

대단면 갱내 국부 선풍기의 벤츄리(Venturi) 효과 연구

이창우*, 응웬반득

Venturi Effects Induced by the Local Ventilation Fan in Large-Opening Room-and-Pillar Mining Sites

Chang Woo Lee* and Nguyen Van Duc

Abstract In large-opening room-and-pillar mining sites, particularly without the devices for the ventilation control, the airflow pattern created by the local fan operation is too complicated to quantify and also shows low ventilation efficiency. This study aims at performing a series of CFD analysis for the so-called venturi effects of the local fans; the effects of increasing airflow rate along the axis downstream of fan resulting from increased kinetic energy and subsequently decreased static pressure in the downstream. Effects of the fan type and installation height are compared. 1 vane-axial fan and 2 propeller fans are analyzed for their venturi effects, while the vane-axial fan was installed at the height of 1.0, 1.5 and 2.0m for comparison. The results can be applied to improve the economy and efficiency of local fans for securing better air quality and work environment management.

Key words Local fan, CFD analysis, Venturi effect, Large-opening mine, Work environment management

초 록 환기제어 시설을 설치하지 않고 모든 공간을 개방한 형태의 대단면 주방식 채굴 작업장에 설치하는 국부선풍기의 운전에 따른 기류유동형태는 재순환을 포함하고 있어 복잡하고 정량화가 어렵고 환기효율 또한 매우 낮은 편이다. 본 논문에서는 국부선풍기의 운전에 따라 하류편의 기류 운동에너지 증가 및 정압강하 현상인 벤츄리(venturi) 효과로 인접갱도로부터 기류가 유입되어 기류 유동방향으로 환기량이 증가하는 현상을 선풍기 종류 및 설치방법 별로 CFD분석하였다. 분석대상 선풍기는 축류선풍기 1종류 및 프로펠러 선풍기 2종류이며 축류선풍기 중심점 설치 위치를 1.0, 1.5, 2.0m로 변경함에 따른 벤츄리 효과의 차이를 분석하였다. 연구결과는 공기질 개선을 통한 작업환경 관리를 위한 국부 환기의 경제성 및 효율성을 제고하는데 기여할 것으로 기대된다.

핵심어 선풍기, CFD 분석, 벤츄리 효과, 대단면 갱도 광산, 작업환경관리

1. 서 론

국내 지하 석회석 광산은 대부분 갱도 크기가 폭 10~12 m, 높이 6~8 m 정도의 대단면이며 급경사의 석회석 광체를 개발하기 위하여 rampway를 굴착과 주방식 채굴(room-and-pillar mining)이 일반적이다. 각 수평갱도

는 광체의 두께에 따라 차이는 있으나 적어도 3~4개 이상의 광주(pillar)를 두께방향으로 남기면서 굴진하고 있다. 따라서 환기목적의 수갱을 하부 갱도까지 굴착하지 않을 경우에는 하부 갱도까지 충분한 환기량을 공급하기가 불가능하며 수갱을 굴착한 경우에도 대단면 갱도내에서 작업장 소요환기량이 과다하여 주 선풍기(main fan)를 이용하는 환기방식은 경제성 측면에서 적용하기가 어렵다.

현재, 국내 석회석 광산 작업 환기의 어려움으로 인하여 작업장 부근 풍속은 0.5 m/s 이하의 초저속이며 국부 선풍기(local fan)를 포함한 환기시스템의 설계는 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 천공, ANFO 장전, 적재, 운반, 부서제거 등과 같은 작업에 디젤장비를 이용하고 있는 현장에서 디젤장비로부터 배출되는 오염물질 특

Received: Dec. 19, 2014

Revised: Dec. 24, 2014

Accepted: Dec. 26, 2014

***Corresponding Author:** Chang Woo Lee

Tel) +82512007769, Fax) +82512007771

E-Mail) cwlee@dau.ac.kr

Department of Energy and Mineral Resources Engineering,
Dong-A University, Busan, Korea

히 입자상 물질인 매연의 제어가 거의 불가능한 상황이다.

이와 같은 작업공간 내 환경제어를 위하여 일반적으로 국부 선풍기를 활용하나 이에 따른 작업공간내 환기 효율 분석이 거의 이루어지고 있지 않다. 특히, 국내 석회석 광산과 같이 주방식으로 채굴하는 대단면 갱도의 경우, 채굴 완료된 지역에 풍문이나 커튼과 같은 시설을 이용한 환기 제어가 어려운 관계로 모두 다 개방하는 경우가 일반적이므로 특정 작업개소를 목표로 한 국부 선풍기의 환기효율은 극히 낮은 편이다. 국부 선풍기로부터 10 m/s이상의 높은 풍속으로 송풍되는 기류는 속도압의 증가로 인한 정압이 감소하는 벤츄리(venturi) 효과에 따라 하류편에서는 인접 갱도로부터 기류가 유입됨에 따라 환기량이 점진적으로 증가하는 현상이 관찰되며 증가 구간의 길이 또한 200 m에 근접함이 보고되었다.^{1,2)} 따라서 유해물질의 제어를 위한 소요환기량을 기준으로 환기시스템 설계를 하는 경우에는 이와 같은 벤츄리 효과를 고려하지 않고 있어, 과다 설계로 인한 경제성 문제의 대두가 우려된다.

