

제트 팬 위치에 따른 곡선형 장대터널의 환기해석

변 주 석, 강 신 형^{*}, 김 지 성^{**}, 이 진 호^{***}

기술보증기금, *건양대학교 기계공학과, **LS전선, ***연세대학교 기계공학과

Ventilation Analysis According to Jet Fan Location in Curved Long Road Tunnel

Ju-Suk Byun, Shin-Hyung Kang^{*}, Jisung Kim^{**}, Jinho Lee^{***}

Songpa Technology Appraisal Center, Kibo Technology Fund, Seoul 138-803, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea*

***Production Engineering Center, LS Cable, Anyang 431-080, Korea*

****School of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

(Received November 7, 2006; revision received September 4, 2007)

ABSTRACT: In this study, the ventilation characteristics is investigated numerically of the longitudinal ventilation method in the curved long road tunnel. Numerical work has been conducted for the jet fan location by utilizing the commercial finite-volume code, FLUENT. Configuration of the tunnel is three-lane, 1600 m long, 120 m² in area, 3000 m curvature radius. The velocity profile, distribution of mono-dioxide carbon and flow rate of air are examined in the tunnel. Through the analysis, it is found that the difference of ventilation flow rate is a little by the jet fan location, but tunnel outlet setup (CASEIII) of jet fans is the most efficient concerned with CO concentration.

Key words: Curved long road tunnel(곡선 장대도로터널), Jet fan(제트 팬), Ventilation(환기), Mono-dioxide carbon(일산화탄소)

기호설명

μ : 동점성계수, [kg/m · s]

D	: 확산계수 [m ² /s]
f	: 압력계수
J	: 질량 확산 유속 [kg/(s · m ²)]
k	: 열전도도 [W/(m · °C)]
m	: 질량분율
ΔP	: 제트 팬 입출구 압력차 [Pa]

그리스 문자

ρ : 밀도, [kg/m³]

1. 서 론

터널 및 지하공간 개발의 필요성은 이미 유럽, 미주 등의 선진국에서 제기되어 여러 기술들이 개발되어 왔지만, 국토가 좁고 산악 지역이 많은 극동 아시아의 한국, 일본 등은 최근에야 기술개발에 박차를 가하고 있는 실정이다. 근래에는 토폭 기술이 향상되면서 터널은 더욱 장대화 되어가고 있으며, 이에 따라 터널 내의 환기애 대한 관심이 집중되고 있다. 터널은 외부의 맑은 공기가 자연환기만으로 지속적으로 공급되기 어려운 구조를 가지고 있다. 특히 장대 터널에서는

* Corresponding author

Tel.: +82-2-730-5192; fax: +82-2-736-4079

E-mail address: shkang@konyang.ac.kr

안전과 원활한 교통량 확보를 위해 적절한 환기 시설의 설치가 반드시 필요하다.

최근 국내외적으로 터널 환기와 관련한 많은 연구들이 이루어졌다. Chen et al.^(1,2)은 제트 팬과 피스톤 효과가 동시에 고려된 경우의 환기 성능을 살펴보았고, 퍼지 이론을 환기 시스템에 적용하여 차량의 터널 유입량에 따른 최적의 환기 시스템을 고안하였다. Baum⁽³⁾은 도로터널에서 사용되는 다양한 환기 방식에 대해 연구하였으며, Buraczynski et al.⁽⁴⁾은 미국의 켄터키주에 있는 Cumberland gap 터널의 오염물질 거동을 분석하여 일산화탄소가 오염물질의 대표성을 갖고 있음을 보였다. 또한, Saika et al.⁽⁵⁾은 제트 팬의 속도와 터널내의 기류속도를 측정하여 제트 팬 설치에 따른 터널내의 승압에 관한 이론식을 고찰하여 적절함을 밝혔다. 국내에서는 신현준 등⁽⁶⁾이 TUNVEN 프로그램을 이용하여 종류식 장대터널에서의 환기량과 오염물질의 농도를 해석하였다. 그 외에도 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있다.⁽⁷⁻¹⁰⁾

터널내의 환기 시스템 설계 시 적절한 환기 방식을 결정하고, 오염물질을 충분히 배출할 수 있는 환기량을 선정하는 것은 매우 중요하다. 현재 국내에서는 제트 팬 환기 방식을 주로 사용하고 있으며, 환기량 계산은 유럽방식(PIARC)⁽¹¹⁾과 일본 방식을 사용하여 수행하고 있다. 또한, 최근에는 자동차 진행방향으로 곡률을 가진 터널들이 많이 건설되고 있다. 이것은 암순용 반응에 의한 사고방지를 위해, 운전자와의 긴장을 유발시켜 사고를 예방하기 위해, 지형이나 시공 상의 문제 때문이다. 기존의 환기량 산정 및 터널내의 유동 현상에 대한 연구에서는 곡률 효과를 무시하고, 터널을 직선으로 가정하였다. 그러나, 곡선터널의 경우 원심력과 곡률의 영향 등으로 직선터널과는 다른 유동이 형성될 수 있다. 이와 같이 곡률이 터널내의 유동 및 환기성능에 영향을 미칠 수 있으나, 곡률에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 또한, 제트 팬의 환기량이 소요 환기량을 충분히 만족하더라도 제트 팬의 설치 위치에 따라 터널 내의 환기 성능이 달라질 수 있다.

