

Diagonal 환기 시스템에서 공기 조절기의 위치 및 크기에 따른 풍속 변화에 관한 실험적 연구

최종악^{1)*}, 윤찬훈²⁾, 김진³⁾

An Experimental Study On The Change Of Air Velocity With Respect To The Location And Size Of Regulators For Diagonal Ventilation System

Jongak Choi, Chanhoon Yoon, Jin Kim

Abstract Use of nuclear energy inevitably brings the problem of radioactive waste disposal. Repositories for disposing radioactive waste use underground space that is unconnected with the outside and the diagonal system, which allows the waste to be deposited. Ventilation is necessary because high-level radioactive waste generates heat. In this study, the air velocity through diagonal branches with regulators of different sizes and in different locations, was measured. The air velocity is determined by the size of the first and last regulators, regardless of the size of other regulators in the diagonal system. Consequently, once the desired total airflow rate has been achieved by installing the appropriate first and last regulators, the other regulators can be evenly installed to maintain the minimum air velocity needed.

Key words High-level radioactive waste, Ventilation, Diagonal system, Diagonal branch, Regulator, Underground space

초 록 원자력 에너지를 이용할 때 필연적으로 방사성 폐기물이 발생된다. 방사성폐기물을 처분하기 위한 처분장은 주로 외부와 단절된 지하공간을 이용하며 방사성폐기물을 거치할 수 있는 Diagonal system을 기본으로 하며, 시스템에 발생한 열을 제거하기 위해서는 환기시설이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 Diagonal system에서 공기 조절기의 위치와 크기를 변화시켜 Diagonal branch로 흐르는 공기의 풍속을 측정하였다. 그 결과 Diagonal branch를 지나는 풍속은 중간에 위치한 공기 조절기의 크기에 관계없이 처음과 마지막 공기 조절기의 크기에 의해서 결정되었다. 따라서 일정한 유량을 Diagonal branch에 주입하기 위해서는 처음과 마지막 공기 조절기를 설치하여 총 유량을 결정한 후 중간지점에 공기 조절기를 설치하여야 한다.

핵심어 방사성폐기물, 환기, diagonal system, diagonal branch, 공기 조절기, 지하공간

1. 서 론

원자력에너지의 사용이 증가함에 따라 원자력을 이용하는 과정에서 필연적으로 발생하는 중-저준위 방사성 폐기물과 고준위 방사성폐기물(사용 후 연료)도 점차 증가하면서 임시 저장시설의 저장 공간이 부족한 실정이다. 그 결과 중-저준위 방사성 폐기물처분장은 이미

2006년부터 경주에서 건설 중에 있고 고준위 방사성폐기물 처분장은 2007년 현재 75%정도가 임시 저장시설에 저장되어 있고 다가오는 2016년이 되면 포화될 것으로 전망된다¹⁾. 이에 2016년까지 중간 저장시설(1단계 2000톤, 최종 2만 톤 용량)을 건설할 계획이다²⁾. 저장시설의 건설은 외부와 단절되고 밀폐된 공간이면서 외부의 충격이나 사고로부터 비교적 잘 견딜 수 있는 지하 공간을 이용하는 것이 일반적이다. 그런데 고준위 방사성폐기물은 폐기물의 전도 및 복사열에 의해 지하공간의 공기 온도를 약 100~150 °C 정도로 가열시키는데 이를 방지하기 위해서 지하공간의 온도를 낮추어야 할 필요가 있다. 환기는 고준위 방사성폐기물에서 발생하는 열을 제거하는데 있어 가장 직접적인 방법이다.

¹⁾ (주) 벤토피아

²⁾ 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정

³⁾ 인하대학교 사회기반시스템공학부 부교수

* 교신저자 : jachoi1@hanmail.net

접수일 : 2008년 6월 25일

심사 완료일 : 2008년 7월 23일

제재 확정일 : 2009년 2월 12일

한편, 지하공간의 건설은 지질학적 영향을 크게 받을 뿐만 아니라 복잡한 구조로 이루어지는 경우가 많아서 다양한 형태의 환기 시뮬레이션 연구가 필요하다. 미국 Yucca Mountain Project의 경우는 사람이 거주하지 않는 Nevada 주의 지하에 Diagonal system을 적용하여 폐기물 처분장을 건설하고 있다^{3),4)}. Diagonal system은 입구부와 출구부가 열이 발생하는 거치장소로부터 멀리 떨어져 있어 발생한 열로부터 직접적인 영향을 받지 않으며 폐기물을 처분하는 거치장소 간에 일정한 거리를 유지할 수 있어서 다른 거치장소에서 발생한 열의 영향을 덜 받을 수 있다.