본 논문에서는 선풍기의 종류 및 설치 운영 방법에 따른 벤츄리 효과를 분석함으로써 궁극적으로는 국부 선풍기에 의한 효율적 환기시스템 설계의 기초자료를 제공함이 목적이다.

2. 벤츄리 효과

선풍기에서 빠른 속도로 토출되는 기류의 속도 증가에 따라 운동에너지는 증가하나, 에너지 보존법칙에 따라 정압은 감소하게 되며 운동에너지의 증가만큼 정압의 감소를 초래하게 되는 현상인 벤츄리 효과에 따라 하류편 상당 거리까지 유량이 증가한다. 사용한 선풍기의 종류, 용량 및 특성에 따라 차이는 있으나 하류지점에서의 유량이 선풍기 토출량의 4~17배에 달함이 보고

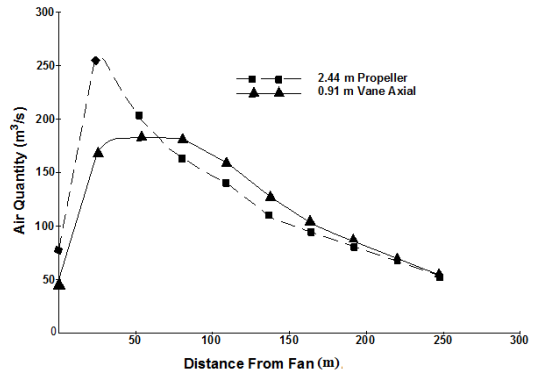


Fig. 1. Airflow characteristics for free-standing vane-axial and propeller fans¹⁾

되었다.¹⁻³⁾ Fig. 1은 12 m(W) x 8 m(H)의 갱도, 12 m x 12 m 크기의 광주를 가진 주방식 채굴현장을 대상으로 NIOSH에서 측정한 자료이다.³⁾ 0.91 m 지름의 축류 선풍기에 0.58m 지름의 노즐을 부착하여 토출속도 38 m/s로 10.4m³/s를 송풍하는 경우와 토출속도 13m/s로 58.5m³/s를 공급하는 2.4m 지름의 프로펠러 선풍기를 사용한 2가지 경우의 하류지점 풍량 변화를 비교하고 있다.³⁾ 프로펠러 선풍기의 경우 첫번째 X-cut 지점에서 환기량이 토출량의 4.3배 이르며, 축류팬의 경우에는 동일지점에서부터 세번째 X-cut 지점까지 16.8배에 달하는 유량이 관찰되었으며 이러한 벤츄리 효과는 약 250 m까지 유지되었다. X-cut은 축방향과 횡방향 갱도의 교차공간을 의미한다.

3. 벤츄리 효과 CFD분석

3.1 대상 광산

본 논문에서는 Fig. 2에서와 같이 10 m x 10 m의 광

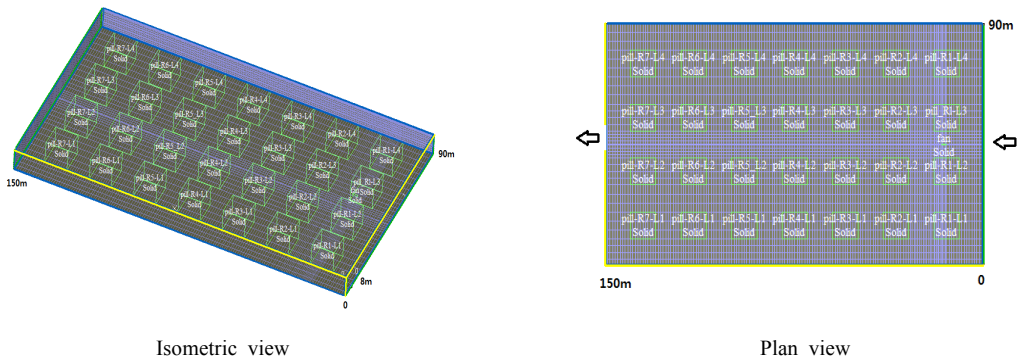


Fig. 2. Large-opening mine site for CFD analysis

Table 1. Characteristics of the fans for CFD analysis

Scenario	1	2	3
Fan type	Vane-axial fan	Propeller fan	Propeller fan
Fan dimension	- Φ 0.91 m with Φ 0.58 m reducer -discharge diameter: 0.58 m	-discharge diameter: 2.4 m	-discharge diameter: 3.66 m
	-length: 2 m	-length: 2 m	-length: 2 m
Fan capacity	19 KW	17.2 KW	25 KW
Fan discharge rate	10.4 m ³ /s	58.5 m ³ /s	132 m ³ /s
Outlet velocity	39.4 m/s	13 m/s	12.6 m/s
Fan thrust	492 N	917 N	2003N
Duct installation	No	No	No

Table 2. Characteristics of the airway ventilation resistance

Category	Air velocity(m/s)				
	0.1	0.2	0.5	5	10
Wall roughness height (mm)	20	20	20	20	20
Reynolds number	67,677	135,353	338,383	3,383,829	6,767,658
f	0.0256	0.0246	0.0239	0.0235	0.0234
K (kg/m ³)	0.0153	0.0147	0.0143	0.0141	0.0141

주가 4줄로 배치된 5개의 10 m(W) x 8 m(H), 구배 0% 갱도를 평행으로 굴진하는 폭, 길이, 높이가 각각 90 m, 150 m, 8 m의 주방식 채굴현장에서 Table 1과 같이 특성이 다른 3종류의 선풍기를 중심점 높이 1.5 m로 설치하여 운전하는 시나리오를 대상으로 벤츄리 효과를 CFD분석하였다.

