

# 가압경수로(PWR)용 고준위폐기물 처분용기의 구조적 안전성 평가 보완 해석

## A Complementary Analysis for the Structural Safety Evaluation of the Spent Nuclear Fuel Disposal Canister for the Pressurized Water Reactor

최 종 원\* 권 영 주†

Choi, Jong-Won Kwon, Young-Joo

(논문접수일 : 2006년 11월 13일 ; 심사종료일 : 2007년 7월 6일)

### 요 지

가압경수로(PWR)에서 배출되는 고준위폐기물을 지하 500m의 화강암 암반의 처분장에 장기간(약 10,000년 동안) 처분하기 위하여 여러 구조적 안전성 평가 수행을 통하여 처분용기모델이 개발되었다. 기존에 설계된 가압경수로용 처분용기 모델은 구조적 안전성은 문제가 없으나 너무 무거운 단점이 지적되었다. 따라서 구조적 안전성을 유지하면서 좀 더 경량화된 처분용기모델을 개발하는 것이 요구된다. 기존의 처분용기모델이 무거워진 한가지 이유는 처분용기 개발 시 적용된 외력조건 및 안전계수 등에 대한 조건들을 너무 엄격하게 적용했기 때문이라고 사료되기 때문에 이런 조건들을 완화하여 처분용기의 재원들을 조정하여 구조해석을 다시 수행하는 것이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 설계 완성된 기존의 처분용기에 대하여 외력 조건 및 용기의 재원(두께 등) 들을 변화시키면서 구조해석을 재 수행하여 구조적 안전성 평가를 보완하였다. 이를 바탕으로 외력 조건에 따른 처분용기의 재원 등을 재 산출한다. 보완 해석 결과 기존의 122cm의 처분용기의 직경을 102cm까지 줄여 경량화 시킬 수 있음이 확인되었다.

**핵심용어** : 가압경수로, 처분용기, 안전성평가, 처분장, 보완 해석

### Abstract

A structural model of the spent nuclear fuel disposal canister for the pressurized water reactor(PWR) for about 10,000 years long term deposition at a 500m deep granitic bedrock repository has been developed. However this developed structural model of the spent nuclear fuel disposal canister is too heavy to handle without any structural safety problem. Hence a lighter structural model of the spent nuclear fuel disposal canister which is easy to handle has been tried to develop very much. One of the reasons which made the structural model heavy is considered to be due to the severe adaptation of the design conditions like external loads and safety factor etc. to the canister design. Hence a complementary analysis to alleviate such severe design conditions is required for the reduction of the canister weight. In this study, a complementary structural analysis for the spent nuclear fuel disposal canister is carried out changing the design conditions such as external loads and safety factors to recalculate the design parameters like diameter and thickness etc. of the canister. The complementary analysis results shows that the diameter of canister can be shortened from 122cm to 102cm to reduce the weight of the spent nuclear fuel disposal canister.

**Keywords** : *pressurized water reactor, spent nuclear fuel disposal canister, safety evaluation, repository, complementary analysis*

### 1. 서 론

지난 수년 동안 처분용기에 대한 여러 가지 구조해석을 수

행하여 일차적으로 처분용기에 대한 설계를 완성하여 처분용기모델을 결정하였다(권영주 등, 2004). 그러나 도출된 처분용기 모델은 구조적 안전성은 문제가 없으나 너무 무거운

† 책임저자, 정회원 · 홍익대학교 기계정보공학과 교수

Tel: 041-860-2484 ; Fax: 041-866-6598

E-mail: jkwon@wow.hongik.ac.kr

\* 한국원자력연구원 책임연구원

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 10월 31일까지 본 학회에 보내주 시면 2007년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

단점이 지적되었다. 따라서 구조적 안전성을 유지하면서 좀 더 경량화 된 처분용기모형을 개발하는 것이 요구된다. 기 개발된 처분용기모형이 무거워진 한가지 이유는 처분용기 개발 시 적용된 외력조건 및 안전계수 등에 대한 조건들을 너무 엄격하게 적용했기 때문이라고 사료되기 때문에 이런 조건들을 완화하여 처분용기의 재원들을 조정하여 위에서 언급한 여러 가지 구조해석들을 다시 수행하는 것이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 기 설계 완성된 처분용기모형에 대하여 외력 조건 및 용기의 재원(두께 등)들을 변화시키면서 구조해석을 재수행하여 처분용기에 대한 구조적 안전성 평가를 보완한다. 이를 바탕으로 외력 조건에 따른 처분용기의 최소 두께 등을 재산출한다. 본 논문에서 채택한 완화된 외력조건 및 안전계수 기준은 다음과 같다.

