대기 및 미군기가 사용후핵연료 저장시설에 낙하할 확률을 평가한 결과, 낙하 확률은 약  $5.1 \times 10^{-8}$ 회/시설·년으로 이는 지극히 낮은 수치

로 항공기 낙하를 고려할 필요는 없다. 또한 항공기가 원자력 관련 시설 상공을 비행하는 것도 규제되어 있다.

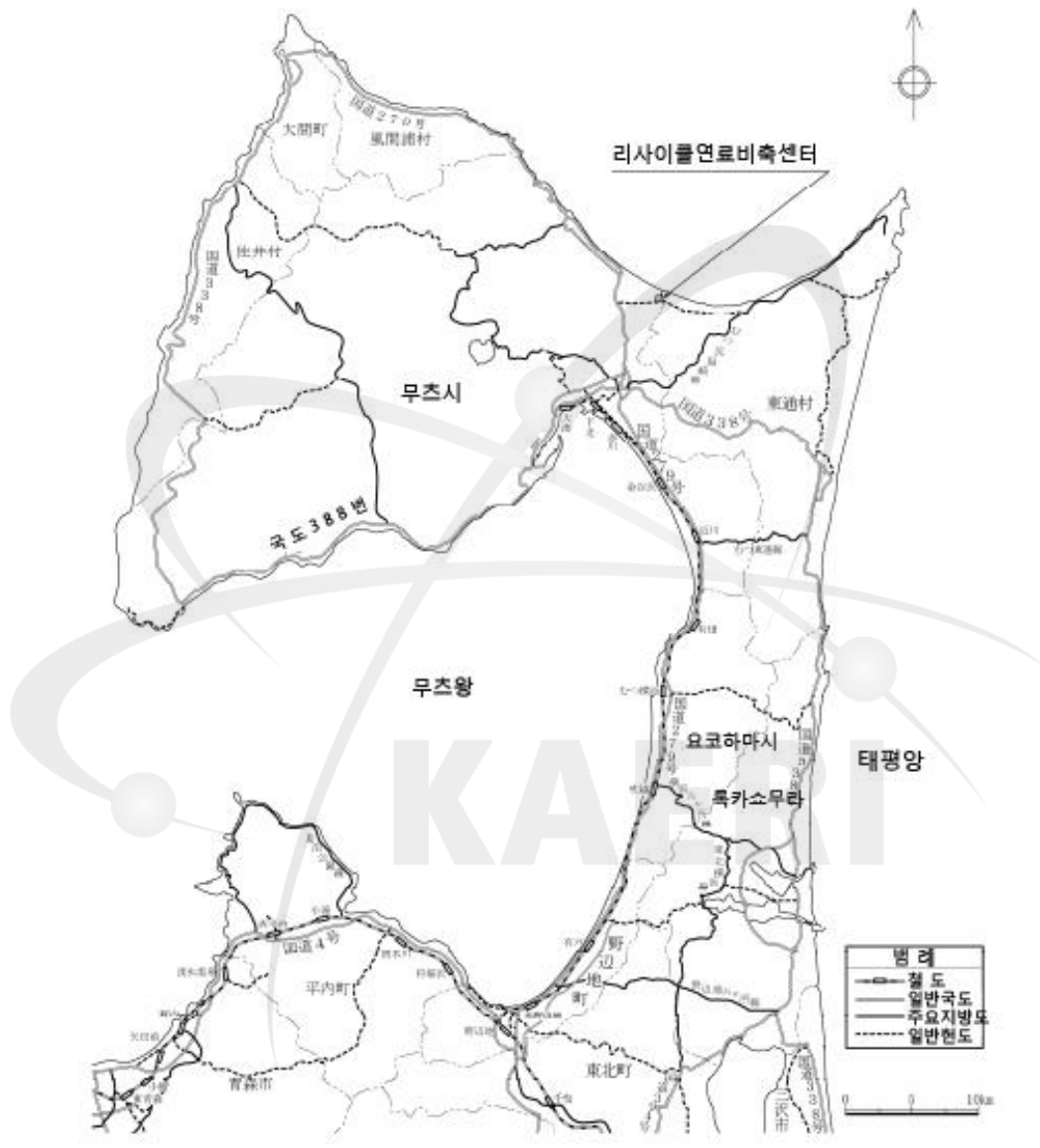


그림 8. 리사이클연료 비축센터 주변의 철도 및 주요도로.

## 제3장 사용후핵연료 저장시설 개요

### 1. 전체 배치 계획

리사이클연료 비축센터의 전체 배치는 그림 9에 나타난 바와 같으며, 금속 캐스크를 수납하는 저장건물은 부지를 중심으로 표고 16 m 동쪽 방향에 위치한다.

