

# 고준위폐기물 열에 의한 처분용기 및 처분용기 주위 구조물의 시간경과에 따른 온도분포 변화

## A Study on the Temperature Distribution Change of the Spent Nuclear Fuel Disposal Canister and its Surrounding Structures due to the Spent Fuel Heat according to the Deposition Time Elapse

최 종 원\*                      권 영 주†

Choi, Jong-Won              Kwon, Young-Joo

(논문접수일 : 2006년 8월 18일 ; 심사종료일 : 2007년 2월 23일)

### 요 지

고준위폐기물을 지하 500m의 화강암 암반의 처분장에 장기간(약 10,000년 동안) 처분 시 폐기물에서 발생하는 열에 의하여 처분용기 및 처분용기를 감싸고 있는 주위 구조물(벤토나이트 버퍼, 암반 등)의 처분시간 경과에 따른 온도분포 변화를 알아내는 것은 처분장 설계를 위하여 매우 중요하다.

본 논문에서는 수치해석기법을 이용하여 고준위폐기물에서 발생하는 열에 의한 처분용기 및 벤토나이트 버퍼, 처분동굴을 포함하는 복합구조물의 온도분포 변화를 구하였다. 특히 처분 후 500년의 처분시간 경과에 따른 복합구조물의 온도분포 해석을 수행하여 온도분포 변화를 구하였다. 시간에 따른 온도분포 변화에 대한 해석결과를 분석한 결과 처분장 각 구성부분별로 차이는 있으나 처분초기부터 구성부분별로 각각 다르게 온도가 증가하는데 가장 늦은 부분은 150년 까지 완만하게 온도가 증가하다가 그 이후에는 온도가 서서히 감소하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 처분용기, 처분장, 온도분포, 수치해석

### Abstract

The prediction of the temperature distribution change of the spent nuclear fuel disposal canister and its surrounding structures (bentonite buffer, granitic rock etc.) due to the spent fuel heat is very important for the design of the 500m deep granitic repository for the spent nuclear fuel disposal canister (about 10,000 years long) deposition.

In this study, the temperature distribution change of the composite structure which comprises the canister, the bentonite buffer, the deposition tunnel due to the spent fuel heat is computed using the numerical analysis method. Specially, the temperature distribution change of the composite structure is analysed as the deposition time elapses up to 500 years. The analysis result shows that the temperature of each part of the repository increases slowly in different way but the latest part temperature increases slowly up to 150 years and thereafter decreases slowly.

**Keywords** : spent nuclear fuel disposal canister, repository, temperature distribution, numerical analysis

## 1. 서 론

최근의 보고(김호석, 2005 ; 신성철, 2005)에 의하면 현재 이용 가능하거나 개발 중인 에너지 기술 수준 하에서 지속 가능한 발전을 지원하는 형태의 에너지 부분을 구축하기 위해서는 단기적으로 원자력의 비중을 일정 수준으로 유지하

는 것은 불가피하다고 한다. 현재의 에너지 기술 하에서 화석연료의 사용을 줄이는 동시에 사회 발전에 필요한 에너지를 안정적으로 공급하는 방법은 그리 많지 않다. 이런 상황에서 원자력은 쉽게 무시할 수 없는 장점들을 갖고 있다. 원자력은 온실가스를 배출하지 않기 때문에 기후변화 협약의 이행에 있어서도 막대한 사회적 비용의 발생을 피할 수 있으

† 책임저자, 정회원 · 홍익대학교 기계정보공학과 교수

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

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

\* 한국원자력연구소 책임연구원

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2007년 8월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

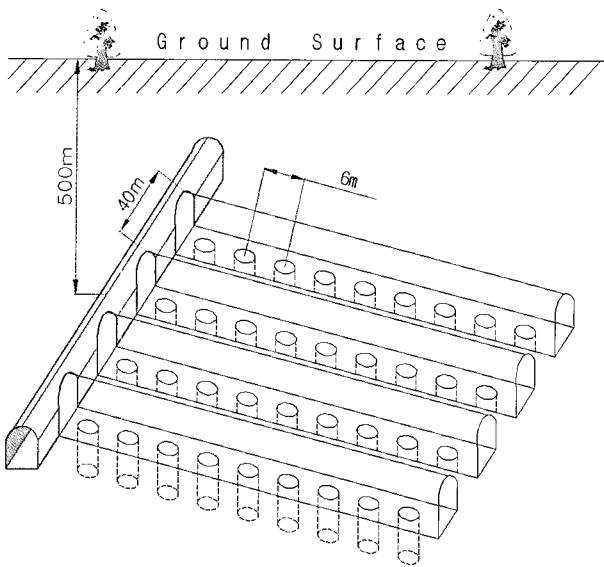


Fig. 1 Deep geological deposition concept of spent nuclear fuel disposal canister

