

전산유체학을 이용한 고준위 방사성 폐기물 처분장의 자연환기량에 의한 온도예측

노장훈*, 유영석, 장승현, 박선오, 김진

A Study on the Prediction of HLW Temperature from Natural Ventilation Quantity using CFD

Jang-hoon Roh*, Yeong-seok Yu, Seung-hyun Jang, Seon-oh Park, Jin Kim

Abstract This study predicted temperature in the disposal tunnels using computational fluid dynamics based on natural ventilation quantity that comes from high altitude and temperature differences that are the characteristics of high level waste repository. The result of the previous study that evaluated quantitatively natural ventilation quantity using a hydrostatic method and CFD shows that significant natural ventilation quantity is generated. From the result, this study performed the prediction of temperature in disposal tunnels by natural ventilation quantity by the caloric values of the wastes, at both deep geological repository and surface repository. The result of analysis shows that deep geological repository is effective for thermal control in the disposal tunnels due to heat transfer to rock and the generation of sufficient natural ventilation quantity, while surface repository was detrimental to thermal control, because surface repository was strongly affected by external temperature, and could not generate sufficient natural ventilation quantity. Moreover, this study found that in the case of deep geological repository with a depth of 200 m, the heat of about 10°C was transferred to the depth of 500 m. Thus, it is considered that if the high level waste repository scheduled to be built in the country is designed placing an emphasis on thermal control, deep geological repository rather than surface repository is more appropriate.

Key words High level waste repository, Deep geological repository, Surface repository, CFD, Natural Ventilation Quantity

초 록 본 연구에서는 고준위 방사성 폐기물 처분장의 특징인 높은 고도차와 온도차이로 인해 발생하는 자연환기량을 바탕으로 처분터널내 온도를 전산유체학을 활용하여 예측하였다. 선행된 연구에서 Hydrostatic method와 CFD를 활용하여 자연환기량을 정량적으로 평가한 결과 상당히 큰 자연환기량이 발생이 됨을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 폐기물 발열량에 따라 발생하는 자연환기량으로 인한 처분터널내 온도예측을 실시하였으며, 처분장을 크게 심지층 처분장과 지상처분장으로 나누어 온도예측을 실시하였다. 해석결과 심지층 처분장은 암반으로의 열전달과 충분한 자연환기량의 발생으로 처분장내 온도 제어에 효과적인 반면에, 지상처분장의 경우 외부온도의 영향을 크게 받고 충분한 자연환기량을 발생시키지 못하여 온도제어에는 불리함을 확인하였다. 또한 심도 200 m 심지층 처분장의 경우 심도 500 m까지 약 10°C 정도의 열이 전달됨을 확인하였다. 즉, 국내에 건설 예정인 고준위 방사성 폐기물 처분장을 온도제어에 중점을 두고 설계한다면 지상처분장보다는 심지층 처분장이 타당한 것으로 연구되었다.

핵심어 고준위 방사성 폐기물 처분장, 심지층 처분장, 지상처분장, 전산유체학, 자연환기량

Received: Dec. 7, 2012

Revised: Dec. 21, 2012

Accepted: Dec. 21, 2012

***Corresponding Author:** Jang-hoon Roh

(Tel) +82328727551, (Fax) +82328727550

E-Mail) iglord2@naver.com

INHA University, 100 Inha-Ro, Nam-gu, Incheon (402-751), Korea

1. 서론

원자력 발전은 다른 발전에 비하여 효율이 높고 이산화탄소를 배출하지 않는 친환경적인 발전방법이다. 국내의 경우 장기적인 에너지 수요상황을 고려한다면 이러한 원자력 발전의 비중은 점차 늘어날 것으로 예측되

고 있다. 하지만 원자력 발전소를 안정적으로 가동하기 위해서는 폐기물 처분장을 효율적이고도 안전하게 운영하여야 한다. 현재까지 국내에서 발생하는 폐기물들은 발전소 내 임시저장을 통해 운영하고 있지만 이러한 임시저장소는 가까운 시일 내에 포화상태에 도달할 것으로 예측되고 있다. 이러한 시점에서 원자력 발전의 지속적인 운영을 위한 방사성폐기물 처분장의 건설이 매우 중요한 과제로 떠오르고 있으며, 현재 경주에 중·저준위 방사성 폐기물의 처분장이 건설중에 있다.