따라서 본 실험에서는 가장 기본적인 Diagonal system에 공기 조절기를 설치해가며 거치장소, 즉 Diagonal branch를 통해 흐르는 풍속을 측정하였고 각 Diagonal branch를 지나는 유량이 일정량이 되도록 최적화시켰다.

2. Diagonal System

2.1 Diagonal system 이론

Fig. 1에서 지점 2와 3을 흐르는 유량을 c라 가정하면, Kirchhoff's 2nd Law에 의해 밀폐된 회로 내에서의 압력의 대수합은 0이 되고 시계 방향을 (+)로 놓으면 Mesh에 따라 R과 Q의 관계식이 만들어진다.

$$R_a Q_a^2 - R_c Q_c^2 - R_b Q_b^2 = 0 \quad \text{at Mesh 1}$$

$$R_b Q_b^2 - R_c Q_c^2 + R_a Q_a^2 = 0 \quad \text{at Mesh 2}$$

R_a, R_a' : a, a' branch에서의 저항값 [$N \cdot S^2/m^8$]

R_b, R_b' : b, b' branch에서의 저항값 [$N \cdot S^2/m^8$]

R_c : c branch에서의 저항값 [$N \cdot S^2/m^8$]

$Q_a, Q_a', Q_b, Q_b', Q_c$: a, a', b, b', c branch에서의 유량 [m^3/s]

그리고, 지점 2와 3을 통하는 통풍로를 Diagonal branch라 하고 이곳을 흐르는 유량 a, a', b, b'는 각 통풍로의 저항에 의해서 결정된다. 즉,

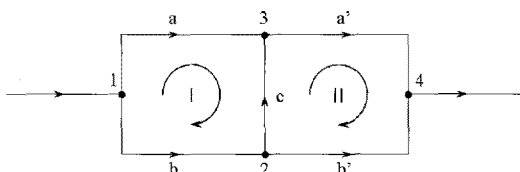


Fig. 1. Schematic diagram of simple diagonal ventilation system

$$\frac{R_b}{R_b'} = \frac{R_a}{R_a'} \quad \text{Not flow}(Q_c = 0)$$

$$\frac{R_b}{R_b'} > \frac{R_a}{R_a'} \quad \text{From 3 to 2}$$

$$\frac{R_b}{R_b'} < \frac{R_a}{R_a'} \quad \text{From 2 to 3}$$

공기의 이동방향은 위와 같이 되고 유량은 Hardy Cross Method에 의해서 구할 수 있다⁵⁾.

2.2 공기 조절기(Regulator) 이론

Diagonal system에서 각 Diagonal branch에 환기나 냉각을 위해 일정한 유량의 공기를 주입해야 할 필요가 있는데 이를 위해서는 각 통풍로의 저항 비를 다르게 해야 한다. 그 중 가장 일반적인 방법이 인위적인 저항체를 통해서 통풍로의 크기를 조절하여 저항을 변화시키는 것이고 이 인위적인 저항체를 공기 조절기(Regulator)라 부른다⁶⁾.

공기 조절기의 면적은 Fig. 2에 보이는 것처럼 S에 의한 면적(A_R)을 말한다. 공기 조절기를 이용하면 회로 내에서의 전체적인 압력손실이 증가하는 단점이 있으나 환기 회로 내에서 유량을 제어할 수 있는 장점이 있다.

