

심부 광산의 효율적 환기 시스템에 관한 연구

송두환¹, 김윤광^{2,*}, 김택수³, 김상환¹

¹호서대학교 토목공학과

31499 충남 아산시 배방읍 호서로 79번길20

²굿엔지니어스 연구소

13938 경기 안양시 동안구 관악대로 359번길 10-18 신송프라자 203호

³한국 생산 기술연구원 한국희소금속산업기술센터

21999 인천광역시 연수구 갯벌로 12(송도동) 갯벌타워 9층

(2016년 5월 31일 접수; 2016년 7월 20일 수정본 접수; 2016년 7월 20일 채택)

A Study of Efficient Ventilation System in Deep Mines

Doo-Hwan Song¹, Yun-Kwang Kim^{2,*}, Teak-Soo Kim³, and Sang-Hwan Kim¹

¹Department of Civil Engineering, Hoseo University

20 79-gil, Hoseo-ro, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam 31499, Korea

²Good engineers Research Institute

203 Sinsong Plaza, # 10-18, 359 Gil, Gwanak-daero, Gwanak-gu, Anyang-si, Gyeonggi, 13938 Korea

³KITECH, KIRAM (Korea Inst For Rare Metals)

9th floor, KIRAM, 12, Gaetbeol-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

(Received for review May 31, 2016; Revision received July 20, 2016; Accepted July 20, 2016)

요 약

석탄 광산의 심부화 및 운행갱도의 증가로 인한 온도상승으로 작업환경이 점차 악화되는 광산에서 작업환경의 개선을 위하여 A광업소를 대상으로 통기평가를 하였으며 갱내의 통기 효율을 증가시키기 위하여 작업장의 온도 저하를 위한 선풍기 통기 방식에 대해 유동해석 프로그램을 이용하여 통기방식에 따른 운반갱도의 온도분포를 해석하였다. 연구결과 A 광업소의 소요환기량은 $17,831 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ 으로 산출되었으며, 실제 총 입기량은 $16,474 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ 로 환기량이 $1,357 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ 부족함 것으로 나타났고 운반갱도에서 작업장까지의 온도는 송기식 통기보다 배기식 통기방식이 $2\sim 3^\circ\text{C}$ 낮게 분포하였다. 운반갱도에 서 작업장까지의 길이가 긴 경우 송기식 보다는 배기식 통기방식을 운용 하는 것이 더욱 효과적일 것이다.

주제어 : 환기회로, 국부환기, 수치해석, 통기 방식, 작업장

Abstract : The working environment is deteriorated due to a rise in temperature of a coal mine caused by increase of its depth and carriage tunnels. To improve the environment, the temperature distribution resulted by using the fan type ventilation system aiming for the temperature drop is calculated by using a fluid dynamic analysis program. The analysis shows that A coal mine needs $6,152 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ for in-flow ventilation rate but the total input air flowrate is $4,710 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, $1,442 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ of in-flow ventilation rate shortage and the temperature between the carriage tunnel openings and the workings with exhausting ventilation system type is $2\sim 3^\circ\text{C}$ less than that with blowing ventilation system type. The exhausting ventilation system type would be more effective than blowing ventilation system when the distance between the carriage tunnel openings and the workings is relatively far.

Keywords : Ventilation network, Local ventilation, Numerical analysis, Temperature distribution, Work face

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: skyblue31@hanmail.net; Tel: +82-31-425-8972; Fax: +82-31-425-8974

doi: 10.7464/kset.2016.22.3.168 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라의 탄층 부존상태는 탄폭의 변화가 심하고 상하반이 취약할 뿐 아니라 경사가 급하게 매장되어 있고 해마다 작업심도가 깊어지고 있으며, 갱내의 채굴 환경 조건은 더욱 악화되고 있는 실정이다. 많은 열의 발생으로 인한 작업장의 온도 상승은 더욱 작업환경을 악화시키고 있다. 채탄 작업이 이루어지는 지하 심부 작업장이나, 굴진작업을 하는 맹갱도의 경우에는 높은 온도로 인하여 온도 저감에 대한 대책 마련은 매우 중요하다[1]. 그러나 최근에는 자원으로 석탄의 가치가 떨어지고, 심부에서의 채탄은 경제성이 없으므로 국내외 석탄광산 심부에서의 온도 저감에 관한 연구는 진행되지 않는 현실이다.

