

고준위 방사성 폐기물 처분장 설계를 위한 Diagonal 환기 회로 내 공기량 분배에 관한 연구

황인필, 최희주, 노장훈*, 김 진

A Study on the Airflow Distribution in the Diagonal Ventilation Circuit for the Design of a High Level Radioactive Waste Repository

In-phil Hwang, Heui-joo Choi, Jang-hoon Roh*, Jin Kim

Abstract In this study, diagonal ventilation circuits that are advantageous in air flow direction control were studied. Based on the results of the study, it could be seen that air volumes in diagonal ventilation circuits could also be calculated using numerical formulas or programs if the air volumes and air flow directions to be infused into diagonal branches are determined in advance as with other serial/parallel circuits. To apply the results, design plans for high level radioactive waste repositories applied with diagonal ventilation circuits and parallel ventilation circuits. To compared the each design plans and obtain expected operation results, ventilation network simulations were conducted through the Ventsim program which is a ventilation networking program. Based on the results, in the case of diagonal repositories that was expected to cause great increases in resistance, fan pressure was 1570 pa, total flux was 84 m³/s, fan efficiency was 76.4%, fan power consumption was 181.2 kW and annual fan operating costs were 178,710,838 and thus maximum around 8% differences were shown in pressure and flux values and a difference of around 1.5% was shown in terms of operating costs.

Key words High radioactive waste repository, Diagonal ventilation circuit, Ventsim, Ventilation network simulation

초 록 본 연구에서는 방사성 폐기물 처분장 설계 시 필요할 수 있는 공기 유동 방향의 제어에 이점을 가진 Diagonal 환기 회로에 대해서 연구하였다. 연구 결과, Diagonal 환기 회로에서도 Diagonal 경도(Branch)로 유입시 킬 공기량과 공기 유동 방향을 미리 정한다면 다른 직·병렬 회로와 마찬가지로 수식이나 프로그램에 의한 공기량을 산정할 수 있음을 알 수 있었다. 이를 적용하기 위해 앞으로 처분될 고준위 방사성 폐기물의 추정 데이터를 통해 Diagonal 환기 회로와 병렬식 환기 회로가 적용된 고준위 방사성 폐기물 처분장의 설계안을 마련하였다. 마련된 설계안 별 비교 및 예상 운영 결과를 얻기 위해서 환기 네트워크 프로그램인 Ventsim 프로그램을 통해 환기 네트워크 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 저항 증가가 큰 수치로 발생할 것으로 예상되었던 Diagonal 처분장은 병렬식 환기 회로가 적용된 처분장과 비교하였을 때, 팬 압력은 1570 pa, 총 유량 84 m³/s, 팬 효율 76.4%, 팬 소요 전력 181.2 kW 및 연간 팬 운영 비용 178,710,838원으로 압력과 유량값에서 최대 8% 정도의 차이를 보였고, 운영 비용 측면에서는 1.5%의 차이를 보였다.

핵심어 고준위 방사성 폐기물 처분장, Diagonal 환기 회로, Ventsim, 환기 네트워크 시뮬레이션

Received: Feb. 15, 2012

Revised: Jun. 12, 2012

Accepted: Jun. 12, 2012

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

(Tel) +82328727551, (Fax) +82328727550

E-Mail) iglord@naver.com

Department of Energy Resources Engineering, Inha University, In-Cheon, Korea

1. 서 론

국내에서 생산되는 전력의 약 40%는 원자력 발전에 의해 공급되고 있으며, 국내 에너지 소비의 증가율을 고려하면 원자력 발전소는 더 큰 비중을 가지고 운영될 것으로 예상된다. 또한 원자력 발전의 비중이 확대될수

록 이에 따른 방사성 폐기물의 발생량이 증가하므로 원자력 발전을 안정적으로 운영할 수 있는 기술뿐만 아니라, 원자력 발전 후 발생하는 방사성 폐기물의 처분 시스템을 개발하는 연구도 활발히 진행되고 있다.

원자력 발전시 발생하는 방사성 폐기물은 중-저준위 방사성 폐기물, 사용후핵연료, 재처리를 거친 후 발생하는 고준위 폐기물로 나누어진다. 이러한 폐기물들은 종류에 상관없이 안전성이 보장되지 않으면 인명 피해와 재산 피해를 입힐 수 있을뿐만 아니라 장기간에 걸쳐 피해가 지속될 수 있다. 이로 인해 각 방사성 폐기물의 특성에 따라 저장용기에 압축을 시키거나 차폐효과 및 부패방지 특성을 갖는 처분용기에 담아 장기간 보관할 수 있는 준비를 한다.¹⁾