본 연구에서는 원자력 발전소의 운영 시 발생하는 방사성 폐기물 중, 고준위 폐기물의 처분장을 대상으로 연구를 수행하였다. 고준위 방사성 폐기물들은 높은 방사능을 지닌 방사성 폐기물로서 사용 후 핵연료를 재처리한 폐기물이다. 고준위 방사성 폐기물은 장기간에 걸쳐서 방사성 핵종들을 방출시키고, 이러한 핵종에서 나오는 붕괴열 때문에 특별한 관리가 요구되는 물질이다¹⁾. 이러한 고준위 방사성 폐기물 처분장의 연구는 1970년대부터 미국, 캐나다, 스웨덴, 일본과 같은 선진국에서 이미 선행연구를 시작하여 현재 운영중에 있지만, 국내에서는 현재까지 다양한 실증연구만이 진행되고 있는 실정이다^{2,3)}. 고준위 방사성 폐기물은 일반적으로 지하 수백 미터의 단단한 암반에 처분하는 심지층처분장이 가장 안전한 방법으로 고려됨에 따라서 본 연구에서는 고준위 방사성 폐기물 처분장을 위한 심지층 처분장을 중심으로 연구를 진행하였다. 고준위 방사성 폐기물의 심지층 처분장은 높은 고도차와 온도차이로 인하여 충분한 자연환기량이 발생할 것으로 예측됨에 따라서 사전에 심부 200 m의 처분장을 대상으로 자연환기량을 Hydrostatic method와 CFD를 활용하여 계산하였다. 계산된 자연환기량이 상당히 크게 나타났고, 이러한 자연환기량이 처분터널내 온도를 얼마나 낮출수 있는지에 대한 연구가 필요하게 되었다. 이에 따라 본 연구에서는 건설예정인 고준위 방사성 폐기물 처분장의 심지층 처분방법의 타당성을 열적 측면에서 검토하기 위하여 선행연구된 자연환기량을 바탕으로 처분터널내 대기 온도를 CFD를 활용하여 분석하였다. 또한 지상처분장과의 대기온도 분석을 함께 실시함에 따라서 두 처분 방법을 비교·분석하였다.

2. 선행 연구

국내에 건설 예정중인 고준위 방사성 폐기물 처분장은 심지층 처분에 중점을 두고 연구가 진행중이다. 이러한 심지층 처분장은 지하시설 공기통로 입구의 높은 고도차 및 지하시설 내·외부의 높은 온도차이로 인하여

충분한 자연환기량이 발생할 수 있다. 이에 따라 선행연구된 논문 “고준위 방사성 폐기물 발열량에 따른 자연환기력 연구”에서는 자연환기량의 정량적 분석을 위해 Hydrostatic method와 전산유체학(CFD)를 적용하여 자연환기량을 계산하였다. Hydrostatic method에는 공기의 비열을 바탕으로 온도차이를 계산하고 이를 굴뚝효과에 의한 자연환기력에 적용한 후에 Atkinson Equation에 적용하여 최종적으로 자연환기량을 결정하는 방법을 Iteration method에 적용하여 계산하였다.

계산 결과 폐기물의 열량이 1000 KW~4000 KW까지 변화될 때 자연환기량이 93~148 m³/s정도 발생하는 것으로 계산되었다⁴⁾. 또한 동일한 처분 모델을 바탕으로 전산유체학(CFD)를 적용하여 해석한 결과, 유입되는 자연환기량은 82~143 m³/s로 계산됨에 따라 두 방법에 대한 오차는 크지 않았다⁴⁾. 이렇게 발생하는 자연환기량이 상당한 것으로 판단되어짐에 따라 이러한 자연환기량이 심지층 처분장에서 주로 발생하는 문제점 중의 하나인 처분터널 내 온도를 얼마나 감소시킬 수 있으며, 처분터널내 허용온도를 충족시키는데 대한 연구를 진행하게 되었다.

3. 고준위 방사성 폐기물 환기기준

국내에서는 고준위 방사성 폐기물의 처분 사례가 없기 때문에 미국의 Yucca Mountain Site에서 제시한 온도조건을 기준으로 활용하였다. 고준위 방사성 폐기물은 폐기물의 전도 및 복사열에 의해 터널 내의 공기를 가열시키기 때문에 고준위 폐기물 처분장 시스템은 필요에 따라 처분 터널 내의 공기 냉각 조건을 요구한다. Yucca Mountain Site는 미국의 고준위 방사성 폐기물 처분장으로서 Table 1은 Yucca Mountain Site에서 사용되는 온도 기준을 보여준다. 보여지는 온도는 처분장 내 어떠한 냉각 시스템 없이 순수한 환기량에 의한 온도 기준이다. Yucca Mountain Site에서는 사람의 출입이 가능한 공간의 허용온도를 48℃까지 규정하고 있으며, 25℃기준으로 8시간까지 작업을 허용한다. 즉, 적절

Table 1. Proposed temperature criteria in Yucca Mountain Site⁵⁾

Item	Temperature
Human access maximum temperature	48℃
Human full shift occupation (8 hours)	25℃
Instruments, monitoring equipment, and remote access equipment limit	50℃

한 환기를 통해 규정되어 있는 온도 조건을 만족해야만 한다. 본 연구에서는 폐기물에서 발생하는 발열량에 따른 자연환기량을 바탕으로 온도 기준을 충족하는지의 여부를 판단하고자 한다.