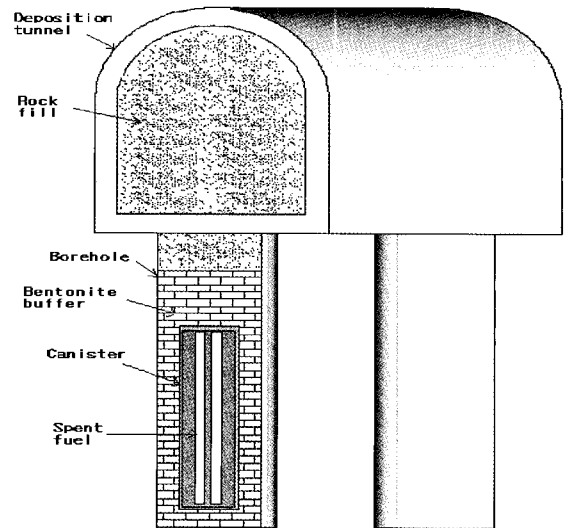


Fig. 2 Canister deposition tunnel and borehole section (composite structure studied in this paper)

며 화석연료의 고갈에 따른 에너지 가격의 상승으로 인한 에너지 부문의 불안정성을 해소할 수 있다. 단지 안전성에서 방사능 누출사고가 발생할 수 있는 단점이 있는 것이 걸림돌이다. 이를 극복하기 위하여 최근 미국, 영국, 프랑스, 스위스 등 선진국이 주도로 안전성, 환경친화성, 경제성 측면에서 보다 개선된 원자력 발전기술인 '제4세대 원자로' 기술을 개발하고 있다. 제4세대 원자력시스템은 기존 기술에 비하여 폐기물 발생, 안전성, 경제성 등이 향상된 기술로 원자력의 이용 확대에 있어서 걸림돌이 되었던 사회적 수용성을 크게 개선할 것으로 기대된다.

본 논문은 이와 같은 관점에서 원자로 사용 후 폐기물 발생에 대한 기술적 문제를 다루고 있다. 현재 원자로에서 사용 후 폐기물 특히 고준위폐기물 발생을 처리하는 기술 개발은 국가적으로 시급한 문제이다. 특히 고준위폐기물 처분장을 건설하는 기술개발은 중요하다. 따라서 원자로에서 배출되는 사용 후 고준위폐기물 처분에서 처분용기의 설계에 못지않게 중요한 것은 처분장 설계이다. 암반으로 이루어진 처분장 위치가 확보되면 처분장을 건설해야 되는데, 이때 중요한 것은 처분동굴(deposition tunnel)의 간격과 처분공(borehole)의 간격이다(Fig.1 참조). 본 연구에서 검토하는 처분장의 설계규격은 처분동굴(deposition tunnel)의 간격이 40m, 처분공(borehole)의 간격이 6m인 경우이다. 이와 같은 규격의 처분장에 대하여 본 연구에서는 처분용기내의 고준위폐기물에서 발생하는 열에 의한 처분용기와 처분용기 주위의 벤토나이트 버퍼, 처분동굴의 저장시간에 따른 열 분포 변화 해석을 수행하여 처분시점부터 약 500년 동안 처분장 내의 온도변화를 측정/

예측하고자 한다. 이와 같은 열 분포 해석(Thunvik 등, 1991)을 근거로 처분동굴 및 처분공들 사이 간격의 적정성 유무를 판단하여 처분장을 설계할 수 있으며 또한 전체 처분장을 건설한 후 고준위폐기물 처분용량들을 계산할 수 있다.