그 이후에 중-저준위 방사성 폐기물은 지하 굴착공간에 쌓아놓고, 고준위 방사성 폐기물의 경우에는 처분용기에 넣고 지하 처분장 터널에 처분한다. 이를 위해 고준위 방사성 폐기물의 경우에는 일반적으로 지하 수백 미터의 건전한 암반에 처분하는 것이 안전한 방법 중 하나로 고려되고 있다.²⁾³⁾

지하 방사성 폐기물 처분장 개발은 다섯 단계로 이루어지는데 첫째, 부지특성화 사업, 둘째, 처분장 건설, 셋째, 폐기물 처분장 운영, 넷째, 모니터링, 다섯째, 폐쇄 등이다. 환기설계는 처분장 건설단계에서 뿐만 아니라 폐기물 운영단계에서의 작업 환경 및 위생(호흡성 암반 분진, 디젤 흙, 폐기물 방열에 의한 고온의 환경, 사고시 발생 가능한 부유성 핵종분진, 유해가스 등), 안전(화재 및 기타 사고 시 공기 조절), 그리고 향후 처분장의 쾌적한 환경(처분 용기를 부식시키고 방사성 핵종을 운반시킬 수 있는 물과 수분 제거)을 위해서 꼭 필요한 부분이다.¹⁾

지하 공간내 환기회로는 공기가 흐르는 갱도의 연결 형태에 따라 직렬, 병렬, Diagonal 시스템으로 구분할 수 있으며, 한 지하 공간내에서 세 종류의 환기시스템을 복합적으로 사용하는 것도 가능하다. 이 중 공기량과 공기 흐름을 원하는대로 바꿀 수 있는 Diagonal 시스템은 미국의 고준위 방사성 폐기물 처분장인 Yucca Mountain repository의 설계에 적용되었다. Diagonal 시스템은 직,병렬 시스템에 비해 처분장 건설 시 폐기물의 효율적 저장이 가능하고 이동로가 위·아래로 나뉘어 구조적으로 유리한 이점을 가진다.⁴⁾ 또한, 모든 거치 갱도의 유입 공기량과 공기 유동 방향의 조절을 독립적으로 할 수 있으므로 처분이 완료되는데 까지 수 십년 이상의 시간이 소요되는 고준위 방사성 폐기물 처분장의 특성에 적합하며, 비상사태 발생 시 작업자의 안전성을 확보하는데 큰 역할을 할 수 있다.

Diagonal 시스템은 직렬, 병렬 시스템과는 달리 유량 조절을 원하는 Diagonal 갱도에 공기조절기를 설치하지 않는다. 이러한 특성으로 공기 유동 방향을 변화시킬 수 있다는 이점이 있지만, 유량 조절을 위한 공기조절기가 직접 위치하지 않기 때문에 저항값의 변화에 따른 유량 값을 직접적으로 계산할 수가 없다. 즉각적으로 유량 조절을 할 수 없다는 것은 처분장 내에서 비상사태 발생시 순간적인 대처가 불가하다는 말과 같으므로 매우 치명적인 단점으로 작용한다.

이에 본 연구에서는 Diagonal 시스템 내에서 즉각적인 유량 조절을 위한 연구를 하였다. 또한, Atkinson Equation과 Hardy Cross Method에 근거하여 환기회로 시뮬레이션을 수행하는 Ventsim 프로그램을 통해 방사성폐기물처분장의 설계 시 Diagonal 시스템을 적용하였다. 끝으로 원자력 발전시 발생하는 폐기물 데이터(예측 데이터)를 이용하여 방사성 폐기물 처분장을 환기적 측면에서 설계하였다. 그 후에 각 설계안 별 환기 네트워크 시뮬레이션을 통한 비교 및 분석을 수행하여 고준위 방사성 폐기물 처분장 내 Diagonal 환기 회로 적용 타당성을 검토하는 것을 목적으로 하였다.

2. 지하 공간 환기시스템

2.1 Atkinson's Equation을 통한 통풍로의 저항 계산

관이나 유체 자체의 내적 마찰 또는 관의 벽의 저항에 기인하는 흐름에서 발생하는 정적 압력의 손실을 포함한 환기시스템에서 공기의 흐름은 거의 정상 난류로 간주되어진다. 통풍로에서 마찰손실을 계산하기 위한 유체역학 식은 Darcy-Weisbach 방정식으로 표현되어지며, 이 방정식으로부터 환기시스템에서 가장 보편적으로 사용되는 Atkinson Equation이 만들어 진다.⁵⁾

$$R = \frac{KP(L+L_e)}{A^3} \quad (1)$$

여기서 K 는 마찰계수(kg/m^3), A 는 통풍로의 단면적(m^2), P 는 통풍로의 둘레(m), R 는 통풍로의 저항, L 은 갱도의 총 연장선(m)을 의미한다. L_e 는 통풍로에 가해지는 충격손실의 양을 등가길이(Equivalent-Length)로 표현 한 것을 의미한다.