4. 온도예측을 위한 방사성 폐기물 처분장의 모델

한국형 고준위 방사성 폐기물 처분장의 개념 설계는 현재 중간처분장의 심부 200 m와 영구처분의 심부 500

m로 나누어 설계가 진행중에 있으며, 거치되는 폐기물의 정보는 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 정보들은 한국원자력 연구원에서 제공받았으며, 보안을 위해 폐기물의 명칭은 알파벳으로 표기하였다. 테이블에서 보이듯이 C-waste와 D-waste같은 경우 높은 발열량을 지닌 폐기물로서 특별한 환기시스템이 요구되는 폐기물이기 때문에 본 연구에서는 C-waste와 D-waste가 거치되는 심도 200 m의 처분장의 온도예측을 실시하였다. 설계 조건을 바탕으로 직경 6 m의 수직갱과 폭 6

Table 2. Information of HLW repository

20,000ton	A-waste	B-waste	C-waste	D-waste
Repository location	200 m level	500 m level	200 m level	200 m level
Quantity of heat (kW/tunnel)	×	38	5,174	6,523
Number of tunnel	2	16	2	1
Ventilation system	×	×	○	○
Tunnel Area W×H (m)	5.3×5.0	4.0×4.1	7.0×6.0	7.0×6.0
Tunnel length (m)	200	220	130	130
Period of heat (year)	×	100	40	40
Shaft	Four shaft(diameter 5~6 m) : Air intake, Return, Human path, Waste path			

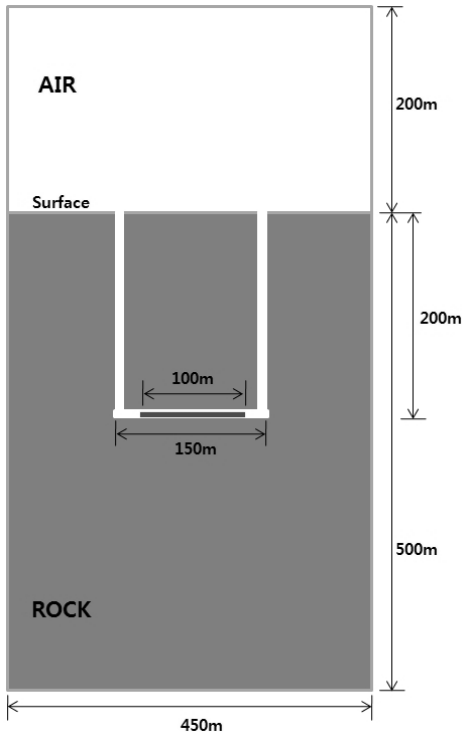


Fig. 1. Domain of Deep geological repository for PHOENICS Simulation

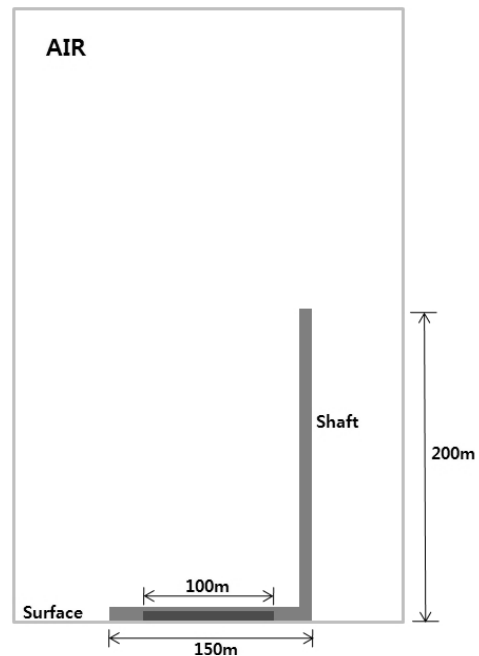


Fig. 2. Domain of Surface repository for PHOENICS Simulation

m, 높이 6 m, 길이 100 m의 처분터널을 가정하였고, 심도 500 m에도 처분터널이 건설되는 것을 감안하여 모델의 영역을 심도 500 m까지 확장하여 설계하였다. 또한 이러한 심지층 처분장에서 발생하는 대기온도를 비교·분석하기 위하여 동일한 처분장이 지상에 건설된다는 가정 하에 지상처분장의 온도예측을 함께 실시하였다. 지상 처분장의 경우 고도차이에 의한 비슷한 자연환기력을 적용하기 위하여 한 개의 배기 수직갱을 가정하였으며, 수직갱의 높이는 200 m이다. 지상처분장의 경우 일반적인 건식 지상 처분 시 콘크리트 벽의 두께인 1 m를 적용하여 모델을 완성하였다. 본 연구에 사용된 처분장의 모델을 측면도로 간략하게 표현하면 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

