

고준위 방사성 폐기물 처분장 설계 및 Diagonal 공기 회로내 공기흐름 분석에 관한 연구

황인필, 최희주*, 김진

인하대학교, 인천광역시 남구 용현동 253번지

*한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

inphil2@gmail.com

1. 서론

몇 가지 형태의 처분장 중에서 지하 동굴식 방사성 폐기물 처분장은 광산 및 지하터널과 같은 지하시설과 유사하게 폐쇄성과 고립성의 특성을 가진다. 또한 방사성 폐기물의 특성상 최소 100년 이상 환경적 안정성이 유지되어야 하므로 소요 환기량을 적절하게 분배하여 장비의 배기가스로 인한 오염방지와 폐기물로부터 발열되는 열의 제거에 이르기까지 최적 환기시스템의 구축이 매우 중요한 요소라고 판단된다.

이에 본 연구에서는 환기시스템에 초점을 맞추고 폐기물의 종류와 양, 발열량, 등가길이 및 작업자의 동선 등을 고려하여 한국형 고준위 방사성 폐기물 처분장의 설계안을 제안하였다.

방사성 폐기물은 처분장 규모에 비해 적은 양을 조금씩 채워나가므로 폐기물의 양에 따른 유량의 조절이 필요하다. 또한 비상사태가 발생하면 방사능 오염 공기나 고온의 공기에 의해 인명사태가 발생할 수 있으므로 공기의 진행 방향을 제어하기에 유리한 Diagonal 회로를 갖는 시스템이 적절할 것으로 판단하였고, Diagonal 회로내 공기 흐름분석에 관한 연구가 실시되었다.

2. 본론

방사성 폐기물의 종류는 4가지로 분류되며 고발열 폐기물인 SAP과 Fly ash와 발열하지 않는 Metal은 지하 200m에 저장된다. SAP과 Fly ash는 단면적 7.0×6.0 길이 130m의 터널 3개에 나누어 저장되며 터널당 5000~6000kW의 발열을 한다. 또한 Metal은 단면적 5.3×5.0m 길이 200m의 터널 한 개에 저장되며 발열하지 않고 막힌 터널에 저장되어 환기시스템이 요구되지 않는다. 나머지 방사성 폐기물인 Monazite는 단면적 4.0×4.1m 길이 220m의 터널 16개에 저장되며, 터널당 발열량 38kW로 상대적으로 저발열 폐기물로 분류되어

지하 500m에 저장되게 된다. 또한 지하처분장 시스템에는 방사성 폐기물을 처분하는 터널외에도 전력공급센터, 통신센터등의 시설들이 필수적으로 필요하며 이것은 다시 방사성물질 오염도가 최대허용 표면오염도를 초과하거나 초과할 우려가 있는 장소인 Controlled area와 그렇지 않은 Uncontrolled area로 나누어진다. 각각의 면적은 2200m², 4300m²으로 신선한 공기를 가장 먼저 유입시키기 위해 입구부에 가깝게 위치되어 있으며, 저항의 감소를 위해 병렬식 구조로 설계하였다. 설계안에서 검은색으로 표현된 터널이 Controlled area와 Uncontrolled area이다(그림 1~4).

고발열 폐기물은 지하 200m 터널에 저장되며, 발열이 큰 구간에 큰 유량의 공기를 제공하기 위해 입구에서 배기까지의 길이를 최대한 짧게하고 병렬식 구조로 설계하였다. 시뮬레이션 시 각 터널에 공급되어야 하는 소요 환기량은 고발열 터널 하나당 15m³/s, 저발열 터널은 덕트 사용을 고려하여 하나당 1m³/s로 설정하였으며, Controlled area와 Uncontrolled area는 각 5m³/s의 공기가 흐르도록 하였다. 발열량에 따른 공기량은 Yucca mountain project 보고서를 참고하였다.

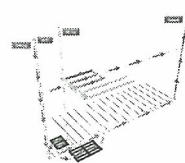


Fig. 1. Case1 Schematic.

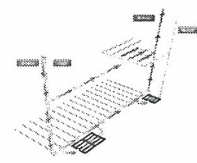


Fig. 2. Case2 Schematic.

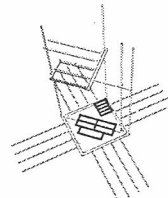


Fig. 3. Case3 Schematic.

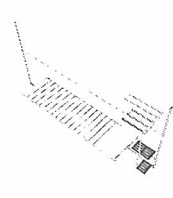


Fig. 4. Case4 Schematic.

Case1,2,3은 비용 관계상 지하 500m 16개의 터널에 공기가 빠져나갈 수 있는 터널(Bleeder)의 추가 굴착을 하지 않는다는 가정하에서 설계가 되었다. 반면에 Case4는 터널의 추가 굴착을 가정하였는데, Duct를 사용한 Case1~3의 연간 운영비용과 비교를 하였을 때 금액이 50%이상 감소하였다.

