

가압경수로 및 중수로 폐기물 처분장치에 대한 선형정적 구조해석

Linear Static Structural Analysis of the Disposal Container for Spent Pressurized Water Reactor and Canadian Deuterium and Uranium Reactor Nuclear Fuels

권 영 주*

강 신 욱**

Kwon, Young-Joo

Kang, Shin-Uk

(논문접수일 : 2001년 5월 14일 ; 심사종료일 : 2001년 11월 27일)

요 지

본 논문에서는 고준위 핵폐기물의 지하 처분 시 사용되는 핵폐기물 처분장치의 기본 구조설계에 필요한 처분장치내의 핵폐기물다발들을 지지하는 내부 삽입물의 구조형상과 재원 또 처분장치의 화학적 부식을 방지하기 위해 외곽에 설치하는 외곽셸과 위아래 덮개의 두께를 결정하기 위하여 처분장치 구조물에 대한 선형정적 구조해석을 수행하였다. 해석 대상 처분장치는 가압경수로와 중수로의 핵폐기물 처분장치를 사용하였다. 일반적으로 핵폐기물 처분장치는 지하 수백 미터에 위치하는 화강암 등의 암반 내에 설치하게 되는데 이 때 지하수의 침수에 의한 지하수압 및 처분장치 외곽에 완충장치로 설치하는 벤토나이트 버퍼의 팽윤압을 견디어 내야 한다. 따라서 이와 같은 압력의 변화에 따른 처분장치 구조물에 발생하는 응력 및 변형 등을 알기 위해서는 처분장치 구조물에 대한 구조해석을 수행해야 된다. 이를 위하여 본 논문에서는 처분장치에 대하여 선형정적 구조해석을 수행하였다.

핵심용어 : 선형정적 구조해석, 처분장치, 핵폐기물, 지하수압, 팽윤압, 벤토나이트 버퍼

Abstract

In this paper results of a linear structural analysis for design and dimensioning of disposal containers for spent pressurized water reactor nuclear fuel and spent Canadian deuterium and uranium reactor nuclear fuel are presented. The container structure studied here is a solid structure with a cast insert and a corrosion resistant outer shell, which is designed for the spent nuclear fuel disposal in a deep repository. An evenly distributed load of hydrostatic pressure from the groundwater and large swelling pressure from the bentonite buffer are applied on the container. Hence, the container must be designed to endure these large pressure loads. In this study, the array type of inner baskets and thicknesses of outer shell and lid/bottom are attempted to be determined through a linear static structural analysis.

Keywords : *linear static structural analysis, disposal container, spent nuclear fuel, hydrostatic pressure, swelling pressure, bentonite buffer*

* 정회원 · 홍익대학교 기계정보공학과, 부교수
** 홍익대학교 대학원

· 이 논문에 대한 토론을 2002년 3월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2002년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

본 논문에서는 사용 후 핵연료의 폐기에 사용되는 처분장치의 안전한 구조설계를 위하여 선형정적 구조해석을 수행하였다. 사용 후 핵폐기물은 높은 온도와 많은 방사능을 가지고 있으므로 그 처분에 많은 주의를 요한다. 처분장치는 처분 후 어떠한 조건하에서도 고준위 핵폐기물의 방사성독성이 없어지는 기간인 10,000년 동안 핵폐기물을 완전히 격리시킬 수 있도록 그의 수명이 보장되어야 한다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위하여 처분장치가 지상의 밀봉·포장시설에서 엄격한 품질검사 및 관리체제하에서 만들어진다 하더라도 처분장치의 발견되지 못한 미세 결함 확률이 적어야 한다. 더욱 중요한 것은 처분장치에 예상되는 지하수압과 벤토나이트 버퍼의 팽윤압 등의 외압에 견딜 수 있도록 그 기계적 강도를 유지하여야 한다는 것이다. 또한 예상되는 비대칭 저장에 의한 불 균일한 팽윤압의 작용에도 충분한 기계적 강도를 유지해야 한다. 이와 같은 처분장치의 저장소는 보통 지하 500m 아래의 안전한 장소에 보관하는 것이 바람직하다. 따라서 이와 같이 지하에 암반구조를 가지고 있는 핵폐기물 처분시스템 연구의 선진국인 핀란드, 스웨덴 등에서는 핵폐기물 처분장치에 대한 구조해석 연구가 상당히 진행되고 있는 실정이다. Anttila^{1),2)}는 핵폐기물 처분장치의 구조 안전성 확보를 위한 처분장치 구조에 대한 임계 구조강도를 계산하였고, Auerkari 등³⁾은 처분장치 구조의 용접부위에 대한 강도해석을 수행하였다. 또한 Raiko 등^{4)~7)}과 Werme 등⁸⁾은 여러 유형의 처분장치 구조설계 시 요구되는 처분장치 구조해석 문제를 다루었다. 본 연구에서는 이와 같이 핀란드, 스웨덴 등에서 연구된 처분장치 모델을 토대로 가압경수로(PWR)와 중수로(CANDU)에서 발생하는 고준위 핵폐기물 처분장치로 각각 적당하다고 판단되는 두 가지 처분장치 모델⁹⁾에 대하여 구조해석을 수행하였다.