5. 전산유체학(CFD ; PHOENICS 2010)를 활용한 처분터널내 대기온도 예측

5.1 PHOENICS 2010

환기시스템에 의한 기류분포와 열해석과 같은 유동장은 Navier-stokes 방정식으로 19세기 중반에 완성이 되었으며, 이러한 방정식을 컴퓨터를 통해 수치해석적으로 계산할 수 있는 전산유체학은 현재까지 계속 발전을 하고 있다. 본 연구에서는 고준위 방사성 폐기물 처분장 내 온도해석을 위하여 PHOENICS 2010(Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series)를 사용하였다. 유한 체적법 및 수렴성을 향상시킨 SIMPLEST 알고리즘을 사용하고 있으며, 그 정확성

은 이미 많은 연구에 적용되어 검증되었다⁷⁾. 본 프로그램에 적용한 난류모델은 PHOENICS에서 일반적으로 널리 사용되는 k-ε Model이다. k-ε Model은 열전달 및 난류모델에 이미 그 적합성을 인정받아 난류모델의 해석에 주로 사용되는 모델이다^{7,8)}.

5.2 PHOENICS에 의한 처분터널내 온도 예측

C-waste와 D-waste의 발열량을 바탕으로 처분터널 내 폐기물의 발열량이 1000 KW에서 4000 KW까지 1000 KW씩 4단계에 걸쳐 열해석을 실시하였다. 처분장내 온도해석을 위하여 처분장을 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 30개의 일정한 구간으로 나누어 온도를 예측하였다. Fig. 3의 왼쪽에 보이는 기둥은 공기가 유입되는 입기수직갱이며, 오른쪽에 나타난 기둥은 배기 수직갱이다. Fig. 4는 지상처분장으로서 왼쪽 입구로부터 공기가 유입되고 오른쪽 배기 수직갱을 통해 공기가 배기되는 형태이다. 심지층 처분장의 경우 지열에 의한 영향을 고려하기 위하여 암반의 각 심도에 암반온도를 다르게 설정하였다. 적용되는 지열의 영향은 3°C/100 m로 가정하였다. 그리고 심지층 처분장의 모델 해석에 필요한 암반의 열적 물성치는 한국 원자력 연구원에 위치한 고준위 폐기물 처분 시스템의 다양한 현장 실증연구시설인 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)의 실측 데이터를 활용하였다(Table 3). 또한 지상처분장의 경우 심지층 처분장과 비교를 위해 동일한 자연환기량을 발생시키기 위하여 수직갱의 높이를 200 m로 설정하였지만, 현실적으로 200 m의 수직갱 건설은 어렵

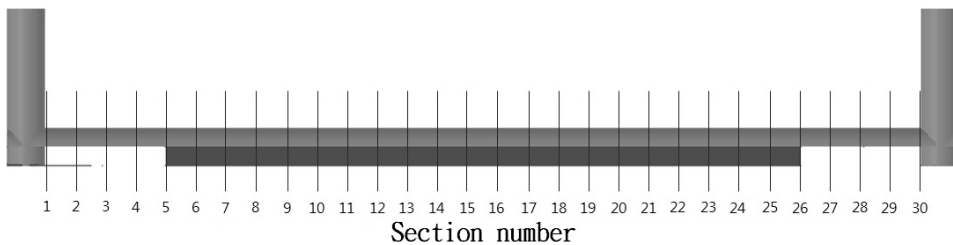


Fig. 3. Section number of the Deep Geological Repository for temperature analysis

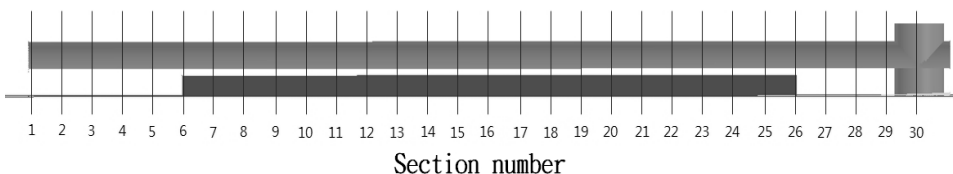


Fig. 4. Section number of the Surface Repository for temperature analysis

Table 3. Heat property of rock in KURT⁶⁾

Density	2640 kg/m ³
Poisson ratio	0.25
Specific heat	1000 J/kg °C
Thermal conductivity	2.9 W/m °C
Thermal expansion coefficient	8×10 ⁻⁶ /°C
Roughness	0.775 m
Heat transfer coefficient	4.73 W/m ² ·°C

Table 4. Condition of CFD (Phoenics 2010)

Simulation Program	Phoenics 2010
Domain material	20°C, 1atm air
Domain size	Rock 450×300×500 (m)
	Air 450×300×200 (m)
Grid	108×79×42
Tubulance Model	k-εModel
Iteration	3000/steps
Heat source	Steel at 27 deg C (C=1%)

기 때문에 추가로 건설 가능한 10 m의 수직갱과 50 m의 수직갱을 추가로 해석하였다. PHOENICS 2010에 사용된 조건은 Table 4와 같다. Table 3에 나타난 열전달계수(Heat Transfer Coefficient)는 KURT내 열전달계수를 결정하기 위한 실험적 논문을 바탕으로 여름철 열전달계수와 4.54 W/m²·°C와 겨울철 열전달계수 4.93 W/m²·°C의 평균값을 사용하였다⁶⁾.