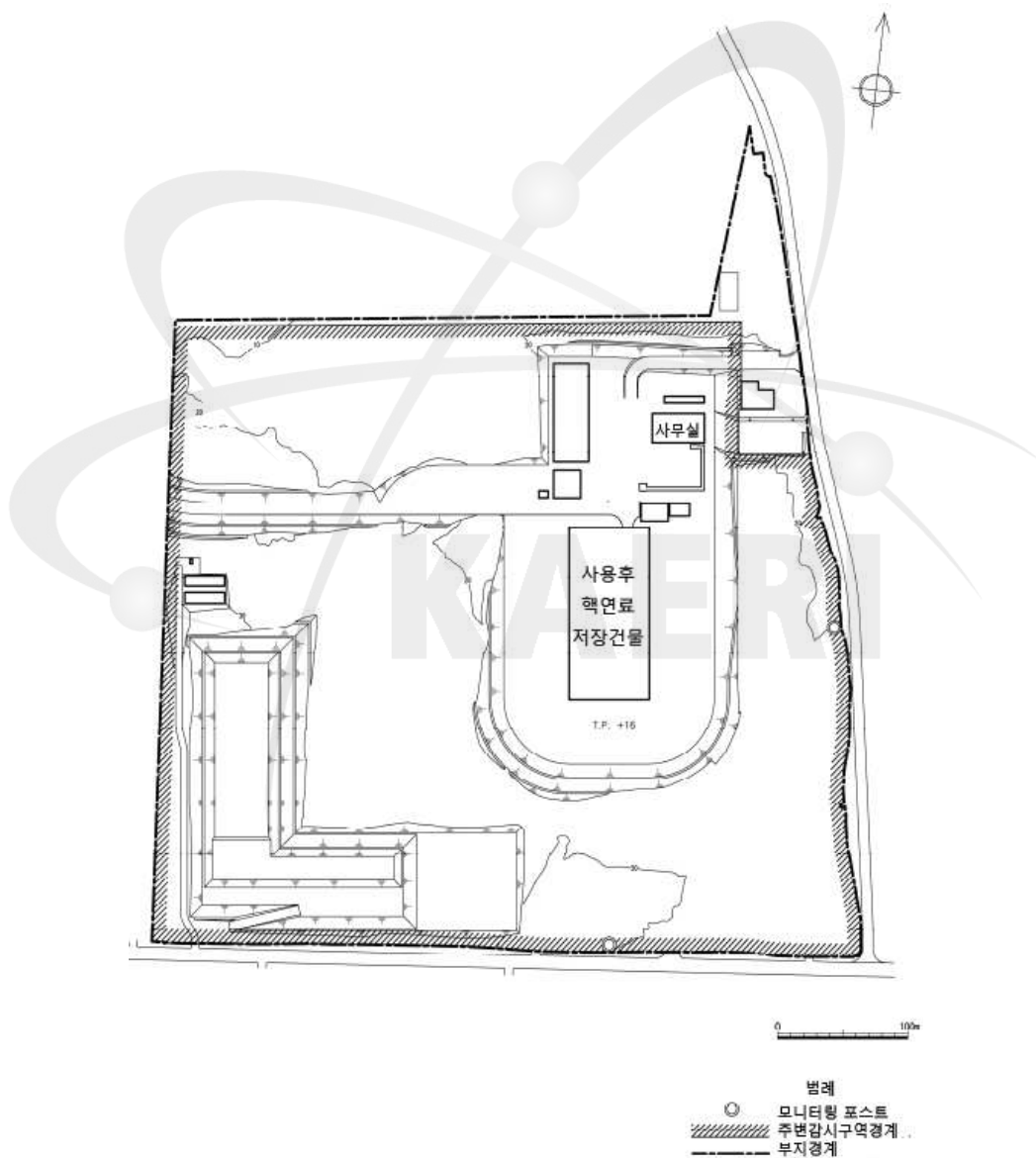


그림 9. 리사이클연료 비축센터 전체배치도.

## 2. 저장 건물 개요

저장 건물은 저장 구역, 수납 구역, 부대 구역으로 구성되어 있다. 주요 구조는 철근 콘크리트조(일부 철골 철근 콘크리트조 및 철골조)로서 지상 1층 건물이고 연면적 약 8,200 m<sup>2</sup>의 건물이다.

저장 건물 내의 저장 구역은 금속 캐스크 최대 288 개를 저장할 수 있다. 사용후핵연료 저장 건물 개요는 그림 10에 나타낸 바와 같다.

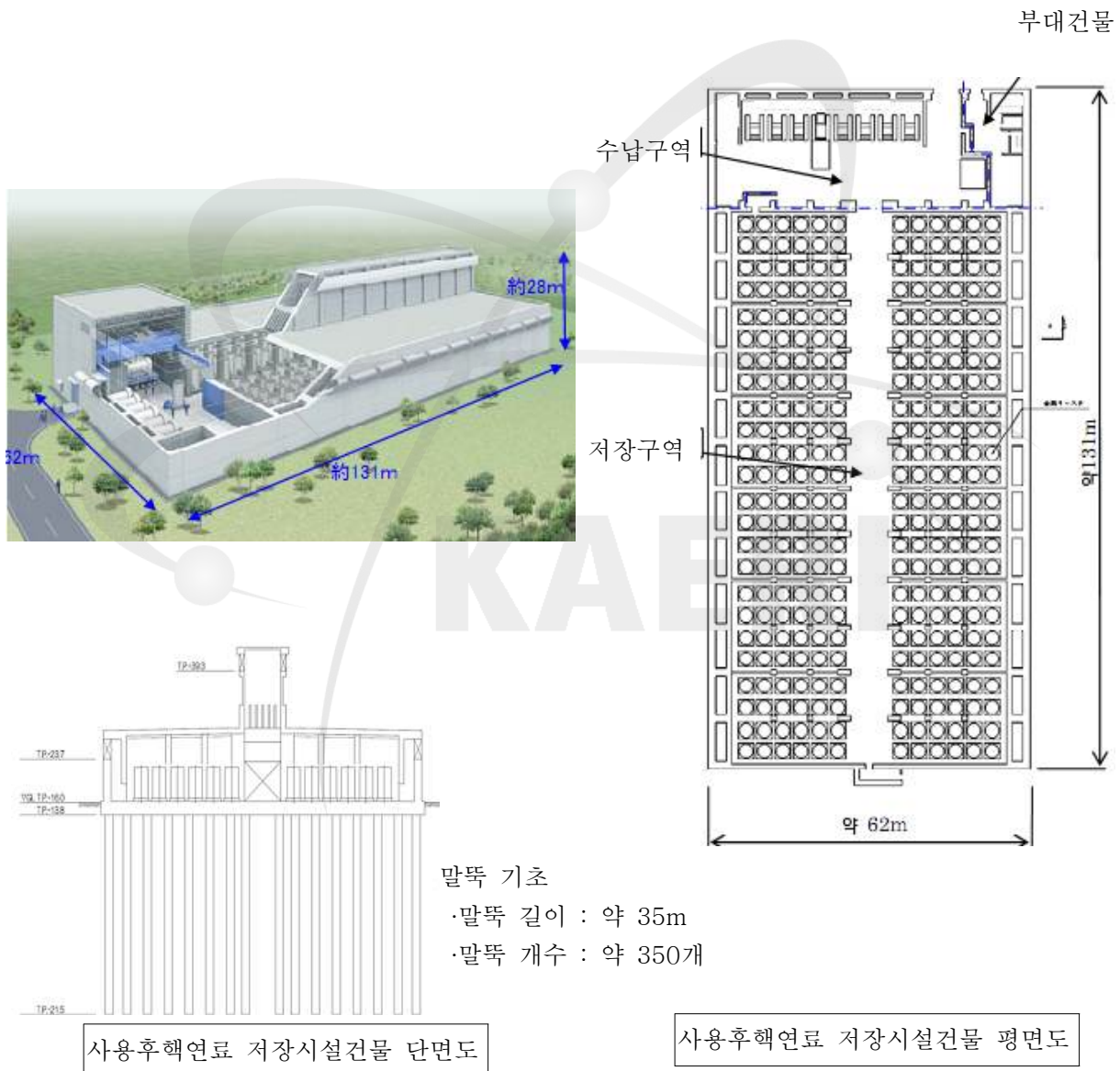


그림 10. 사용후핵연료 저장건물 개요.

### 3. 설비 개요

사용후핵연료 저장시설은 사용후핵연료 저장 설비 본체, 사용후핵연료의 수납 시설, 계측제어계통 시설 등으로 구성되어 있고 각 설비는 저장 건물에 포함된다.

저장할 사용후핵연료 집합체는 사용후핵연료 저장 설비 본체인 금속 캐스크에 저장한다. 금속 캐스크는 사용후핵연료의 임계방지 기능, 방사선 차폐 기능, 사용후핵연료 가둠 기능 및 사용후핵연료 제열 기능을 가짐과 동시에, 사용후핵연료 집합체의 사업소외 운반에 이용하는 수송 용기로의 기능을 겸비하는 용기이기도 하기 때문에 캐스크 설계에서 운반과 관련되는 기간 등 충분한 여유를 고려한다.

#### 가. 사용후핵연료 임계 방지 기능

금속 캐스크는 기술적으로 가정되는 어떠한 경우에서도 임계 방지를 할 수 있도록 설계되었다.

사용후핵연료 저장시설은 시설 내에서 금속 캐스크의 상호 중성자 간섭을 고려해서 기술적으로 가정되는 어떠한 경우에서도 임계 방지대책을 강구하고 있다.

금속 캐스크는 내부 바스켓이 임계 방지 기능의 일부를 수행하는 경우에 설계 저장 기간을 통해서 바스켓의 구조 건전성이 유지되는 온도를 유지할 수 있도록 설계되었다.

#### 나. 방사선 차폐 기능

리사이클연료 비축센터에서 직접방사선 및 스카이사인방사선에 의한 일반 대중의 피폭선량이 「핵연료 물질 및 원자로 규제에 관한 법률」로 정해져 있는 선량 한도를 넘지 않으면서 합리적으로 달성 가능한 한 기준 선량한도보다도 낮은 선량을 강구하고 있다.