처분장치는 처분장치 설계 시, 기계·구조적 안전성 측면에서 고려하여야 할 다음과 같은 조건을 만족해야 한다. 지하 처분장 폐쇄 후 처분장내로 유입된 지하수는 처분장치를 둘러싸고 있는 벤토나이트 버퍼와 접촉하게 된다. 이때 벤토나이트 버퍼의 팽윤압은 지하수에 포화되는 과정에서 균일하게 팽윤압이 발달되는 경우와 비균일하게 처분장치에 국부적 압력으로 발달될 수

있는 경우 등으로 구분될 수 있다.

본 연구에서 취급하는 처분장치는 위에서 언급한 대로 두 가지 타입으로 나눌 수 있는데 하나는 원형의 중수로(CANDU) 핵폐기물다발로 채워진 처분장치이고, 다른 하나는 사각형의 가압경수로(PWR) 핵폐기물다발로 채워진 처분장치이다.

처분장치는 내부 주철 삽입물과 부식작용 등에 저항하는 구리나 니켈 합금으로 만든 외곽셸로 이루어져 있다. 처분장치의 내부주철 삽입물은 핵연료다발을 지지하고 외부에서 가해지는 외력의 대부분을 지탱한다. 따라서 내부 주철삽입물의 치수 및 구조형상은 외부의 하중에 견딜 수 있도록 정해져야 한다. 처분장치의 구조가 외부의 하중에 기계적으로 안정되지 않는다면 처분장치는 파단 될 것이다.

이와 같은 설계조건을 만족하지 않으면 처분장치는 저장과정 또는 저장기간 중에 구조적 결함이 발생하여 그 안전성에 심각한 문제가 발생할 수 있다.

이와 같은 구조적 문제점을 사전에 알아내기 위해서는 처분장치의 설계 시 여러 가지 구조해석을 복합적으로 수행하여야 한다. 먼저 가장 기본적인 해석으로는 내부 주철삽입물의 강도를 측정하기 위한 선형정적 구조해석을 수행하여야 한다. 이를 통하여 처분장치를 구성하고 있는 내부 주철삽입물의 재원(직경, 길이)을 결정하고 또한 처분장치의 사용 후 핵연료다발의 개수, 배열위치 등을 결정할 수 있다. 이와 같은 선형정적 구조해석 이외에도 내부 핵연료다발에서 발생하는 고열에 의해 처분장치 내에 발생하는 열응력해석을 수행하여야 하고, 지진 등과 같은 외부 충격에 의해 발생할 수 있는 지지 암반의 붕괴에 의해 처분장치에 가해질 수 있는 갑작스런 전단변형에 대한 비선형 구조해석을 수행하여야 하며, 또한 고온의 지열 등에 의해 외곽셸에 발생할 수 있는 크리프해석 등도 수행하여야 한다. 따라서 처분장치의 구조설계 문제는 이와 같이 복합적인 해석을 동시에 해결할 수 있는 MDO기법 적용이 요구된다^{10),11)}.

따라서 본 연구에서는 MDO기법 적용의 첫 번째 단계로 핵폐기물 처분장치에 대하여 선형정적 구조해석을 수행하여 처분장치의 기본설계에 필요한 내부 주철 삽입물의 구조형상 및 외곽셸 및 위아래 덮개의 두께 등을 구하고자 하였다. 구조해석 수행시 벤토나이트 버퍼의 팽윤압 크기는 1,500Pa로 가정하여 해석을 수행하였다.