본 연구에서는 상용 유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여, 3차원 곡선터널 형상에서 제트 팬의 설치위치 및 곡률의 영향에 따른 환기 성능을 비교 검토해 보았다. 환기량만을 기준으로 환기 성능을 평가하는 기준의 연구와는 달리 본 연구에

서는 환기량과 터널 내 오염농도 분포를 동시에 고려하여 보다 정확한 성능평가를 수행하였다.

2. 수치해석

2.1 지배방정식

터널 내의 기류 유동은 기본 유체 지배 방정식인 질량 보존 방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존 방정식을 만족시킨다. 이때 유체 및 에너지의 이동 현상의 해석에 필요한 방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존 법칙을 미소의 체적에 적용하여 얻어진 비선형 편미분 방정식이다. 터널 내 기류를 비압축성 유체로 가정하여 정상 상태로 고려한다.

터널 내 기류의 난류 효과를 해석하기 위해서는 난류 현상 및 난류 모델에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 여러 난류 모델들 중에 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델을 사용하였으며 이 모델에 관한 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i}\right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) &= \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{m_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}\right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \\ &= (G_k + (1 - C_{3\epsilon}) G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $\sigma_k=1.00$, $\sigma_\epsilon=1.30$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3)$$

$$G_b = -g_i \left(\frac{\mu_t}{\rho \sigma_h} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

터널 내 환기 모델에서의 일산화탄소를 해석하기 위해서는 화학종 보존 방정식에 대한 고려가 필요하다. 화학종 보존 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho m_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i m_i) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(J_{i,i}) + S_i \quad (5)$$

난류 모델에 대한 질량 확산은 식(6)과 같다.

$$J_{i,i} = - \left(\rho D_{i,i} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \frac{\partial m_i}{\partial x_i} \quad (6)$$

2.2 해석모델 및 경계조건

본 연구의 해석모델은 길이 1600m, 단면적 120m²의 3차선 단방향 터널로써 환기를 위해 제트 팬을 설치한 종류식 환기 터널이다. 터널의 곡률에 의한 영향을 살펴보기 위해 곡률반경을 3000m로 설정하였으며, 제트 팬의 배치에 따른 환기 성능을 비교하기 위해 총 6대의 제트 팬을 터널 입구부, 중앙부, 출구부에 집중 배치한 세 경우(CASE I, CASE II, CASE III)와 입구, 중간, 출구에 각각 2개씩 분산 배치한 경우(CASE IV)의 네 경우에 대해 수치해석을 수행하였다. CASE별 비교를 위해 각 경우에서의 환기량과 유속분포, 자동차의 배기ガ스에서 나오는 일산화탄소(CO)의 농도 분포를 살펴보았다. 각 CASE별 제트 팬의 위치는 Table 1에 제시한 것과 같다.

격자는 일부 영역을 제외한 대부분의 영역에서 육면체 격자로 구성하였다. 격자수를 24만개, 40만개, 60만개로 변화시켜가면서 해석을 수행해본 결과, 40만개 이상부터는 속도값의 변화가 5% 미만으로 차이를 거의 발견할 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 격자수를 40만개로 설정하여 해석을 수행하였다.

제트 팬의 작동 압력은 200Pa로 하였으며, 팬의 위치는 터널 중앙부에서 높이 5m, 반경방향으로 2m 위치에 팬을 설치하였다. 이 때 차량은 네 대를 한 그룹으로 하여 한차선 당 128대를 배

Table 1 Jet fan location for each CASE

CASE	Jet fan location from entry (Jet Fan Number)
CASE I	200 m(2), 400 m(2), 600 m(2)
CASE II	600 m(2), 800 m(2), 1000 m(2)
CASE III	1000 m(2), 1200 m(2), 1400 m(2)
CASE IV	200 m(2), 800 m(2), 1400 m(2)

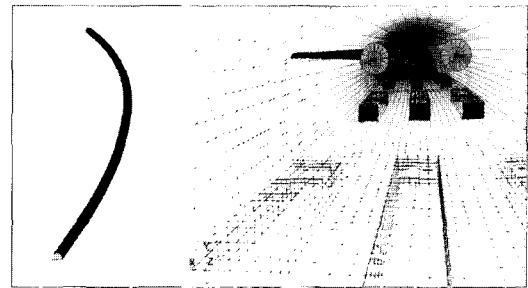


Fig. 1 Grid system for numerical analysis.

치하였으며, 차량 속도는 일산화탄소를 가장 많이 배출하는 10km/h를 기준으로 하였다.

경계조건으로 터널 입구와 출구는 대기 압력조건으로 놓았으며, 차량 후면부에서는 일정량의 일산화탄소가 배출된다고 가정하였다. Fig. 1은 해석 대상이 되는 터널의 격자망 구성을 나타내며, 격자수는 각 CASE별로 약간의 차이가 있으나 40만개 내외로 하였다.