방사선 업무 종사자가 근무하는 장소는 차폐 설계 기준과 선량율을 시설 내 구분에 따라 적절하게 정하여 기준 선량율을 만족하도록 설계되어 있다.

#### 다. 사용후핵연료의 가둠 기능

금속 캐스크는 설계 저장 기간을 통해 사용후핵연료 집합체 밀봉 공간을 불활성 분위기로 유지하는 것과 동시에 부압으로 유지하도록 설계되어 있다.

금속 캐스크는 사용후핵연료 집합체를 밀봉하는 공간을 덮개부분에서 다중으로 가두는 구조로 용기 외부로부터 차단하는 설계로 되어 있다. 또, 가둠 기능에 대해 감시할 수 있는 설계이기도 하다.

금속 캐스크는 만일의 사태에 덮개부분의 이상이 발생한 경우 덮개를 추가 장착할 수 있는 구조로 설계로 하는 것 등 가둠 기능의 유지보수도 고려하고 있다.

#### 라. 사용후핵연료 제열 기능

사용후핵연료 집합체 건전성 및 기본적 안전 기능을 가지는 구성부 재료의 건전성을 유지하는 관점에서 사용후핵연료 집합체 붕괴열을 적절히 제거할 수 있는 설계로 되어 있다.

금속 캐스크는 연료 피복관의 건전성을 유지하기 위해 설계 저장기간을 통해 연료 피복관의 온도를 낮게 유지할 수 있도록 설계되어 있다.

저장 건물은 금속 캐스크의 제열을 유지하기 위해 저장창고 건물 내의 분위기 온도를 낮게 유지하고 감시 할 수 있도록 설계되어 있다.

금속 캐스크 이외에도 차폐 기능을 기대하고 있으며 차폐체에 콘크리트 등을 사용하는 경우에는 차폐 능력에 피해가 없는 온도 이하로 유지하도록 설계되어 있다.

금속 캐스크의 기본 사양을 표 3에, 저장하는 사용후핵연료 종류를 표 4에, 금속 캐스크 개요도를 그림 11에 나타냈다.



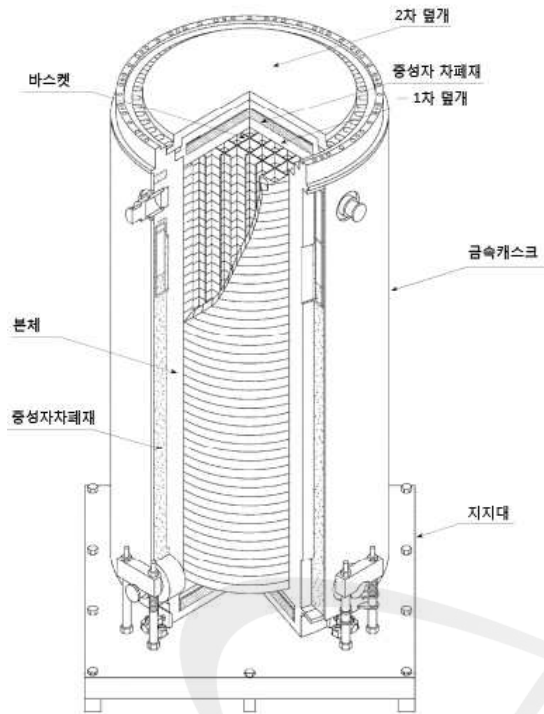
표 3. 금속 캐스크 기본 사양

항 목		BWR용 대형 캐스크		BWR용 중형 캐스크	PWR용 캐스크
		타입1	타입2		
수치	전장	약 5.4m	약 5.4m	약 5.5m	약 5.1m
	외경	약 2.5m	약 2.5m	약 2.4m	약 2.6m
총중량*		약 119t	약 119t	약 116t	약 118t
최대수납집합체		69	69	52	26
주요재질		저합금강 또는 탄소강			
중성자차폐재		레진, 프로필렌 글리콜수납액			
내부충전가스		헬륨가스			
가둠구조		이중 덮개방식(1차 덮개, 2차 덮개, 금속가스킷)			
감시방법		덮개간 압력감시			

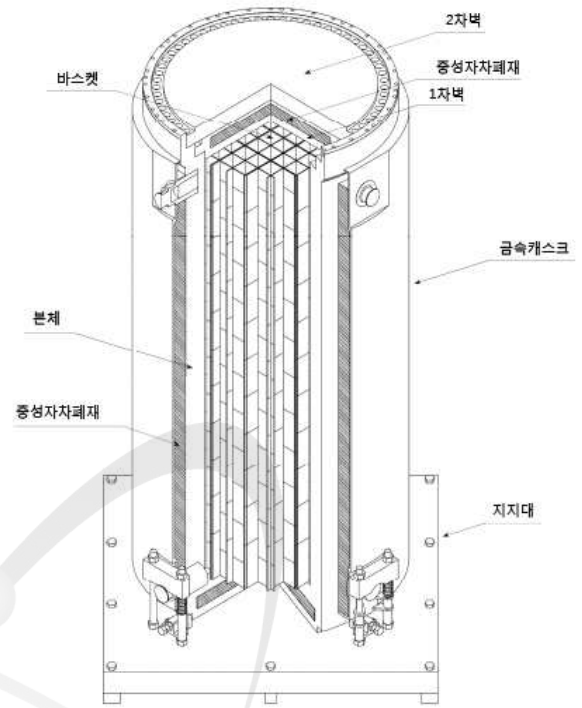
\* 사용후핵연료 집합체 포함

표 4. 저장 사용후핵연료 종류

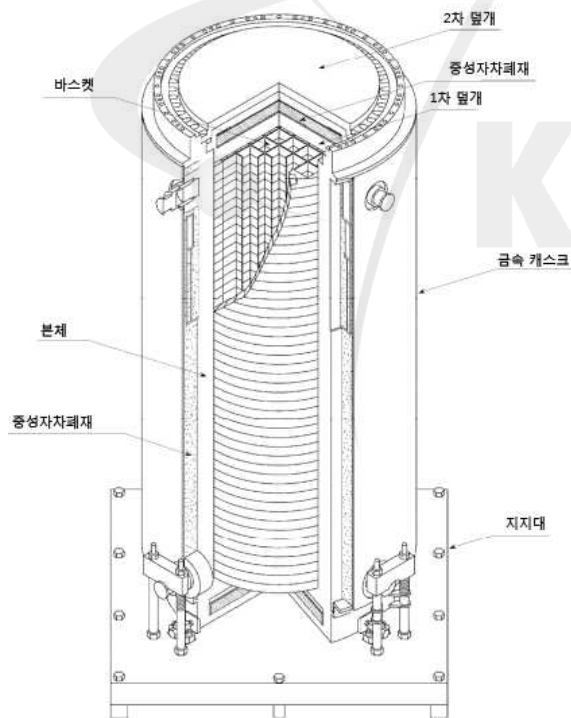
종류 사양	BWR					PWR			
	8×8연료	신형8×8연료 신형8×8지르 코늄라이너 연료	신형8×8 지르코늄 라이너 연료	신형8×8 지르코늄 라이너 연료	고연소도 8×8 연료	17×17연료 (39,000M Wd/t형)		17×17연료 (48,000M Wd/t형)	
최대 연소도 (MWd/t)	29,000	40,000	40,000	40,000	50,000	36,000		48,000	
원자로 배출 후 기간(년)	18	18	18	8	8	A형	B형	A형	B형
						15	20	15	20
수납 금속 캐스크	BWR용 대형캐스크(타입1)		BWR용 대형캐스 크(타입2)	BWR용 중형캐스크		PWR용 캐스크			