2. 구조해석 문제의 구성

2.1 구조형상

처분장치 초기 개념설계 시의 구조형상 및 재원은 PWR형 처분장치인 경우 Fig. 1과 같이 내부 주철삽입물을 외곽셸이 감싸고 있는 구조로 정의되어 있고 이 구조형상을 기준으로 하여 구조해석을 수행하였다. 기계구조의 안전성을 위해서 보다 최적화 된 처분장치의 모델을 얻기 위하여 외곽셸과 위아래 덮개의 치수에 변

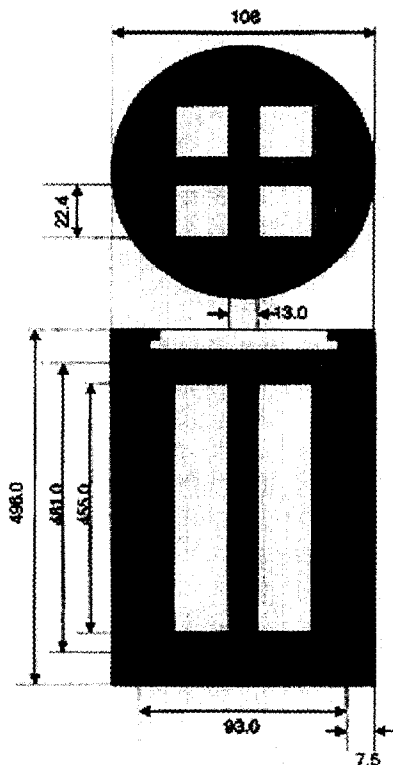


Fig. 1 Container geometry for PWR fuel(unit : cm)

화를 주어 구조적으로 안전한 치수를 도출해 낸다. 또한 처분장치내의 핵연료다발 배열을 변화시켜 보다 안전한 최적의 배열을 결정한다. 그리고 외곽셸의 재질을 변화시켜 각 상황에서도 기계적으로 안전한 외곽셸의 재질을 얻어낸다.

처분장치 내부 주철삽입물에 배열하는 핵연료 다발의 개수는 PWR형 처분장치인 경우는 네 개이며, CANDU형 처분장치인 경우는 서른 일곱 개이다.

2.2 물질상수

처분장치의 외곽 셸과 위아래 덮개의 재질은 구리, 니켈합금, 스테인리스스틸 중 가장 안전한 재질을 선택한다. 처분장치의 내부 삽입물은 주철로 이루어져 있다. 이들 재질에 대한 물질 특성 값들이 다음 Table 1에 나타나 있다.

2.3 내부 핵연료다발 바스켓의 배열변화

직경이 108cm인 처분장치 구조에서 다음과 같은 내부 핵연료다발 바스켓들의 대칭 및 비대칭 배열구조를 고려한다. PWR형 처분장치에서는 고려할 수 있는 핵연료다발 바스켓의 배열구조는 Fig. 2와 같이 대칭(Model 1) 및 비대칭(Model 2, 3)의 세 가지 유형이다. 그러나 CANDU형 처분장치에서는 핵연료다발 바스켓들의 대칭성 때문에 배열구조의 변화는 없다.

2.4 구속조건

지하 처분장에서 처분장치를 지지하는 방식으로 본 연구에서는 세 가지 방식을 고려한다. 즉 양쪽고정, 한쪽고정, 양쪽 단순지지 경우이다. 외력에 대한 조건들은 크게 대칭형 조건과 비대칭형 조건이 있는데 지하수 압에 의한 외력은 항상 균일한 대칭형이다. 그러나 벤

Table 1 Material properties

| Properties | Material | Outer shell, lid & bottom | | |
|--|------------------|---------------------------|---------------|-----------------|
| | Container insert | Copper | High Ni alloy | Stainless steel |
| Young's modulus E(GPa) | Cast iron | 117 | 210 | 195 |
| Poisson's ratio ν | | 0.3 | 0.31 | 0.3 |
| Mass density ρ (kg/m ³) | | 8,900 | 8,800 | 7,857 |
| Yield stress σ_y (MPa) | | 64 | 624 | 700 |
| Ultimate stress σ_u (MPa) | | 200 | 760 | 1,000 |