3.2 해석조건

CFD분석 툴로는 미국 Innovative Research사와 Parsons Brinckerhoff사가 공동 개발한 터널 환기 및 방재분석 전용 모델인 SOLVENT ver. 1.0을 사용하였다. 갱도 내 벽의 환기저항은 Table 2에서와 같이 점성계수 17.9×10^{-6} Pa·s 가정하에 일반적으로 라이닝을 하지 않은 발파면을 가진 갱도의 일반적 저항값 범위인 f(Darcy 마찰계수) 0.0234~0.0256, K(Atkinson 환기저항계수) 0.0141~0.0153 kg/m³를 적용하였다.⁴⁾

4. 벤츄리 효과 분석 결과

4.1 축방향 풍속분포

Fig. 3에는 선풍기 설치 갱도 축방향 풍속분포를 도시

하였다. 본 분석결과에서 언급하는 거리는 선풍기 토출점인 x=17 m를 기준으로 한 거리이다. Fig. 1(a)는 비교목적으로 10 m x 8 m 단일 갱도에 시나리오 1과 동일한 축류 선풍기를 중심 높이 1.5 m에 설치한 경우이다. 양 갱구의 경계조건이 기압이므로 갱도 중간 천정부 일부구간의 풍속이 낮게 나타나고 풍속 2 m/s 이상인 기류층의 형태는 전형적인 벤츄리관의 형태를 보여주고 있다.⁵⁾ 이에 반하여 시나리오 1, 2, 3 모두 선풍기 하류편에서 풍속 2 m/s 이상의 층이 현저하게 발달하는 현상이 관찰된다. 선풍기 흡입부 일부공간에서 풍속이 증가하는 현상이 프로펠러 선풍기가 설치된 시나리오 2 및 3에서 관찰되나 구간 길이는 겨우 2~3 m정도에 불과하다.

선풍기에서 토출되는 풍속 7~10 m/s 되는 제트류(jet stream)는 Fig. 3(a) 경우에 토출점으로 부터 30 m정도까지 바닥과의 충돌에 의한 에너지손실 없이 확산되며, 풍속 5~7 m/s의 기류층은 바닥과 충돌 후에도 토출점 기준 80 m지점까지 0.8~2 m 두께로 확산된다.

시나리오 1의 경우, 풍속 7~10 m/s 기류층은 22 m정도까지 도달하나 13 m지점 부근에서 바닥과 충돌하며 5~7 m/s로 이동하는 기류층은 3 m정도 높이로 약 80

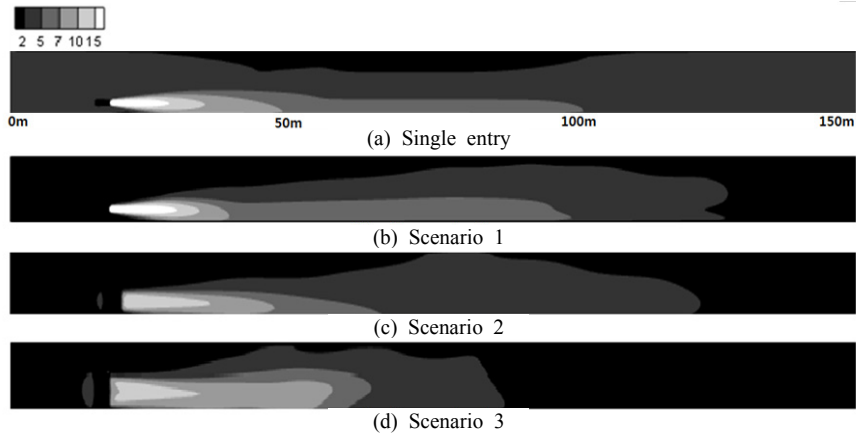


Fig. 3. Distribution of air velocity over the vertical plane along the airflow axis

m까지 도달한다. 2~5 m/s층의 도달거리는 약 110 m이다. 지름 2.4 m 프로펠러 선풍기가 설치된 시나리오 2의 경우 풍속 2~5 m/s 기류층의 도달 거리는 98 m 정도 이나 5~7 m/s층의 도달 거리는 58 m로 상대적으로 짧다. 한편 7 m/s 이상의 제트류는 23 m까지 이동하고 있다.