팬 모델의 설정은 팬 용량 산정의 적절성 및 이에 따라 유동 조건이 설계조건에 적합한지를 판단하는 기준으로서 중요한 역할을 할 수 있다. 팬 모델은 특성을 알고 있는 팬이 유동장에 미치는 영향을 계산하는 lumped parameter 모델이다. 팬 경계조건은 팬 전후의 유량(또는 속도)과 수두(또는 압력상승)에 대한 실험데이터를 입력하여 계산한다. 또한 반경방향과 접선방향의 속도도 고려 될 수 있다. 이 모델은 팬의 블레이드 주변의 상세한 결과를 얻을 수는 없지만, 팬을 통과하는 유동을 예측할 수 있다. Fluent에서 팬은 두께가 없는 영역으로 고려되며 계산은 팬 전후의 압력 상승을 팬을 통과하는 속도의 함수로써 계산을 할 수 있다. 팬 전후의 압력상승이 속 다음과 같다.

$$\Delta P = \sum_{n=1}^N f_n v^{(n-1)} \quad (7)$$

3. 결과 및 고찰

Table 2는 곡선 터널 내 제트 팬 설치 위치에 따른 터널 입구에서의 기류속도, 환기량을 나타낸다. Inner-line은 안쪽 곡면에 위치한 제트팬 중심지점의 바닥으로부터 1m 높이(호흡면)을 나타내며, Center-line은 단면상에서 제트팬 사이의 중

Table 2 Ventilation flow rate and velocity in entrance for each CASE

CASE	Ventilation Flow Rate(m^3/s)	Velocity in Entrance(m/s)
CASE I	249	1.9
CASE II	245	1.8
CASE III	241	1.8
CASE IV	244	1.8

양지점의 바닥으로부터 1m 높이(호흡면), Outer-line은 바깥 곡면에 위치한 제트팬의 중심지점의 바닥으로부터 1m 높이(호흡면)을 나타낸다. 기류 속도를 보면 제트팬이 위치한 지점 근처에서 급격한 속도감소가 발생한다. 이는 터널 상부지점에서 제트팬을 따라 강한기류가 형성되면서 호흡면 근처에 있던 공기가 일부 정체되기 때문이다. 각 CASE별로 환기량을 비교해 보면, 모두 3% 내외로 큰 차이가 없다. 이는 터널내 환기량이 제트 팬에 의한 승압효과에 의해 결정되기 때문에 제트 팬의 승압력이 같은 네 경우 모두 같게 된다. Fig. 2는 곡선터널의 내부유동을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 제트 팬에서 분사된 기류가 곡률에 의한 원심력의 영향으로 바깥 곡면을 따라 주로 진행한다. 터널의 바깥 곡면을 따라 이동한 유동은 벽면 및 유동간의 마찰로 인해 운동에너지가 약화되며, 제트 팬에서 멀어지면서 서서히 안쪽 곡면으로 이동한다. 제트 팬이 집중 설치된 경우(CASE I, CASE II, CASE III)는 유동이 터널 안쪽 곡면으로 충분히 전달되기 전에 다음 지점의 제트 팬으로 흡입되어 제트 팬 하부 터널 안쪽 곡면에서 유동의 공급이 원활하

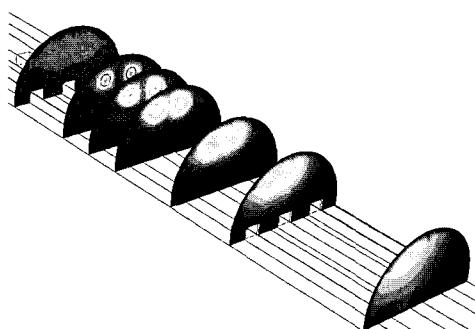
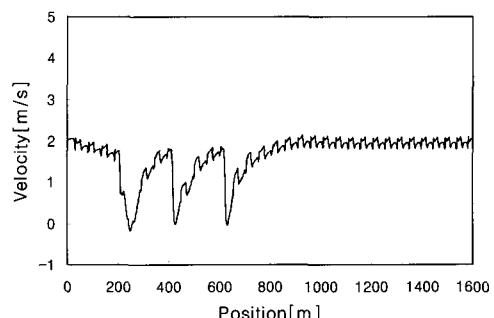


Fig. 2 Velocity contour of the curved tunnel.

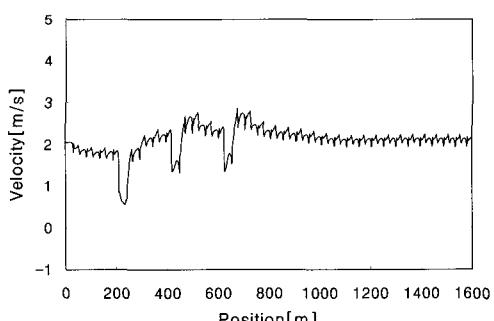
게 이루어지지 못한다. 특히 제트 팬을 입구부에 집중 설치한 경우(CASE I)는 200m 지점에 위치한 제트 팬 하부의 안쪽 곡면에 유동의 공급이 원활하게 이루어지지 않아 유동의 재순환 영역이 발생한다.