본 연구에서는 A광업소를 연구대상으로 하여 현행 통기시스템의 입배기량의 평가를 실시하였으며, 현재의 환기 시스템에서 선풍기의 추가설치나 환기설비들을 설치하지 않고 실제로 작업이 이루어지는 심부 작업장에서의 보다 나은 작업환경을 위하여 유체유동 해석 프로그램인 Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series (PHOENICS)를 이용하여 국부선풍기의 통기 방식에 따른 작업장의 온도분포를 시뮬레이션 하였다. 구조물 통기의 모체가 되는 광산 통기는 터널이나 방사성 폐기물 지하처분장등의 구조물 통기에 많은 적용이 이루어 질수 있을 것으로 기대된다[4].

2. 통기현황 및 평가

본 광업소는 D생산부 1사갱, 콘베어사갱 및 기전계 압기관승 그리고 P생산부 1사갱과 통기사갱을 통하여 4,710 m³ min⁻¹이 입기되며, 압축공기(295 m³ min⁻¹)를 포함하여 약 6,000 m³ min⁻¹이 배기되고 있다. 주요 갱도의 통기량은 Table 1에서 보이는 바와 같다.

본 탄광에서의 국부 통기에서는 소형 선풍기(5 HP ~ 15 HP)를

Table 1. Flow rate data (2015. 8.)

Production department	Inflow/outflow	Measuring spot	Cross sectional area (m ²)	Airflow rate (m ³ min ⁻¹)
D 생산부	입기	1사갱 0편 권립하부	7.25	1,976
		콘베어 사갱 입구	9.72	420
		압축기		295
	합 계(A)			2,691
	배기	통기사갱 갱구	6.90	3,145
	합 계(B)			1,624
P 생산부	입기 (C)	1사갱 0편 권립하부	7.25	2,019
	배기 (D)	통기사갱 입구	6.02	2,855
D, P생산부 총 입기량(E)				4,710
D, P생산부 총 배기량(G)				6,000

사용하여 200~400 mm 직경의 풍관에 의한 입기(blowing)식 통기방법과 흡출(suction)식 통기방식을 사용하고 있었다. 또한 다른 탄광과 같은 방법으로 압축공기를 작업장에 투입하여 작업장 국부통기의 보조수단으로 겸용하고 있었으며 선풍기를 사용하지 않고 압축공기 투입에 의해서만 작업장 통기를 해결하고 있는 개소도 많다. 현재 기계용 압축공기와 통기용 압축공기로 활용하고 있는 공기량은 약 295 m³ min⁻¹ 정도이다.

본 탄광의 통기량 평가를 위하여 갱도의 단면적, 공기속도, 건구 및 습구온도, 기압을 측정하였다. 측정은 정상적인 작업을 하는 상태에서 실시하였으며, 총 3회 실시하였다. 주배기 선풍기로는 110 HP와 200 HP의 주선풍기가 가동되고 있었으며, 각 채탄작업장과 굴진 작업장은 상황에 따라 국부선풍기가 작동하였다. 건구온도와 습구온도는 sling psychrometer를 사용하여 측정하였으며, 공기속도 측정은 hot wire anemometer와 vane anemometer를 이용하였다[3].

A광업소는 D, P 생산부로 운영되고 있으며, 통기는 선풍기를 이용한 기계통기방식이다. D 생산부는 구 conveyor 사갱 갱구에 120 HP 주선풍기를 설치(95년 5월)하여 D 생산부 12편 상부구역을 담당하고 있으며, P 생산부는 P 제1사갱 갱구에 200 HP 주배기선풍기를 설치(2001년 2월 가동)하고 각각 110 HP와 200 HP의 예비선풍기를 설치하여 풍압을 형성하며, P 생산부 사갱 및 D 생산부 제 1 사갱으로 입기되어 각 편이하반갱, 상반갱과 풍도승 및 통기수갱을 거쳐서 P 생산부 제 1사갱, 구 Conveyor사갱을 거쳐 배기시키고 있다(Figure 1).