선풍기의 단면적이 가장 큰 시나리오 3 경우에는 제트류와 바닥의 충돌이 가장 뚜렷하게 일어남에 따라 2 m/s 이상의 기류층의 도달 거리가 시나리오 1과 2보다 각각 43 m, 31 m 짧은 67 m 정도로 나타난다. 5~7 m/s 및 7~10 m/s 기류층의 도달거리는 각각 44 m, 38 m이다. 프로펠러 용량이 시나리오 2에 비하여 상대적으로 큰 시나리오 3의 경우 풍속 7~10 m/s 기류층의 확산 거리가 15 m 정도 더 길지만, 2~5 m/s 기류층의 경우, 천정 부근에 먼저 충돌한 후 에너지를 잃고 빠른 속도로 소멸함을 알 수 있다. 확산 거리는 28 m로 오히려 짧게 나타난다. 한편, 프로펠러 선풍기의 토출속도는 15 m/s 이하이므로 Fig. 3의 시나리오 2 및 3의 최고 풍속 범위는 10~15 m/s 범위이다.

선풍기의 추력이 클수록 풍속이 7 m/s 이상으로 빠른 제트류의 확산거리는 크게 나타나나 그 이하 기류층의 경우는 갱도내벽과의 충돌에 의한 에너지 손실정도에 따라 도달거리가 영향을 받고 있음을 알 수 있다.⁶⁾

4.2 축방향 풍량 및 풍속 분포

선풍기 가동에 따른 4개 갱도를 통한 총입기량은 선풍기 종류별 추력 크기에 비례하여 시나리오 별로 각각 155.6, 140.0, 176.5 m³/s이다. 선풍기의 가동에 따른 하류편 광주사이의 축방향 풍량을 Fig. 4에, 벤츄리 효

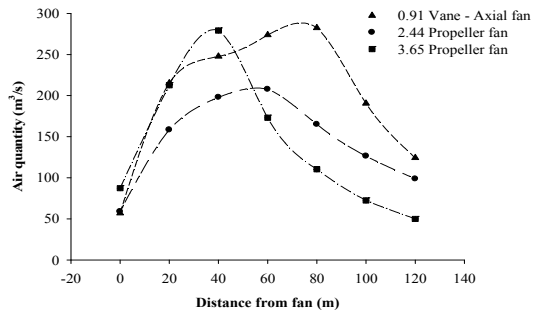
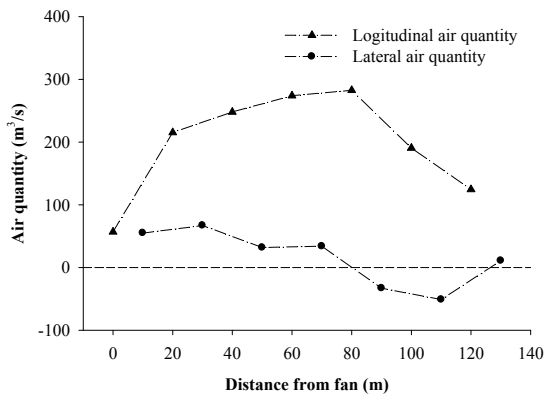
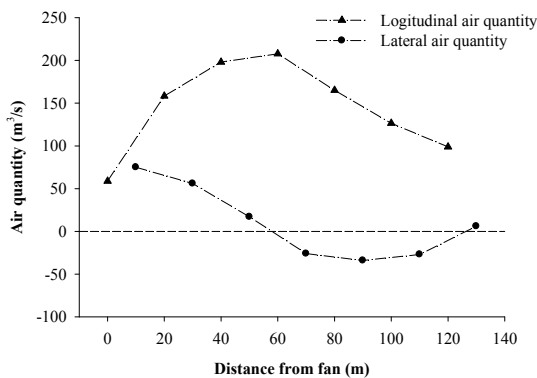


Fig. 4. Airflow rate along the main roadway with fan

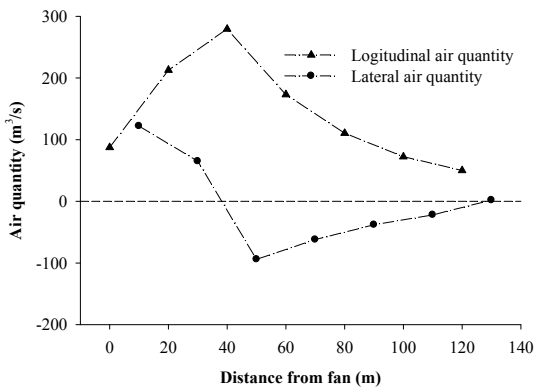
과에 따라 인접갱도로부터 선풍기가 설치된 갱도로 유입되는 횡방향 풍량을 거리별로 Fig. 5에 도시하였다. 첫번째 풍량 관측점은 선풍기가 설치된 지점의 좌우 광주사이 단면이며, 그 이외의 점은 하류편 각 광주사이의 갱도단면을 기준으로 하고 있으며 횡방향 풍량은 선풍기 설치 갱도로 유입 또는 유출이 발생하는 횡단면이 기준이다. 축방향 유량 분포는 Fig. 1의 NIOSH 현장 실험과 유사한 경향을 보여주고 있다. 즉, 제트팬 종류인 축류 선풍기를 사용하는 시나리오 1의 경우에는 선풍기로부터 80 m 정도까지 측면을 통하여 기류가 유입되어 축방향 유량이 증가한 후 다음 X-cut부터는 인접갱도로 유출 현상이 관찰되어 축방향 유량이 점진적으로 감소한다. 지름 2.44 m 프로펠러 선풍기를 설치한 시나리오 2에서는 벤츄리 효과에 의한 유량 증가현상은 뚜렷하나 유입량 및 유입구간 길이는 상대적으로 작아 60 m 정도 까지 유입되고 그 이후는 빠져나가는 형태를 보여준다. 지름 3.65 m 프로펠러 선풍기를 가진 시나리오 3의 경