3.1 CASE I 의 환기 특성

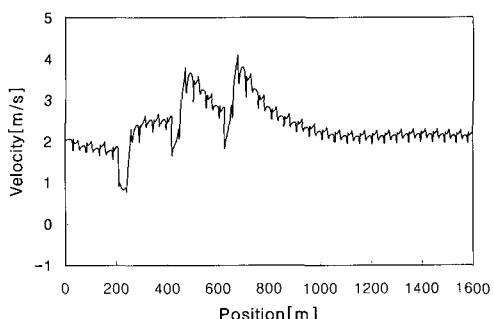
CASE I에서 터널 내 기류 단면 평균 속도는 터



(a) Inner-line



(b) Center-line



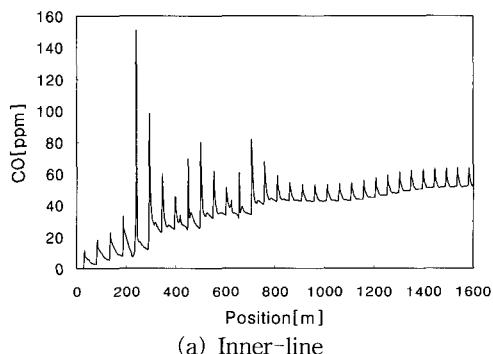
(c) Outer-line

Fig. 3 Velocity distribution in the breath-line (CASE I).

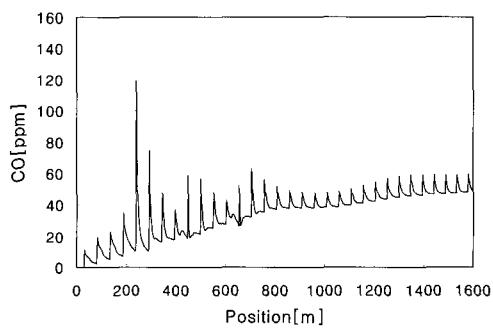
널 길이 방향으로 입구에서 1.86 m/s, 출구에서 2.26 m/s, 터널 내 전체 평균속도는 2.27 m/s이다. 터널 입구와 비교해서 터널 출구에서 속도가 높게 나오는 이유는 터널 출구부에 차량이 배치되어 있어 입구가 출구보다 단면적이 더 크기 때문이다. 터널 입·출구에서의 유량을 계산해 보면 입구에서의 $249 \text{ m}^3/\text{s}$, 출구에서는 $251.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 출구에서 더 높은 유량을 갖는다. 이는 터널 입구부 기류와 출구부 기류의 물질 구성비 차이 때문

이다. 입구부에는 신선한 공기가 대부분을 차지하고 있지만, 출구부에는 차량에서 배출된 일산화탄소와 터널을 통과하는 공기가 혼합된 상태이며 입구부에 비해 평균밀도가 낮다. 그러므로 유량은 입구보다 출구에서 다소 높게 나타난다.

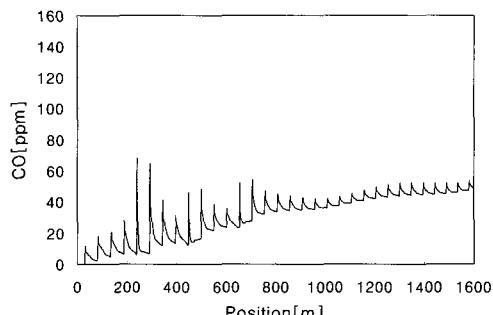
Fig. 3은 호흡면에서의 기류속도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제트 팬 근처 안쪽곡면에서의 속도는 바깥곡면과 비교해서 8% 정도 낮게 나타난다. 또한, 터널 내 차량의 영향으로 인해 기류속



(a) Inner-line

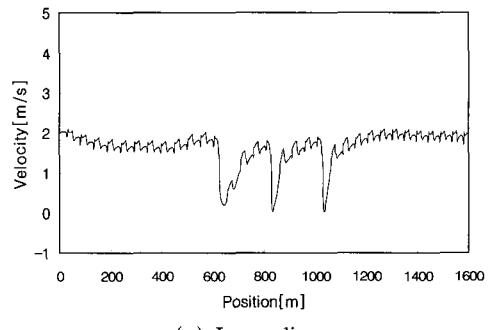


(b) Center-line

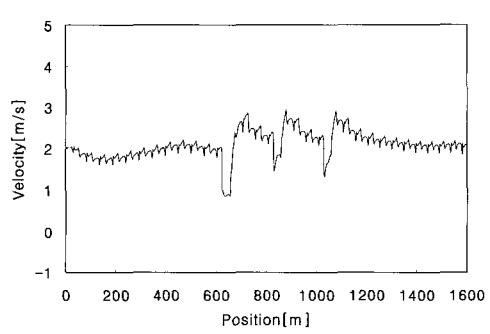


(c) Outer-line

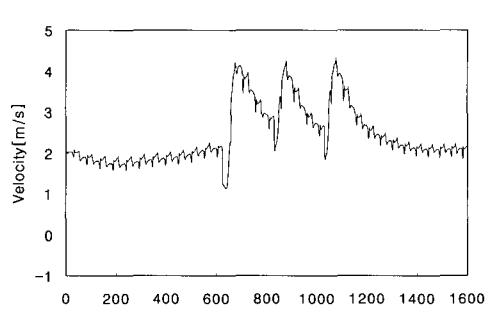
Fig. 4 CO distribution in the breath-line (CASE I).



(a) Inner-line



(b) Center-line



(c) Outer-line

Fig. 5 Velocity distribution in the breath-line (CASE II).