2.2 직·병렬식 환기 시스템

지하공간 내에 적절한 공기분배를 위해서는 환기회로를 구성하여야 하는데, 이는 일반적으로 지하공간의 터널 배치에 따라 직렬회로와 병렬회로가 조합된 형식으

로 나타나게 된다. 회로의 지형적 구조와 관련되어 통풍로 내 기류의 방향이 바뀌거나 나누어지는 지점에서 절점(node)들을 형성하고, 각 절점들을 연결한 branch마다 각각의 압력, 저항, 공기량이 형성된다. 결국, 지하공간 내 모든 회로의 공기량 분배는 직렬, 병렬, 혹은 그 조합으로 연결된 각 branch의 저항에 따라 달라진다. 각 branch의 배치에 따라 발생하는 등가 길이를 포함한 저항값은 식 (1)에 의해 계산되어지고, 계산된 branch 저항값의 총 합으로 전체 지하공간의 시스템 저항이 결정된다. 직렬연결의 경우 식 (2)와 병렬연결의 경우 식 (3)에 의해서 직렬과 병렬이 조합된 전체 회로에서 직렬회로보다 병렬회로의 구성이 많아지는 경우 전체 저항은 감소하게 되며, 지하공간 내 공기분배는 좀 더 수월하게 이루어진다. 이와 반대로 직렬회로의 구성이 많은 경우는 전체 시스템 저항이 증가하여 공기분배에 어려움이 발생 할 수 있다. 이와 같은 결과는 지하공간 내 메인 팬의 배치에도 큰 영향을 미치며, 팬을 직렬로 연결하게 되면 공기량의 변화는 없으나 팬의 압력을 증가시킬 수 있고 병렬로 연결하는 경우 압력의 증대 효과는 볼 수 없으나 공기량을 증가시킬 수 있게 된다.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2)$$

$$R_{eq} = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}}} \right)^2 \quad (3)$$

2.3 Diagonal 환기 회로내 유량 조절

Fig. 1은 Diagonal 갱도가 5개인 환기 회로의 모습이다. 공기조절기의 조절이 없을 경우에는 좌측에서 유입된 공기는 위·아래 통로를 통해 우측으로 빠져나가며, 위쪽에 위치한 $R_{u1} \sim R_{u6}$ 와 아래쪽의 $R_{d1} \sim R_{d6}$ 공기조절기의 조절에 따라 공기흐름의 방향뿐만 아니라 Diagonal 갱도에 유입되는 공기량을 조절할 수 있다. 직렬, 병렬 및 Diagonal 환기 회로중 공기의 상·하 유동 방향을 변

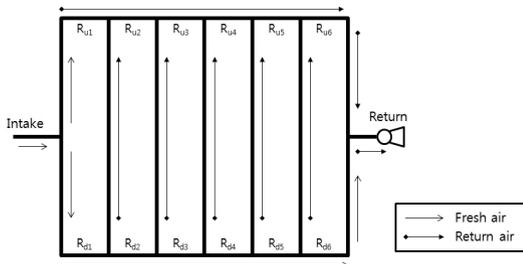


Fig. 1. Diagonal Ventilation Circuit

화시킬 수 있는 환기 회로는 Diagonal 환기 회로가 유일하다. 이러한 특성은 지하 공간내에 유독 가스가 발생하거나 화재가 발생했을 때 작업자를 보호할 수 있다는 측면에서 매우 큰 장점이라 할 수 있다. 하지만 Diagonal 환기회로내에 위치한 모든 갱도에 원하는 공기량을 제공하기 위한 연구는 아직 미흡하여 실제 설계에 적용하기엔 어려움이 따르므로 이를 위한 연구를 진행하였다.

Diagonal 환기 회로내 공기유동은 문헌 연구에서 보여진 Kirchhoff's Law에 의해 판단되지만, 이에 의거하여 공기량을 조절하기 위해선 여러 곳에 위치한 공기조절기의 저항을 하나씩 바꾸어주며 시뮬레이션을 통해 변화하는 공기량을 지속적으로 관찰해야한다. 한 개의 공기조절기 저항 변화는 그 외 모든 공기 조절기에 영향을 미치는 상호 작용을 하므로 Diagonal 갱도가 3개 이상 존재한다면 각 갱도에 원하는 유량을 공급하기 위해선 많은 시간이 소요된다. 이는 비상 사태가 발생한 고준위 방사성 폐기물 처분장 등에 적용하기에는 치명적인 단점이 될 수 있으며 실제 지하 공간의 설계에 적용하기 위해서는 즉각적인 계산 방법이 필요하다.