- 외력 조건의 변화 : 처분용기에 가해지는 「팽윤압+정수압」을 기존의 15MPa=10MPa(팽윤압)+5MPa(정수압)에서 10MPa=5MPa(팽윤압)+5MPa(정수압)으로 완화
- 안전계수의 기준 완화 : 기존에 적용하였던 안전계수  $S=2.0$ 을  $S=1.5$ 로 완화

상기의 완화된 기준을 가지고 처분용기의 재원 특히 내부 고준위폐기물 다발과 외곽 셸과의 두께를 변화시키면서 구조해석을 수행하여 가능한 한 최소두께를 산출한다.

원자로에서 사용한 후 폐기되어지는 고준위폐기물은 위험한 방사능과 높은 온도를 가지고 있기 때문에 이를 관리하는 것은 상당한 주의가 필요하다. 고준위폐기물 처분용기는 어떤 조건 하에서도 고준위폐기물의 방사성독성이 사라지는 10,000년 동안 고준위폐기물을 완전히 안전하게 격리시킬 수 있게 처분용기의 수명이 확실하게 보장되어야만 한다. 이러한 이유로 저장된 기간 중에 구조적 결함이 없도록 처분용기의 구조적 안전성측면에서 여러 가지 조건을 고려해야 한다. 처분용기가 받는 처분 환경조건은 먼저 지하수의 유입에 의해 벤토나이트 버퍼에 발생하는 수압이다. 이 수압은 깊이 500m의 물기둥에 해당하는 정수압(hydrostatic pressure)과 벤토나이트 버퍼에 지하수가 침투함으로써 발생하는 팽윤압(swelling pressure)의 합으로 되어있다. 따라서 처분용기는 지하에 처분되는 기간(약 10,000년) 동안 수압에 견딜 수 있어야 한다(Kwon 등, 2001). 또 처분용기내의 폐기물 다발에서는 비록 점점 감소하지만 계속 열이 발생하고 있기 때문에 열 발생에 따른 처분용기내의 온도분포에 의한 열응력에도 견딜 수 있어야 한다(권영주 등, 2002). 이외에도 비록 저장 시 지진발생이 없는 안전한 지하 암반층에 저장하

더라도 미래에 발생할 수도 있는 지진 등에 의한 지각변동에 의하여 발생할 수 있는 암반의 갈라짐에 의해 처분용기에 가해지는 충격에도 견디어야 한다(권영주 등, 2003). 또한 장시간 저장에 따라 처분용기에 발생할 수도 있는 크리프 변형도 견디어야 한다(권영주 등, 2004).

## 2. 보완 구조해석 문제의 구성

### 2.1 구조 해석 모델

기 설계된 처분용기모형의 구조형상 및 재원은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서의 가압경수로 고준위폐기물 처분용기는 내부에 정사각형 단면(22.4cm×22.4cm) 형상을 갖는 4개의 고준위폐기물 다발이 있고, 이를 주철(cast iron)로 된 내부 삼입물(직경 112cm)이 감싸고 있으며, 이 내부삼입물을 5cm 두께의 구리로 된 외곽 셸이 감싸고 있다. 또 역시 구리로 된 5cm 두께의 위아래 덮개가 있다. 각 구조의 주요 재원은 Fig. 1에 표시되어 있다. 본 연구에서는 Fig. 1에서 모든 재원은 그대로 유지하고 처분용기의 직경을 122cm에서 5cm씩 감소하여 117cm, 112cm, 107cm, 102cm로 변