원자로에서 사용한 후 폐기되어지는 고준위폐기물은 위험한 방사능과 높은 온도를 가지고 있기 때문에 이를 관리하는 것은 상당한 주의가 필요하다. 고준위폐기물 처분용기는 어떤 조건 하에서도 고준위폐기물의 방사능독성이 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 안정성측면에서 여러 가지 조건을 고려해야 한다. 현재까지 전 세계적으로 고준위폐기물 처분장을 건설한 나라는 없지만 처분장 건설을 전제로 처분장 및 처분용기에 대한 연구는 상당히 진행되고 있는 실정이다(최종원 등, 2000). 이러한 고준위폐기물 처분용기는 보통 지하 수백 미터 아래의 안전한 장소에 보관하는 것이 좋다는 연구결과가 지배적이다(최종원 등, 2000). 이러한 지하 처분장의 종류도 나라마다 약간씩 차이가 있다. 우리나라에서 고려하고 있는 고준위폐기물 처분장은 스웨덴에서 고려하고 있는 화강암층의 지하 500m의 암반에 수직 처분공을 뚫고 처분하는 처분장 개념이다(Choi 등, 1999). 따라서 본 연구에서는 이와 같은 처분장에 처분되는 처분용기를 기준으로 연구를 수행하고자 한다. Fig. 1에서 처분터널(deposition tunnel) 사이의 간격과 처분공(borehole)의 간격은 고준위폐기물이 발생하는 열에 의해서 처분용기 주

위에 영향이 발생하지 않도록 결정되어야 한다. 특히 다음 Fig. 2에서와 같이 처분용기를 감싸고 있는 벤토나이트 버퍼의 화학적 안정성을 확보할 수 있도록 처분용기 외곽 셀 표면온도가 적당한 온도(100℃) 이하로 유지될 수 있도록 결정되어야 한다(Ahonen, 1995).

Fig. 1과 Fig. 2와 같이 처분되는 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 이 수압에 견딜 수 있어야 한다(Kwon 등, 2001) 또 처분용기내의 폐기물 다발에서는 비록 점점 감소하지 않은 계속 열이 발생하고 있기 때문에 이 열 발생에 따른 처분용기내의 온도분포에 의한 열응력에도 견딜 수 있어야 한다(권영주 등, 2002). 이외에도 비록 저장 시 지진발생이 없는 안전한 지하 암반층에 저장하더라도 미래에 발생할 수도 있는 지진 등에 의한 지각변동에 의하여 발생할 수 있는 암반의 갈라짐에 의해 처분용기에 가해지는 충격에도 견뎌야 한다(권영주 등, 2003). 또한 장시간 저장에 따라 처분용기에 발생할 수도 있는 크립 변형도 견뎌야 한다(권영주 등, 2004).

## 2. 온도분포 해석 문제의 구성

### 2.1 복합구조 시스템의 온도 분포 해석 모델

Fig. 1에서와 같이 처분공(borehole)들은 일정한 간격으로 처분동굴(deposition tunnel)내에 배열되어 있다. 또 처분동굴들도 일정한 간격을 유지하고 있다. 처분공 및 처분용기도 원통형의 1/4 대칭 형상이고, 이 1/4 모델 내에 한 개의 핵연료 다발이 존재한다. 따라서 전체 처분장내의 처분공들은 40m×6m 직사각형 규격의 무한 셀의 평면 배열로 근사 시킬 수가 있고, 또 각 처분공들은 1/4 대칭 형상이기 때문에 전체 복합구조물에 대한 온도분포 해석을 수행하는 대신에 본 연구에서는 20m×3m의 직사각형 평면 셀을 한 개의 단위 모델로 하는 온도분포 해석 모델을 택하여 온도분포 해석을 수행할 수 있다. 단 이 때 각 대칭면에서는 적당한 대칭 온도분포 경계 조건들(본 연구에서는 절연경계 조건)을 만족해야 된다(Thunvik 등, 1991). 사용 후 핵연료의 열 발생에 의한 처분장내에서의 온도변화를 알기 위해서 온도분포 해석 모델은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 「처분용기+벤토나이트 버퍼+처분터널」의 복합구

조물로 택한다. 단 대칭형상을 고려하여 전체 복합구조의 1/4 모델을 온도분포해석 모델로 택하여 해석을 수행한다. 지표면은 항상 일정한 온도(본 연구에서는 20℃)로 유지된다고 가정하며 처분용기가 처분장에 처분되는 초기에 지표면 밑 암반의 온도는 지표면에서부터 지하 100m당 3℃씩 증가한다고 가정한다. Fig. 2에서와 같이 복합 열전달 구조 시스템을 구성하고 있는 물질은 사용 후 폐기물(spent fuel)다발, 내부 주철 삽입물(cast iron insert), 외곽 구리 셸(copper outer shell), 압축 벤토나이트 버퍼(compact bentonite buffer), 처분터널 내를 메우는 부서진 바위 등과 혼합 벤토나이트(mixed bentonite backfill)들이다.