(a) Scenario 1 with 0.91 m-diameter vane-axial fan



(b) Scenario 2 with 2.44 m-diameter propeller fan



(c) Scenario 3 with 3.65m-diameter propeller fan

Fig. 5. Longitudinal and lateral air quantity

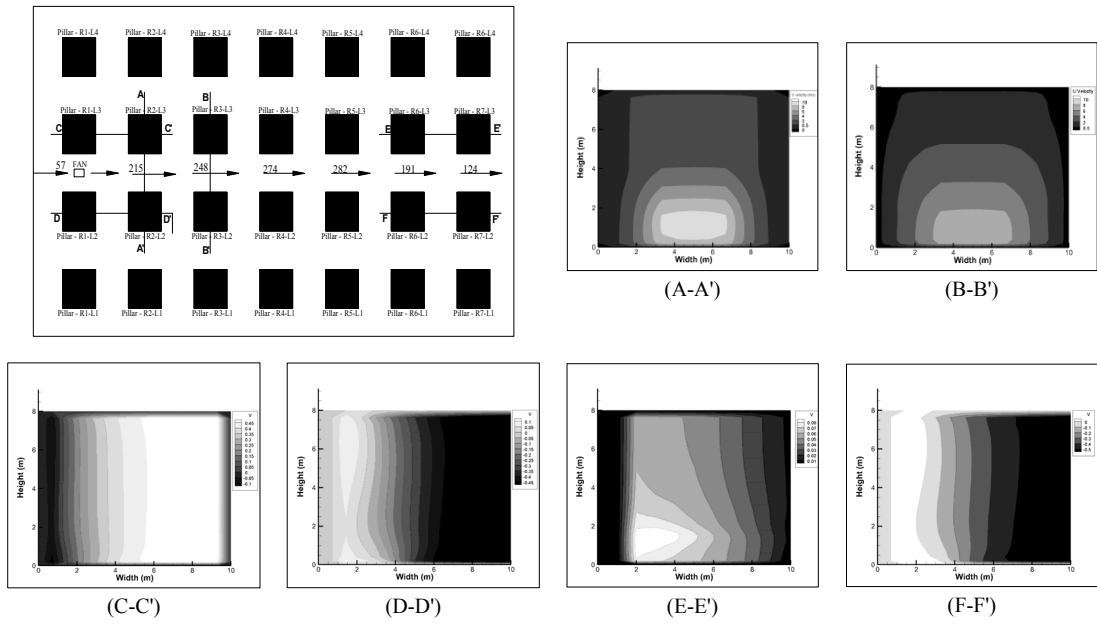
우에는 NIOSH 측정 자료의 축류 선풍기와 같이 벤츄리 효과에 의한 유입구간의 길이가 작게 나타나 40 m 구간 내에서만 유입되며 그 이후는 유출현상이 관찰된다.

이와 같은 차이는 선풍기의 추력을 포함한 특성뿐만 아니라 설치방법에도 영향을 받은 것으로 생각되며 선풍기로부터 토출되는 제트류의 갱도내벽 충돌정도에 따라 발생하는 에너지 손실량에 직접적인 영향을 받는 것으로 보인다. 벤츄리효과에 의하여 증가한 최대 환기량은 선풍기 설치지점의 환기량에 비교하여 시나리오별로 5.0배, 3.6배, 3.2배이다.⁷⁻⁸⁾