공기가 공기 조절기를 통과하면 식 1과 같이 압력 손실이 발생하는데 그때 발생된 압력 손실은

$$P_x = X \cdot P_v = R_R Q^2 \quad \text{(식 1)}$$

여기서, P_x = shock loss pressure

P_v = velocity pressure

X = shock loss factor

R_R = Regulator resistance

$$R_R = \frac{X}{0.6A^2} \quad \text{(식 2)}$$

식 2와 같이 표현된다. 여기서 X는 다음의 식 3과 식

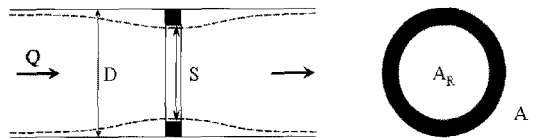


Fig. 2. Definition and area of the regulator

Table 1. Coefficient of contraction (Z=2.50)

N	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C _c	0.63	0.64	0.65	0.67	0.69	0.71	0.75	0.81	0.88	1.0
X	217.97	46.38	17.03	7.61	3.67	1.78	0.81	0.30	0.07	0

4 로부터 구할 수 있다.

$$X = \left[\frac{(1/C_c) - N}{N} \right]^2 \tag{식 3}$$

$$C_c = \frac{1}{\sqrt{Z - ZN^2 + N^2}} \tag{식 4}$$

여기서, C_c = Coefficient of contraction
 N = Ratio of the area of regulator A_R to the airway area A
 Z = Contraction factor (=2.50)

Table 1은 Regulator의 비율에 따른 X의 값을 나타낸 것이며⁶⁾, 이를 이용하여 시스템에서의 Regulator 면적을 A (Airway area)와 A_R (Regulator area)로 표현된 식 5와 같이 결정할 수 있다.

$$A_R = A \sqrt{\frac{2.5}{1.66R_R A^2 + 2\sqrt{1.66R_R A^2 + 2.5}}} \tag{식 5}$$

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

(1) 실험 모형

실험에 이용된 모형은 직경 4 inch의 아크릴로 제작되었으며 Fig. 3에 보이는 여러 개의 단위 모형들을 연결하여 구성하였다. 모형에는 풍속과 압력을 측정하기 위해 각 통풍로마다 천공을 하였고 유량을 조절하기 위한 공기 조절기를 설치하였다. Fig. 4는 단위 모형을 조립한 전체 모형을 보여준다.

(2) 공기 조절기

공기 조절기는 모형의 단면적을 10%씩 막을 수 있도록 제작하였다. 정확한 실험을 위해서는 동심원 형태의 공기 조절기가 제작되어야 했으나 설치상의 문제와 제작의 어려움으로 인해 Fig. 5와 같이 제작하였다. 또한 실제로 공기조절기 면적의 의미는 열려있는 공기통로의 면적을 말하지만 본 연구에서는 설명의 편의를 위해

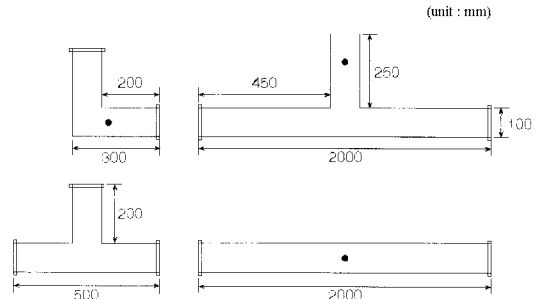


Fig. 3. Shape and Size of unit model

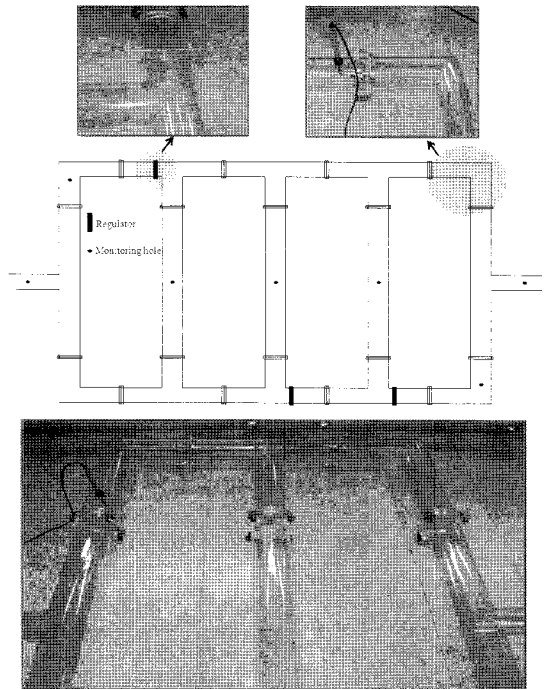


Fig. 4. Whole shape of the model

공기조절기의 면적으로 대신하였다. 즉, 공기조절기 100%는 공기통로가 완전히 막힌 상태, 0%는 완전히 열려있는 상태를 나타낸다.