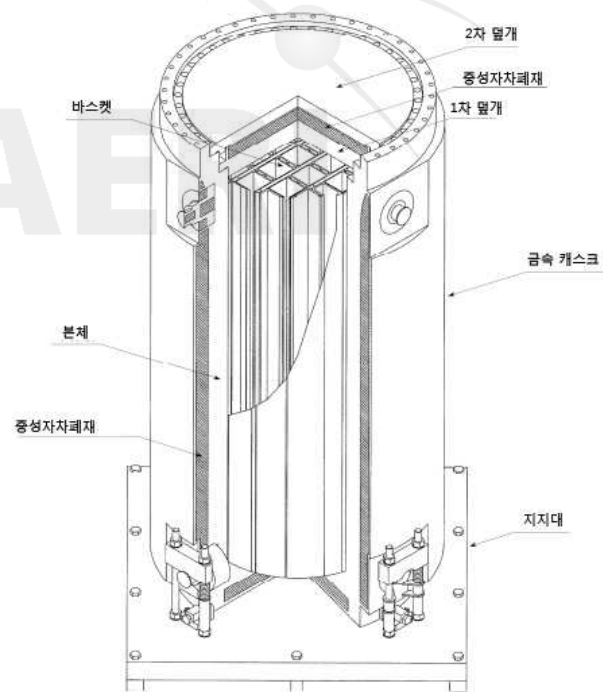
(BWR용 대형 캐스크 타입1)



(BWR용 대형 캐스크 타입 2)



(BWR용 중형 캐스크)



(PWR용 캐스크)

그림 11. 금속 캐스크 개요도.

#### 4. 사용후핵연료 반입·저장·반출 공정

원자력 발전소에서 사용후핵연료를 적재한 금속 캐스크는 검사 후에 전용 수송선에 적재하여 세키네하마항까지 해상 운송된다. 항구에 도착한 금속 캐스크는 항구에서 크레인으로 전용 차량에 적재하여 전용 수송도로를 통해 저장건물 트레일러 구역으로 운반된다. 사용후핵연료의 반입 절차는 그림 12에 나타난 바와 같다.

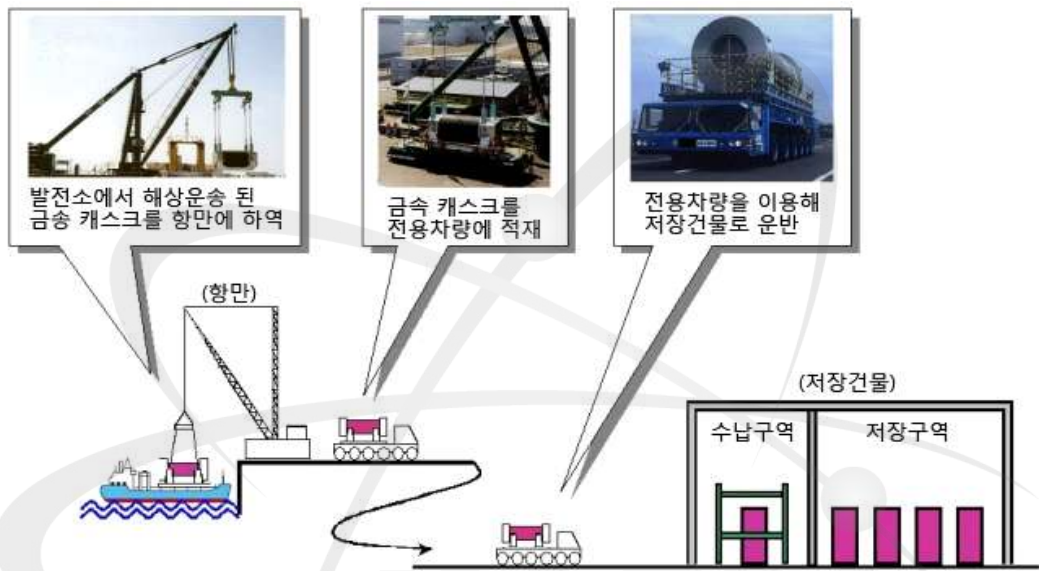


그림 12. 사용후핵연료 반입 개요.

저장 건물로 반입된 금속 캐스크는 천장 크레인을 사용하여 전용차량으로부터 하역하여 검사구역으로 이송한 후 저장 전검사를 실시한다. 검사 후, 캐스크 운반대차에 적재하여 저장 장소로 운반하여 고정기구로 캐스크를 건물바닥 면에 고정시켜 저장한다.

저장 기간 종료 후 금속 캐스크를 캐스크 운반대차에 적재하여 검사구역으로 운반하여 반출 전검사를 실시한 후, 전용차량에 적재해서 전용 수송 도로를 이용해 항만으로 운반한다. 항만의 크레인으로 전용수송선에 적재하여 해상운송 한다.

그림 13에 저장 건물 내에서의 캐스크 취급의 각 공정개요 및 시설 전체의 구성 개념도를 나타내었다.



온도, 건물 내의 방사선 레벨, 건물의 급배기의 온도 차 등을 감시한다. 그리고 이러한 감시패널은 저장 건물 내에 위치하지만 사무·관리 건물 내에서도 감시할 수 있도록 한다. 또 저장 기간 중에 외관 검사, 이중 뚜껑간의 압력 검사 등을 실시한다. 국가의 시설정기 검사는 1년에 1차례 수행된다.

전원은 외부에서 전력을 공급을 받고 정전 등으로 인한 전원상실 시에도 감시 기능이 상실되지 않도록 백업 전원을 설치한다.

#### 다. 반출

저장 기간이 끝난 금속 캐스크는 캐스크 운반대차에 적재하여 저장 구역에서 검사 구역으로 이송된다. 검사 구역에서는, 반출전의 검사로 외관검사, 기밀 누설 검사, 방사선량 검사, 오염 검사 등이 실시되며 금속 캐스크와 적재된 사용후핵연료에 문제가 없다는 것이 확인된 후에 천장 크레인으로 전용차량에 적재하여 전용수송도로를 통해 항만으로 운반하여 크레인을 사용하여 전용 수송선에 적재하여 해상 운송한다.

#### 라. 기타

사용후핵연료 중간저장시설에서는 사용후핵연료를 이중뚜껑의 금속 캐스크 내에 적절히 밀봉하여 뚜껑을 열지 않고 항상 감시하면서 저장하기 때문에 사용후핵연료에 포함되어 있는 방사성물질이 시설 내외에 방출되는 일은 없다고 여겨진다.

그러므로, 사용후핵연료 중간저장시설이 방사성 물질로 오염될 가능성은 없지만 만일, 인수 검사 시에 금속 캐스크 표면의 오염이 발견된 경우에는 제염 등을 실시하는 일도 발생할 수 있기 때문에 미리 액체나 고체의 방사성 폐기물을 보관할 수 있는 저장탱크나 공간을 확보한다.

## 5. 내진 설계

사용후핵연료 저장시설은 다음의 방침에 근거해 내진 설계를 실시하고 가정되는 어떠한 지진력에 대해서도 큰 사고가 발생하지 않도록 충분한 내진성을 갖추도록 되어 있다.