3. Diagonal 환기 시스템 분석

일반적인 환기 회로에서 공기조절기의 저항값 계산은 Atkinson Equation을 바탕으로 수행되며, 특정 갱도에 일정 유량을 공급할 것을 가정하고 그 값에 따른 공기조절기의 저항이 계산되는 방식으로 이루어진다. 하지만 이는 유량이 공급될 갱도와 공기조절기의 위치가 다른 Diagonal 환기 회로에 적용할 수 없으므로 다른 방식이 필요하다.

Fig. 1에서 R_{u1} 과 R_{d1} 은 좌측에서 유입된 공기가 위·아래 어느 쪽으로 흘러갈지 결정짓게 할 수 있는 중요

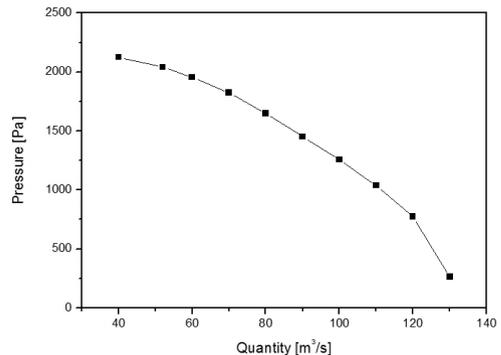


Fig. 2. Fan characteristic curve

한 역할을 한다. Fig. 1과 같이 R_{u1} 의 저항을 크게 키우고 R_{d1} 의 저항을 0으로 설정하면 대부분의 공기량은 저항이 큰 위쪽을 피해 아래쪽으로 집중되게 된다. 그 후에 $R_{d2} \sim R_{d6}$ 의 저항을 조절하면 각 Diagonal 갱도에 유입되는 공기량을 조절할 수 있게 된다.

예를 들어, 각 Diagonal 갱도에 20씩의 유량을 보내기로 가정하고 R_{u1} 과 R_{d1} 의 조절을 통해 공기 유동 방향을 아래쪽으로 100만큼 설정하였다면, R_{u1} 이 위치한 갱도에는 공기량 0이 흐르고 R_{d1} 이 위치한 갱도에는 공기량 100이 흐르게 된다. 그 후에 첫 번째 Diagonal 갱도로 20의 공기량이 빠져나가야 하므로 R_{d2} 가 위치한 갱도에는 80의 공기량이 흐르게 된다. 또한 위쪽 R_{u2} 가 위치한 갱도에서는 R_{d1} 의 공기량 0과 Diagonal 갱도를 통해 20의 공기가 합해지므로 20의 공기량이 흐르게 된다. 이와 같은 현상을 간단한 식으로 표현하면 다음과 같다.

각 Diagonal 갱도에 20의 공기가 공급되어야 하며, 각 $Q_{u1} = 0$, $Q_{d1} = 100$ 의 공기량으로 아래쪽에 공기를 유입시키는 상황을 가정하였을 때,

$$Q_{d2} = Q_{d1}(100) - Q_{diagonal1}(20) = 80 \quad (2)$$

$$Q_{u2} = Q_{u1}(0) + Q_{diagonal1}(20) = 20 \quad (3)$$

아래쪽에 유입된 100의 공기량은 Diagonal 1 갱도로 20 만큼의 유량을 유입시키기 위해 Diagonal 1번 갱도의 오른쪽 아래에 위치한 d_2 갱도로 80의 유량을 보내야 한다. 같은 방식으로 진행하면,

$$Q_{d3} = Q_{d2}(80) - Q_{diagonal2}(20) = 60 \quad (4)$$

$$Q_{u3} = Q_{u2}(20) + Q_{diagonal2}(20) = 40 \quad (5)$$

:

$$Q_{d6} = Q_{d5}(20) - Q_{diagonal5}(20) = 0 \quad (6)$$

$$Q_{u6} = Q_{u5}(80) + Q_{diagonal5}(20) = 100 \quad (7)$$

위 식과 같이 Diagonal 환기 회로내 모든 갱도에 흐르는 공기량을 파악할 수 있다. 각 갱도에 공급될 유량과 방향을 설정한다면 위의 과정을 통해 공기조절기가 위치한 갱도에 공급될 유량을 계산할 수 있다. 또한 Atkinson Equation을 이용하여 계산한다면, 예측된 유량을 통해 각 공기조절기의 저항값을 계산할 수 있으므로 Diagonal 갱도에 원하는 유량을 공급하는 것이 가능해진다.