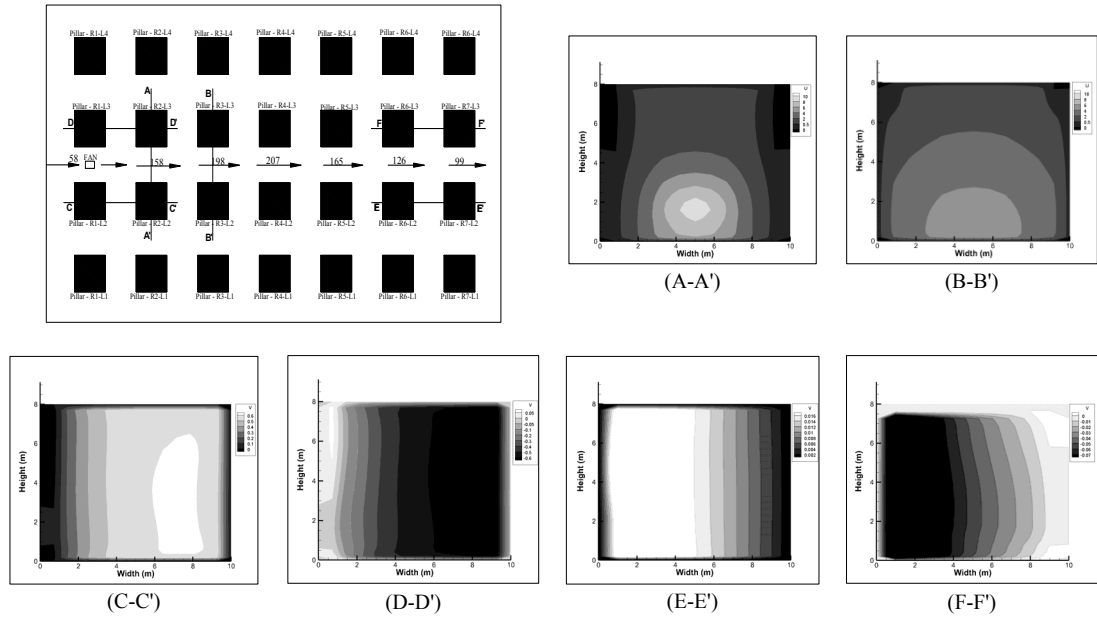
Fig. 6에는 전반적인 풍향 및 풍량을 도시하였으며 동시에 A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F' 단면상에서의 속도 분포를 보여주고 있다. A-A', B-B' 단면에는 축방향 풍속을 C-C' 및 D-D', E-E', F-F' 단면상에는 횡방향 풍속을 나타내었다. 전체 길이 150 m 구간에서 선풍기 설치갱도의 좌우면(Fig. 2의 $y=40$ m 및 50 m plane)의 유출 및 유입 형태는 Fig. 7에 도시하였다. 선풍기가 설치된 $x=20\sim30$ m 구간은 선풍기 운전에 따른 심한 난류 현상으로 일부 유입 및 유출이 동시에 관찰되나 하류방향 3번째 X-cut($x=80\sim90$ m)까지는 선풍기 설치 갱도 쪽으로 순수유입이 되며 선풍기의 승압력에 의하여 증가된 기류의 운동에너지가 대부분 소진된 하류편에서는 유입 및 유출이 동일 단면상에서 동시에 일어나고 있다. 이와 같은 현상은 분석 대상 공간내 기류의 전체 유동 형태를 보여 주는 Fig. 8에 잘 나타나 있다.⁹⁻¹⁰⁾ 하류편으로 갈수록 선풍기 설치갱도에서의 정압 감소로 인한 기류의 재순환 현상이 인접갱도에서 많이 관찰되고 있으므로 작업공간내 공기질 유지를 위하여 이에 대한 분석이 반드시 필요함을 알 수 있다.

4.3 선풍기 설치 높이의 영향

선풍기로부터 토출되는 제트류는 벽면과 충돌시 상당량의 운동에너지의 손실이 발생하며 국내를 포함한 많은 국가에서 터널 설계시 환기용 제트팬의 내벽과의 이격거리를 지름의 0.5배 이상으로 요구하고 있다.¹¹⁾ 이에 따라 선풍기의 설치 위치는 경제적 환기뿐만 아니라 환기의 효율성 측면에서 중요한 변수이다. 본 연구에서는 시나리오 1에 설치된 0.91 m 지름의 축류팬을 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m 높이에 설치한 경우를 비교 분석했다. Fig. 9는 설치 높이별 축방향 풍속 분포를 보여준다. 설치 높이가 낮을수록 선풍기에서 토출된 제트류가 짧은 거리에서 곧 갱도바닥과 충돌하여 기계적 에너지의 손실이 초래되는 현상을 관찰할 수 있다.¹²⁾ 풍속 10 m/s 이상인 기류층의 확산거리는 약 14 m로 설치 높이에 관계없이 거의 동일하며 풍속 5 m/s 이상인 기류층의 도달 거리는 높게 설치할수록 37 m, 77 m, 81 m로 증가하고 있다. 설치 높이 1 m의 경우는 선풍기와 바닥간 높이가 겨우 70 cm에 불과하여 풍속 7 m/s 이상인 기류층