부지 주변의 지질, 지질 구조 및 지진 활동성 등의 지진학 및 지진 공학적 견지에서 시설 운영 기간 중에 희박하지만 발생할 가능성은 있으므로 시설에 큰 영향을 줄 우려가 있는 지진동에 의한 지진력에 대해서는 필요한 기본적 안전 기능을 유지할 수 있도록 설계되어 있다.

지진 발생으로 환경 중에 방사선이 방출되지 않도록 설계용 지진력에 충분히 견딜 수 있도록 설계되어 있다.

사용후핵연료 저장시설의 주요 저장 건물은 말뚝 기초 구조로 말뚝 끝단은 충분한 지지 성능을 갖는 지반에 지지시키는 구조로 되어 있다.

## 6. 방사성 폐기물 처리

평상시에 방사성 폐기물은 발생하지 않지만, 사용후핵연료 저장시설에 반입된 금속 캐스크 표면에 법령에서 규정하는 관리구역 기준치를 넘는 방사성 물질이 검출되었을 경우에는 제염에 사용한 물, 폐기물 등 액체 폐기물 및 고체 폐기물을 각각 드럼통에 밀봉한 후, 저장 건물 내의 폐기물 저장실(액체 폐기물, 고체 폐기물 공용)에 보관 후 폐기한다.

## 7. 저장 종료 후 사용후핵연료 반출

사용후핵연료 저장시설에 저장된 사용후핵연료 집합체는 재처리 등을 실시해 원자로 연료로 다시 사용하기 때문에 사용후핵연료 저장 계약에 근거하여 계약자에게 반환하기로 되어 있다.

반환할 때에는 사용후핵연료 집합체를 다른 용기에 다시 적재하지 않고 사업소

외 운반과 관련되는 법령에 적합한 조치를 실시하고 반출에 필요한 기록과 함께 계약자에게 인도한다.

## 8. 평상시 선량 평가

리사이클연료 비축센터에서 방사선이 직접적 또는 공기중에서 산란되어 시설 주변에 도달해 오는 직접방사선 및 스카이샤인방사선에 의한 부지 경계의 실효 선량을 평가한 결과, 연간 약  $2.8 \times 10^{-2}$  mSv로 평가되었다.

따라서 평상시의 일반 공중 실효 선량은 경제 산업성 고시 「실용발전용 원자로 설치, 운전 등에 관한 규칙의 규정에 근거하는 선량 한도 등을 정하는 고시」(제3조)에 제시된 주변 감시 구역에서의 선량 한도(연간 1 mSv)를 만족시킨다.

위와 같이 리사이클연료 비축센터에서 발생하는 평상시 일반 공중 선량은 기준치를 충분히 밑도는 수준이라고 할 수 있다.

## 9. 안전성 평가

원자력 발전소 및 사용후핵연료 저장시설에서 금속 캐스크의 취급 공정에서 금속 캐스크의 기본적 안전 기능에 영향을 미칠 가능성이 있는 사건 및 저장 기간 중에 기본적 안전 기능에 영향을 미칠 가능성이 있는 사건을 기술적 관점에서 충분히 검토한 결과, 최악의 경우 기술적으로 발생 가능성이 있는 사고는 일반 공중의 방사선 피폭의 관점에서 중요하다고 생각할 수 있는 사고로서 금속 캐스크의 차폐 성능 저하 사건을 가정하여 평가하였다.

차폐 성능이 저하한 금속 캐스크에서 방출되는 방사선이 직접적 또는 공기중에서 산란되어 시설 주변에 도달하는 직접방사선 및 스카이샤인방사선에 대해 평가한 결과, 부지 경계의 선량은 약  $5.6 \times 10^{-3}$  mSv로서 일반 대중에 미치는 방사선 피폭의 리스크는 매우 작은 수치였다.

## 제4장 사용후핵연료 중간저장시설의 안전성

### 1. 방사성물질 밀봉

저장되는 사용후핵연료는 연료피복관에 손상이 없는 건전한 연료이고, 금속 캐스크는 저장 기간 중에 연료 피복관의 건전성이 유지되도록 그림 14에 나타난 바와 같이 설계되었다.

연료 피복관에 손상이 발생했을 경우 등에 대비한 대책으로는 금속 캐스크의 이중뚜껑을 강철로 만들어 이중의 금속개스킷으로 뚜껑부를 밀봉시키도록 설계되어 있다. 1차 뚜껑과 2차 뚜껑의 사이의 공간에 헬륨가스를 정압(positive pressure)으로 충전하고 금속 캐스크 내부에는 헬륨가스를 부압(negative pressure)으로 충전한다. 그리고 이중뚜껑 사이의 공간은 압력을 항상 감시하여 밀봉 기능의 건전성 확인과 이상을 감지할 수 있도록 설계되어 있다.

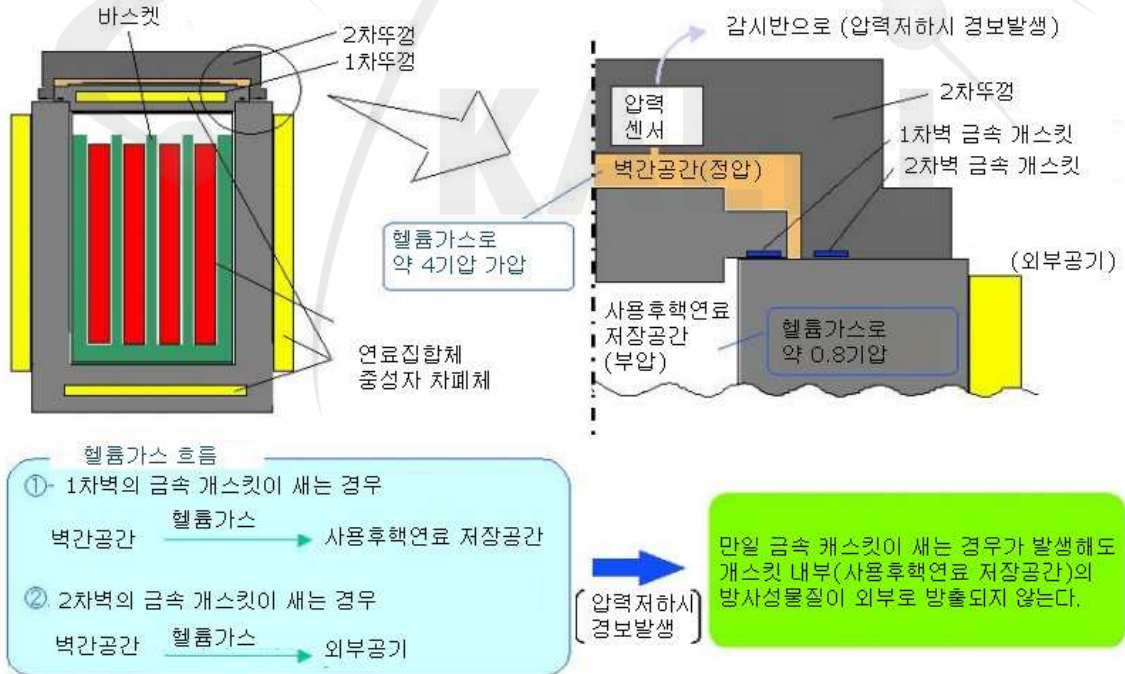


그림 14. 금속 캐스크 밀봉 개요.



## 2. 방사선 차폐

금속 캐스크 본체의 금속재료 및 중성자 차폐재로 사용후핵연료에서 방출되는 감마선이나 중성자선을 차폐하여 시설 내에서 방사선피폭의 저감에 기여하는 동시에 일반 대중의 방사선 피폭도 충분히 저감되도록 저장 건물은 그림 15, 16에 나타낸 바와 같이 적절한 차폐 기능을 갖추고 있다.