이에 따른 결과로서, 프로그램을 통해 계산을 수행한다면 환기 시스템 전체의 공기량을 한 번에 계산하여

즉각적인 계산이 가능하므로, 방사성 폐기물 처분장 설계 시 Diagonal 환기 시스템을 적용하여도 비상사태 시 즉각적인 공기 흐름의 조절 및 공기량의 조절이 가능하리라 판단된다.

결과적으로 고준위 방사성 폐기물 처분장의 설계에 Diagonal 환기 회로의 적용이 가능하리라 판단되어, 원자력 발전 시 발생하는 폐기물의 예측정보를 통해 처분장 거치 갱도의 구조가 병렬일 경우의 설계안과 Diagonal 회로일 때로 나누어 비교 분석을 수행하였다.

4. 고준위 방사성 폐기물 처분장 설계안 시뮬레이션

Ventsim 환기 네트워킹 프로그램을 통하여 처분장 설계안의 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 Diagonal 환기 회로 내에서 유량을 결정하는 방법이 유효하다는 것을 검증할 수 있었고, 처분장의 일부분으로 설계하여 시뮬레이션 했을 경우에도 원하는 유량을 정확히 제공할 수 있었다.

두 처분장 설계안의 시뮬레이션은 180 kW 동력의 팬을 사용하여 수행되었고, 사용된 팬의 특성곡선은 Fig. 2와 같다. 그 결과로 팬 압력, 각 갱도에 흐르는 유량과 총 유량, 처분장 구조에 따른 팬 효율, 팬 운영에 필요한 전력과 그에 따른 운영 비용을 얻을 수 있다.

4.1 Diagonal식 환기 회로 적용 설계안 시뮬레이션

고준위 방사성 폐기물 처분장을 설계할 때에 최소한으로 필요한 수직갱의 개수는 4개로, 사람과 폐기물을 이동시킬 수직갱 각 한 개씩과 공기가 입·배기될 수 있는 수직갱 각 한 개씩으로 구성된다. 이러한 수직갱들의 배치는 작업자의 동선과 공기의 흐름 방향에 맞추어 이루어져야 하며, 이때 고려해야 할 가장 중요한 요소는 작업자의 안전이다. 따라서 처분장내 구조물 중 작업자들이 상주하고 이동할 수 있는 공간에는 신선한 공기를 유입시키는 것이 최우선적으로 수행되어야 한다. 본 설계안은 방사성 폐기물 처분 터널이 Diagonal 환기 회로로 구성이 되어있기 때문에, 처분 터널에 비상사태가 발생한다면 작업자가 위치한 곳으로 공기가 흐르지 않게 하거나 오염된 공기가 유입되지 못하게 공기 흐름의 방향을 바꿀 수 있다. 예를 들어 처분 터널 아래쪽에서 화재 등이 발생했을 때 작업자가 그보다 위쪽에 있다면, 위에서 아래쪽으로 공기가 흐르도록 공기조절기를 조절하여 작업자를 보호할 수가 있다.

Fig. 3과 같이 병렬식 배치로 비통제구역과 통제구역을 수직갱 아래쪽에 위치시켜 먼저 환기시킨 후, 그 공기를 지하 500m의 환기에 다시 사용하는 시스템을 마

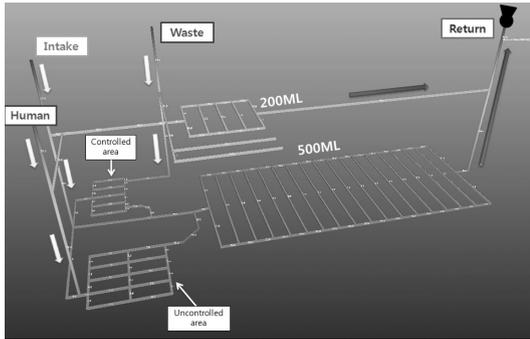


Fig. 3. Repository Design with Diagonal Ventilation Circuit

Table 1. Result of a Diagonal Ventilation Circuit Simulation

Fan pressure	1570 Pa
Quantity	84 m ³ /s
Fan efficiency	76.4%
Fan power	181.2 kW
Annual fan operating cost	KRW 178,710,838

련하였다. 통제구역은 방사성물질의 농도가 허용치를 넘을 가능성이 있으므로 풍문 등의 설치를 통한 공기 유·출입의 조절이 꼭 필요하다. 또한 환기수직갱은 중심부에서 필요한 곳에 유량을 공급하므로 상황에 따른 소요환기량 변경 시 이에 알맞은 대응이 가능할 것이라고 판단된다. 폐기물 이동 수직갱은 입·배기구의 중간 부근에 위치시켜 폐기물 처분 터널에 공기를 공급할 수 있도록 하고, 처분 터널까지의 거리를 최대한 줄일 수 있도록 하였다. 고준위 방사성 폐기물 처분장의 경우에는 처분이 완료된 후에도 오랜 기간 운영될 수 있으므로, 폐기물 이동 수직갱을 그 후에 완전한 제 2의 환기 수직갱으로 활용할 수도 있을 것이라 생각된다.