(a) Scenario 1



(b) Scenario 2

Fig. 6. Overall airflow pattern

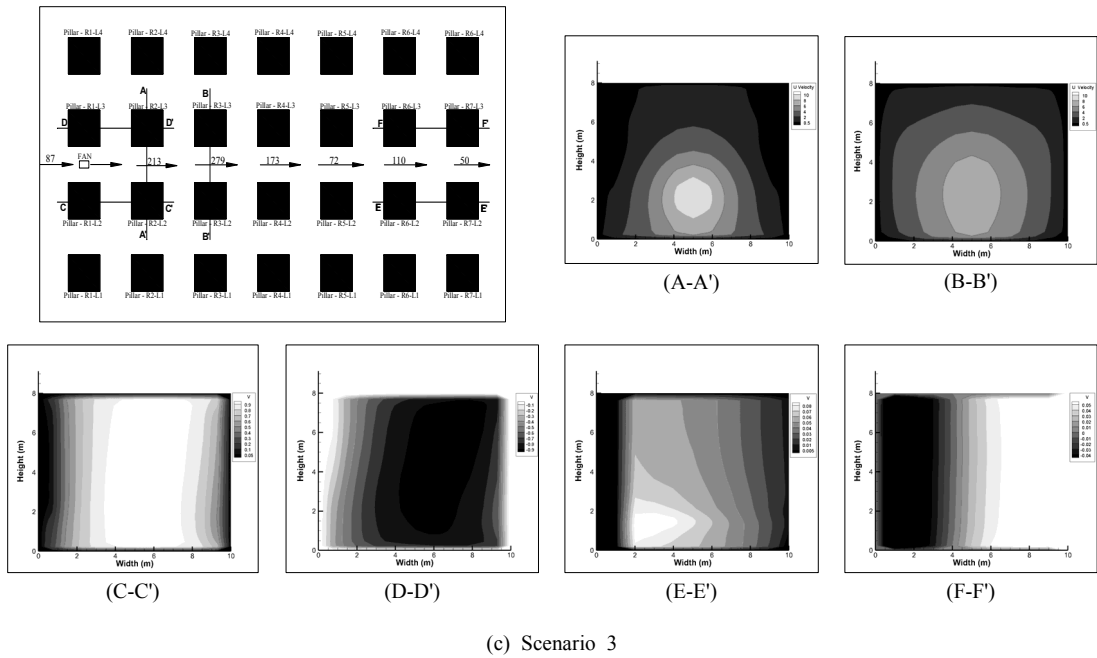


Fig. 6. Overall airflow pattern (Continued)

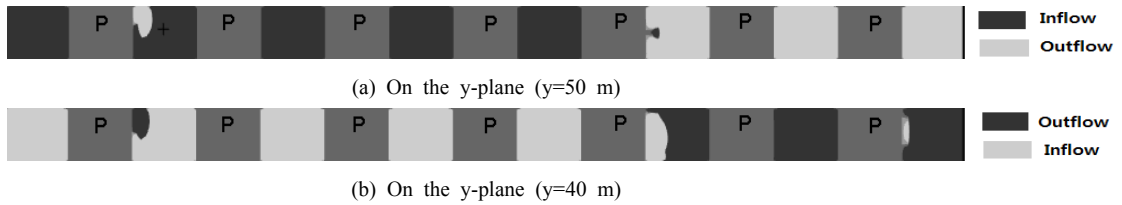


Fig. 7. In and outflow patterns over the X-cut plane

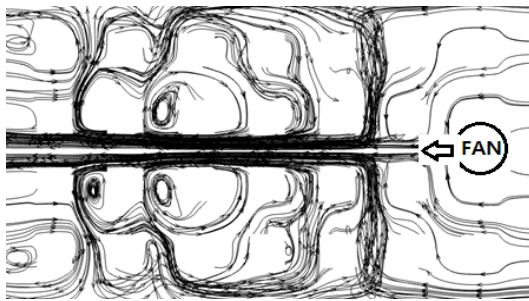


Fig. 8. Airflow pattern in Scenario 1

의 최선단점은 거의 바닥에 닿아 있어 많은 운동에너지의 손실이 예상된다. 이 결과, 선풍기 설치점에 근접한 범위내 갱도 상부에는 풍속 0.5 m/s 이하의 저속 공간이 상당히 많이 관찰되며 설치 높이를 증가 시킬수록 저속

공간의 범위가 상대적으로 감소하고 있다. 총입기량은 설치 높이에 따라 141.5, 155.6, 188.05 m³/s로 증가하는 추세를 보인다.

5. 결론

주방식 대단면 채굴현장에서 국부선풍기의 벤츄리 효과에 따른 환기량 분포를 선풍기 종류 및 설치높이에 따라 CFD분석하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구의 분석대상 선풍기는 19 kW 축류선풍기(Φ 0.91 m), 17.2 kW 프로펠러선풍기(Φ2.4 m), 25 kW 프로펠러선풍기(Φ3.66 m) 3대이다. 양편에 평행으로 채굴한 갱도가 있는 경우에 선풍기 설치갱도로 유입되는 기류에 의한 벤츄리 효과가 뚜렷하게 나타

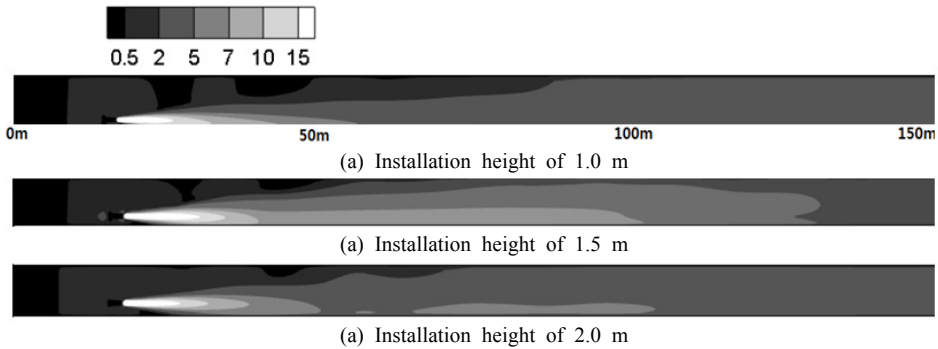


Fig. 9. Distribution of air velocity over the vertical plane along the airflow axis by the fan installation height

난다. 풍속분포의 경우, 7 m/s이상의 기류층의 도달 거리는 선풍기 추력에 비례하여 시나리오 1, 2, 3 각각 22 m, 23 m, 38 m로 증가하나 기류층의 갱도내 벽과의 충돌에 따른 기계적 에너지손실에 따라 2 m/s 이상으로 유동하는 기류층의 확산거리는 오히려 100 m, 98 m, 67 m로 감소하고 있다.