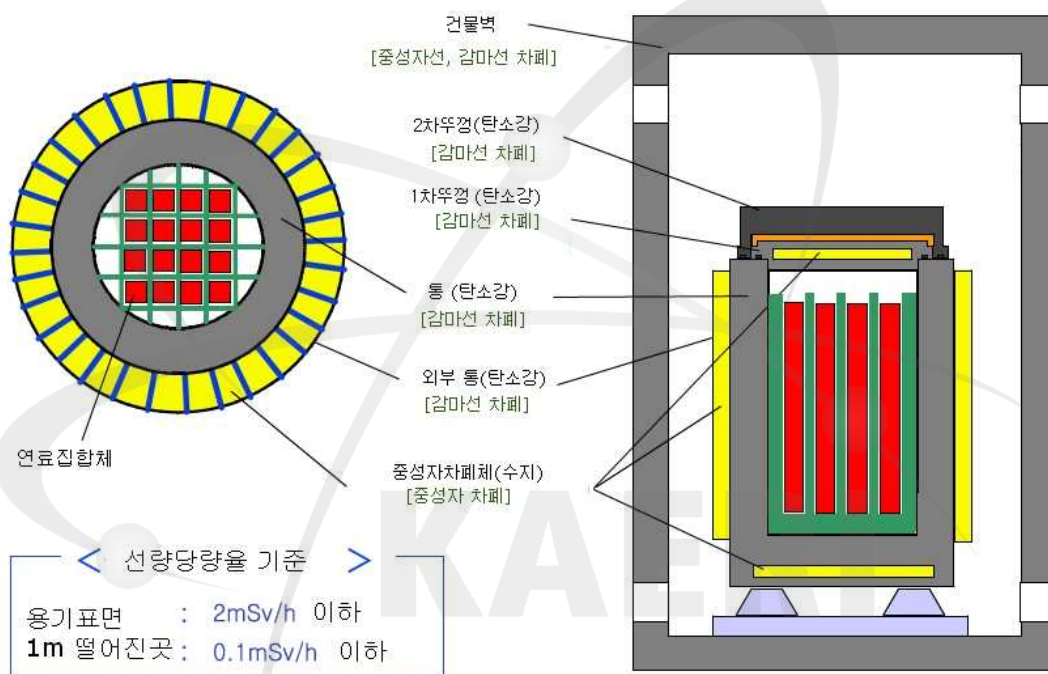


그림 15. 방사선의 차폐기능 개요.

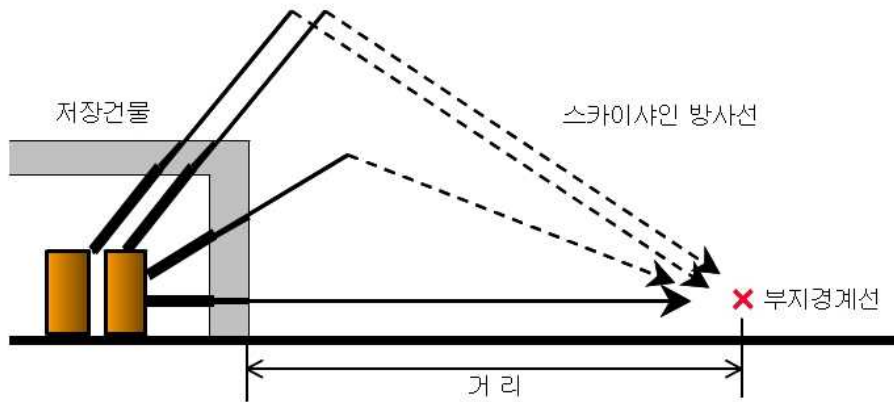


그림 16. 피폭 저감을 위한 차폐 설계 개요.

### 3. 임계 방지

금속 캐스크 내에는 중성자 흡수재를 함유한 격자 구조의 바스켓에 사용후핵연료를 기하학적으로 배치해서 가장 임계가 되기 쉬운 수중에서도 임계가 발생하지 않도록 그림 17과 같이 설계되고, 금속 캐스크 내부를 건조 상태로 운영하기 때문에 사용후핵연료 중간저장시설에서 임계가 발생하는 일은 없을 것으로 추정된다.

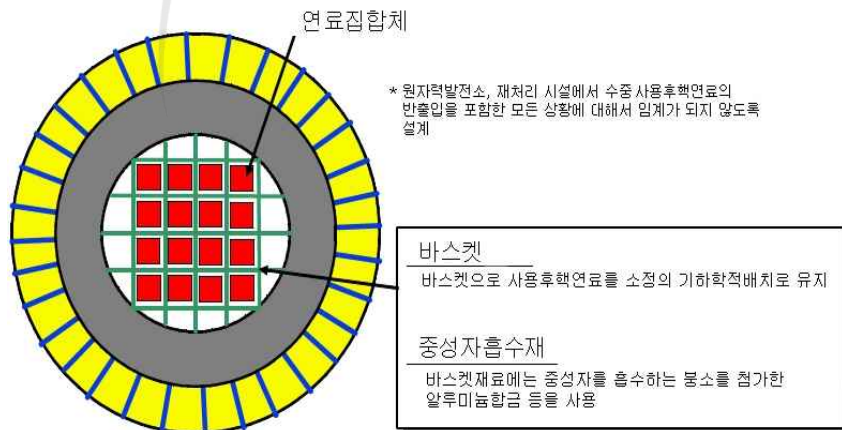


그림 17. 임계 방지 설계 개요.

#### 4. 제열 기능

사용후핵연료에서 발생하는 열(붕괴열)은 금속 캐스크의 표면에 전달되어 표면에서부터 복사, 대류에 의해 건물 안의 공기로 전달 될 수 있기 때문에 건물 안의 공기의 자연 대류를 이용하여 저장 건물 밖으로 배출한다. 또한 금속 캐스크 전체의 표면 온도 및 저장 건물의 급배기 온도의 차가 설계상 고려되었던 온도인지를 항상 감시한다. 제열설계 개요는 그림 18에 나타낸 바와 같다.

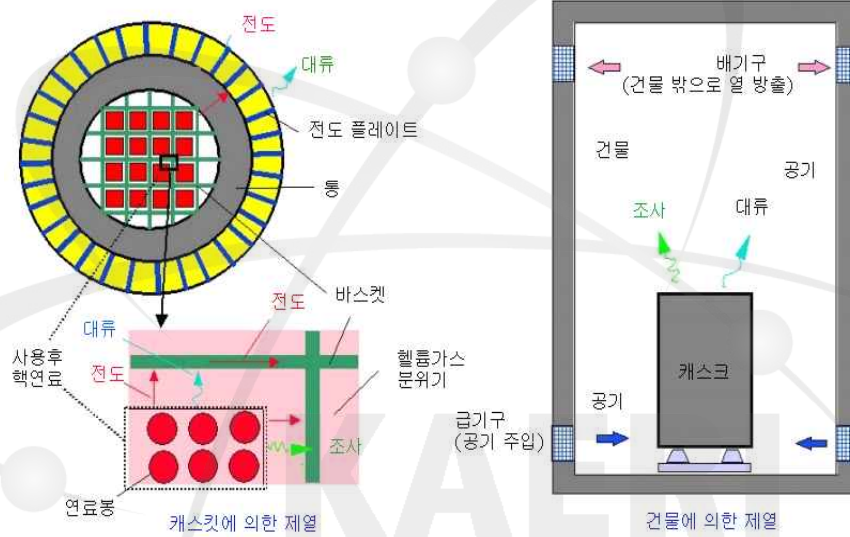


그림 18. 제열 설계 개요.