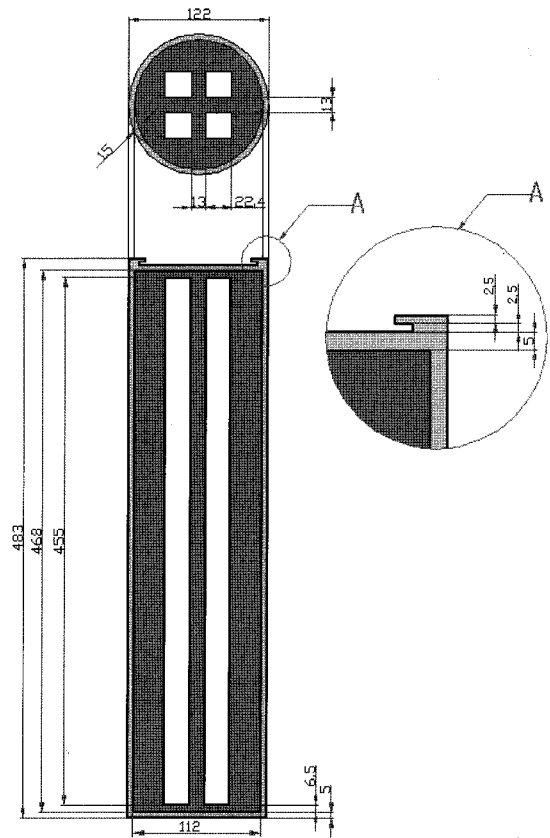


Fig.1 Geometry and dimensions of the designed spent nuclear fuel disposal canister for PWR

Table 1 Material property value of each canister component part

Material Properties	Insert	Outer shell, Lid & Bottom	Fuel Bundle
	Cast iron	Copper	Fuel+Zry-4 tube (equivalent value)
Young's Modulus E(GPa)	126.5	117	29.777
Poisson's ratio $\nu$	0.25	0.3	0.3
Thermal expansion coefficient $\alpha(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	10.85	16.5	3.24
Mass density $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	8,000	8,900	2,000
Yield stress $\sigma_y(\text{MPa})$	200	64	-
Ultimate strength $\sigma_u(\text{MPa})$	1,400	200	-
Thermal conductivity $k(\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C})$	52	386	0.135
Specific heat $C(\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$	504	383	2,640

경하여 계산을 수행 한다. 또한 고준위폐기물 다발과 외곽셀 사이의 두께는 15cm에서 12.5cm, 10cm, 7.5cm, 5cm로 각각 감소시켜 구조해석을 수행한다.

2.2 물질상수

Fig. 1에 그려진 처분용기의 각 구성부품들의 재질은 내부 삽입물에 주철(case iron), 외곽셀 및 위아래 덮개는 구리(Cu)로 구성되어 있다. 내부의 고준위폐기물 다발은 「spent fuel+Zry-4tube」의 수십~수백 개의 다발로 되어있어, 이를 정확히 구조해석에서 반영하는 것이 어렵기 때문에 이들을 균일물질로 가정하는 등가물성치를 계산하여 구조해석을 수행하고자 한다. Table 1에 본 논문에서 사용한 각 구성 재질들의 물성치들이 나타나 있다.

2.3 외력조건 및 경계조건

지하 500m에 처분장이 있는 경우의 정수압(hydrostatic pressure)은 지하수에 의한 정수압으로 그 크기는 다음과 같다.

$$P = \rho_w h = 10,000 \text{kg}/\text{m}^3 \times 500 \text{m} = 5,000,000 \text{Pa} = 5 \text{MPa}$$