6. 연구결과

6.1 심지층 처분장의 처분터널 내 온도해석

Fig. 3에서와 같이 처분터널내 30개의 구간에서 대기 온도를 1000~4000 KW까지 해석을 실시한 결과 20°C의 공기가 유입된 후에 발열체를 지나가는 동안 4000 KW의 경우 발열체의 끝 구간에서 41.78°C까지 상승이 됨을 확인 할 수 있었다(Fig. 5). 발열체를 통과한 후에 upcast로 올라가는 구간에서는 온도가 급격히 떨어짐을 확인하였다. 또한 해석결과에 나타난 최대 온도는 Yucca Mountain Site에서 규정한 최대허용온도 48°C를 초과하지 않는 것으로 해석되었다. 즉 동일한 처분장이 건설되었을 경우에 발생하는 자연환기량만으로도 처분터널 내 허용온도를 충족시킬 수 있다.

심지층 처분장 내 존재하는 폐기물 발열에 따라서 심도 500 m 처분장의 암반 온도에 미치는 영향을 분석하

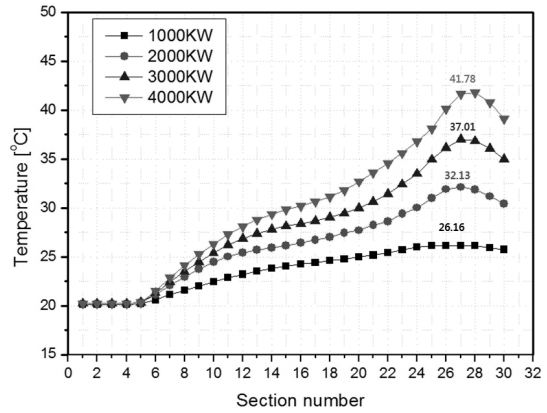


Fig. 5. Comparison of Temperatures in the Deep Geological Repository

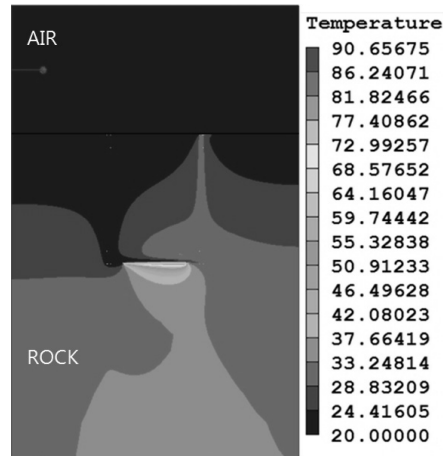


Fig. 6. Heat transmission of 500 m Rock [1000 KW]

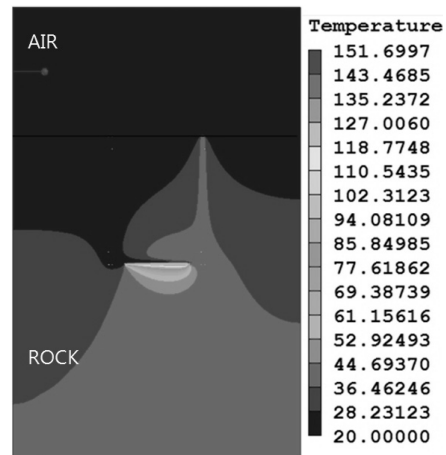


Fig. 7. Heat transmission of 500 m Rock [2000 KW]

기 위하여 암반의 해석 영역을 심도 500 m까지 확장하여 해석을 살펴보았다. 지열에 의한 영향을 3°C/100 m로 가정하고 심도 500 m의 암반온도를 35°C로 설정한 후에 해석을 진행하였다. CFD의 해석 조건은 대기온도 해석 조건과 동일하게 설정하였다. 500 m에서의 암반 온도 측정 구간은 Fig. 2에서 보이듯이 200 m 처분장에서 해석된 가장 높은 온도 구간인 25~28 section에서의 500 m암반의 최대온도를 살펴보았다. 해석결과 200 m 처분장에 1000 KW의 열원에는 심도 500 m암반의 온도변화가 매우 작았지만, 열량이 증가함에 따라 4000 KW의 경우 심도 500 m 암반까지 11°C의 온도가 전달되는 것을 확인하였다. 즉, 심도 500 m 처분장의 암반 온도는 46°C를 넘어갈 것으로 예측됨에 따라서 실제

500 m 처분터널의 폐기물 발열량과 더불어 허용온도 48°C를 초과할 것으로 예측된다. 이에 따라서 500 m 처분터널의 운영에는 추가적인 환기시설의 운영이 필요 할 것으로 예측된다. CFD의 해석 결과를 Fig. 6~9에 나타내었다.