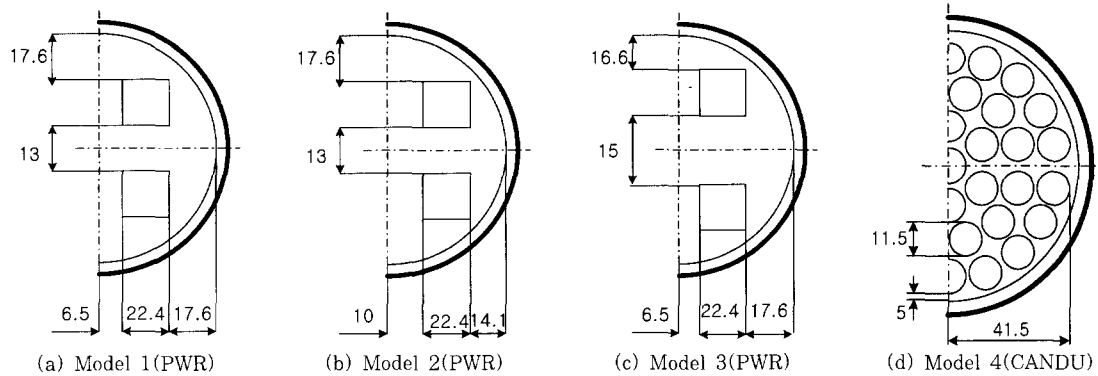


Fig. 2 Inner basket position variations of container structures for PWR and CANDU fuels

토나이트 버퍼의 팽윤압은 비대칭적으로 발달할 수 있다. 이의 원인은 처분장치의 위치가 약간 기울어진 것에도 기인될 수 있고, 처분장의 형상이 바나나와 같은 형상인 것에도 기인될 수 있다. 이러한 모든 것들을 고려해서 본 연구에서는 다음 다섯 가지의 외력 조건들을 고려한다. 이에 추가하여 처분장치가 처분장에서 수평으로 놓여있는 경우와 수직으로 놓여 있는 경우 두 가지를 고려하여 구조해석을 수행하였다.

- 첫 번째 외력 조건(load case 1) : 지하수 포화과정 중의 외력 조건으로 처분장치 양쪽 끝 L/10(L : 처분장치 길이) 부분을 고정(fixed)하고 처분장치 바깥면 절반에 수직으로 균일한 팽윤압이 작용한다.
- 두 번째 외력 조건(load case 2) : 지하수 포화과정 중의 외력 조건으로 양쪽 L/10 지점을 단순히 지지(simply supported)하고 처분장치 바깥면 절반에 수직으로 균일한 팽윤압이 작용한다.
- 세 번째 외력 조건(load case 3) : 지하수 포화과정 중의 외력 조건으로 처분장치 한쪽 끝 L/10 부분을 고정(fixed)하고 처분장치 바깥면 절반에 수직으로 균일한 팽윤압이 작용한다.
- 네 번째 외력 조건(load case 4) : 지하수 포화 후의 외력 조건으로 처분장치 바깥면 전체에 수직으로 팽윤압과 지하수압이 상하 비대칭적으로 발달해 작용한다.
- 다섯 번째 외력 조건(load case 5) : 지하수 포화 후의 외력 조건으로 처분장치 바깥면 전체에 수직으로 팽윤압과 지하수압이 좌우 비대칭적으로 발달해 작용한다.

모든 외력 경우에서 벤토나이트 버퍼의 팽윤압 크기는 1,500Pa, 지하수압은 500Pa로 가정하고 해석을 수행하였다.

3. 유한요소해석

상용 유한요소 해석코드인 "NISA"를 이용하여 처분장치에 대한 선형정적 구조해석을 수행하였다.

3.1 유한요소 모델링

바스켓 내부에 채워질 핵연료봉은 소결된 후 취약한 핵연료이므로 기계적 강도 즉, 물성치는 내부 주철삼입물에 비하여 매우 작다. 따라서 내부 주철삼입물에 대한 강도해석 시 내부 바스켓은 비어있는 상태로 가정한다 (Fig. 1참조). 유한요소 모델링에 사용되는 요소의 타입은 주로 육면체요소(hexagonal cubic element)타입이 사용된다(Fig. 3참조). 8절점의 육면체 요소(Hexagonal 8 node cubic solid element)가 주로 사용되었다. PWR형의 유한요소 모델(Fig. 3(a))에서 사용된 총 유한요소 개수는 85,594개이고 총 절점(Node)수는 102,930개이다. CANDU형 유한요소 모델(Fig. 3(b))에서 사용된 총 유한요소 개수는 119,344개이고 총 절점(Node)수는 137,372개이다.