$$\rho_w = 9,800 \text{kg}/\text{m}^3 \approx 10,000 \text{kg}/\text{m}^3$$

처분용기에 실제로 작용하는 외력은 지하수가 벤토나이트 버퍼에 스며들어서 팽창하는 벤토나이트 버퍼의 팽윤압 (swelling pressure)이다. 지하수가 벤토나이트 버퍼에 스며들면 벤토나이트 버퍼에 팽윤압이 발생한다. 이 팽윤압의 크기는 버퍼의 종류에 따라 달라지겠지만 버퍼에 지하수가 포화되는 도중의 팽윤압 크기와 지하수가 버퍼에 완전히 포화된 후의 팽윤압의 크기는 약간의 차이가 있다. 본 연구에서 고려하고 있는 팽윤압의 크기는 4~5MPa로 4MPa은 지하수가 버퍼에 포화되고 있는 중간의 팽윤압을, 5MPa는 포화되는 마지막 단계의 팽윤압으로 고려된다. 따라서 처분용기에 가해지는 전체압력은 지하수의 정수압과 벤토나이트 버퍼의 팽윤압의 합이다. 지하수가 버퍼에 완전히 포화된 후에는 5MPa의 팽윤압에 5MPa의 정수압이 가해져서 총 10MPa의 수압이 처분용기에 가해진다고 볼 수 있다. 만약에 처분용기가 처분공에 약간 기울어져 있거나 처분공의 형상이 약간 굴곡이 저 있으면 버퍼에 지하수가 완전히 포화된 후에 처분용기에 가해지는 수압은 비대칭 형상으로 비균일하게 발달할 수도 있다.

① 지하수 포화과정 중의 하중의 크기 및 외력조건 -

Load Case 1

지하수가 벤토나이트 버퍼에 포화되는 과정중의 외력 조건으로, 이때 벤토나이트 버퍼에 발달되는 팽윤압의 크기는 4MPa로 고려한다.

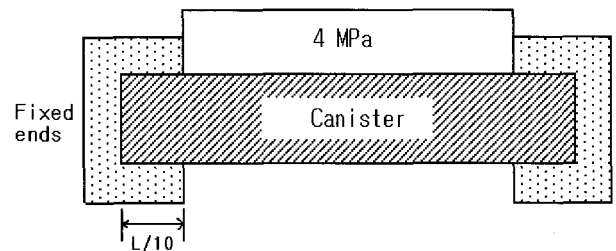


Fig. 2 Load condition during ground water saturation(both fixed ends)

② 지하수 포화 후 하중의 크기 및 외력조건

④ 균일한 대칭 외력조건 - Load Case 2

수압이 처분용기에 균일하게 대칭적으로 발달하는 경우로 이때 구조해석 시 처분용기에 강제운동이 발생하지 않도록 적절한 경계조건을 주어야 한다.

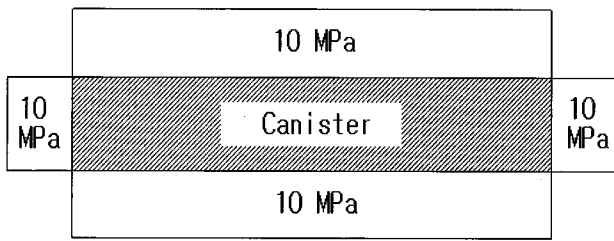
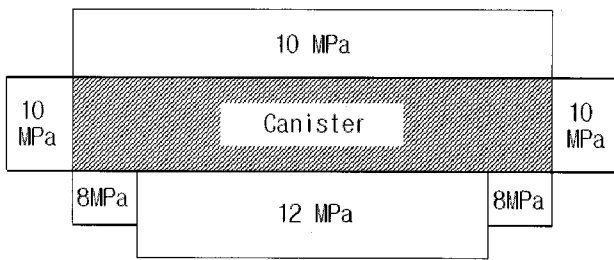
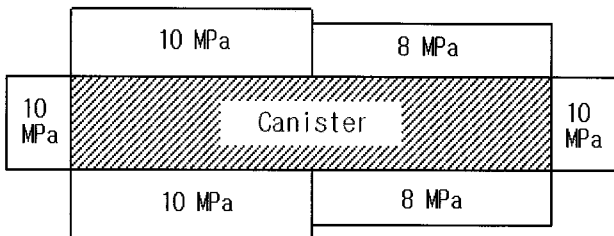


Fig. 3 Uniform load condition after ground water saturation

⑥ 비균일한 비대칭 외력조건



Case 1



Case 2

Fig. 4 Nonuniform load condition after ground water saturation

③ 열하중(thermal loads)

사용 후 고준위폐기물 다발은 높은 고온을 유지하며 서서히 열을 방출하여 처분용기 저장 시 열원(heat source)으로 작용하여 처분용기 및 주위물질에 열을 전달하여 열팽창을 일으켜서 열하중으로 작용한다.