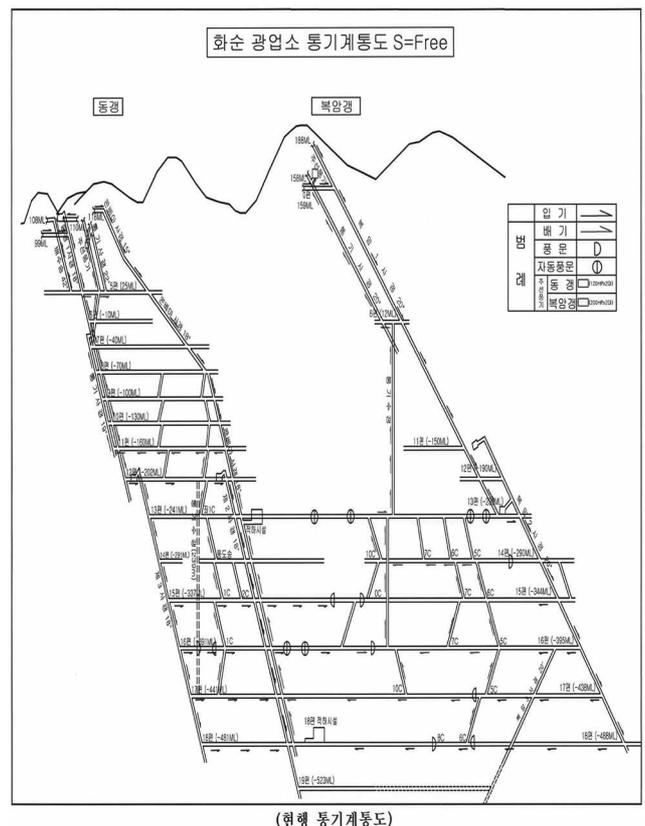


Figure 1. Ventilation Network in Hwa-Soon Colliery.

P 생산부는 P 생산부 1사 13편에서 배기사갱 6편, P 생산부 2사16편에서 13편까지 각각 통기수갱을 설치하여 P 생산부 구역전체 및 D 생산부 일부구역까지 통기를 담당하였으나 D. P 생산부 모두 급속히 심부화 되어 17편 이하구역의 작업장 통기에 심각한 문제점이 도출되었으며 적기에 통기계통 조정 및 주선통기 용량 증대 등 조정이 이루어지지 못하여 작업장 환경에 심각한 문제점으로 대두되기 시작 하였다. 특히 D 생산부 구역은 갱구에 설치된 주선통기의 용량이 부족하고, 각 편간 주요 통기승의 관리 부실로 열악한 환기 조건에서 작업을 해오다가 2011년부터 주요 통기갱도 풍문 및 풍도승 정비 를 통한 단면적 확보를 대대적으로 시행하였으며, 부족한 주선통기의 통기압력을 보완 향상시키기 위해 12편에 75 HP 보조선통기(풍량 : 1,000 m³ min⁻¹, 풍압: 200 mmaq)를 설치하여 정체된 D 생산부 하부구역 통기를 해결하기 위한 단계적 조치를 하였으며, 이것은 선통기 흡출압력에 비해 갱도의 저항이 너무 과다하여 통기계통 혼란 현상을 응급조치한 것에 불과한 것이며 중장기적 하부개발을 위해서는 전반적인 통기 시스템 개선이 필요한 상황이다. 그래서 본 연구에서는 현재 통기 시스템상에서의 작업자들이 실제로 작업하고 있는 작업장의 환기 효율을 높이기 위해 배기식 국부 통기와 입기식 국부 통기시스템의 온도 분포를 수치 해석하였다.

3. 소요환기량 산출

갱내 환기의 목적은 갱내의 취업자 요원의 호흡에 필요한 산소를 공급하고 갱내 작업장에서 발생하는 분진이나 탄층에서 용출하는 가연성 가스를 희석시켜 갱외로 배출하는 동시에 더운 갱내에 신선한 공기를 공급함으로써 작업장 환경을 개선하고 종업원의 보건과 위생을 유지하는데 있다. 따라서 갱내에 환기해야 할 풍량은 언제나 상기 목적을 만족시키는데 충분한 양이 되어야 한다. 그러므로 갱내 소요환기량은 갱내 취업자 수와 갱내에서 용출하는 가연성 가스량 및 갱내온도를 근거로 하여 산정하고, 각각의 경우를 만족시킬 수 있는 환기량 중에서 최대의 공기량을 소요환기량으로 채택한다[5].

3.1. 갱내 작업자 수에 따른 소요환기량

생산계획에 의해 일일 생산량을 결정하고 입갱 실적 통계치를 적용하여 일일 입갱인원을 산출한다. 일일 동시 최대 입갱인원을 산출하기 위하여 일일 입갱 인원수를 2등분 하면 일반적으로 1교대의 동시 최대 입갱인원수가 산출되며, 본 연구에서는 갱내 입갱 출근일지를 참고하여 일일 작업 최대인원을 선정하였다.

또한 입갱인원 일인당 소요환기량 결정은 가연성 가스가 용출하는 갑종탄광의 경우 국내 광산 보안 규칙으로 규정된 입갱인원 일인당 최소 3 m³ min⁻¹ 이상을 적용하였다. 갑종탄광을 제외한 다른 광산은 법으로 소요환기량의 규정이 되어 있지 않지만 일반적으로 일인당 필요한 소요환기량이 노동시에 1.2~2.4 m³ min⁻¹ 이며 다수인이 같은 장소에서 작업할 때 갱내에서 배출된 호흡공기를 다시 흡입하지 않고 신선한 공기

로 호흡하려면 0.75~2.0 m³ min⁻¹의 공기량이 소요된다. 대개 일일 동시 최대 갱내 작업인원에 대하여 일인당 3 m³ min⁻¹으로 보는 것이 타당하다. 일일 동시 최대 입갱 인원수에 필요한 소요환기량을 산정한다[2].