6.2 지상 처분장의 처분터널 내 온도해석

심지층 처분과 동일한 방법으로 지상처분장의 대기온도 예측을 실시하였다. 지상처분장에 존재하는 굴뚝의 높이는 10 m, 50 m, 200 m로 각각 설정하여 동일한 해석 모델을 바탕으로 해석을 실시하였다. 200 m 굴뚝의 해석 도메인은 Fig. 2와 같으며, 10 m와 50 m 굴뚝의 지상 처분장은 Fig. 10, 11과 같다. 해석 결과 발열체가 끝나기 15 m 전쯤에서 일반적으로 최고 온도가

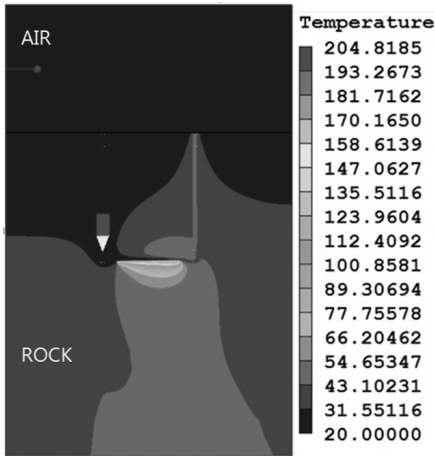


Fig. 8. Heat transmission of 500 m Rock [3000 KW]

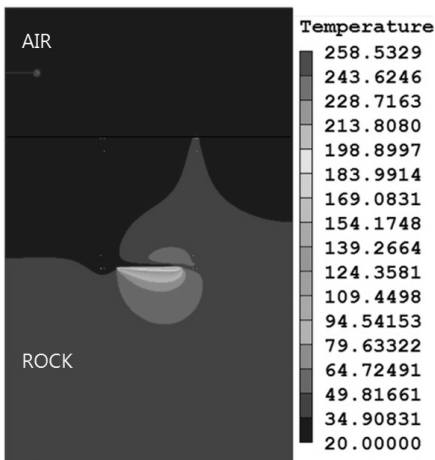


Fig. 9. Heat transmission of 500 m Rock [4000 KW]

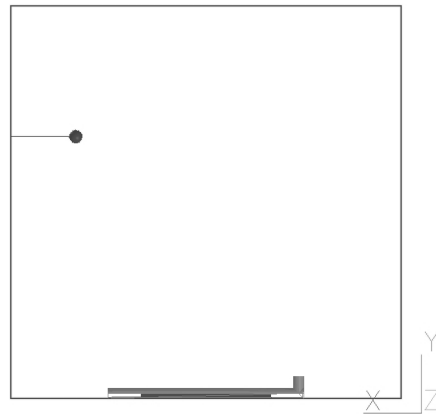


Fig. 10. Domain of Surface repository for PHOENICS Simulation [10 m Stack]

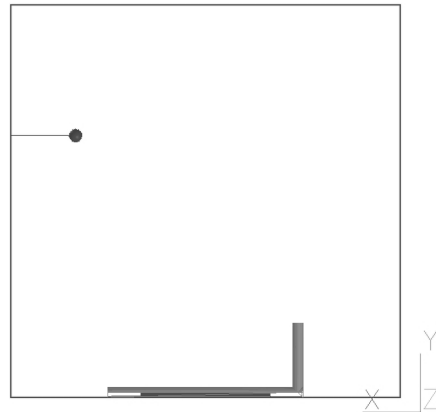


Fig. 11. Domain of Surface repository for PHOENICS Simulation [50 m Stack]

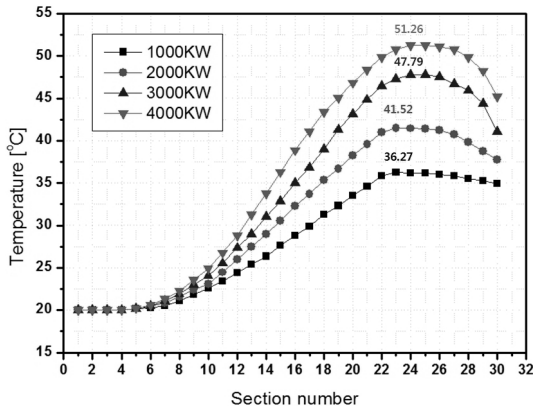


Fig. 12. Comparison of Temperatures in the Surface Repository [10 m Stack]