- 가압경수로(PWR) 고준위폐기물 다발의 열발생률

$$q(t) = 852.34 \exp[1/(0.2642 + 0.130889t)] \quad (0 < t < 30 \text{ yrs}) \quad (\text{W/tHM})$$

$$q(t) = 14,548.7t^{-0.76204} \quad (30 \leq t < 10^6 \text{ yrs}) \quad (\text{W/tHM})$$

상기의 정상적인 외력 이외에도 처분용기에 가해지는 외력에는 갑작스러운 지각변동에 의한 암반 갈라짐(sudden rock movement)이나 처분용기 내에 발생하는 응력(정수압

+팽윤압)이나 고온에 의하여 발생하는 크리프변형 등의 비정상적인 외력들이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 비정상외력들은 취급하지 않는다. 그러나 이들에 대한 추가적인 해석은 요구된다.

3. 보완 구조해석에 대한 수치해석

3.1 수치해석 모델

Fig. 1의 가압경수로(PWR) 처분용기구조물에 대한 보완 구조해석 모델에 대하여 수치해석을 수행하기 위해서 8개 절점의 육면체 유한요소(eight node hexahedron element)를 이용하여 유한요소 모델을 만들었다(Fig. 5 참조).

해석에 사용된 여러 직경의 처분용기 수치해석모델의 유한요소(element)와 절점(node)의 수는 Table 2에 표시하였다.

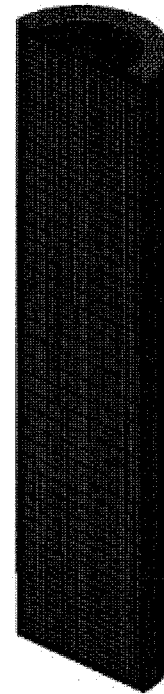


Fig. 5 Numerical model of the PWR canister (1/2 model, D=107cm)

Table 2 Element and node number of the numerical model(full model case)

Diameter	PWR canister				
	102cm	107cm	112cm	117cm	122cm
No. of element	73,348	78,716	84,084	89,452	100,188
No. of node	76,686	82,142	87,598	93,054	104,958

### 3.2 수치해석

Fig. 1의 처분용기(PWR 고준위폐기물 처분용기)에 대하여 외력 및 경계조건을 가하여 해석을 수행한다.

#### 3.2.1 지하수 포화과정 중의 외력조건에 대한 해석

지하수가 벤토나이트 버퍼에 포화되는 과정중의 외력조건으로 이때 벤토나이트 버퍼에 발달되는 팽윤압의 크기는 4MPa로 고려된다(Fig. 2). 이때 내부 고준위폐기물 다발에서 발생하는 열에 의한 열하중도 동시에 고려한다.

PWR 처분용기의 내부 고준위폐기물 다발에 발생하는 다음의 열발생률을 이용하여 열하중을 계산한다.

$$q(t) = 1,704.68 \exp\{1/(0.2642 + 0.130889t)\} \quad (\text{W/m}^3) \quad (0 < t < 30 \text{ yrs})$$

$$q(t) = 29,097.4t^{-0.76204} \quad (\text{W/m}^3) \quad (30 \leq t < 10^6 \text{ yrs})$$

해석 대상이 되는 처분용기는 고준위폐기물 다발이 열발생 후 40년이 지난 후 고준위폐기물 다발이 처분용기 내부에 저장되어 처분공(borehole)에 처분되므로 지하수 포화과정중의 외력조건은 초기 처분시기인  $t=50$ 년에 해당되는 상태로 생각된다. 따라서 폐기물 다발의 열발생률은  $t=50$ 년에 해당하는  $q(50) \approx 1,476.288 \text{ W/m}^3$ 로 계산된다.