Diagonal 환기 회로를 적용한 고준위 방사성 폐기물 처분장의 시뮬레이션은 각 갱도에 원하는 유량을 유입 시킴으로써 원활하게 진행되었다. 시뮬레이션 결과를 Table 1과 Fig. 4에 나타내었다. 처분장 내 유입되는 공기량은 공기가 이동하는 통로가 추가로 존재하는 Diagonal 환기 회로의 특성상 처분장 소요환기량 77 m³/s보다 약 10% 증가한 84 m³/s로 나타났다.

외부 공기는 처분장 내 환기를 위해 사용하는 환기 수직갱을 통해서 총 유입 공기량 84 m³/s의 약 55% 정도가 유입되고 있었으며, 폐기물이나 사람이 이동하는 수직갱을 통해 유입되는 공기의 양도 45% 정도로 소요 환기량을 공급하는데 절반정도의 비중을 차지함을 알 수 있었다. 이는 한 개의 수직갱으로 많은 양의 공기가

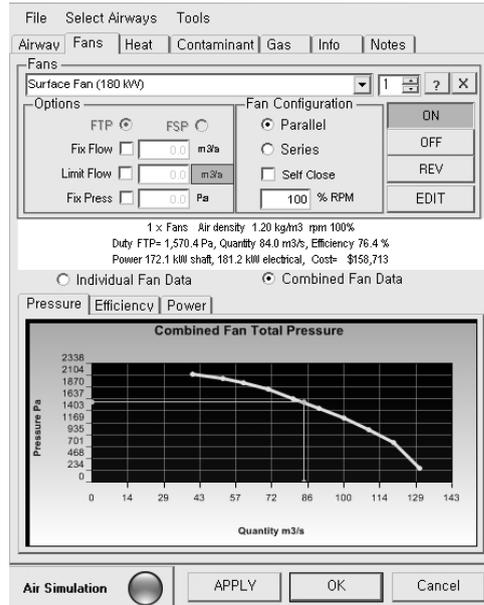


Fig. 4. Simulation Result of the Repository Design with Diagonal Ventilation Circuit

유입되는 것은 압력 강하의 원인이 되므로 나누어 입기 되는 것으로 파악된다. 따라서 폐기물 이동 수직갱이 추후에 폐기물 처분이 완료된 후 제 2의 환기 수직갱으로 활용된다면 공기 유입시 발생하는 압력 강하를 더욱 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

지하 500 m 심도에 위치한 비통계 구역과 통제 구역은 입기부 바로 아래에 위치하여 신선한 공기가 가장 먼저 유입되고 있다. 또한 이곳을 거친 공기는 같은 심도의 폐기물 처분 터널의 환기에 사용되면서 필요 이상의 공기는 유입되지 않고 있다.

시뮬레이션 결과로 나타난 연간 운영비용은 폐기물이 전부 처분되었을 때의 소요환기량을 기준으로 계산된 것으로, 처분 초기나 처분이 완료되지 않은 시점의 처분량을 대상으로 소요환기량을 선정하고 시뮬레이션한다면 연간 운영비용은 처분량의 정도에 따라 비례적인 차이가 있을 것이다.

4.2 직·병렬식 환기 회로 적용 설계안 시뮬레이션

직·병렬식 환기 회로를 적용시킨 설계안도 Diagonal 환기 회로를 적용시킨 설계안과 처분 터널의 형상을 제외하고는 같은 형태를 가진다. 마찬가지로 최소한으로 필요한 수직갱의 개수는 4개로, 사람과 폐기물을 이동시킬 수직갱 각 한 개씩과 공기가 입·배기될 수 있는 수직갱 각 한 개씩으로 구성된다. 이러한 수직갱들의