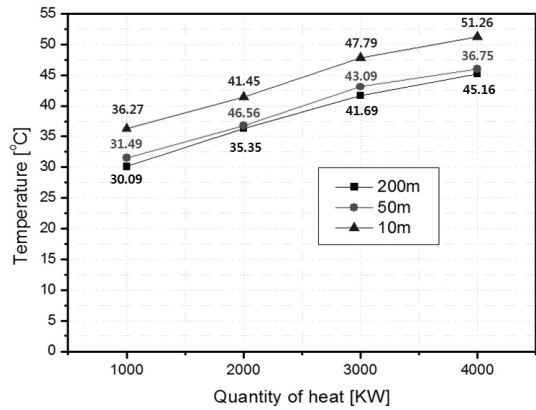


Fig. 15. Comparison of the Air Temperature in Repository

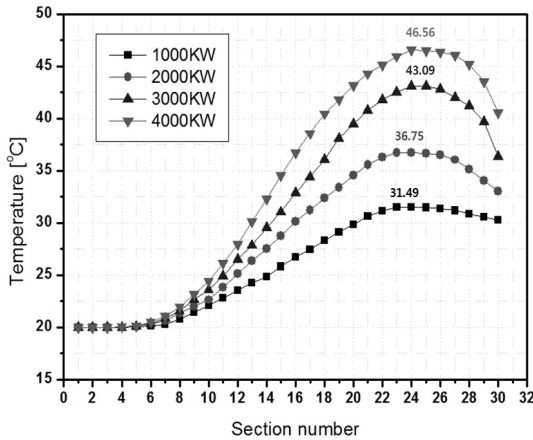


Fig. 13. Comparison of Temperatures in the Surface Repository [50 m Stack]

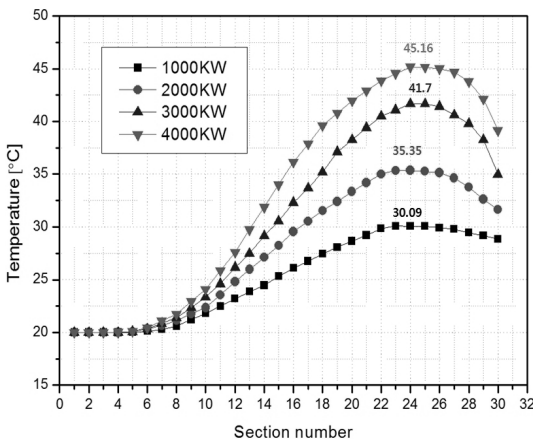


Fig. 14. Comparison of Temperatures in the Surface Repository [200 m Stack]

나타났으며, 발열체의 끝 구간에서부터 온도가 급격하게 떨어지는 결과가 나타났다(Fig. 12-14). 이는 콘크리트의 두께가 1 m 정도로 심지층 처분장에 비하여 매우 작기 때문에 외부의 대기 온도에 영향을 많이 받은 것으로 해석된다. 수직갱의 높이에 따른 처분 터널 내 온도는 수직갱의 높이에 따라 차이를 보이고 있다. 10 m 일 경우에는 발생하는 굴뚝효과에 의한 자연 환기력이 크지 않고 이에 따른 자연 환기량이 작기 때문에 처분 터널 내 온도가 가장 높게 해석이 되었다. 굴뚝의 높이가 증가함에 따라 발생하는 자연 환기량은 커지고, 처분 터널 내 온도는 점차 작아짐을 확인하였다. 일반적으로 수직갱의 높이가 200 m 인 처분장은 사실상 불가능한 처분장임을 감안한다면, 10 m와 50 m 수직갱의 경우 자연 환기량만으로는 온도 제어에 어려움이 있을 것으로 예측된다. Fig. 15는 굴뚝 높이에 따른 처분터널 내 최대 온도를 비교한 그래프이며, 10 m 굴뚝의 경우 4000 KW일 때 최고 51.26°C까지 온도가 상승함을 볼 수 있다. 이는 심지층 처분장에 비하여 약 10°C 정도 높은 온도로서 지상처분장의 운영 시 온도제어를 위한 추가적인 환기선풍기가 필요하다는 것을 의미한다. 또한 본 연구에서 CFD 해석 시 대기조건을 20°C, 1기압 상태로 해석하였다. 하지만 실제 여름철과 겨울철의 대기 상태를 반영하여 해석을 실시한다면, 지상처분의 경우 여름철 처분장의 온도는 더 높게 상승할 것으로 예상되며 심지층 처분장의 경우에는 큰 변화가 없을 것으로 예측된다.

7. 결론

본 연구에서는 고준위 방사성 폐기물의 발열량에 따라 발생하는 자연환기량을 가지고 처분 터널내 온도를 예측하였다. 또한 국내에 건설하고자 예정하고 있는 심지층 처분장의 타당성을 분석하기 위하여 동일한 조건의 지상처분장을 가상예측하여 함께 비교·분석을 실시하였다.