2. 분석대상 공간에 유입되는 총입기량은 155.6, 140.0, 176.5 m³/s로 추력에 비례한다. 벤츄리효과에 의하여 인접갱도로부터 유입되는 기류에 의하여 축방향 유량은 축류 선풍기를 가동한 시나리오 1의 경우 4 번째 X-cut(80m하류)까지, 프로펠러 선풍기를 설치한 시나리오 2, 3에서는 3번째 X-cut(60 m하류), 2 번째 X-cut(40 m하류)까지 증가한 후 점진적으로 감소하나 그 효과는 전체 공간내에서 관찰된다. 벤츄리 효과가 약해지는 지점에서는 횡방향 기류방향이 불규칙하여지며 유입 및 유출현상이 동일 평면상에서 관찰된다. 벤츄리효과에 의하여 증가한 최대 환기량은 선풍기 설치지점의 환기량에 비교하여 시나리오별로 5.0배, 3.6배, 3.2배인 282.4, 207.7, 279.35 m³/s 이다.
3. 풍문 등과 같은 환기시설을 하지 않은 주방식 채굴 현장에서 국부선풍기 가동시에는 인접갱도를 통한 재순환이 상당한 규모로 발생함을 알 수 있다.
4. 선풍기의 설치 위치는 고속으로 유동하는 기류층과 갱도내벽과의 충돌 범위를 결정함에 따라 기류 유동에 큰 영향을 미친다. 고속 유동 기류층의 충돌에 따른 기계적 에너지 손실을 최소화하기 위하여 시나리오 1에서 설치높이를 1 m, 1.5 m, 2 m로 변경하는 경우, 풍속 5 m/s 이상인 기류층의 도달거리는 37 m, 77 m, 81 m로 증가하며, 총 입기량 또한 141.5, 155.6, 188.0 m³/s으로 증가한다.
5. 국부선풍기를 이용한 대단면 갱도 주방식 채굴현장

환기설계시에는 토출 기류의 기계적 에너지 손실을 최대한 감소시킬 수 있는 방법의 검토가 필요하다. 또한 작업장의 공기질 확보를 위하여 전통적인 방법에 따라 산정한 소요환기량의 확보는 과다 설계에 의한 경제성 문제가 제기되며 환기효율 또한 보장되지 않는다. 이와 같은 문제의 해결을 위하여 벤츄리 효과를 고려한 선풍기 종류, 용량 및 설치위치의 결정이 반드시 필요하다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업(2013 T100100021)의 연구비 지원을 통하여 수행되었습니다.

References

1. Krog, R.B. and R.H. Grau III, 2006, Fan selection for large-opening mines: vane-axial or propeller fans-which to choose?, proceedings of 11th US/North American Mine Ventilation Symposium, pp. 527-534.
2. Anon., 2013, Case study: ventilation of limestone mines, USA, HOWDEN North America Inc.
3. NIOSH, 2002, "Using propeller fans to improve ventilation in large-entry stone mines", NIOSH Technology News, no.499.
4. Hartman, H.L., Mutmansky, J.M., Ramani, R.V. and Y.J. Wang, 2012, Mine Ventilation and Air Conditioning, Wiley.
5. Prickett, P., Davies, G., and R. Grosvenor, 2011, A SCADA based power plant monitoring and management system, Computer Science, Vol. 6883, pp. 433-442.
6. Krog, R.B., Grau III, R.H., Mucho, T.P., and S.B. Robertson, 2004, Ventilation planning layouts for large opening mines, SME preprint 04-187, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
7. Chekan, G.J., Colinet, J.F. and R.H. Grau III, 2006,

- Impact of fan type for reducing respirable dust at an underground limestone crushing facility, proceedings of 11th US/North American Mine Ventilation Symposium, pp. 203-210.
8. Grau III, R.H., Robertson, S.B., Mucho, T.P., Garcia, F. and A.C. Smith, 2004, NIOSH ventilation research addressing diesel emissions and other air quality issues in nonmetallic mines, Transactions Vol. 316, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 149-158.
 9. Adu-Acheampong, A., McGunagle, B., and T. Stauffer, 2007, Application of propeller fans at Wisconsin industrial sand-a case study, Mining Engineering, Vol. 5, No. 9, pp. 57-60.
 10. Aziz, N.I., Rao, B.S. and E.Y. Baafi, 1995, Venturi scrubber system for dust control on a longwall face, The AusIMM Proceedings, No. 1, pp. 3-8.
 11. Anon., 2010, Design Guidelines 6th ed.: Tunnel, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
 12. Bloch, H.B. and C. Soares, 1988, Process Plant Machinery, 2nd Ed., Butterworth -Heinemann.

이 창 우



1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1983년 펜실베이니아주립대학교 대학원
자원공학과 공학석사
1986년 펜실베이니아주립대학교 대학원
자원공학과 공학박사

Tel: 051-200-7769
E-mail: cwlee@dau.ac.kr
현재 동아대학교 공과대학 자원공학과
교수

응웬반득



2009년 Hanoi University of Mining
and Geology 공학사
현재 VINACOMIN(Institute of Mining
Science and Technology) 노천채광부
연구원

Tel: 051-200-5586
E-mail: nguyenduc.imsat@gmail.com
현재 동아대학교 공과대학 자원공학과
석사과정