공기 조절기의 단면적의 계산은 Mathematica를 이용하였으며 Table 2에 그 결과를 나타내었다.

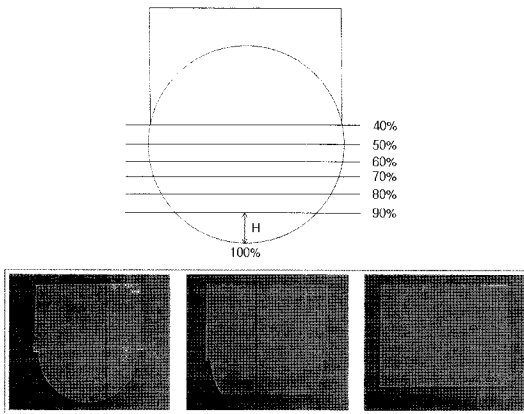


Fig. 5. Shape of regulator

Table 2. Height of regulator

Size	Height (cm)
90%	1.56
80%	2.54
70%	3.40
60%	4.21
50%	5.00

3.2 실험 방법

공기 조절기는 기본적으로 각 branch마다 1개를 설치하여 모형을 제작하였고 본 실험에서는 Diagonal branch로 공기가 흐를 수 있도록 다양한 위치에서 실험을 실시하였다. 초기 실험은 아래의 Fig. 6과 같이 하나의 branch만을 고려한 경우이며 두개의 공기조절기 크기를 0% 부터 100% 까지 조절하면서 각각의 관측점에서 통풍로를

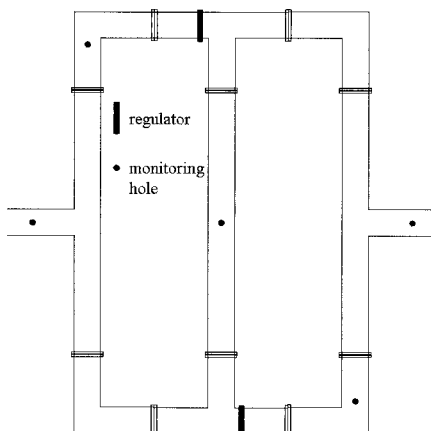


Fig. 6. Model of the diagonal system with a diagonal branch

흐르는 풍속을 측정하였다. 이 후 Diagonal branch를 늘려가면서 위쪽의 공기 조절기 크기를 일정하게 고정하고 아래쪽의 공기 조절기 크기를 다양하게 변화시키며 관측점의 풍속을 측정하였다.

Diagonal branch를 지나는 최소 공기 속도는 Yucca Mountain Project의 형상으로부터 결정을 하였는데 Yucca Mountain Project에서 거치 장소(Emplacement)의 단면의 직경은 5.5 m이고 100년 후 발생된 열의 70% 제거를 목적으로 할 경우 최소 15 m³/s의 유량이 필요하다⁷⁾. 이에 본 축소모형장치 단면 직경이 0.1 m임을 감안하여 0.64 m/s의 풍속을 최소 공기 속도로 결정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험의 주목적은 Diagonal branch를 지나는 유량의 측정을 통한 분석이지만 본 실험에 사용된 모형의 단면적이 굉장히 작고, 유량은 속도와 면적에 의해서 결정되므로 유량보다 풍속의 측정으로 실험 결과를 분석하였다.