도는 차량이 있는 지역 윗부분에서 약간 증가하다가 차량지역을 통과하면서 감소하게 된다. 제트 팬이 설치된 200 m 지점 근처에서는 속도가 음(−)으로 나타나는 지역이 존재하는데, 이는 유동이 재순환되면서 정체되는 지역을 나타낸다. Fig. 4는 터널 길이 방향에 따른 호흡면에서의 일산화탄소 농도를 보여준다. 30 m 지점까지는 선선한 외부공기가 유입되므로 일산화탄소의 농도가 0% 가 되며, 터널 출구로 갈수록 일산화탄소는 축적된다. 농도의 최대값은 터널 280 m 지점의 안쪽곡면에서 발생하는데 이는 국부적으로 기류의 정체 및 순환기류가 발생하기 때문이다. 이로 인해 200 m 지점에 설치된 제트 팬 근처의 운전자는 인체에 심각한 해를 입을 수 있다. 또한 터널 안쪽곡면과 바깥곡면의 농도를 보면, 터널 바깥곡면에 비해 안쪽곡면이 평균 25% 정도 높게 나타나므로 안쪽곡면에 있는 운전자에게 유해한 영향을 미칠 수 있다.

3.2 CASE II의 환기 특성

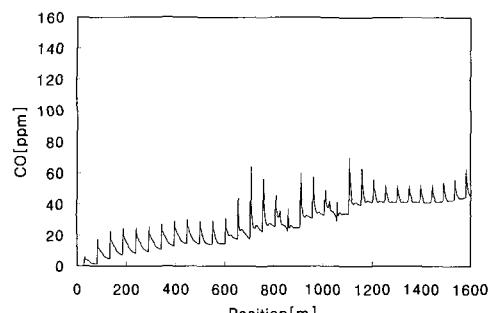
CASE II의 터널 내 기류 단면 평균속도는 터널 길이방향으로 입구에서 1.82 m/s, 출구에서 2.22 m/s, 터널 내 전체 평균 속도는 2.23 m/s이다. 터널 입·출구에서의 유량은 입구에서는 $244.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 출구에서는 $246.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

CASE II는 제트 팬이 터널의 중간지점에 집중 배치된 경우이므로 터널 입구에서는 유동이 터널 단면 전체에 걸쳐 흡입되며, 제트 팬 근처에서는 CASE I에서와 같이 터널 바깥곡면을 따라 선회된다. 이때, 터널 입구로 유입된 기류는 600 m 지점까지 오는 동안 터널 단면 전체로 골고루 전달이 이루어지므로, 첫 번째 제트 팬이 있는 600 m 근처에서 유동의 재순환 영역은 존재하지 않는다. Fig. 5는 호흡면에서의 기류 속도 분포를 나타낸다. 그림에서 보면, 제트 팬 근처에서는 속도가 낮음을 알 수 있으나, CASE I의 200 m 지점과 같이 속도가 음(−)인 지역은 나타나지 않으므로 재순환 영역이 발생하지 않음을 확인 할 수 있다. 또한, 터널 안쪽곡면에 비해 바깥곡면에서의 기류속도가 7% 정도 높게 나타난다. Fig. 6은 터널 길이 방향에 대해 호흡면에서의 일산화탄소 농도분포를 나타낸다. 최대 농도값은 제트 팬 근처의 1080 m 지점 안쪽곡면 위치에서 97ppm 이

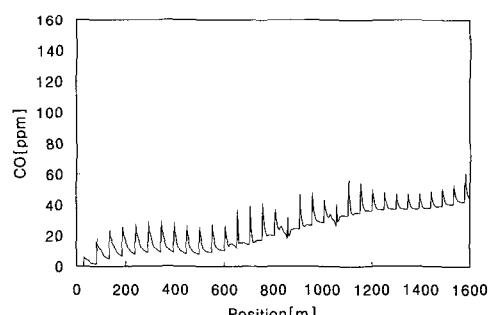
다. 또한 안쪽곡면에서의 농도는 바깥곡면에 비해 30% 정도 높게 나타난다.

3.3 CASE III의 환기 특성

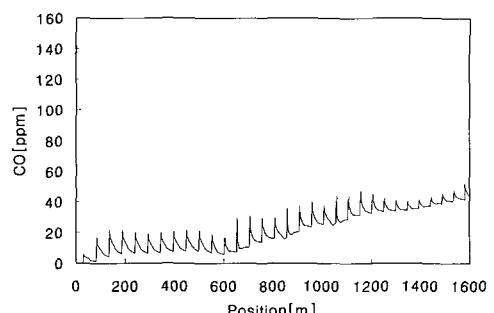
CASE III의 터널 내 기류 단면 평균 속도는 터널 길이방향으로 입구에서 1.8 m/s, 출구에서 2.2 m/s, 터널 내 전체 평균속도는 2.22 m/s이다. 터널 입·출구에서의 유량을 계산해 보면 입구에서



(a) Inner-line



(b) Center-line



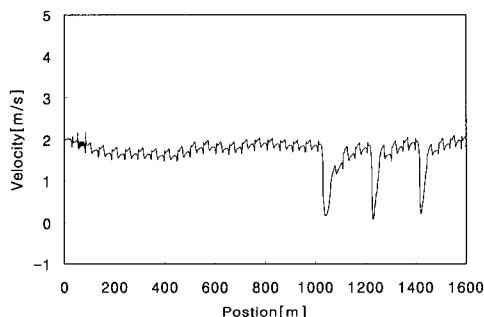
(c) Outer-line

Fig. 6 CO distribution in the breath-line (CASE II).