#### 5. 화재·폭발 방지

화재·폭발 발생을 방지하기 위해 가능한 한 불연성 또는 난연성 재료를 사용함과 동시에 비정상인 온도 상승의 방지와 가연성 가스의 누설 방지 등 적절한 대책을 강구하도록 설계되었다. 또, 화재 확대를 방지하기 위해서 적절한 감지, 경보 및 소화 설비를 설치한다.

금속 캐스크는 부지의 운반용 수송용기로도 사용되기 때문에 수송관련 법령으로 정해진 화재 발생 등을 고려한 안전 요건을 충족시키도록 설계되어 있다.

## 6. 지진 대책

사용후핵연료 중간저장시설은 예상되는 최대급의 지진이 발생하더라도 필요한 안전 기능을 유지할 수 있도록 그림 19, 20에 나타낸 바와 같이 설계하고 있다. 또, 금속 캐스크는 바닥에 고정될 뿐만 아니라 법령으로 정하는 부지의 운반용 수송용기의 안전 요건을 충족시키는 구조강도를 가지고 있기 때문에 내진안전성에 문제는 없다.

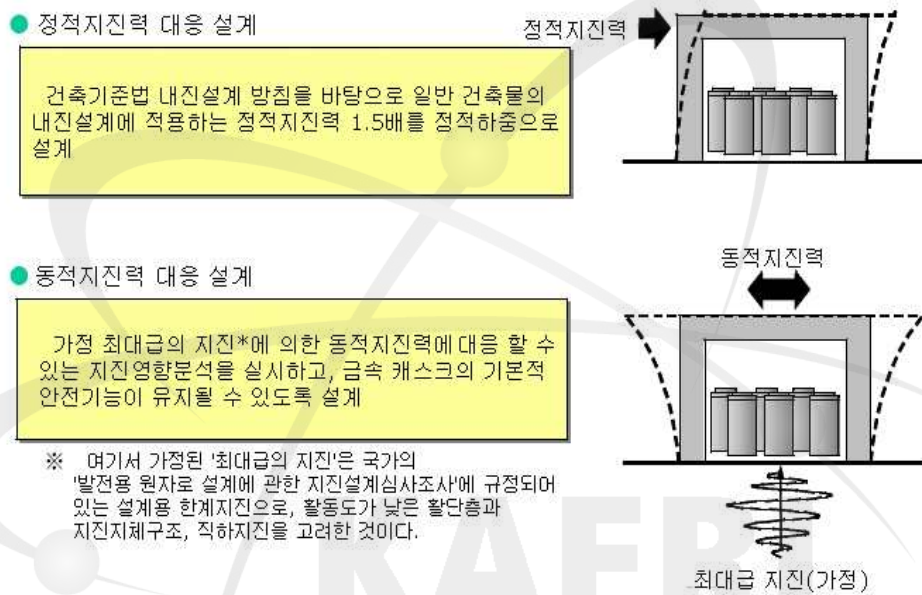


그림 19. 내진 설계 개요.

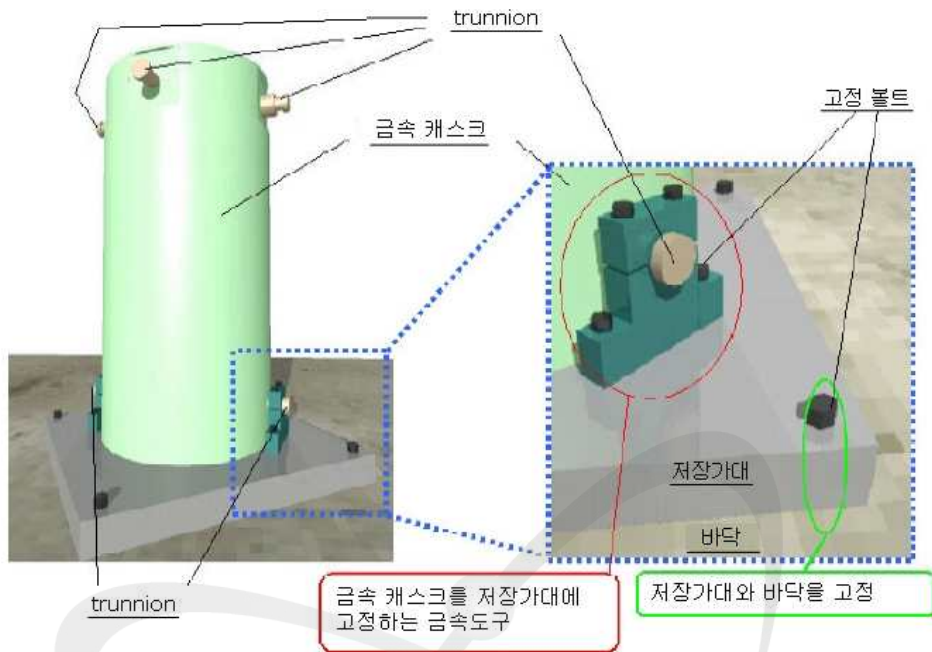


그림 20. 금속 캐스크의 저장 건물바닥 면 고정 방법.

## 7. 비래물 대책

시설 주변을 비행하는 항공기 등의 운행상황 등을 고려하여 낙하 확률을 조사한 후에 대책의 필요/불필요를 판단한다.

## 8. 방사선관리

저장 건물 내에는 구역 모니터 설비를 구축하고, 시설 경계 부근에는 공간방사선량을 측정하는 방사능 검출기 등을 설치하여 방사선 레벨을 항상 감시한다.

### 가. 평상시 평가

금속 캐스크의 차폐 기능에 추가하여 저장건물에도 차폐 기능을 갖게 함과 동시에 저장 건물에서부터 사람이 거주할 수 있는 부지 경계까지 적절한 거리를 두는 것으로 설계상, 일반 공중이 받는 방사선량은 법령에서 규정하는 선량 한도인 연간 1 mSv를 크게 밑도는 연간 0.05 mSv이하로 평가되었다.

## 나. 사고 시의 평가

사용후핵연료 중간저장시설에서는 금속 캐스크의 충돌이나 낙하 등의 사고를 미연에 방지하는 대책을 사전에 강구하여 만일에 사고가 발생한 경우라도 그 영향을 경감하기 위한 시설 설계와 운영으로 적절히 대응하기 때문에 일반 대중의 과도한 방사선 피폭(5 mSv를 넘는 피폭)은 없는 것으로 평가되었다.

## 9. 사용후핵연료의 수송 안전

사용후핵연료 중간저장시설로의 사용후핵연료 반입, 반출은 저장 용기와 수송 용기를 겸하는 금속 캐스크를 사용한다. 이 금속 캐스크는 밀봉성, 차폐성, 임계 방지성, 제열성 등의 특성을 갖도록 법령으로 정하는 일반 및 특별 시험 조건하에 서의 요건 등에 적합하도록 설계한다.

또, 수송 시에는 주행 안전성을 고려한 전용 차량 등의 적절한 수송 설비를 사용하는 것과 동시에 지금까지의 사용후핵연료의 수송 경험을 살려 안전하고 확실하게 실시토록 대책을 강구하고 있다.