4.1 풍속과 공기 조절기의 관계

(1) V3의 속도 결과

Fig. 7은 Diagonal branch가 하나 있는 경우로서 V1 ~ V5는 시스템에서 발생하는 풍속을 측정한 지점에 따라 순번을 정한 것이며, R1 ~ R2 역시 Regulator 설치 지점을 순번에 따라 표현한 것이다. Table 3의 결과는 공기 조절기의 크기에 따라 V3지점의 풍속을 나타낸다. R1과 R2 지점의 공기 조절기 크기가 100%에 근접할

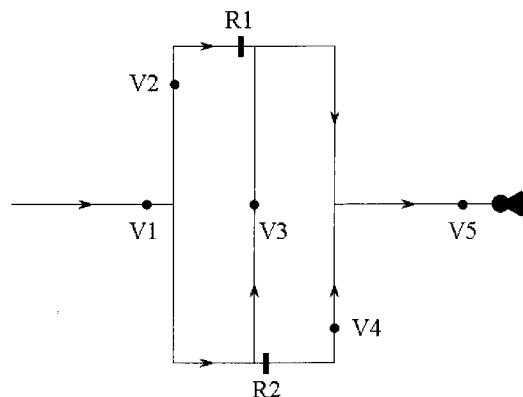


Fig. 7. Schematic diagram of diagonal system with 1 diagonal branch

경우는 좌측 상단처럼 V3 지점의 풍속이 빠른 반면에 공기 조절기를 설치하지 않을 경우(우측 하단)에는 V3 지점으로 공기가 거의 흐르지 않아 최소 공기 속도를 넘지 못하는 것을 알 수 있다. Table 3에서 회색으로 표시된 부분은 모든 통풍로 중에서 한 통풍로라도 앞서 규정한 최소 공기 속도 0.64 m/s를 넘지 못하는 통풍로가 존재하는 것을 표시한 것이며 이 부분은 이후 실험에서 배제하였다.

또한, R1보다는 R2에서의 공기 조절기 크기에 따라 Diagonal branch에서의 풍속이 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이는 R1의 공기 조절기가 입구로부터의 공기를 상하의 통풍로로 나누는데 영향을 주는데 반하여 R2의 공기 조절기는 공기를 V3 지점과 V4 지점을 통과하는 통풍로로 나누는데 직접적인 영향을 주기 때문이라고 사료된다. 본 실험 결과 Diagonal branch로 공기를 보낼 경우에는 공기조절기의 위치가 Diagonal branch의 앞부분보다 뒷부분에 설치하는 것이 더 효과적일 것으로 사료된다.

(2) 공기 조절기와 풍속과의 관계

Fig. 8은 Diagonal branch가 두 개인 경우를 나타낸 그림이며 Table 4로부터 R1지점의 공기 조절기의 크기가 감소될수록 V4 지점의 풍속이 줄어들었으며 최소 공기 속도를 맞추기 위해서 R3지점에 또 하나의 공기 조절기를 설치하였다. 그 결과 R3 지점의 공기조절기로 인하여 V4 지점의 풍속이 확보되었으며, R1 지점에 설치된 공기 조절기의 크기에 따라 V3가 큰 변화가 없다

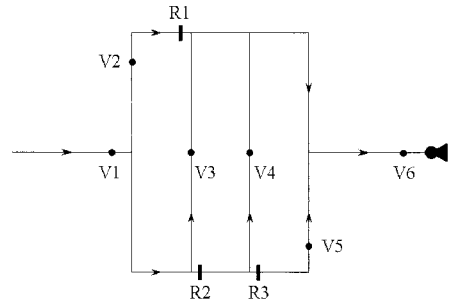


Fig. 8. Schematic diagram of diagonal system with 2 diagonal branches

Table 3. Velocity of diagonal branch according to R1 and R2 (unit : m/s)

R2 [%] \ R1 [%]	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
100	4.88	4.57	4.24	3.86	3.56	3.20	3.16	2.86	2.89	2.83	2.68
90	4.49	4.34	4.04	3.65	3.29	3.03	2.87	2.74	2.64	2.51	2.51
80	4.40	4.07	3.76	3.47	2.99	2.76	2.61	2.45	2.34	2.16	2.24
70	3.85	3.71	3.43	2.98	2.71	2.40	2.31	2.05	1.93	1.84	1.83
60	3.35	3.21	2.89	2.56	2.30	1.99	1.89	1.67	1.50	1.45	1.45
50	2.82	2.58	2.46	2.15	1.97	1.61	1.40	1.24	1.08	0.97	0.96
40	2.28	2.23	2.14	1.82	1.59	1.39	1.17	0.97	0.86	0.65	0.61
30	1.96	2.00	1.74	1.66	1.42	1.18	0.98	0.77	0.63	0.45	0.41
20	1.70	1.69	1.61	1.38	1.25	1.00	0.92	0.67	0.41	0.28	0.22
10	1.40	1.49	1.33	1.28	1.17	0.95	0.76	0.53	0.36	0.15	0.04
0	1.31	1.41	1.23	1.19	1.02	0.86	0.69	0.50	0.26	0.04	0.02