3.2 경계 및 외력조건

앞 절에서 언급한 다섯 가지 외력 조건에 대한 유한요소해석 시 변위 및 외력에 대한 적당한 조건들이 사용되어야 한다. 본 연구에서는 변위 u_x , u_y , u_z 들이 각

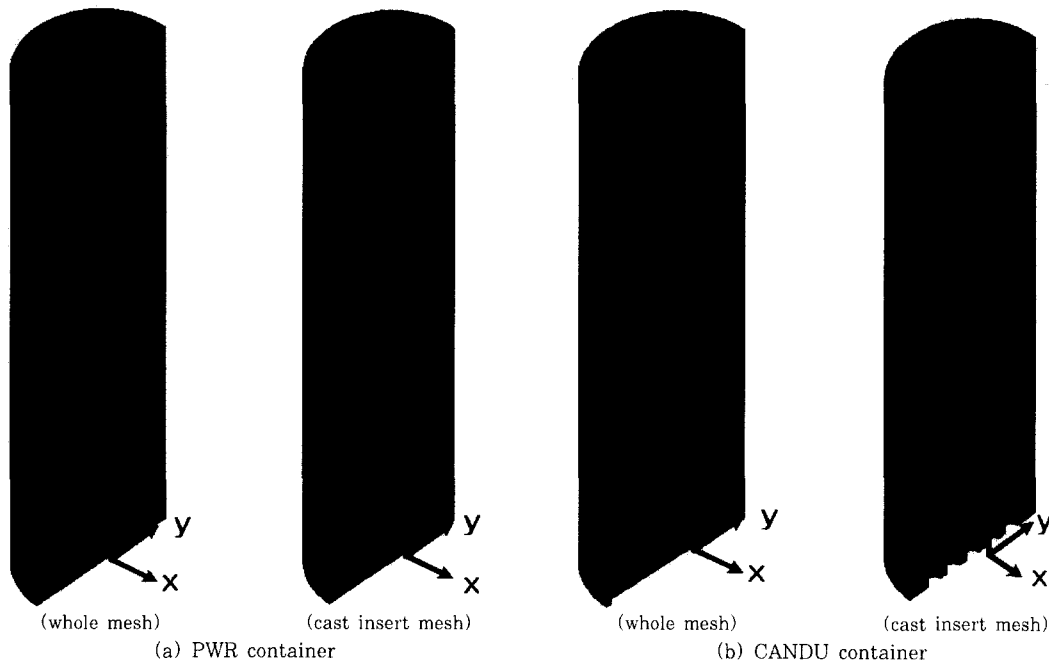


Fig. 3 Finite element mesh of container structures for PWR and CANDU fuels

외력 조건들에 대하여 각 경우에 맞게 처분장치 양끝에서 구속되었으며 외력은 각 경우 처분장치 표면에 수직으로 작용시켰다. 또한 u_x , u_y , u_z 들이 대칭면에서도 각 경우에 맞게 구속되었다.

- 첫 번째 외력조건(load case 1)에 대한 변위 및 하중조건
 - 양쪽고정 끝단(처분장치 길이의 1/10부분) 외곽셀 표면에서 u_x , u_y , u_z 를 모두 구속하였다.
 - x 대칭면($x=0$ 면)에서 u_x 를 구속하였다.
 - 처분장치 외곽셀의 절반 상부면에 수직으로 균일한 압력(1,500Pa)을 가하였다.
- 두 번째 외력조건(load case 2)에 대한 변위 및 하중조건
 - 양쪽 끝으로부터 처분장치 길이의 1/10되는 위치에서 외곽셀 표면 절반 하단에서 u_x , u_y 를 모두 구속하였다.
 - z 대칭면($z=L/2$ 면)에서 u_z 를 구속하였다.
 - x 대칭면($x=0$ 면)에서 u_x 를 구속하였다.
 - 처분장치 외곽셀의 절반 상부면에 수직으로 균일한

압력(1,500Pa)을 가하였다.

- 세 번째 외력조건(load case 3)에 대한 변위 및 하중조건
 - 한쪽고정 끝단(처분장치 길이의 1/10부분) 외곽셀 표면에서 u_x , u_y , u_z 를 모두 구속하였다.
 - x 대칭면($x=0$ 면)에서 u_x 를 구속하였다.
 - 처분장치 외곽셀의 절반 상부면에 수직으로 균일한 압력(1,500Pa)을 가하였다.
- 네 번째 외력조건(load case 4)에 대한 변위 및 하중조건
 - x, y, z 대칭면($x=0$, $y=0$, $z=L/2$ 면)에서 u_x , u_y , u_z 를 각각 구속하였다.
 - 처분장치 외곽셀의 전체 상부면에 수직으로 비균일한 압력을 상하 비대칭으로 가하였다.
- 다섯 번째 외력조건(load case 5)에 대한 변위 및 하중조건
 - x, y, z 대칭면($x=0$, $y=0$, $z=L/2$ 면)에서 u_x , u_y , u_z 를 각각 구속하였다.