처분용기 외곽에 작용하는 팽윤압은  $4 \text{ MPa} = 4 \times 10^6 \text{ Pa} = 4 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 4 \text{ N/mm}^2$  값을 사용한다.

- 해석단계
  - 단계 1:  $q=1,479.287975 \text{ W/m}^3$ 에 대한 열전달 해석 수행 한 후  $q=1,479.287975 \text{ W/m}^3$ 에 대한 열응력 해석을 수행한다.
  - 단계 2: 팽윤압  $P=4 \text{ N/mm}^2$ 에 의한 응력 해석을 수행한다.
  - 단계 3: 위에서 수행한 각각 단계의 해석 결과를 통합(load combination)하여 열하중 및 팽윤압에 의한 응력해석을 수행 한다
- 경계조건: 양단(L/10 구간) 고정  
L/10 처분용기 겉표면 절점에서 세 개의 자유도( $u_x, u_y, u_z$ )를 구속한다( $u_x = u_y = u_z = 0$ ).
- 유한요소해석 모델: 구조적으로는 1/4 대칭이지만 외력 조건은 1/2 대칭이므로 1/2 대칭 유한요소해석 모델을 사용한다. 이를 그림으로 표시하면 Fig. 6과 같다.

#### 3.2.2 지하수 포화 후 외력조건에 대한 해석

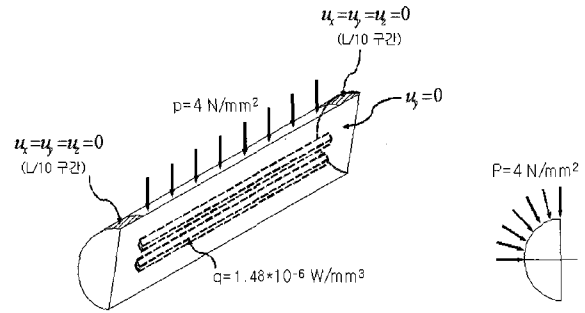


Fig. 6 External loads and boundary conditions

지하수가 벤토나이트 버퍼에 완전히 포화된 후의 외력조건으로 이때 처분용기에 가해지는 외력은 지하수에 의한 수압(5MPa)과 벤토나이트에 의한 팽윤압(5MPa)의 합인 총 10MPa의 압력이 처분용기 외곽셀 표면에 작용한다. 이때 처분공(borehole)의 비균일성에 의하여 압력이 비균일하게 발달될 수도 있다(Fig. 4 참조). 이때도 역시 내부 고준위폐기물 다발에 의한 열발생을 고려해야 한다.

- 열하중(thermal load): 벤토나이트 버퍼에 지하수가 포화되는 과정은 처분용기가 처분공에 처분되는 초기에 발생되므로 고준위폐기물 다발의 열발생률을  $t=50$ 년으로 고려하여  $q(50) = 1,476.287975 \text{ W/m}^3$ 으로 가정한다.
- 팽윤압(swelling pressure): 지하수 포화 후 처분용기에 작용하는 팽윤압은  $P = 10 \text{ MPa} = 10 \times 10^6 \text{ Pa} = 10 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ N/mm}^2$ 으로 계산한다.
- 해석단계
  - 1단계: 열하중에 의한 열응력 계산  
 $q = 1,476.287975 \text{ W/m}^3$ 에 의한 열전달 해석 후 열응력 해석
  - 2단계:  $P = 10 \text{ MPa}$ 에 의한 응력 해석
  - 3단계: 1단계 해석 + 2단계 해석 결과를 통합(load combination)
- 유한요소해석 모델: 구조적으로 뿐만 아니라 외력조건도 1/4 대칭이므로 1/4 모델만 가지고 해석 수행
- 경계조건: 대칭경계조건( $u_x = 0$  or  $u_y = 0$ )뿐만 아니라 강체운동을 방지할 수 있는 경계조건( $x=y=0$ 에서  $u_x = u_y = u_z = 0$ )을 적용한다.