3.2. 가연성 가스 용출량에 따른 소요환기량

일 평균생산량을 일 기본생산량으로 함에 있어 실제 생산 작업 과정에서 생산량이 증감되는 것을 고려해야 한다. 일 최대생산량을 결정하기 위해 일 최고생산율을 결정하여야 한다. 일 최고생산율은 작업장 상황에 따라 차이가 있지만 기본생산량의 120%를 최고생산율로 가정하였다.

최고생산율을 결정한 이후 석탄의 생산 ton에 따른 가스 용출량을 결정하여야 한다. 채탄 작업장의 심도가 깊어질수록 가연성가스의 용출이 증가에 대한 일정한 규칙이 있는 것은 아니므로 새로 개발하는 탄광의 경우에는 부근 탄광 갱내에서의 1톤당 가스 용출량을 참고하여 추정하여야 하고, 개발중인 탄광은 과거 가스발생량과 심도 증가를 고려해서 가연성 가스 용출량을 결정하여야 한다.

그러므로 가연성 가스 용출량 결정(V_G)은 생산량, 가스 용출량 및 일일 생산량으로 Equation (1)과 같이 계산한다.

가스 용출량 V_G(m³ min⁻¹)은 Equation (1)에 의하여 계산된다(F. B Hinsley, 1966).

$$V_G = \frac{\text{일일생산량} \times \text{최고생산율} \times \text{톤당가스용출량}}{24 \times 60} \quad (1)$$

A광업소는 을종 탄광으로 가연성가스가 용출되지 않지만 기존 석탄 광업소의 가스 용출량 기록을 토대로 생산 1톤당 5m³로 결정하였고 이를 기준으로 소요환기량을 계산한다.

3.3. 갱내 온도에 의한 소요환기량

대기중의 공기가 갱내로 유입된 후 갱내기류의 온도는 암반의 지열 온도와 심도 변화에 의한 기류 자체의 단열 압축열 및 기계류에 의한 마찰열 그리고 기류 자체의 속도 변화에 의한 열 등에 영향을 받는다. 그 외 갱내 각종 산화물에 의한 산화열, 인체에서 발하는 발산열, 갱내 갱도벽 및 주위 수분의 증발에 의한 흡수열 등에 의하여 변화한다[6].

이와 같이 변화하여 고온화한 온도를 사람이 작업할 수 있을 정도로 저하시키기 위하여 갱내 유효온도(체감온도)를 28 °C 이하로 낮추는데 필요한 소요 공기량을 계산할 필요가 있다.

그러나 이 계산이 용이하지 않으며 만일 정확히 계산하려고 하면 갱도규격, 갱도 굴착 경과 시간, 갱도 벽면의 습기 여부, 암반의 지열온도, 암반의 열전도도 및 암반의 열전달율 등의 정확한 자료가 있어야 하며 계산과정 역시 반복 수렴하여 계산을 해야 하는 등 복잡한 과정이 뒤따라야 한다[3].

그러나 상기한 자료가 비치되어 있지 않고 만일 이와 같은 시험을 거치려면 상당한 시간이 소요되므로 다음과 같이 3단계로 나누어 대략적인 소요 풍량을 계산하도록 했으며

이 방법에 의하여 산출하여도 큰 착오가 없는 것으로 판단된다[6].

즉 제 1 단계로 사갱이나 수갱으로 수평방향이 아니라 심부 연직 방향으로 공기가 유입되어 수준차가 생기는 경우만을 생각한다. 사갱이나 수갱의 입기 갱도는 심부화 됨에 따라 갱도기류 온도가 상승한다. 그러나 갱도벽에서 수분이 증발하는 등 원인에 의하여 기온을 저하시키므로 이와 같은 기류 온도는 풍량에 별로 영향이 없이 다만 공기 단열 압축에 의한 온도 상승과 수분 증발에 의한 온도 하강 등을 감안하여 100 m 하부로 진행함에 따라 0.6 °C ~ 0.8 °C로 추정 증온을 주어 계산하면 될 것으로 본다[8].

제 2단계는 심부 어느 수준에서 수평방향이냐 운반 갱도를 따라 유통하는 경우를 생각한다.