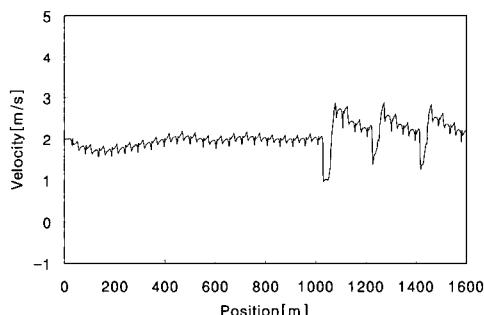
는 $241.3 \text{ m}^3/\text{s}$, 출구에서는 $243.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

CASEIII은 CASEII의 경우와 매우 유사한 경우로 출구부에 집중 배치된 제트 팬에 의해 터널 입구에서부터 기류는 출구부 제트 팬 방향으로 서서히 흡입된다. Fig. 7은 호흡면에서의 기류속도를 나타낸다. 제트 팬 근처에서는 다른 지역에 비해 속도가 낮으며, 바깥곡면에서의 속도가 안쪽곡면에 비해 평균 8% 정도 높게 나타난다. Fig. 8

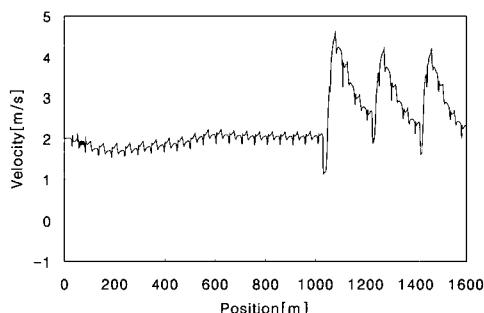
은 터널 길이 방향에 대해 운전자의 호흡면에서의 일산화탄소 농도분포를 보여준다. 최대 농도값은 제트 팬 근처의 1480m 지점 안쪽곡면 위치에서 98ppm으로 나타난다. 또한 안쪽곡면과 바깥곡면에서의 농도분포를 보면, 기류의 영향이 강하게 작용하는 바깥곡면에서 전반적으로 농도가 낮게 나타나며, 기류의 영향이 약한 입구부 안쪽곡면에서는 120ppm까지 농도값이 상승한다.



(a) Inner-line

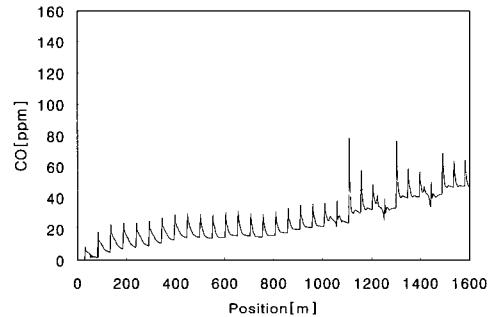


(b) Center-line

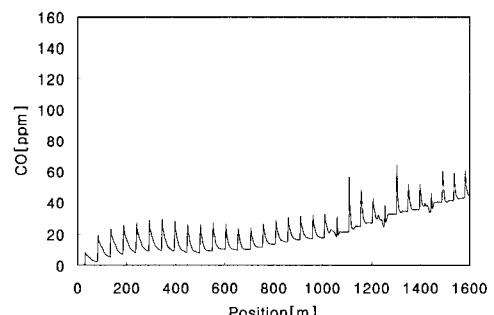


(c) Outer-line

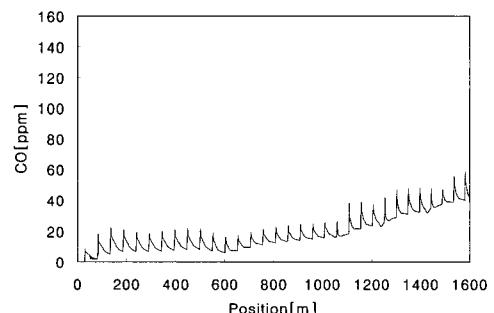
Fig. 7 Velocity distribution in the breath-line (CASEIII).



(a) Inner-line



(b) Center-line



(c) Outer-line

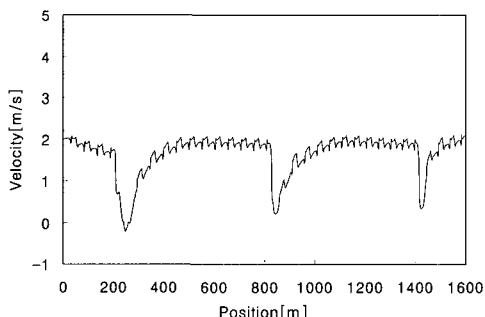
Fig. 8 CO distribution in the breath-line (CASEIII).