### 2.2 열원(heat source)

사용 후 폐기물은 매우 높은 고온을 유지하고 있다. 따라서 이들의 집합체인 폐기물 다발들은 하나의 열 덩어리로서 초기 수조에서의 저장 시나 수십 년 후에 처분용기에 밀봉되어 깊은 지하 처분장에 처분 시에도 하나의 열원(heat source)으로 작용하여 주위에 열을 방출하게 된다. 이 때 방출하는 열은 가압 경수로의 경우와 중수로의 경우 약간의 차이가 있으나 서서히 감소하는 것으로 알려져 있다(Fig. 3 참조). 따라서 고준위폐기물 열에 의한 처분용기 및 주위 구조물의 온도분포 변화 해석은 과도열전달 해석(Yoon 등, 2005; Jackson 등, 2005)을 수행하여야 한다.

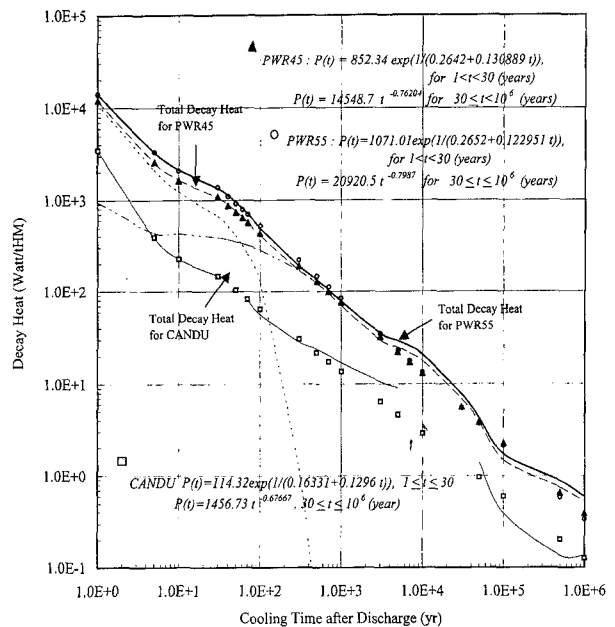


Fig. 3 Decay heat of spent PWR and CANDU fuels and the approximation formula for decay heat estimation(Choi 등, 1999)

### 2.3 복합구조 시스템 각 구성 물질의 물질상수

온도분포 해석을 위해서 필요한 복합 열전달 구조 모델 시스템을 구성하는 각 물질들의 열적 물질 상수 값들은 Table 1과 같다.

Table 1 Material property of each part composing the composite structure for the temperature distribution analysis(김진웅 등, 2001)

Material Properties	Spent fuel	Cast iron (Insert)	Copper (Outer shell)	Compacted bentonite (Buffer)	Mixed bentonite (Backfill)
Mass density $\rho$ ( $kg/m^3$ )	2,000	8,000	8,900	1,800	2,100
Thermal conductivity $k$ ( $W/m^{\circ}C$ )	0.135	52	386	1.3	2.6
Specific heat $C$ ( $J/kg^{\circ}C$ )	2,640	504	383	1,000	870.5

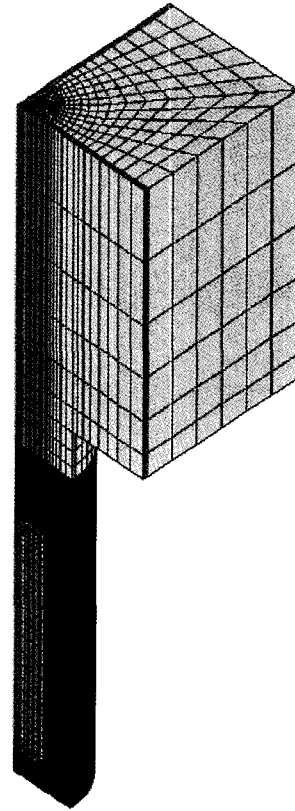


Fig. 4 Numerical model of the composite structure (canister+bentonite buffer+tunnel)

## 3. 온도 분포에 대한 수치해석

### 3.1 복합구조 시스템의 수치해석 모델링

Fig. 2의 복합구조물에 대한 온도분포 해석 모델에 대하여 수치해석을 수행하기 위해서 8개 절점의 육면체 유한요소(eight node hexahedron element)를 이용하여 유한요소 모델(Shu 등, 2005)을 만들었으며 처분용기와 처분용기 주위의 벤토나이트 버퍼 등은 세밀하게 유한요소 망을 구성하였다(Fig. 4 참조).