이 운반갱도는 대략 개착한 후 2년 정도 경과하고 그 거리는 약 1500 m 보고 있으므로 그 갱도의 환기량 Q_2 ($m^3 sec^{-1}$)는 Equation (2)으로 계산할 수 있다.

$$Q_2 = \alpha_2 Q_1 = \frac{2\pi\eta\lambda_g S(t_0 - \frac{t_3 + t_2}{2})}{C_p \times 3600 \times r(t_3 - t_2)} \quad (2)$$

- Q_1 : 소요환기량($m^3 sec^{-1}$)
- Q_2 : 해당수준(편)의 분산 환기량($m^3 sec^{-1}$)
- α_2 : 해당수준(편)의 환기량 분산률
- t_0 : 압반온도(°C)
- t_3 : 운반갱도 끝의 온도(°C)
- t_2 : 운반갱도 입구의 온도(°C)
- C_p : 공기 비열(0.24)
- λ_g : 압반의 열전도율(사암 2.5 kcal/mb°C)
- S : 운반갱도 환기거리(m)
- η : 갱도개착 경과시간 계수
(운반갱도 2년 경과는 대략 0.4임)

제 3단계는 수평갱도 즉 운반갱도에서 맹갱도인 작업장으로 공기를 유입시켜 작업장 공기온도를 저하시키는 경우를 생각한다.

작업장 갱도는 규격을 3.3 m × 2.4 m (단면적 6.23 m², 갱내 지압을 받은 일반적 막장)으로 하고 일반적 거리는 100 m까지 하여 평균 갱도 개착 후 경과 시간은 15일로 가정한다.

일반적으로 작업장의 환기는 국부 환기로 하며 작업장의 환기량은 풍속의 제한을 받으므로 (풍속은 고속으로 하면 분진 비산 등 곤란) 풍속을 1 ~ 2 m sec⁻¹로 하여 작업장 풍량은 162 ~ 324 m³ min⁻¹ 정도로 유지하면 된다[9].

작업장 온도는 Equation (3)에 의하여 계산한다[7].

$$t_4 - t_3 = \frac{2\pi\eta\lambda_g S(t_0 - \frac{t_4 - t_3}{2})}{C_p \times 3600 \times r \cdot Q_f} \quad (3)$$

Q_f : 작업장의 환기량($m^3 min^{-1}$)

t_4 : 작업장 기류 온도(°C)

η : 갱도개착 경과시간 계수(여기서 15일 경과로 0.7로 됨)

3.4. 소요 환기량 결정

상기 소요 환기량 산정 계산치 중에서 갱내온도를 기준으로 한 소요환기량이 가장 많은 환기량으로 나타났으므로 6,152 m³ min⁻¹을 본 탄광의 갱내 소요 환기량으로 결정함이 타당한 것으로 사료된다.

- 갱내 작업자수에 의한 (안전율을 고려) 소요 환기량 : 690 m³ min⁻¹
- 가스 용출량에 의한 소요환기량 : 869 m³ min⁻¹
- 갱도 온도를 통한 소요환기량 : 6,152 m³ min⁻¹

상기 소요환기량 산정 계산치 중에서 갱내 작업자수에 의한 소요환기량은 작업일지를 참고하여 일일 동시 최대 갱내 작업인원에 대하여 일인당 3 m³ min⁻¹으로 계산하였을 경우에 690 m³ min⁻¹였으며, 두 번째 방법인 가스용출량에 의한 소요 환기량은 가스용출량을 생산 1톤당 5 m³로 추정하였으며 광산의 일일 최고생산율을 이용하여 계산하였을 경우 869 m³ min⁻¹였으며, 갱내온도를 기준으로 한 계산에서는 19편 작업장의 유효온도를 28 °C로 계산하였을 경우 소요환기량은 6,152 m³ min⁻¹으로 계산되었다.

4. 국부 통기 방식에 따른 갱내 온도 분포

국내의 가행되는 광산은 총 5곳이며 각 광업소는 광물의 매장량 및 분포에 따라 생산방식이 다르다. 그러나 공통적으로 생산을 위해 작업장으로 이어지는 터널은 유사하며 더운 작업장의 온도를 낮추기 위해 각 작업장마다 국부 선풍기를 사용하게 된다. 그렇지만 동일한 광업소라 할지라도 작업장의 선풍기 배열 및 위치가 각 작업장마다 다르게 되어있다. 어느 곳에서는 배기식으로 통기를 하고 있으며, 또 어느 곳에서는 입기식으로 통기를 하고 있다. 이에 본 연구에서는 작업장의 통기 효율을 높이기 위해서 과연 입기식 통기방식과 배기식 통기방식 중 어느 것이 더 효과적인지에 대해서 모의실험을 하였다.

이 모의 실험에서는 PHOENICS 프로그램이 사용되었으며, 이 프로그램은 영국의 CHAM (Computation Heat And Momentum)사에서 만든 상용 CFD 유체 유동 시뮬레이션 프로그램이다. 유동 및 열전달과 관련된 모든 문제를 다룰 수 있으며 그 정확성은 널리 검증되었다.