Table 4. Velocity of V3 and V4 according to R1 and R3 (unit : m/s)

R3 [%] \ R1 [%]	70		60		50	
	V3	V4	V3	V4	V3	V4
0	0.97	0.44	0.89	0.25	0.77	0.14
70	0.96	0.51	0.88	0.34	0.75	0.22
80	0.97	0.63	0.92	0.43	0.76	0.32
90	0.94	0.82	0.92	0.63	0.81	0.54
100	1.02	1.07	0.90	0.90	0.80	0.75

는 사실을 발견할 수 있었다. 그리고 R3 지점의 공기조절기로 인해 V3, V4 지점의 공기가 확보됨을 확인하였기에 R2 지점에는 추가적으로 공기 조절기를 설치하지 않았다.

(3) 공기 조절기의 간섭

Fig. 9는 R3 지점의 공기조절기의 크기가 증가할수록 V4 지점에서의 풍속이 증가하는 것은 자연스러운 현상이나 V3 지점에서의 풍속이 공기조절기의 크기가 증가함에 따라 증가하는 것을 보이는 것은 R3의 공기조절기가 V3의 풍속에도 영향을 준다는 것을 나타낸다. 이는 시스템에서 마지막 공기조절기의 크기가 결정되어 전체적인 유량이 정해지면 그 사이에 있는 공기조절기의 크기는 마지막 공기조절기의 크기를 기준으로 하여 적절하게 결정되어야 한다고 사료된다.

4.2 Diagonal branch를 지나는 풍속 비교

R1을 고정시킨 채 R3 ~ R5를 변화시키며 실험을 한 결과 Fig 10과 11을 보면 V2 ~ V4의 Diagonal branch를 지나는 풍속의 합(사각형 부분)이 3.58 m/s와 3.61 m/s로 R3와 R4에서의 공기 조절기 크기에 관계없이 R5에서의 공기 조절기 크기에 의해 Diagonal branch를 지나는 풍속이 비교적 일정하였다. 이러한 결과는 Diagonal system에서 R5와 같이 가장 마지막에 존재하는 공기 조절기는 Diagonal branch를 흐르는 공기의 풍속을 결정짓는 굉장히 중요한 역할을 한다고 볼 수 있을 것이다. 또한, 전술한 바와 같이 R1 지점 공기 조절기의 크기는 첫 번째 Diagonal branch의 풍속(V1)을 결정하므로 Diagonal system에서 첫 번째와 마지막 공기 조절기의 크기에 의해서 Diagonal branch를 지나는 시스템의 총 유량을 상당부분 결정할 수 있다고 판단된다.

4.3 최적의 공기 조절기 크기

(1) Diagonal branch가 3개인 경우

Diagonal branch가 3개인 상황에서 R1 지점의 공기 조절기의 크기는 80%로 고정하고, Diagonal branch를 지나는 최소 공기 속도 유지하기 위해서는 먼저 마지막 공기 조절기의 크기를 결정하여 전체 시스템의 총 유량을 결정한다. 그 후 중간의 공기 조절기의 크기를 결정하면 Fig. 12과 같이 각각의 branch로 최소공기속도 (0.64m/s) 이상의 풍속을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