3.4 CASEIV의 환기 특성

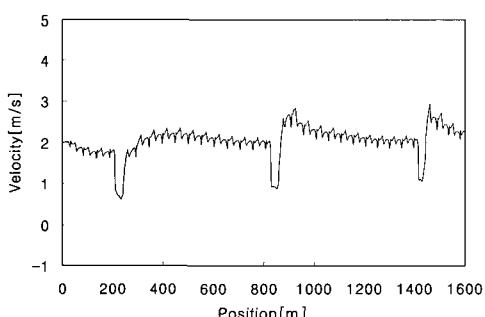
CASEIV에서 터널 내 기류 단면 평균속도는 터널 길이방향으로 입구에서 1.82 m/s, 출구에서 2.19 m/s, 터널 내 전체 평균속도는 2.22 m/s이다. 터널 입·출구에서의 유량을 계산해 보면 입구에서는 $243.7 \text{ m}^3/\text{s}$, 출구에서는 $245.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

CASEIV는 200 m 지점에 설치된 제트 팬에 의

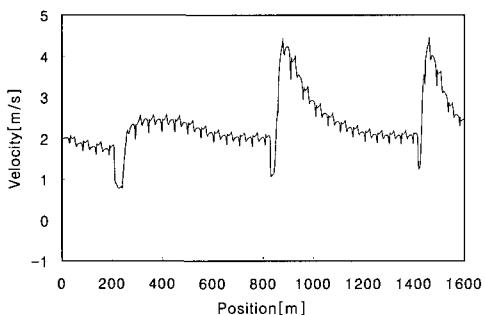
해 터널 입구부의 유동은 터널 바깥곡면을 따라 주로 흐르며 이로 인해 200 m 지점 근처에서 기류가 제대로 전달되지 않는 유동의 재순환 영역이 존재한다. 200 m 지점의 제트 팬에서 분사하는 기류에 의해 형성된 유동은 터널 바깥곡면을 따라 흐르면서 800 m 지점 근처까지 영향을 준다. 따라서 800 m 지점 근처에서는 유동의 재순환 영역이 존재하지 않는다. 1400 m 제트 팬 근



(a) Inner-line

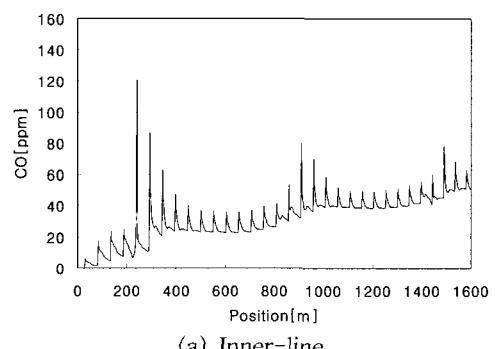


(b) Center-line

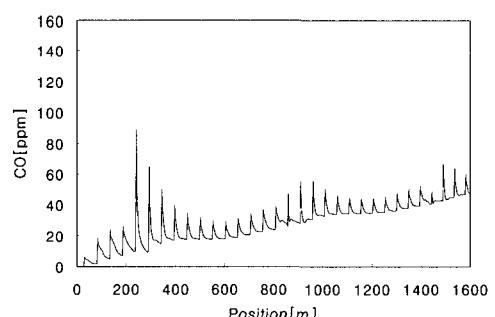


(c) Outer-line

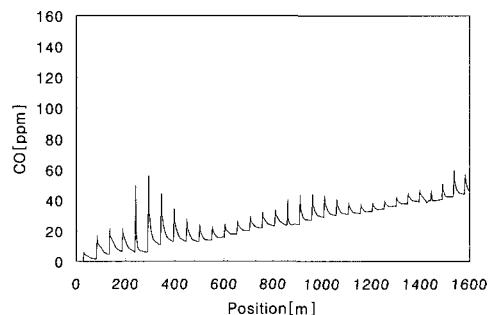
Fig. 9 Velocity distribution in the breath-line (CASEIV).



(a) Inner-line



(b) Center-line



(c) Outer-line

Fig. 10 CO distribution in the breath-line (CASEIV).

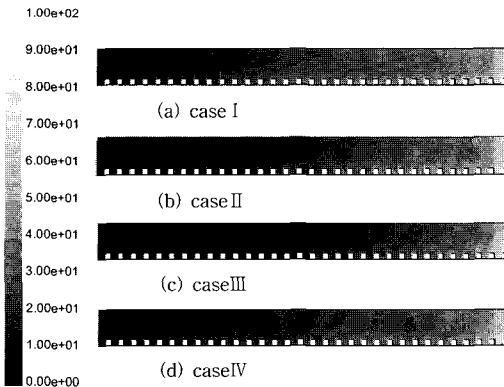


Fig. 11 CO contour in the longitudinal section depending on case.

처에서도 800m 지점의 유동과 마찬가지로 재순환 영역은 발생하지 않는다. 그러므로 Fig. 9의 호흡면에서의 기류속도를 보면, 200m 지점에서는 속도가 음(-)인 재순환 영역이 존재하고, 나머지 지역에서는 모두 속도가 양(+)의 값을 갖는다. 또한 터널 바깥곡면에서의 속도가 안쪽곡면에 비해 12% 정도 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 10은 터널 길이 방향에 따라 호흡면에서의 일산화탄소 농도분포를 보여준다. 최대 농도값은 제트팬 근처의 280m 지점의 안쪽곡면에서 발생하며, 최대값은 112.5ppm으로 다른 case에 비해 크게 나타난다. 이는 200m 지점이 유동의 재순환이 일어나는 지역이며, 터널의 안쪽곡면이 바깥곡면에 비해 20% 정도 농도가 높게 나타난다.