4. 해석결과 및 토의

벤트나이트 버퍼의 팽윤압을 1,500Pa로 가정하고 처분장치에 대하여 선형정적 구조해석을 수행한 결과는 다음과 같다.

4.1 핵연료다발 바스켓의 배열구조 변화에 대한 구조해석 결과

Table 2에 나타난 해석결과를 분석하면 대칭 배열 구조(Model 1)일 때의 핵연료다발 배열이 처짐 변형과 응력 크기가 가장 작은 결과가 나왔으므로 이 대칭 배열구조(Model 1)가 비대칭 배열구조(Model 2, 3)에 비하여 구조적으로 안정적인 배열 구조임을 알 수 있다.

4.2 외곽셀의 두께 변화에 대한 구조해석 결과

PWR형 및 CANDU형 처분장치의 외곽셀의 두께를 5 cm, 7.5 cm, 10 cm로 변환시키면서 대칭 배열 구조(Model 1)의 처분장치 구조에 대해 구조해석을 수행한 결과는 Table 3과 같다.

해석 결과를 분석하면 내부 주철 삽입물의 직경에 비해 외곽셀의 두께가 얇을수록 변형의 크기 및 내부 응력의 크기가 작은 것을 알 수 있다. 따라서 내부 주철삽입물의 직경에 대한 외곽셀의 두께가 작을수록 처분장치가 구조적으로 안전한 것을 알 수 있다. 그러나 어느 정도의 두께가 가장 바람직한 두께인지는 알 수 없다. 이를 결정하기 위해서는 두께에 대한 탄소성 해석 및 부식에 대한 화학적해석을 수행해야 된다고 사료된다¹²⁾.

4.3 위아래 덮개의 두께 변화에 대한 구조해석 결과

PWR형 및 CANDU형 처분장치에서 외곽셀의 두께가 5.0cm인 처분장치 구조에 대하여 위아래 덮개의 두께를 각각 1.7cm, 2.5cm, 3.3cm로 변화시켜 구조해석을 수행하였다.

그 결과를 Table 4에 정리하였다. 해석결과를 분석하면 처분장치의 직경이 108cm, 길이가 496cm 일 때 위아래 덮개의 두께가 2.5cm 인 경우가 가장 구조적으로 안전한 것을 알 수 있다.

Table 2 Structural analysis results for the array model variation(load case 1, PWR container)

| Stress, Deflection | Array Model | Model 1 | Model 2 | Model 3 |
|--|-------------|---------|---------|---------|
| Maximum von-Mises stress(MPa) inside cast insert | | 7.46 | 7.50 | 7.72 |
| Maximum deflection(cm) | | 0.00094 | 0.00100 | 0.00108 |

Table 3 Structural analysis results for the outer shell thickness variation(load case 1)

| Stress, Deflection | Shell thickness | 5cm | 7.5cm | 10cm |
|--|-----------------|----------|---------|---------|
| Maximum von-Mises stress(MPa) inside cast insert | PWR container | 7.18 | 7.50 | 7.67 |
| | CANDU container | 8.77 | 9.32 | 9.96 |
| Maximum deflection(cm) | PWR container | 0.00087 | 0.00094 | 0.00097 |
| | CANDU container | 0.000884 | 0.00096 | 0.00099 |

Table 4 Structural analysis results for lid and bottom thickness variations(load case 1)

| Stress, Deflection | Lid and bottom thickness | 1.7cm | 2.5cm | 3.3cm |
|--|--------------------------|---------|---------|---------|
| Maximum von-Mises stress(MPa) inside cast insert | PWR container | 7.87 | 7.18 | 7.87 |
| | CANDU container | 12.35 | 8.77 | 12.38 |
| Maximum deflection(cm) | PWR container | 0.00087 | 0.00094 | 0.00097 |
| | CANDU container | 0.00088 | 0.00096 | 0.00099 |

4.4 외곽셀 및 위아래 덮개의 재질 변화에 대한 구조해석 결과

PWR형 및 CANDU형 처분장치 모두에서 외곽셀의 두께가 5cm, 위아래 덮개의 두께가 2.5cm인 Model 1의 처분장치 구조에 대하여 외곽셀 및 위아래 덮개의 재질을 구리, 니켈합금, 스테인리스스틸로 변화 시켜 구조해석을 수행하였다.

그 결과를 Table 5에 정리하였다. 예상한 대로 강도가 가장 높은 니켈합금인 경우가 가장 구조적으로 안전한 것을 알 수 있다.