(2) Diagonal branch가 4개인 경우

Diagonal branch가 4개인 경우에 실험을 통해서 최소

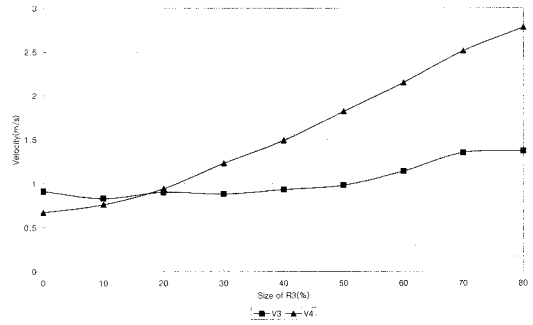


Fig. 9. Relationship between velocity and size of R3

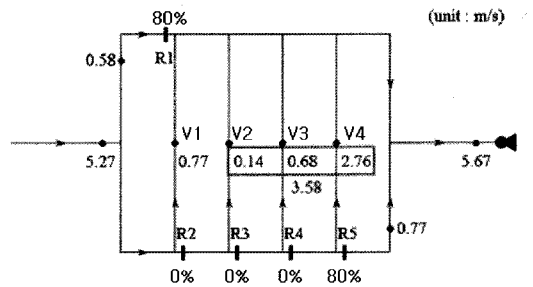


Fig. 10. Sum of velocity with R1 and R5 regulator size

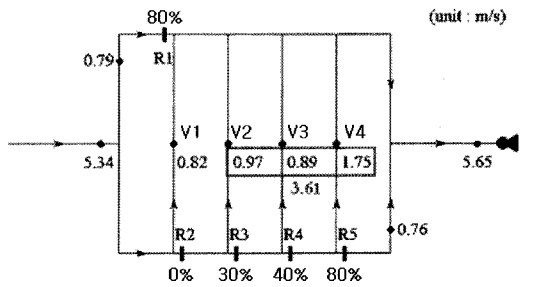


Fig. 11. Sum of velocity with regulator size at R3, R4

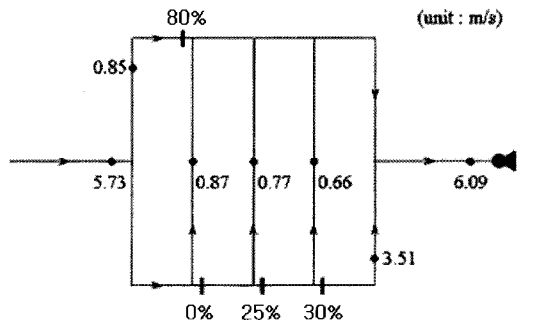


Fig. 12. The optimal distribution (3 diagonal branches)

의 저항을 가지며 최소 공기 속도를 유지하기 위해서는

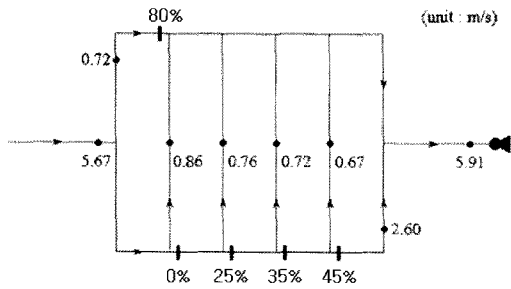


Fig. 13. The optimal distribution (4 diagonal branches)

Fig. 13과 같은 방법으로 공기 조절기를 설치해야 한다. Diagonal branch가 3개인 경우와 마찬가지로 최소 공기 속도를 유지하기 위해서 R3에서의 공기 조절기의 크기를 25%로 유지시키고 나머지 R4와 R5 지점의 공기 조절기를 각각 35%, 45%로 적용시켜야 한다.

(3) Diagonal branch가 5개인 경우

Diagonal branch가 5개인 경우에는 최소 공기 속도를 얻은 결과 Fig. 14와 같은 결과가 도출되었다. Branch가 늘어날수록 점차 공기조절기(R2 ~ R6)의 크기가 0%에서 60% 까지 늘어남을 알 수 있다. 만약, Diagonal branch가 무한정 늘어나게 된다면 추가로 설치되는 공기 조절기의 크기는 점차 증가하게 될 것이며, 결국 통풍로 전체를 차단하게 되는 상황이 발생 될 것이다. 그러나 실제 방사성 폐기물 처분장에서의 최대 공기조절기의 크기는 저장 폐기물의 양, 수송차량의 크기, 작업인원 등과 같은 상황에 의해서 달라질 수 있으며, 크기의 한계가 있는 것은 극명한 사실이다. 즉, 방사성 폐기물 처분장의 환기 설계에 있어서 최적의 공기조절기의 크기를 결정하기 위해서는 최소한의 저항을 가지면서 최대한의 공기배분 효율을 가지는 경우를 고려하여야 한다.