Fig. 11은 각 CASE의 터널 중앙면에 대한 일산화탄소 농도분포를 나타낸다. 그림에서 살펴보면, 모든 CASE에서 제트 팬이 설치된 지역 터널 하부에서는 오염농도가 높게 나타난다. Fig. 12는 곡선터널의 각 CASE에 대해 터널 길이방향으로 농도분포를 나타낸다. CASE I, II의 경우 입구부에 집중 설치된 제트 팬에 의해 분사된 기류가 터널 상부와 바깥곡면을 따라 주로 이동하기 때문에 자동차에서 발생하는 일산화탄소를 충분히 흡입시킬 수 없기 때문이다. 반면, CASEIII의 경우는 제트 팬이 터널 출구부에 집중 배치되어 있기 때문에 자동차에서 발생하는 오염물질을 흡입하여 터널 상부까지 상승시킨 후 터널 출구부로 강하게 배출시켜 준다. 따라서, CASEIII은 터널 내부의 오염물질을 다른 CASE에 비해 효율

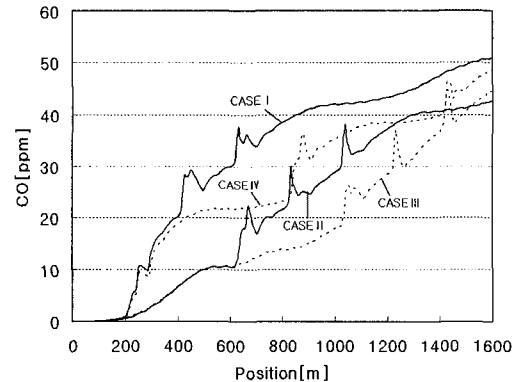


Fig. 12 CO distribution in the center-line of jet fan depending on case.

적으로 터널 밖으로 배출한다.

4. 결 론

본 연구에서는 종류식 환기방식을 적용하는 곡선형 장대터널에서 제트 팬의 설치 위치에 따른 환기성능을 비교 검토해 보았다. 해석에 있어서는 차량의 교통 혼입률을 고려하여 발생된 일산화탄소를 대상으로 소요 환기량을 적용하였을 때, 각 CASE의 일산화탄소 농도 및 기류속도 분포를 조사하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 제트 팬에서 분사하는 강한 기류의 영향으로 제트 팬이 설치된 터널 하부에서는 유동의 순환이 원활하게 이루어지지 못한다. 따라서, 제트 팬 근처 터널 하부에서는 다른 지역보다 오염농도가 높게 나타난다.

- 제트 팬 설치 위치에 따른 환기량은 모든 CASE에 대해 3% 이내로 크게 차이가 나지 않지만, 터널 내 일산화탄소의 농도 분포를 고려하면 제트 팬을 출구부에 집중 설치한 CASEIII가 다른 경우에 비해 터널 전체에서 일산화탄소의 농도가 낮게 나타나므로 환기특성이 가장 좋다. 또한 입구부에 집중 설치된 CASEI와 분산 설치된 CASEIV의 경우 입구부에 설치된 제트 팬 근처 터널 하부에서 재순환 유동이 형성되어 일산화탄소의 농도가 국부적으로 상승한다.

참고문헌

- Chen, T. Y., Limin Z. and Lee, C. S. 1996,

- CO Concentration inside the Cross Harbor Tunnel in Hong Kong, Environmental International, Vol. 22, pp. 405-409.
2. Baum F., 1978, Modern Ventilation Methods in Tunnels for Motor Vehicles, Gesundheits-Ingenieur, Vol. 99, pp. 353-360.
 3. Chen, T. Y., Lee Y. T. and Hsu, C. C. 1998, Investigations of Piston-Effect and Jet-Effect in Model Vehicle Tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 73, pp. 99-110.
 4. Buraczynski, J. J. and Patel, S. J. 1999, Cumberland gap road tunnel control of jet fan ventilation system, First Int'l Conference on Long Road and Rail Tunnel, Basel, Switzerland, pp. 283-292.
 5. Saika, T., Nakajima, K. and Setoyama S., 2000, Jet fan thrust performance evaluation installed in road tunnel, 10th Int'l Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, BHR group, pp. 1079-1088.
 6. Shin H. J., Kim J. Y., You, J. O. and Yoon C. U., 1999, Study on the design technique of the road tunnel ventilation system, 1999 Conference on Air-Conditioning Refrigerating, pp. 329-336.
 7. Lee C. W. and Lee S. H., 1996, Characteristics Study of Floating material in road tunnel for vehicle, Korea Mineral & Energy Resources Journal, Vol. 33, 1996, pp. 332-339.
 8. Eric Casale, 1996, Fire risk response in tunnel semi-transverse ventilation systems, First International Conference Korsor, Denmark, pp. 321-331.
 9. Martegani, A. D., Pavesi, G. and Barbettia, C., 2000, Experimental investigation of interaction of plain jet fans mounted in series, 10th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, BHR group, pp. 1055-1078.
 10. Kim, K. J., Hur, Nahmkeon., Kim, S. R. and Kim, Y. I. 2001, Ventilation simulation of Jet Fan in the Road Tunnel, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 779-783.
 11. PIARC. 1991, Committee on Road Tunnels, Report, XIXth World Road Congress, Marrakesh September 1991.