1. 열량에 따라 발생하는 자연 환기량에 따라 처분장의 대기 온도 예측을 위하여 CFD를 활용하여 해석을 진행하였다. 심지층 처분장의 경우 처분 터널 내 최고 온도는 각 단계에 따라서 26.16~41.78℃로 해석되었고, 지상처분장의 경우 굴뚝의 높이를 10, 50, 200 m로 각각 설정하여 해석을 실시한 결과 굴뚝이 높아짐에 따라 처분장의 온도는 작게 해석이 되었다. 굴뚝이 10 m의 지상 처분장의 경우 처분 터널의 대기 온도는 36.27~51.26℃로 해석되었다. 이는 심지층 처분장의 암반을 통한 열전달에 의하여 처분장내 온도상승이 지상처분에 비하여 유리하다는 것을 의미한다. 또한 암반에 의한 단열 효과에 의하여 처분장내 온도는 일정하게 유지되지만, 지상처분의 경우 암반의 두께가 1 m로 작기 때문에 외부 대기온도에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.
2. 심도 500 m에 함께 건설되는 처분장을 감안하여 암반으로의 열전달을 확인한 결과 심도 200 m 처분장에 열량이 1000 KW일 경우에는 지하 500 m까지는 열전달이 매우 작지만, 4000 KW일 경우에는 약 11℃정도의 온도가 전달되는 것으로 나타났다. 이는 심도 500 m에 함께 건설될 영구처분장의 경우 지열과 함께 고려된다면 허용농도를 초과할 것으로 예측된다.
3. 고준위 방사성 폐기물 처분장 건설 시 처분장내 온도제어가 매우 중요한 설계조건임을 감안한다면, 심지층 처분장의 처분방식이 지상처분장에 비하여 온도 제어에 효과적인 방법임을 확인 하였다. 또한 자연 환기력의 계산 시 온도 차이에 따른 공기의 밀도

가 큰 변수임을 감안한다면, 처분터널과 외부 대기의 온도차이가 가장 크게 발생하는 겨울철에 자연 환기력이 가장 클 것으로 예측된다.

4. 본 연구에서는 대기의 조건을 20℃, 1기압 상태로 해석하였지만, 자연환기량은 계절에 따라서 그 발생량과 변화가 매우 크다. 때문에 추후 대기조건을 계절별로 분류하여 계절에 따른 처분 터널내 온도예측에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

위 논문은 자원개발특성화대학사업 및 한국원자력연구원의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jin Kim, Sang-Ki Kwon, 2005, Ventilation system strategy for a prospective radioactive waste repository, Journal of Radioactive Waste Society, Vol. 3(2), pp. 135-148.
2. J. W. Choi, S. K. Kwon, C. H. Kang, 2000, Disposal Concept of High Level Waste in Major Countries, Tunnel & Underground space, Vol. 10, pp. 1-16.
3. Heui-Joon Choi, et al., 2008, Korean reference HLW disposal system, Korea Atomic energy research institute technical report, KAERI/TR-3563.
4. Jang-hoon Roh, et al., 2011, A Study on Natural Ventilation by the Caloric Value of HLW in the Deep Geological Repository, Tunnel & underground space, Vol. 21, pp. 518-525.
5. Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM), Yucca Mountain Project, Yucca Mountain Science and Engineering Report, DOE, USA (2002).
6. Chan-Hoon Yoon, 2011, A field Experiment for Determination of Heat Transfet Coefficient and a Numerical Analysis to Project Temperature in a High-Level Radioactive Waste Repository, PhD's thesis of In-ha University, pp. 86-105.
7. CHAM, PHOENICS POLIS, <http://www.cham.co.uk>.
8. K.G. Gebremedhin, 2003, Characterization on flow field in a ventilated space and simulation of heat exchange between cows and their environment, Journal of Thermal Biology, Vol. 28, pp. 301-319.

노 장 훈

2009년 인하대학교 환경공학과 공학사
2012년 인하대학교 에너지 자원공학과
공학석사



Tel: 032-872-7551
E-mail: iglord2@naver.com
현재 인하대학교 에너지 자원공학과 박사과정

유 영 석

2010년 인하대학교 환경공학과 공학사



Tel: 032-872-7551
E-mail: yeongseok.yu@gmail.com
현재 인하대학교 에너지 자원공학과 석사과정

장 승 현

2012년 인하대학교 환경공학과 공학사



Tel: 032-872-7551
E-mail: jjsjhh@naver.com
현재 인하대학교 에너지 자원공학과 석사과정

박 선 오

2012년 인하대학교 환경공학과 공학사



Tel: 032-872-7551
E-mail: seonoh31@naver.com
현재 인하대학교 에너지 자원공학과 석사과정

김 진

1987년 인하대학교 공학사
1990년 미국 University of Kentucky 공학석사
1995년 미국 University of Missouri-Rolla 공학박사



TEL: 032-860-7558
E-mail: jinkim@inha.ac.kr
현재 인하대학교 에너지자원공학과 교수