4.5 지하수가 포화된 경우의 구조해석 결과 (load case 4~load case 5)

PWR형과 CANDU형 처분장치 공통으로 지하수가 완전히 포화된 경우(load case 4~5)가 지하수가 포화되는 도중의 경우(load case 1~3)보다 내부 응력과 처짐 변형의 크기는 작았으나(Table 6) 바스켓 주위의 응력 집중이 지하수가 포화되는 도중의 경우보다 크게 일어남을 알 수 있다(Fig. 4). 또한 최대응력과 최대변위의 발생 위치도 달라짐을 알 수 있다. 지하수가 포화되는 과정 중인 경우(load case 1~3)에는 모

두 처분장치를 지지하는(단순지지와 고정지지 모두) 처분장치 길이(L)의 1/10이 되는 외곽셀 표면 하단에서 최대응력이 발생하고 최대변위는 처분장치 중앙의 외곽셀 표면 상단에서 발생하고 있다. 그러나 지하수가 포화된 후의 경우(load case 4~5)에서는 최대응력은 가압경수로(PWR) 처분장치 경우는 처분장치의 내부 비워진 바스켓 사각형 코너에서 발생하고 중수로(CANDU) 처분장치 경우는 내부의 비워진 원형 바스켓 사이의 얇은 벽에서 발생하고 있다. 또 최대변위는 최대 압력을 받는 처분장치 외곽셀 중앙 표면에서 발생하고 있다.

Table 6를 검토하였을 때 지하 처분장에서 처분장치의 설치형태는 수평으로 놓혀 설치하는 것보다는 수직으로 세워서 설치하는 것이 구조강도 측면에서 좋을 것을 알 수 있다.

5. 결 론

상용 유한요소 해석코드인 "NISA"를 이용한 처분장치에 대한 선형정적 구조해석 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

내부 바스켓의 배열은 대칭적인 배열구조(Model 1)가 비대칭적인 배열구조(Model 2, 3)보다 구조적으로

Table 5 Structural analysis results for the outer shell and lid/bottom material variation(load case 1)

| Stress, Deflection | | Shell material | | |
|---|-----------------|----------------|-------------|-----------------|
| | | High Ni Alloy | Copper (Cu) | Stainless Steel |
| Maximum von-Mises stress(MPa) inside cast insert | PWR container | 7.42 | 8.77 | 7.57 |
| | CANDU container | 6.17 | 7.17 | 6.26 |
| Maximum deflection(cm) | PWR container | 0.00075 | 0.00088 | 0.00077 |
| | CANDU container | 0.00072 | 0.00087 | 0.00073 |

Table 6 Synthesis of the structural analysis results for each case(load case 1~load case 5)

| Load cases | | load case 1 | | load case 2 | | load case 3 | | load case 4 | load case 5 |
|---|-----------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|-------------|
| | | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical | | |
| Maximum von-Mises stress(MPa) inside cast insert | PWR container | 6.18 | 4.26 | 10.69 | 10.24 | 7.65 | 4.50 | 1.94 | 1.94 |
| | CANDU container | 7.42 | 6.89 | 13.12 | 6.45 | 36.81 | 24.27 | 2.46 | 2.56 |
| Maximum deflection (cm) | PWR container | 0.00072 | 0.00071 | 0.00206 | 0.00202 | 0.02130 | 0.00779 | 0.00013 | 0.00013 |
| | CANDU container | 0.00075 | 0.00071 | 0.01480 | 0.00396 | 0.20600 | 0.12500 | 0.00028 | 0.00030 |

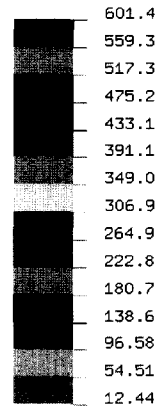
DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM (8.0.0) PRE/POST MODULE



VON-MISES STRESS

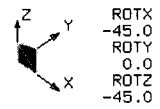
VIEW : 1293.738
RANGE: 60140.98

(Band * 1.0E2)



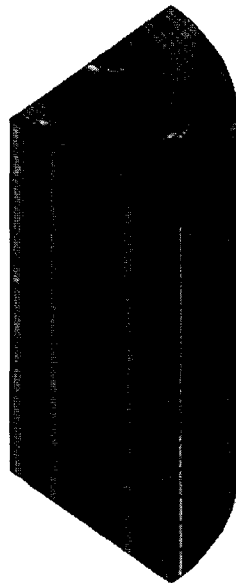
EMRC-NISA/DISPLAY

NOV/08/99 22:23:43



mdo-c4-y-1500-new

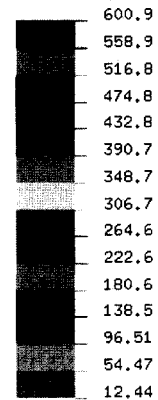
DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM (9.0.0) PRE/POST MODULE