### 3.3 해석결과 및 분석

가압경수로 처분용기에 대하여 처분용기 직경을  $D = 122 \text{ cm}, 117 \text{ cm}, 112 \text{ cm}, 107 \text{ cm}, 102 \text{ cm}$ 의 다섯 가지 경우에 대하여 유한요소 모델을 만들어서 구조해석을 수행하였

Table 3 Structural analysis results(deformation and stress occurred in the cast iron insert)

Diameter		102cm	107cm	112cm	117cm	122cm
Load Case 1	Max. von Mises Stress(MPa)	84.89	79.54	75.66	72.59	70.02
	Safety factor (S)	2.356	2.514	2.643	2.755	2.856
	Max. Deformation (mm)	2.672	2.676	2.679	2.683	2.688
Load Case 2	Max. von Mises Stress(MPa)	65.80	62.24	61.74	61.41	57.36
	Safety factor (S)	3.04	3.213	3.24	3.256	3.486
	Max. Deformation (mm)	2.56	2.565	2.57	2.575	2.58

\* Cast iron의 항복응력  $\sigma_y = 200\text{MPa}$ ,

$$S \leq \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad S_{crit} \geq 1.5$$

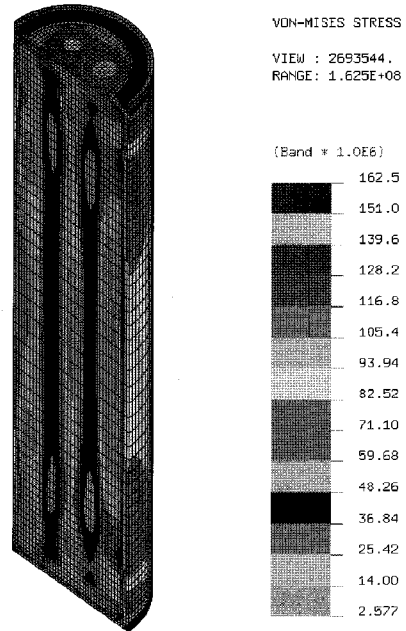
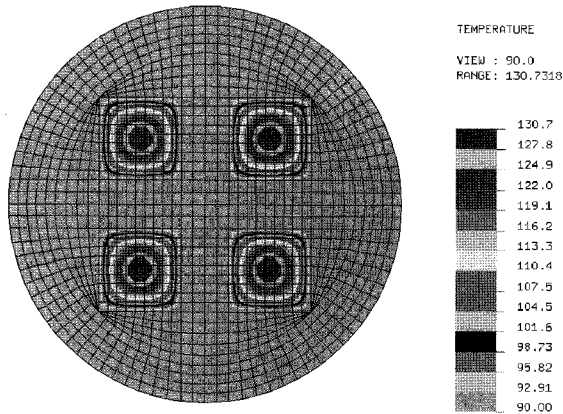
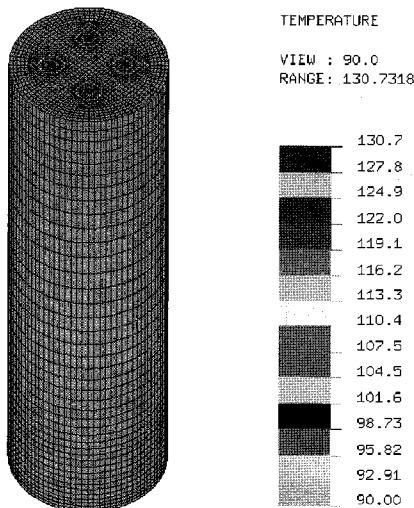


Fig. 8 Stress contour inside PWR canister (D=107cm, load case 1, half model view)



(a) Top section view



(b) Overall section view

Fig. 7 Temperature contour inside PWR canister (D=107cm,  $q=1,476.287975\text{W/m}^3$ )