위의 결과에 따라 추가 굴착의 필요성은 존재하지만 환기적 측면에서 본다면 Diagonal 시스템을 적용하는 것이 합당하다고 판단된다.

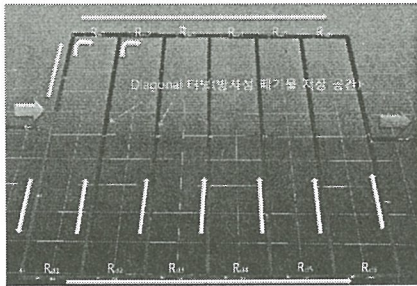


Fig. 5. Diagonal Ventilation Network.

그림 5와 같이 공기를 아래쪽으로 집중시켜 아래에서 위쪽으로 저장 터널을 지나게 하였을 때, 저장 터널에 고정 유량을 설정한다면 그 터널에 공기조절기가 위치하게 된다. 하지만 이러한 경우에는 Diagonal 공기 회로의 특성을 전혀 살릴 수 없으므로 다른 방법을 사용해야 한다.

저장 터널을 지난 공기는 각각 그 오른쪽 위에 연결된 공기조절기가 위치할 터널을 지나게 된다. 따라서 Ru2가 위치한 터널은 Ru1이 위치한 터널과 첫 번째 Diagonal 터널을 지나는 공기량의 합만큼이 흐르게 되므로, 그 합만큼 고정 유량으로 설정하여 원하는 위치에서 터널의 저항과 공기조절기 크기를 결정하는 것이다. 이와 같은 방법으 원하는 위치에 알맞은 고정 유량을 설정한다면 Diagonal 공기 회로에서의 각 터널별 저항과 공기 조절기 크기를 계산할 수 있다.

Case4의 시뮬레이션은 위의 방법으로 이루어졌고, 외부에 설치하는 베기 선풍기로 전 구간이 소요환기량을 만족시키며 원활하게 유지되었다.

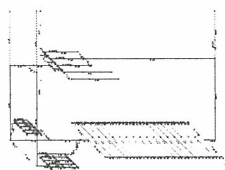


Fig. 6. Case4 V-netPC schematic.

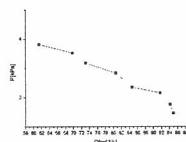


Fig. 7. Fan Characteristic Curve.

3. 결론

1. 지하 500m 저장 터널의 경우 Case4가 폐기물 저장량에 따른 유량 변화 및 비상상태 발생시 공기 흐름의 유동적 변화가 가능하므로 환기적 측면에서 가장 유리할 것으로 판단된다.
2. 지하처분장 시스템을 운영하기위해 140kw (25, 2000rpm)의 선풍기를 사용하였다. 이에 대한 결과로 1470Pa의 선풍기 압력이 발생하였으며, 50 원/kWh의 전력비를 대입하였을 때 연간 선풍기 운영비용은 약 61,200,000원이 계산되었다. 이는 유량과 전력비에 따라 차이가 있을 수 있다.
3. 추가적으로 공기조절기의 영향을 알아보기 위해 외부에서 총 150m³/s의 유량을 유입시키고 공기조절기 제어를 통해 위쪽으로 10m³/s, 아래쪽으로 140m³/s의 유량을 유입시켰다. 그 결과 첫 번째 Diagonal 터널에는 40m³/s의 유량이 유입되어 0에 가깝던 유량이 총 유량 대비 약 27%의 유량이 유입되어 크게 증가했다. 같은 방식으로 뒤쪽 Diagonal 터널을 통해 꾸준히 공기가 유입되어 출구부에서 합쳐지기 직전에는 총 유량대비 위쪽 47%, 아래쪽 53%의 유량이 분배되어 평형을 이루는 것으로 나타났다.
4. Diagonal 환기회로를 설계 시 저항값을 변화시켜가며 유량값이 수렴할 때까지 오차반복법을 시행했었다. 하지만 공기조절기를 설치하고자 하는 위·아래 터널에 고정 유량을 설정함으로써 저항 및 공기조절기의 크기를 계산할 수 있으므로 Diagonal 환기회로의 설계를 수행할 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] H.L. Hartman, J.M Mutmansky and Y.J Wang, 1997, Mine Ventilation and Air Conditioning, Wiley Interscience.
- [2] 최중악, 윤찬훈, 김진, 2009, "Diagonal 환기 시스템에서 공기 조절기의 위치 및 크기에 따른 풍속 변화에 관한 실험적 연구", 한국암반공학회지, Vol. 19 No.1, pp. 11-18.
- [3] Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM), 2002, Yucca Mountain Project; YuccaMountain Science and Engineering Report, DOE, USA.