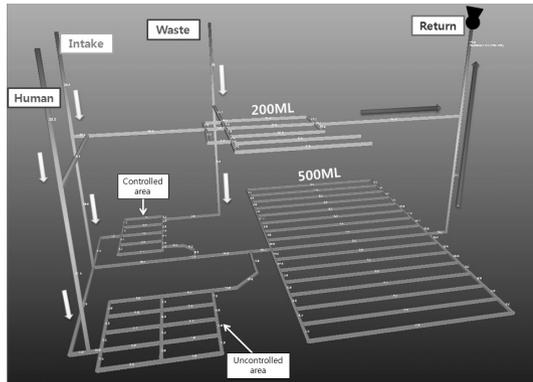


Fig. 5. Repository Design with Serial/Parallel Ventilation Circuit

Table 2. Result of a Serial/Parallel Ventilation Circuit Simulation

Fan pressure	1703 Pa
Quantity	77 m ³ /s
Fan efficiency	77.1%
Fan power	178.5 kW
Annual fan operating cost	KRW 176,052,352

배치는 방사성 폐기물 처분 터널이 위치한 곳의 앞쪽까지만 영향을 미치므로 같은 형태를 유지하여 직접적인 비교를 할 수 있다.

병렬식 터널의 배치는 연결된 갱도의 수가 증가할수록 저항이 감소한다는 특성을 가지고 있다. 이로 인해 전체적인 처분장의 저항이 감소할 것이라 예상된다. 또한 지하 500 m 처분 터널의 형상이 Diagonal식 환기 회로를 적용한 설계안에 비해 지하 200 m 공간의 길이를 짧게 만들 수 있는 장점이 있다. 이 또한 처분장내 전체적인 저항 감소에 영향을 주어 팬 운영 등에 유리한 점으로 작용할 것이다.

해석결과를 Table 2와 Fig. 6에 나타내었으며, 시뮬레이션 결과 처분장 내 유입되는 공기량은 처분장 소요 환기량인 77 m³/s와 99% 이상 일치하여 최적의 결과를 얻을 수 있었다.

Diagonal 환기 회로를 사용한 처분장 설계안과 마찬가지로, 외부 공기는 처분장 내 환기를 위해 사용하는 환기 수직갱을 통해서 총 유입 공기량 77.1 m³/s의 약 55% 정도가 유입되고 있었으며, 폐기물이나 사람이 이동하는 수직갱을 통해 유입되는 공기의 양도 45% 정도로 소요환기량을 공급하는데 절반정도의 비중을 차지함을 확인할 수 있었다. 이는 두 설계안의 수직갱 데이터가 동일하기 때문에 같은 결과를 나타낸 것으로 파악된다.

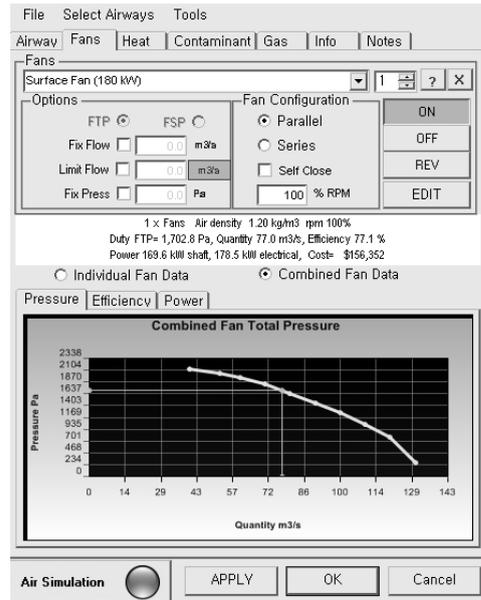


Fig. 6. Simulation Result of the Repository Design with Diagonal Ventilation Circuit

4.3 설계안 비교 및 분석

갱도가 많아질수록 저항이 감소하는 병렬 환기 회로와 달리 Diagonal 환기 회로는 16개의 처분 터널이 연결됨에 따라 처분장 내의 저항이 증가하게 된다. 저항의 증가는 곧 팬 압력강하의 원인이 되므로 본 결과와 같이 팬의 압력 강하가 증가한 것으로 판단된다.

Diagonal 환기 회로를 적용하는 과정에서 공기가 빠져나갈 수 있는 갱도의 굴착이 필요하고, 이 구간으로 흐르는 공기량을 추가하였기 때문에 두 설계안에서 흐르는 환기량은 실질적으로 5% 내외의 차이를 갖고 있다고 보여 진다. 즉, 결과 데이터 중 총 유량 차이로 나타난 8.3%는 줄일 수 있는 값이며, 순수하게 Diagonal식 환기 회로와 병렬식 환기 회로의 구조적 차이에 의해 발생한 총 유량과 팬 압력의 차이는 7.8%보다 작은 3~5% 정도로 예상된다.

한편, 팬 소요 전력과 운영비용의 경우, 시뮬레이션이 전에 예측한 바와는 달리 1.5%의 작은 차이를 보였다. 이는 Diagonal 환기 회로의 구조에 의한 저항 증가가 매우 작다는 것을 의미하며, 처분장 내에 같은 유량이 흐르는 것을 가정한다면 그 차이는 더욱 줄어들어 1% 내에 이를 것으로 예상된다.