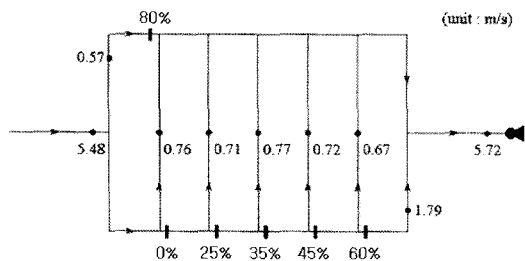


Fig. 14. The optimal distribution (5 diagonal branches)

5. 결론

본 연구는 향후 건설될 고준위 방사성폐기물 처분장에서 열에 의해 발생하는 문제를 환기를 통해 해결하는데 있다. 특히, Diagonal system에서 공기 조절기를 이용해 Diagonal branch로 공기를 흐르게 하는데 초점을 맞추어 실험을 실행하였다. Diagonal branch의 개수를 늘려나가면서 Diagonal branch를 지나가는 공기의 속도와 Diagonal branch로 공기를 흐르게 만드는 공기조절기의 관계에 대해서 연구하였다.

1. Diagonal branch가 한 개인 경우를 제외하고 첫 번째 공기 조절기의 크기에 따라 첫 번째 Diagonal branch를 지나는 공기의 풍속이 결정된다. Diagonal branch의 수가 적고 뒤쪽의 공기 조절기의 크기가 커지는 경우 뒤쪽의 공기 조절기에 의한 간섭 때문에 전방의 Diagonal branch의 공기의 풍속이 증가하게 된다.
2. Diagonal branch로 흐르는 유량은 Diagonal branch 앞에 있는 공기조절기보다 Diagonal branch 뒤에 있는 공기 조절기의 영향이 더 크다. 공기 조절기는 통풍로의 저항을 증가시키기 때문에 그 통풍로 자체로 공기가 흐르는 것을 방해한다. 그 결과 Diagonal branch로 공기를 흐르게 하려면 Diagonal branch의 뒤에 공기 조절기를 설치하는 것이 더 효과적이다.
3. Diagonal branch가 증가할 경우, 중간에 있는 공기 조절기의 크기보다는 마지막 공기 조절기의 크기에 따라 Diagonal branch를 지나는 풍속의 합이 대체적으로 결정된다. 따라서 Diagonal branch를 지나는 풍속은 주로 첫 번째 공기조절기와 마지막 공기조절기의 크기에 의해 큰 영향을 받는다고 판단된다. 즉, 두 공기 조절기를 이용하면 Diagonal branch의 수가 증가하여도 각 Diagonal branch마다 요구되는 유량을 흐르게 하는 것이 가능할 것이다.

참고문헌

1. 방사성폐기물 관리 홈페이지, <http://www.4energy.co.kr/>.
2. 김진, 권상기, 2005, 한국형 방사성 폐기물 처분장을 위한 환기시스템 전략, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 3(2), 135-148.
3. Romeo S. Jurani, P.E., 1995, Ventilation Design for Yucca Mountain Exploratory Studies Facility, Proceedings of the 7th US Mine Ventilation Symposium, Lexington, 501-506.
4. 김재영, 2000, 미국의 핵폐기물 심층저장시설, 대한토목학회지, 48(3), 89-92.

5. 양준승, 2008, 고준위 방사성 폐기물 처분장의 diagonal 환기 시스템에 관한 연구, 인하대학교 석사 학위 논문, 13-15.
6. Hartman, H.L., Mutmansky, J.M., Ramani, R.V., Wang, Y.J., 1982, Mine Ventilation and Air Conditioning, second ed, John Wiley & Sons, Inc., 187-190.
7. Office of Civilian Radioactive Waste Management (OCRWM), 1999, Ventilation Model", DOE, USA.

최종악

2006년 인하대학교 지구환경공학부 공학사
2008년 인하대학교 환경공학과 공학석사



Tel: 010-2389-5107
E-mail: jachoi1@hanmail.net
현재 (주) 벤토피아 근무중

윤찬훈

2002년 인하대학교 자원공학과 공학사
2004년 인하대학교 자원공학과 공학석사



Tel: 032-872-7551
E-mail: yoon0940@hanmail.net
현재 인하대학교 사회기반시스템공학부
박사과정 재학중

김진

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 사회기반시스템공학부
부교수