본 연구에서는 국부통기의 두 가지 형태에 대해서 시뮬레이션 하였다. 첫번째는 국부선풍기로 신선한 공기를 작업장까지 입기시키는 입기식 통기방식이며, 두번째는 작업장의 국부 선풍기로 배기시키는 배기식 통기방식에 대해서 모의실험을 하였다. 작업장마다 선풍기는 두 대인 것으로 하였으며, 실제로 갱내에서의 풍속은 와류이며 일정하지 않지만 모의실험

힘을 위해 선풍기의 풍속은 12 m sec^{-1} 로 하였으며 풍관의 직경은 연구대상 광업소에서 가장 많이 쓰이는 400 mm 로 하였다, 작업장까지의 풍관의 길이는 80 m 로 하였으며 작업장의 온도는 $32 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 가정하였다. 작업장의 크기는 본 광업소의 일반적 작업장의 크기인 $3.2 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$ (가로 \times 세로)로 하였으며, 작업장입구에서 입기되는 공기의 온도는 $24 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 하였다.

4.1. 입기식 국부 통기 방식

입기식 국부 통기 방식 모델은 Figure 2에서 보는바와 같이 입기식으로 작업장을 통기하였을 경우이며 이를 PHOENICS 프로그램이 사용하여 모의실험 하였다. 선풍기는 긴 풍관에서 공기를 불어넣어 주며 짧은 풍관에서 배기시키는 것으로 하였다. 입구에서 작업장까지의 길이는 80 m 로 하였으며, 작업

장까지의 풍관의 길이는 75 m 로 가정하였다. 작업장의 온도는 앞에서 언급한 것처럼 $32 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 하였다. 풍관의 직경은 400 mm 이고, 풍관을 통해 입기되는 공기의 초기온도는 $24 \text{ }^\circ\text{C}$ 이며, 풍관내 공기의 속도는 12 m sec^{-1} 로 하였다.

PHOENICS 수치해석 결과로 나타난 Figure 3은 작업장내 공기의 속도 분포이다. 그림에서처럼 풍관을 통해 입기되는 공기의 속도는 12 m sec^{-1} 이지만, 작업장내 공기의 속도는 약 1 m sec^{-1} 의 속도로 작업장쪽에서 작업장의 입구쪽으로 공기가 미미하게 흐르고 있다.

PHOENICS 실험결과, Figure 4는 작업장내 공기의 온도 분포이다. 작업장내 공기의 온도는 벽면을 따라서 약 $32 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 분포하고 있다. 풍관 내 유입되는 공기의 온도는 $24 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 외부와의 단열이 이루어졌을 경우이며, 작업장은 비교적 온도

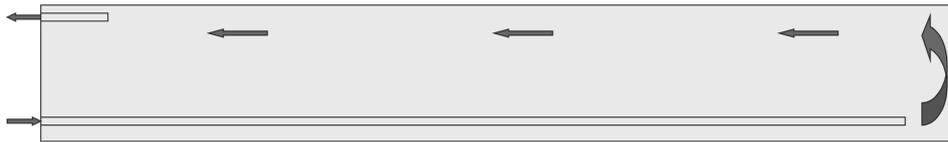


Figure 2. The blowing ventilation model of a carriage tunnel.

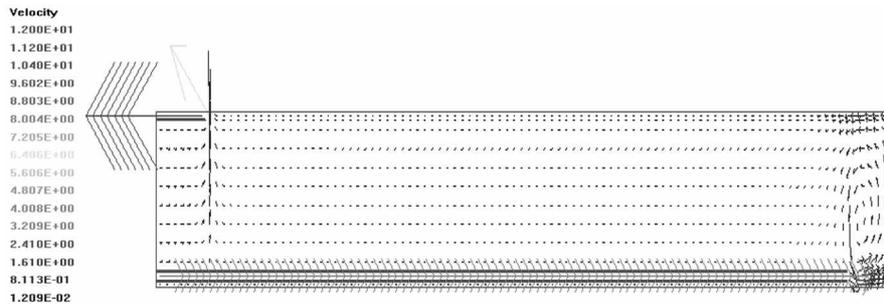


Figure 3. Airflow diagram in a carriage tunnel.

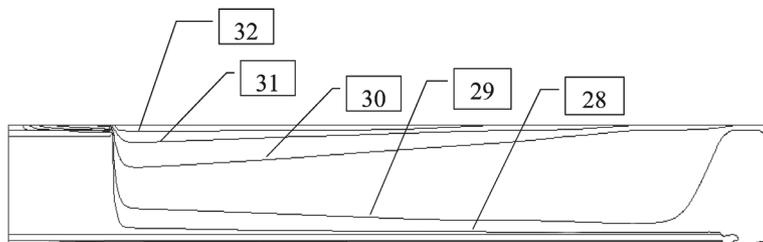


Figure 4. The temperature distribution of a carriage tunnel.