이로서 처분장 내 안전성을 최대한 확보할 수 있는 Diagonal 환기 회로의 적용이 경제적인 측면에서도 타당성을 가지며, 향후 고준위 방사성 폐기물 처분장의

설계 시 Diagonal 환기 회로의 적용 가능성을 보여준다고 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 Diagonal 환기 회로 내에서 원하는 공기량을 분배시키는 방법을 제안하였다. 또한 이를 토대로 Diagonal 환기 회로가 적용된 고준위 방사성 폐기물 처분장의 설계와 환기 네트워킹 시뮬레이션을 수행하였고, 같은 조건에서 병렬식 회로를 적용한 설계안 또한 시뮬레이션하여 비교 및 분석 하였다. 또한, 위 과정들을 통하여 Diagonal 환기 회로 내에서 공기량 분배가 원활히 이루어지는 것을 확인하였다.

1. 유량이 설정되는 갱도에 공기조절기가 설치되는 직·병렬 환기회로는 식 (1)과 Atkinson 법칙에 의해 유량과 터널정보를 알면 공기조절기의 저항을 계산할 수 있다. 이와 같은 원리에 의해 Diagonal 공기 회로의 경우에도 직접적인 유량이 설정되는 Diagonal 갱도의 공기량 값을 통해 이에 연결된 갱도들의 유량을 예측할 수 있다면 공기조절기가 설치되는 갱도의 유량을 알 수 있으므로 직·병렬 환기회로와 마찬가지로 공기조절기의 저항을 계산할 수 있다.
2. Diagonal 환기 회로를 적용시킨 고준위 방사성 폐기물 처분장의 경우에는 거치 갱도가 40m 간격으로 16개가 평행하게 위치하여 입기에서 배기에 이르는 전반적인 갱도 길이가 증가하였다. 이로 인해 구조적인 이유뿐만 아니라 길이의 증가에 의해서도 병렬식 환기 회로를 사용했을 때보다 저항이 증가하는 경향을 보였다.
3. 주어진 폐기물 발생 예측 데이터로 설계안을 시뮬레이션 한 결과, Diagonal과 병렬식 환기 회로를 적용시킨 설계안 둘 다 지표 팬 하나로 원활히 시뮬레이션 되었다. 두 설계안 모두 동일한 팬으로 운영이 가능하며, 이로 인한 운영 비용은 Diagonal 환기 회

로를 적용한 설계안이 1.5%정도 높게 나타났다.

4. 두 설계안 간에 회로 특성에 따른 환기량의 차이가 있었음에도 불구하고 팬 압력, 총 유량, 팬 효율, 팬 소요 전력의 비교에서 최대 8% 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 저항을 큰 폭으로 증가시킬 것으로 예측되었던 Diagonal 환기 회로가 예상과 달리 저항 증가에 큰 영향을 미치지 않는다는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 자원개발특성화사업 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. Choi, H. J. et al., 2008, Korean reference HLW disposal system. Korea Atomic energy research institute technical report, KAERI/TR-3563.
3. J. Y Lee, S. K Kim, D. K Cho, 2004, Emplacement process of HLW in the deep geological repository, Abstract of proceeding of the Korean Society for precision engineering, pp. 145-148.
4. Jun-Seung Yang, 2008, A study on diagonal ventilation system for high level radioactive waste repository, Master's thesis of In-ha university, pp. 1-2.
5. Choi, J. W. et al., Technology assessments of disposal alternatives to determine a reference geological repository system for HLW, KAERI/TR-1361/99.
6. McPherson, M., J., 1993, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman & Hall, pp. 134-141.
7. Hartman, H. L., Mutmanský J. M., and Y. J Wang, 1997, Mine Ventilation and Air Conditioning, Wiley Interscience, pp. 133-165.



황 인 필

2010년 인하대학교 환경공학과 공학사

Tel: 032-872-7551

E-mail: inphil2@gmail.com

현재 인하대학교 에너지 자원공학과 석사과정



노 장 훈

2009년 인하대학교 환경공학과 공학사
2012년 인하대학교 에너지자원공학과 공학석사

Tel: 032-872-7551

E-mail: iglord2@naver.com

현재 인하대학교 에너지 자원공학과 박사과정



최 희 주

1983년 한양대학교 공학사
1985년 한국과학기술원 공학석사
1996년 한국과학기술원 공학박사

TEL: 042-868-2274

E-mail: hjchoi@kaeri.re.kr

현재 한국원자력연구원 방사성폐기물처분연구부 처분시스템개발 과제책임자



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