본 논문에서 채택한 유한요소망은 기존의 유사연구(Thunvik 등, 1991)에서 채택된 유한요소망(유한요소 수: 210개, 절점 수: 2,233개) 보다 더 세밀하게 구성하였다.

### 3.2 처분 시간 경과에 따른 복합구조 시스템에 대한 온도분포 해석

처분용기가 처분장에 처분되는 초기에 처분용기는 내부에 밀봉되어 있는 사용 후 고준위폐기물다발의 열 발생에 의하여 거의 일정한 온도를 유지하고 있고 처분장의 지하 암반도 어떤 일정 온도상태를 유지하고 있다. 처분용기가 처분장에 처분된 후 시간의 경과에 따른 처분용기를 포함한 복합 구조시스템내의 열전달에 의한 온도 변화를 측정하기 위해서는 처분용기 및 지하 암반에 대한 이들 초기의 온도분포를 알아야 한다. 지표면은 일정한 온도(20°C)로 처분용기

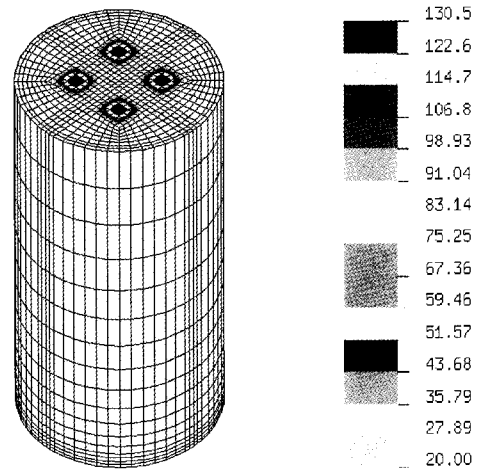
가 처분되는 기간(약 만년) 동안 유지된다고 가정하고 처분용기가 처분되는 초기에 지표면부터 100m 깊이 당 3°C만큼 씩 증가한다고 가정하면 처분용기 주위의 암반에 대한 초기온도 분포는 지표면에서의 20°C부터 선형적으로 증가(증가율=3°C/100m)하는 온도 분포로 가정할 수 있다. 이와 같은 온도에 대한 가정은 기존의 유사한 연구(Thunvik 등, 1991)에서 채택된 바 있다. 대칭 단면에서의 열경계조건은  $Q_{normami}$ (대칭면에 수직한 열전달율)=0 조건을 사용한다. 왜냐하면 대칭면에서 수직방향으로는 온도변화가 없기 때문이다.

처분용기가 처분공에 처분된 후 처분용기내의 사용 후 고준위폐기물은 서서히 열발생율이 감소하면서 계속해서 열을 발생한다. 경과시간은 고준위폐기물이 원자로에서 열을 발생하는 시점부터의 온도이고 열 발생 시점부터 40년 후에 사용 후 고준위폐기물 다발은 처분용기 내에 밀봉되어 처분장의 처분공에 처분되므로 처분용기내의 처분 초기의 온도 분포는 경과시간이 40년 일 때의 열 발생에 의한 온도분포이다. 고준위폐기물의 온도는 처분 직후 최고온도에 도달한 후 감소한다. 이후의 열 발생은 시간에 따라 서서히 감소하므로 이 열 발생에 의한 처분용기 및 벤토나이트

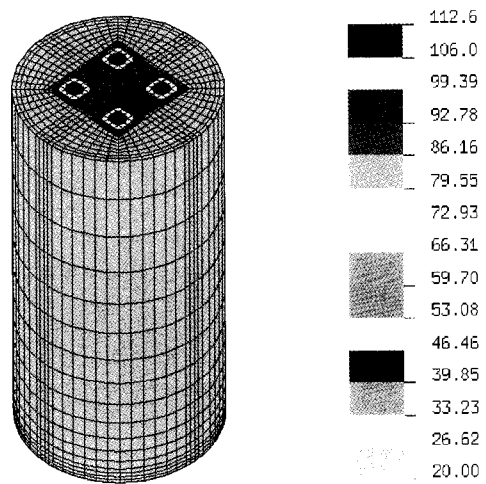
트 버퍼, 주위 암반내의 온도 분포는 시간에 따라서 변화하게 된다. 이때의 시간에 따른 온도분포는 복합구조 시스템을 구성하고 있는 각 구성 물질의 열적 특성에 따라서 좌우된다. 처분용기를 구성하는 물질(주철 및 구리)들에 비하여 이들을 감싸고 있는 벤토나이트 버퍼 물질들은 열전도율이 훨씬 작기 때문에(Table 1) 처분용기내의 고준위폐