가 감소되어 약 28 °C의 온도를 이루고 있으나, 갱내의 입구에서부터 터널의 중간까지는 약 30 °C의 온도를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 입기식 통기방식으로 작업장까지 풍관을 통해서 통기하였을 경우에는 약 28~32 °C로 분포하고 있으나 작업장내 주로 힘든 운반작업이 이루어지는 갱도 중간 전후에는 약 30 °C의 높은 온도로 분포하는 것을 알 수 있다.

4.2. 배기식 국부 통기방식

배기식 국부 통기 방식 모델은 Figure 5에서 보는바와 같이 배기식 통기방식으로 작업장을 통기하였을 경우를 모의 실험하였다. 모든 조건을 앞에서 언급한 입기식 통기 방식과 같게 하였다. 작업장의 온도는 앞에서 언급한 것처럼 32 °C로 하였다. 풍관을 통해 입기되는 공기의 초기온도는 24 °C이며, 풍관내 공기의 속도는 12 m sec⁻¹로 하였다. 다만 짧은 풍관을 통해서 입기시키며, 긴 풍관을 통해서 배기시키는 것으로 입

기식 국부 통기방식과 반대로 하였다.

PHOENICS 실험결과, Figure 6은 작업장내 공기의 속도 분포이다. 그림에서처럼 풍관을 통해 배기되는 공기의 속도는 12 m sec⁻¹이다. 작업장내 공기의 속도는 앞서 실험한 입기식 통기방식과 마찬가지로 약 1 m sec⁻¹의 속도로 작업장 쪽에서 서브의 입구 쪽으로 공기의 미미한 유동이 있다. 공기의 속도는 앞에서 실험한 입기식 통기방식과 별 차이가 없었다.

PHOENICS 실험결과, Figure 7은 작업장내 공기의 온도 분포이다. 작업장내 공기의 온도는 벽면을 따라서 약 32 °C로 분포하고 있다. Figure 7에서 보면 긴 풍관을 통해 갱내의 뜨거운 공기가 배기되는 알 수 있다. 풍관 끝 지점에서의 공기의 온도는 약 32 °C의 온도로 이루고 있으나, 갱내의 입구에서부터 중간까지는 약 28 °C의 온도를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 배기식 통기방식으로 작업장까지 풍관을 통해서 통기하였을 경우에는 입기식과 마찬가지로 약 28~32 °C

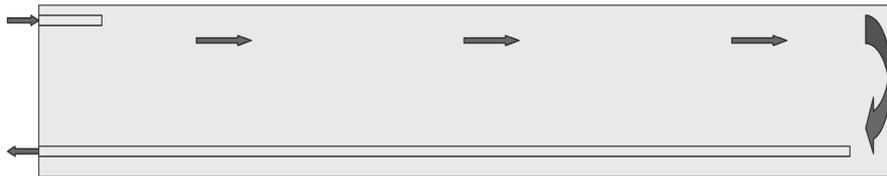


Figure 5. The exhausting ventilation model of a carriage tunnel.

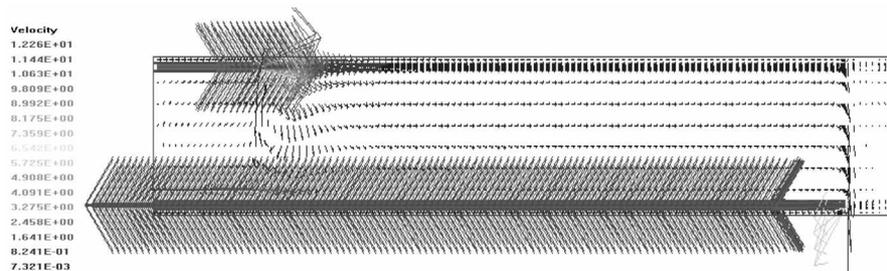


Figure 6. Airflow diagram in a carriage tunnel.

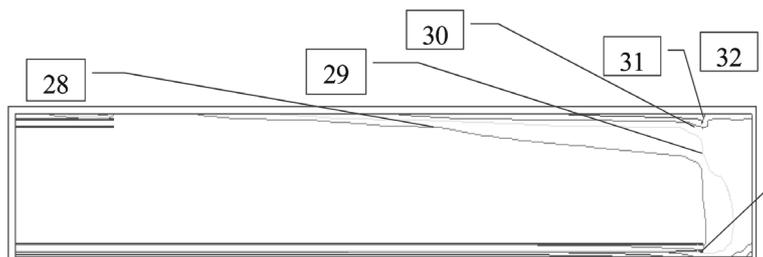


Figure 7. The temperature distribution of a carriage tunnel.