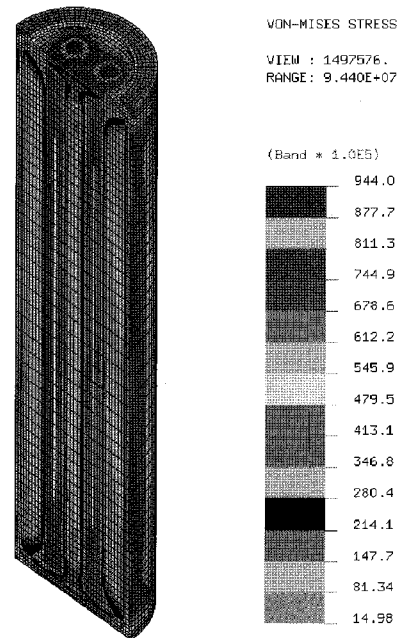


Fig. 9 Stress contour inside PWR canister (D=107cm, load case 2, half model view)

다. 구조해석을 수행한 결과는 Table 3 및 Fig. 7~Fig. 9에 나타났다. 역시 처분용기 직경이 작아질수록 처분용기 내에 발생하는 응력의 크기는 증가하여 구조물이 구조적으로 불안정해지는 것을 알 수 있다. 처분용기에 가해지는 외력조건에 따라서 최고응력이 발생하는 위치도 다를 수 있다. 지하수 포화과정 중의 외력조건에서는 처분용기 외곽셀에 최대응력이 발생하지만 지하수 포화 후의 외력조건에서는 주로 덮개(lid) 부분에 최대응력이 발생함을 알 수 있다. 내

부 고준위폐기물 연료다발의 열발생에 의한 온도분포는 연료다발의 중심에 최대온도가 발생하는데 미세한 차이는 있지만 처분용기 직경이 작아질수록 연료다발 중심의 온도가 약간 감소함을 알 수 있다. 이는 처분용기 직경이 작아질수록 처분용기내의 열이 약간의 차이가 있지만 처분용기 밖으로 좀더 많이 확산되기 때문이라고 사료된다. 처분용기의 구조적 강도를 결정하는 처분용기 내부 주철삽입물(cast iron insert)에 발생하는 응력을 검토하면 완화된 안전계수 조건( $S=1.5$ 이상)을 지하수 포화중의 외력조건하에서와 지하수 포화후의 외력조건하에서 모두 만족하기 때문에 구조해석을 수행한 모든 직경의 가압경수로(PWR)형 처분용기는 구조적으로 안정적임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

가압경수로(PWR) 처분용기의 구조적 강도를 결정하는 처분용기 내부 주철삽입물(cast iron insert)에 발생하는 응력을 검토하면 지하수 포화중의 외력조건(load case 1)하에서와 지하수 포화후의 외력조건(load case 2)하에서 모두 구조해석을 수행한 모든 직경의 처분용기가 구조적으로 안정적임을 알 수 있다. 따라서 외력 및 안전계수가 완화된 조건에서는 가압경수로(PWR) 처분용기의 직경을 기존의 122cm에서 102cm로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 과학기술부 원자력중장기 개발사업 기금으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 권영주, 하준용, 최종원 (2002) 가압경수로 고준위폐기물 처분용기의 열응력 해석, 한국전산구조공학회 논문집, 15(3), pp.471~480.
- 권영주, 하준용, 최종원 (2004) 가압경수로 고준위폐기물 처분용기에 대한 크립해석, 한국전산구조공학회 논문집, 17(4), pp.413~421.
- 권영주, 최석호, 최종원 (2003) 고준위폐기물 처분용기와 벤토나이트 버퍼로 이루어진 복합구조물에 대한 비선형 구조해석 : 대칭암반 전단력, 한국전산구조공학회 논문집, 16(4), pp.369~376.
- Choi, J.W., Choi, Y.S., S.K, Kwon., Kuh, J.E., Kang, C.H. (1999) Technology Assessment of the Repository Alternatives to Establish a Reference HLW Disposal Concept, *Journal of the Korean Nuclear Society*, 31(6), pp.83~100.
- Kwon, Y.J., Kang, S., Choi, J. Kang, C. (2001) Structural Analysis for the Determination of Design Variables of Spent Nuclear Fuel Disposal Canister, *KSME International Journal*, 15(3), pp.327~338.