Table 2 Maximum temperature change of each part composing the composite structure(unit : °C)

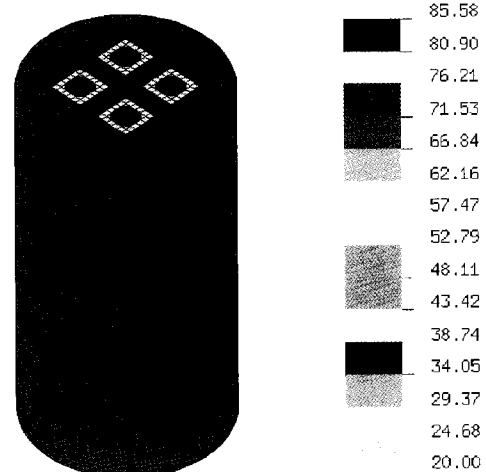
Composing part Elapse time	Spent fuel	Cast iron Insert	Copper Outer shell	Compacted bentonite Buffer	Tunnel backfill
1 year	124.0	76.70	75.25	75.24	45.13
3 years	130.0	84.19	82.77	82.76	52.0
5 years	130.5	86.25	84.88	84.87	54.97
8 years	129.7	87.55	86.25	86.24	57.67
10 years	128.8	87.99	86.73	86.72	58.99
13 years	127.8	88.53	87.31	87.31	60.62
15 years	126.9	88.69	87.51	87.50	61.52
18 years	125.3	88.67	87.54	87.54	62.61
20 years	124.1	88.53	87.43	87.42	63.20
25 years	122.0	88.46	87.42	87.41	64.52
30 years	119.6	88.04	87.07	87.06	65.49
35 years	117.8	87.77	86.84	86.84	66.30
40 years	115.9	87.31	86.43	86.42	66.91
45 years	114.3	86.98	86.13	86.13	67.45
50 years	112.6	86.53	85.72	85.72	67.87
60 years	109.8	85.76	85.02	85.01	68.53
70 years	107.4	85.04	84.34	84.34	68.99
80 years	105.3	84.35	83.70	83.70	69.33
90 years	103.4	83.71	83.10	83.10	69.57
100 years	101.8	83.12	82.54	82.54	69.74
150 years	95.41	80.65	80.19	80.19	70.02
200 years	91.14	78.79	78.40	78.40	69.87
250 years	88.03	77.32	76.99	76.99	69.58
300 years	85.58	76.10	76.81	75.81	69.24
350 years	83.62	75.08	74.82	74.81	68.88
400 years	81.98	74.19	73.95	73.95	68.53
450 years	80.59	73.41	73.19	73.19	68.19
500 years	79.38	72.72	72.51	72.51	67.86



(a) 5 years elapse after deposition

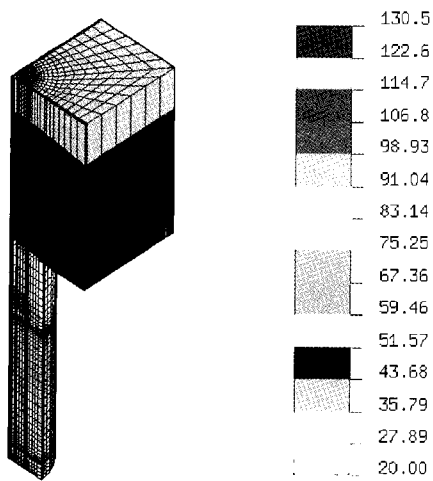


(b) 50 years elapse after deposition

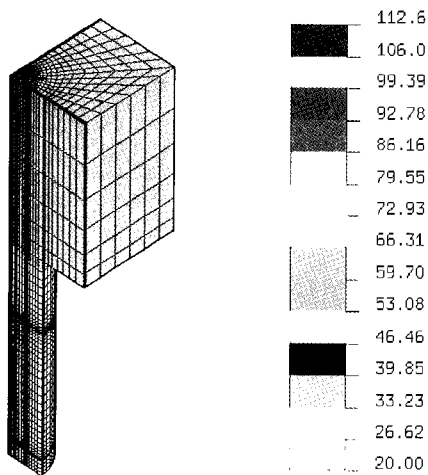


(c) 300 years elapse after deposition

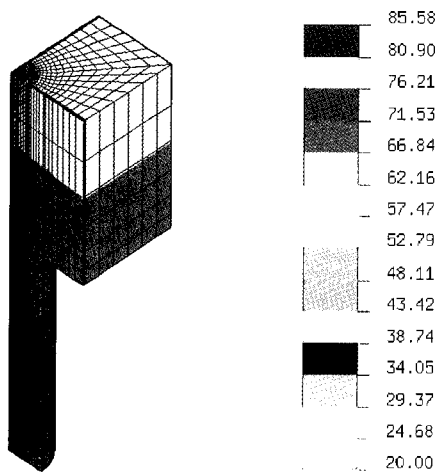
Fig. 5 Temperature distribution change of the canister according to the deposition time elapse(unit : °C)