로 분포하고 있으나 작업장내 주로 힘든 운반작업이 이루어지는 갱도 중간 전후에는 약 28 °C의 비교적 낮은 온도로 분포하는 것을 알 수 있다. 유체유동 모의실험을 통하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

첫째, 갱도내 공기속도는 송기식과 배기식의 차이는 거의 없으며,

둘째, 갱도 운반갱도의 온도가 송기식 통기방식보다 배기식 통기방식이 2~3 °C 낮다.

위와 같은 실험 결과로 국부통기의 모델을 제시하자면, 먼저 작업장의 통기는 특별한 경우가 없는 한 배기식 통기방식으로 하며, 작업장에는 작업원들이 석탄에서 방출되는 열이나 지열로 인하여 온도가 상승하므로 압축공기를 통하여 입기되는 공기의 온도보다는 공기의 속도로 인하여 체감온도를 낮추어 주는 것이 바람직하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구를 현재 A광업소의 통기시스템의 평가와 실제 작업장에서의 입기식 통기방식과 배기식 통기방식을 전산유체 프로그램은 PHOENICS를 이용하여 수치해석 하였다. 향후 본 연구가 탄광 심부화에 따른 통기 문제 해결에 적용될 수 있을 것을 기대 하면서 본 연구의 결론을 다음과 같이 요약한다.

A광업소의 현재 입기되는 총량은 4,710 m³ min⁻¹이었으며, 실제 계산한 소요환기량 6,152 m³ min⁻¹으로 계산되었다. 이는 현재의 소요환기량, 즉 총 입기량 1,442 m³ min⁻¹이 부족한 것으로 나타났다. 앞으로 광산의 특성상 생산에 따라 심도 증가할 것이며 소요통기량 또한 많아 질 것으로 예상된다.

PHOENICS를 통하여 국부통기 방식에 따른 갱내의 온도 분포를 유체 모의실험을 해본 결과, 갱도내 공기속도는 송기식과 배기식의 차이는 거의 없었으나, 운반갱도의 갱내 온도가 송기식보다 배기식이 2~3 °C 낮은 것으로 나타났다.

작업장의 국부통기는 배기식 통기방식으로 하며, 작업장 부근의 작업원들에게는 입기되는 공기를 이용하는 것보다 압축공기를 사용하여 작업원들의 체감온도를 낮추어 주는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 운반갱도에서 작업장까지의 길이

가 긴 경우 송기식보다는 배기식 통기방식을 운용하는 것이 더욱 효과적일 것이다.

이상의 연구결과에서 심부 갱내 환경을 더욱 쾌적하게 하기 위해서 구체적인 통기 대책 및 효과에 대한 연구가 더욱 더 활발히 있어야 할 것이며, 이러한 연구가 광산뿐만 아니라 심부지하의 작업장이나 지하구조물의 작업장 통기설계에 많은 적용이 기대된다.

References

1. Hartman, H. L., "Mine Ventilation and Air Conditioning (Second Edition)," A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION (1982).
2. McPherson, M. J., "The Resistance to Airflow of Mine Shafts," Mine Ventilation Society of South Africa (1987).
3. Wang, Y. J., and Saperstein, L. W., "Computer-aided Solution of Complex Ventilation Networks," *Soc. Min. Eng. AIME*, p. 247 (1970).
3. Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., and Wang, Y. J., "ine Ventilation and Air Conditioning," *Wiley Interscience*, 133-165 (1997).
4. Kim, Y. K., "Study on the Improvement of Ventilation System in Jang-Sung Colliery," *J. Korean Inst. Mineral and Energy Resour. Eng.*, **37**(3), 173-180 (2000).
5. Kwon, S. M., Yoon, C. H., Yang, H. S. and Mok, H. S., "Study on The Ventilation Net Analysis in Deep Coal Mine," *J. Korean Inst. Mineral and Energy Resour. Eng.*, **23**, 338-344 (1986).
6. McPherson, M. J., "Surface Ventilation and Environmental Engineering" *Chapman & Hall*, 134-141 (1993).
7. McPherson, M. J., "CLIMSIM for Windows Version 1.0 User' Manual," *Mine Ventilation Services*, 14-19 (1997).
8. Mücke, G., "Bewetterung und Klimatisierung beim Abbau in großen Teufen," *Glückauf*, **121**(4), 284-293 (1985).
9. Sethi, S. C., "Modification of the Ventilation System," Society of Mining Engineers, Inc, Colorado (1987).