또한, 만일의 사고 등 비상시에도 원활히 대응할 수 있도록 수송 종사자의 안전 교육과 연락 체계 등의 대응 방법을 철저하게 구축하고 있다.

## 10. 기타 안전대책

핵물질의 도난, 시설의 운영방해 및 파괴행위 등과 같은 만일의 사태에 대비한 적절한 경비 체제를 구축하고 동물 대책 등 안전상의 대책을 강구하고 있다.

## 제 5 장 결 론

사용후핵연료의 안전관리는 원자력발전소의 안정적인 운전 보장과 미래 에너지 자원의 효율적인 관리측면에서 매우 중요하다. 2009년말 기준으로 우리나라에서는 연간 약 700 톤의 사용후핵연료가 발생하고 있으며, 총 20기의 원자로에서 10,761 톤의 사용후핵연료가 발생되어 발전소 부지 내에 저장되어 있다. 현재의 추세가 유지된다면 2030년경에는 사용후핵연료의 누적량이 약 30,000 톤에 이를 것으로 전망된다.

제 253차 원자력위원회(2004년 12월)에서 중간저장시설의 건설 등을 포함한 사용후핵연료의 종합관리방침을 국가정책과 국내외 기술개발 추이 등을 감안하여 중장기적으로 충분한 논의를 거쳐 국민적 공감대 하에서 추진하되 적기에 그 추진방침을 결정하고, 사용후핵연료는 원전 부지 내의 임시저장능력을 확충하여 2016년까지 각 원전 부지 내에서 저장·관리하도록 의결한 바 있다.

이러한 원자력위원회의 결정에 따라 한국수력원자력(주)는 발전소 내에 설치된 기존시설의 저장능력이 포화되는 것에 대비하여 조밀저장대 교체·설치, 원전 호기 간 이송 저장 및 건식저장시설 추가건설 등의 방법을 사용하여 2016년까지 발생하는 사용후핵연료를 저장할 능력을 확보하거나 저장용량 확장계획을 시행중에 있다. 그러나 사용후핵연료 저장용량이 2016년부터 부지별로 포화상태에 이를 것으로 전망됨에 따라 적기에 중간저장시설의 도입 등 대책이 시급한 실정이다.

이러한 국내 상황을 고려하여 최근 인허가를 신청한 무츠시에 위치한 사용후핵연료 중간저장시설인 “리사이클연료 비축센터”에 대한 기술현황을 조사하였다. 동 시설의 인허가는 2009년 3월에 신청되었으며, 본 사업은 2010년 7월경에 건설에 착수하여 2012년 완공을 목표로 하고 있다. 이 시설의 기술 및 안전관련 자료는 향후 국내에서 유사한 사업을 수행하는데 큰 도움이 되리라 생각된다. 또한 향후 이러한 사업의 추진을 위해서는 국내외 기술수준, 실적, 기술개발 상황 등을 지속적으로 모니터링하고 전문 인력의 확보·육성 및 품질보증 체제 구축 등을 시행해 나가는 것이 바람직하다고 생각한다.

## 참고문헌

1. 리사이클연료 저장 주식회사, “리사이클연료 비축센터 사용후핵연료 저장사업 허가신청 개요”, 제48회 원자력 위원회, 2009년 12월
2. 사용후핵연료 저장시설 안전성 평가 위원회, “사용후핵연료 중간저장시설 안정성 평가보고서”, 2005년 3월
3. 원자력안전기반기구, “중간저장시설관련 안전해석 코드 등의 조사에 관한보고서”, 2007
4. “Japan National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management”, 2009.

A large, light gray watermark of the KAERI logo is centered on the page. The logo features a stylized atomic symbol with three elliptical orbits and two small spheres representing protons and neutrons. Below the symbol, the word "KAERI" is written in a bold, sans-serif font.

KAERI



서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식							
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호		INIS 주제코드	
KAERI/AR-857/2010							
제목 / 부제		일본의 무츠 사용후핵연료 중간저장시설 기술현황보고서					
연구책임자 및 부서명		고원일(국제전략연구부)					
연구자 및 부서명		이호희(국제전략연구부), 고원일(국제전략연구부), 권은하(국제전략연구부), 박병홍(국제전략연구부), 서중석(핵연료주기시스템공학기술개발부), 김민영(국제전략연구부)					
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원		발행년도	2010년	
페이지	46p	도표	있음( 0 ), 없음( )		크기	A4	
참고사항							
공개여부	공개( 0 ), 비공개( )			보고서종류	기술현황보고서		
비밀여부	대외비( ), _ 급비밀						
연구위탁기관						계약번호	
초록 (15-20줄내외)		<p>현재 우리나라에서는 연간 약 700 톤의 사용후핵연료가 발생하고 있으며, 2009년 말 기준으로 총 20기의 원자로에서 10,761 톤의 사용후핵연료가 발생되어 발전소 부지 내에 저장되어 있다. 현재의 추세가 유지된다면 2030년경에는 사용후핵연료의 누적량이 약 30,000 톤에 이를 것으로 전망된다. 사용후핵연료 저장용량이 2016년부터 원전 부지별로 포화상태에 이를 것으로 전망됨에 따라 적기에 중간저장시설의 도입 등 대책이 시급한 실정이다. 이러한 국내 상황을 고려할 때 최근 인허가를 획득하여 건설 중에 있는 일본 무츠시에 위치한 사용후핵연료 중간저장시설인 “리사이클연료 비축센터”에 대한 기술현황을 조사하였다. 동 시설의 인허가는 2009년 3월에 신청되었으며, 본 사업은 2010년 7월경에 건설에 착수하여 2012년 완공을 목표로 하고 있다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)		사용후핵연료, 사용후핵연료 중간저장시설, 중간저장시설, 건식저장, 리사이클연료 비축센터					

## BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/AR-857/2010			
Title / Subtitle	The state of the art of the Recycle Fuel Storage Facility in Japan		
Project Manager and Department	Won-Il Ko (Nuclear Fuel Cycle Development Research Division)		
Researcher and Department	Ho-Hee Lee, Won-Il Ko, Eun-Ha Kwon, Byung-Hung Park, Chung-Suk Seo, Min-Young Kim		
Publication Place	Daejeon	Publisher	Publication Date
			2010. 8
Page	46p.	Ill. & Tab.	Yes( 0 ), No ( )
			Size
			A4
Note			
Open	Open( 0 ), Closed( )		Report Type
Classified	Restricted( ), ___Class Document		state of the art report
Sponsoring Org.		Contract No.	-
Abstract (15-20 Lines)	<p>The expansion of nuclear power generation inevitably result in the increase of spent nuclear fuel generation. Every year ~700t of spent nuclear fuels are accumulated and total of 10,761t of spent nuclear fuels generated from 20 reactors are stored within the reactor sites by the end of 2009. If this trend is maintained, it is expected that Korea will have ~30,000t of spent nuclear fuel by 2030. The capacity of pools in reactor sites is expected to be reached from 2016 and Korea need to prepare measures including the introduction of interim storage facility urgently. Considering the domestic situation described so far, it would be very useful to examine the "Recycle Fuel Storage Facility" located in Muts, Japan which is very recently licensed and now under construction. The license was issued in March 2009 and the construction will start in July 2010 and finish in 2012.</p>		
Subject Keywords (About 10 words)	spent nuclear fuel, independent spent fuel storage installation, interim storage of spent nuclear fuel, dry storage, recycle fuel storage facility		