(a) 5 years elapse after deposition



(b) 50 years elapse after deposition



(c) 300 years elapse after deposition

Fig. 6 Temperature distribution change of the composite structure(canister+bentonite buffer+deposition tunnel) according to the deposition time elapse(4 model)(unit : °C)

기물에서 발생하는 열은 처분초기에 주위로 전파되지 못하고 처분용기 근처에 갇혀 처분용기 및 그 주위의 온도가 급격히 증가할 것이 예상된다. 따라서 사용 후 고준위폐기물 다발의 열 발생에 의한 복합 구조시스템의 온도 해석은 시간에 따른 해석을 수행하여 시간에 따른 온도분포를 구하여야 한다. 수치해석은 범용상용 해석코드인 NISA를 이용하였다.

### 3.3 해석결과 및 분석

복합 구조 시스템의 처분시간 경과(본 연구에서는 0년~500년)에 따른 온도분포해석을 수행한 결과는 Table 2와 Fig. 5~6에 표시 되어있다. Fig. 5는 처분용기의 처분시간 경과에 따른 온도분포 변화를 나타내고 Fig. 6은 「처분용기+벤토나이트버퍼+처분동굴」 복합구조물의 처분시간 경과에 따른 온도분포 변화를 나타낸다. 해석결과를 분석하면 처분용기 내 고준위폐기물 다발의 온도는 처분 초기 급격히 증가하기 시작하여 처분 후 4~5년 사이에 최고 온도에 도달한 후 서서히 감소함을 알 수 있다. 또한 처분용기 외곽 셀 표면의 온도도 처분 초기 급격히 증가하기 시작하여 처분 후 15~18년 사이에 최고 온도에 도달한 후 서서히 감소함을 알 수 있다. 이와 같이 처분초기 처분용기내의 내부주철 삽입물과 외곽셀의 급격한 온도증가는 처분용기를 구성하는 물질과 처분용기를 감싸고 있는 물질의 열전도율 차이에 의하여(Table 1) 처분초기 처분용기 내에 열이 갇혀있는 결과 때문이라고 사료된다. 그러나 시간의 차이는 있지만 처분용기 및 벤토나이트 버퍼와 처분 터널 내 혼합 벤토나이트의 온도는 처분 초기 증가하여 최고온도에 도달했다가 그 이후에는 서서히 감소함을 알 수 있다. 가장 늦은 온도 증가를 보이는 처분동굴 내 혼합 벤토나이트의 온도는 약 150년까지 서서히 증가했다가 그 이후 감소함을 알 수 있다. 외곽셀과 벤토나이트 버퍼의 최고온도는 거의 일치하는데, 이는 얇은 셀 두께로 인하여 외곽셀과 벤토나이트 버퍼 경계면에서 두 물체의 최고 온도가 발생하기 때문으로 사료된다.

### 4. 결 론

처분용기 내 고준위폐기물의 열에 의한 「처분용기+벤토나이트 버퍼+처분터널」 복합구조의 처분시간 경과에 따른 온도분포 해석결과를 분석하면 처분시간이 지남에 따라 고준위폐기물 다발의 열 발생은 점점 감소하지만 고준위폐기물다발 주위를 감싸고 있는 내부 주철삽입물(cast iron insert), 처