VON-MISES STRESS

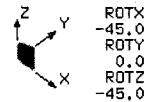
VIEW : 1243.743
RANGE: 60091.77

(Band * 1.0E2)



EMRC-NISA/DISPLAY

APR/20/00 18:20:14



mdo-c4-y-1500-new

Fig. 4 Stress contour for the container structure(load case 4, PWR container)

안전함을 알 수 있었다. 처분장치의 외곽셀은 내부 주철삽입물의 직경에 비하여 얇을수록 구조적으로 안전함을 알 수 있었다. 그러나 적당한 두께는 결정할 수 없었다. 이를 위해서는 외곽셀에 대한 비선형 탄소성해석 등이 추가로 요구된다고 사료된다. 처분장치의 길이가 496cm이고 직경이 108cm이면 위아래 덮개의 두께가 2.5cm 일 때 PWR형과 CANDU형 모두 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

처분장치는 외곽셀과 위아래 덮개의 재료가 구리(Cu)보다 강도가 높은 니켈합금(High Ni alloy) 구조물이 구조적으로 더욱 안전함을 알 수 있었다. 저장소에서의 처분장치의 위치가 수직인 경우가 수평인 경우 보다 구조적으로 더욱 안전함을 알 수 있었다. 또한 지하 매설시 처분장치 지지형태는 양쪽 끝단 고정지지가 다른 지지형태(단순지지 및 한쪽 끝단 고정지지) 보다 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

지하수 포화 후 하중조건하에서의 처분장치 상태가 지하수 포화 과정 중에서의 하중조건하에서의 처분용기 상태보다 내부에 발생하는 응력 상태가 작으므로 구조적으로 안전함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Anttila, M., "Criticality Safety Calculations for the Nuclear Waste Disposal Canisters," *Report POSIVA-96-11, Posiva Oy, Helsinki, Finland, 1996*
2. Anttila, M., "Criticality Safety Calculations of the Nuclear Waste Disposal Canisters for Twelve Spent Fuel Assemblies," *Working Report 99-03, Posiva Oy, Helsinki, Finland, 1999, p.20*
3. Auerkari, P., and Holmstrom, S., "Long-term Strength of EB Welds of the Canister for Nuclear Fuel Disposal," *Working Report 97-35e, Posiva Oy, Helsinki, 1997, p.21*
4. Raiko, H., and Salo, J.P., "The Design Analysis of ACP-Canister for Nuclear Waste Disposal," *Report YJT-92-05, Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki, Finland, 1992*
5. Raiko, H., and Salo, J. P., "Design Report of the Canister for Nuclear Fuel Disposal," *Report POSIVA 96-13, Posiva Oy, Helsinki, ISBN 951-652-012-x, Finland, 1996*
6. Raiko, H., and Salo, J. P., "Design Report of the Disposal Canister for Twelve Fuel Assemblies," *Report Posiva-99-18, Posiva Oy, Helsinki, Finland, 1999*
7. Salo, J. P., and Raiko, H., "The Copper/Steel Canister Design for Nuclear Waste Disposal," *TVO/KPA Turvallisuus ja tekniikka, Work Report 90-10, Rev. 1, Teollisuuden Voima Oy, Helsinki, Finland, 1990*
8. Werme, L., and Eriksson, J., "Copper Canister with Cast Inner Component," *Technical Report TR-95-02, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.(SKB), Stockholm, Sweden, ISSN 0284-3757, 1995*
9. Jongwon CHOI, Young-Sung CHOI, Sangki KWON, Jung-Eui KUH, and Chul-Hyung KANG, "Technology Assessment of the Repository Alternatives to Establish a Reference HLW Disposal Concept," *Journal of the Korean Nuclear Society, Vol. 31, Number 6, 1999, pp.83~100*
10. 권영주, 김재희, "액체금속로 핵연료교환장치의 구조해석 I : 기구동역학해석," 한국전산구조공학회 논문집, 제12권, 제4호, 1999, pp.573~581
11. 권영주, 김재희, "액체금속로 핵연료교환장치의 구조해석 II : 정적 휨변형해석," 한국전산구조공학회 논문집, 제12권, 제4호, 1999, pp.583~589
12. Ahonen, L., "Chemical Stability of Copper Canisters in Deep Repository," *Report YJT-94-13, Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki, Finland, 1995, p.101*