분용기 외곽셀(outer shell), 압축 벤토나이트 버퍼(compact bentonite buffer), 처분터널(deposition tunnel) 내를 채우고 있는 혼합 벤토나이트(mixed bentonite back fill)들의 온도는 처분 초기 어느 일정한 기간 동안에는 꾸준히 증가하다가 그 이후부터는 서서히 감소함을 알 수 있다. 특히 처분용기 외곽 셀 표면의 온도가 처분 초기 급격히 증가하기 시작하여 처분 후 15~18년 사이에 최고 온도에 도달한 후 서서히 감소함을 알 수 있다. 이온도는 외곽셀의 온도가 100°C를 넘지 않아야 한다는 처분장 설계 조건을 만족함을 알 수 있다. 따라서 처분터널 간격 40m, 처분공 간격 6m의 처분장 건설 규격은 처분장 설계에 문제가 없음을 알 수 있다. 그러나 더 적당한 처분장 규격을 구하기 위해서는 다른 규격에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다. 처분용기 및 벤토나이트 버퍼와 처분 터널 내 혼합 벤토나이트의 온도도 처분 초기 증가했다가 서서히 감소한다. 본 연구에서 해석에 적용한 500년의 처분 경과시간으로 어느 정도 처분장 설계에 필요한 처분장내 주요 핵심 부분(본 연구에서 취급한 「처분용기+벤토나이트 버퍼+처분동굴」의 복합구조)의 온도 분포 변화를 구할 수 있었지만 좀 더 정확하고 풍부한 처분장 설계 데이터를 얻기 위해서는 주위암반을 포함하는 복합구조물로 해석모형을 확장하고 처분경과 시간을 500년 이 아닌 더 긴 경과 시간을 적용하여 온도 분포 변화에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

구조적으로 안전한 처분장을 설계하기 위해서는 일차적으로 본 논문에서 고려한 처분용기 내 고준위 폐기물다발에서 발생하는 열에 의한 처분용기 및 처분용기 주위 구조물(벤토나이트버퍼, 처분터널)의 온도분포를 구해야 하지만 열 확산에 따른 주위구조물에 대한 열응력해석 및 크립해석 더 나아가 이들에 의한 크랙(crack)발생 등에 대한 추가적인 구조해석이 필요하다고 사료된다. 그러나 본 연구는 이러한 처분장의 구조적 안전성 해석에 선행적으로 필수인 처분장내의 온도분포해석만을 다루었다.

### 감사의 글

본 논문은 과학기술부 원자력증장기 개발사업 기금으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

권영주, 하준용, 최종원 (2002) 가압경수로 고준위폐기물 처분용기의 열응력 해석, 한국전산구조공학회논문집, 15(3), pp.471~480.

권영주, 하준용, 최종원 (2004) 가압경수로 고준위폐기물 처분용기에 대한 크립해석, 한국전산구조공학회논문집, 17(4), pp.413~421.

권영주, 최석호, 최종원 (2003) 고준위폐기물 처분용기와 벤토나이트 버퍼로 이루어진 복합구조물에 대한 비선형 구조해석: 대칭압반 전단력, 한국전산구조공학회논문집, 16(4), pp.369~376.

김진웅, 강철형, 배대석 (2001) 화강암반내 단층지역에 위치한 지하 방사성폐기물처분장 구조거동연구, 터널과 지하공간, 한국암반공학회논문집, 11(3), pp.257~269.

김호석 (2005) 지구적 환경변화와 지속가능한 발전: 21세기 국내외 여건에 부합하는 에너지 부문 구축 방안, 과학기술정책, 154, pp.2~17.

신정철 (2005) 에너지 기술개발 동향 및 우리나라 전략, 과학기술정책, 154, pp.18~38.

최종원, 권상기, 강철형 (2000) 세계 주요국의 고준위폐기물 처분개념과 현황, 터널과 지하공간, 한국암반공학회논문집, 10(1), pp.1~16.

Ahonen, L. (1995) Chemical Stability of Copper Canisters in Deep Repository, Report YJT-94-13, Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki, p.101.

CHOI, J.W., CHOI, Y.S., KWON, S.K., 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.

CHOI, J.W., Ko, W.I., KANG, C.H. (1999) Reference Spent Fuel and Its Characteristics for a Deep Geological Repository Concept Development, *Journal of the Korean Nuclear Society*, 31(6), pp.23~38.

Jackson, J., Klausner, J., Liao, J., Mei, R. (2005) Transient Heat Transfer During Cryogenic Chill-down, 2005 ASME Summer Heat Transfer Conference, p.50.

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.

Yoon, S.H., Jeon, S.M., Kim, J. (2005) Transient Thermal and Structural Analysis of the Liquid Rocket Turbopump Turbine, 2005 ASME Summer Heat Transfer Conference, p.30.

Shu, Y., Ai, X., Li, B. (2005) Discontinuous Finite Element Modeling of Grain Growth Behaviour of

Polycrystalline Material, 2005 ASME Summer Heat Transfer Conference, p.29.

**Thunvik, R., Braester, C.** (1991) Heat Propagation

from a Radioactive Waste Repository. SKB 91 Reference Canister, Technical Report 91-61, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, p.19.