방음터널의 자연환기성능 향상에 대한 연구

이 경 희, 조 성 우†, 최 정 민*, 김 경 환*, 박 창 섭**
밀양대학교 건축학부, *창원대학교 건축학부, **창신대학 건축디자인과

The Study on the Improvement of Ventilation Performance in the Soundproof Tunnel

Kyung-Hee Lee, Sung-Woo Cho†, Jeong-Min Choi*, Kyung-hwan Kim*, Chang-Sub Park**
Division of Architecture, Miryang National University, Gyeongsangnam-do 627-702, Korea
**School of Architecture, Changwon National University, Gyeongsangnam-do 641-773, Korea*
***Department of Architectural Design, Changsin College, Gyeongsangnam-do 630-522, Korea*

(Received February 21, 2005; revision received August 18, 2005)

ABSTRACT: This paper compared ventilation performance between the sound roof tunnel with flat roof and the sound roof tunnel with gable roof. The ventilation rate of the sound roof tunnel is calculated by natural ventilation rate plus ventilation by vehicle. The roof type is divided by the shape of the roof and the ventilator location on the roof. The results between calculation and CFD on the ventilation rate are almost alike. The ventilation rate on the flat roof is 558.4 m^3/s with mid-ventilator and 496.8 m^3/s with left-right ventilator. The ventilation rate on the gable roof is 653.2 m^3/s with mid-ventilator and 611.6 m^3/s with left-right ventilator. The ventilation rate of soundproof with gable roof is higher than that with flat roof. The ventilation rate and with mid-ventilator is higher than that with left-right ventilator the soundproof roof. Therefore, the ventilation performance of soundproof roof depends on the roof shape and ventilator location on the roof.

Key words: Sound roof tunnel(방음터널), Natural ventilation(자연환기), Emission control(매연규제), Ventilation by vehicle(교통 환기력), CFD(전산유체프로그램)

기 호 설 명

Ar : 터널의 단면적 [m^2]
D : 터널의 상당 직경 [m]
L : 터널의 길이 [km]
N : 교통량 [대/h]
n : 터널의 길이(Lr)에 있는 자동차의 존재 대수
P_{MT} : 입구 사이의 자연환기력 [Pa]
Q : 길이 1 km당 필요 환기량 [$m^3/(s\cdot km)$]
q_o : 단위 기준 환기량 [$m^3\cdot h/(s\cdot km\cdot 대)$]
r_L : 대형차의 혼합률 [%]
T_t : 자동차군의 평균 차량시간 간격(s=3600/N)
U_n : 자연풍에 의한 터널 내의 평균 풍속 [m/s]
U_r : 차도 내의 풍속 [m/s]
V_t : 평균 주행속도 [m/s]

그리스 문자

ζ_e : 터널의 입구손실계수(=0.6)
λ : 터널 벽면의 마찰손실계수(=0.025)

† Corresponding author
Tel.: +82-51-403-3019; fax: +82-51-403-3019
E-mail address: c_sungwoo@hotmail.com

μ : 자동차군의 매연(일산화탄소) 배출량 [m^2/km]
μ_L, μ_S : 대형과 소형차의 평균 배기 가스량 [m^2/km]
ρ : 공기밀도 [kg/m^3]
σ : 자동차군의 매연(일산화탄소) 배출량의 표준편차 [m^2/km]
σ_L, σ_S : 대형과 소형차에 대한 표준편차 [m^2/km]
τ : 매연투과율 [%]

1. 연구의 목적과 방법

1.1 연구의 목적

현재 도심지에서 건축되고 있는 주거는 대부분 토지의 이용율 극대화와 생활의 편리함을 추구하기 위하여 도로변에 인접하여 초고층화되고 있는 추세이다. 인접한 도로에서 발생하는 도로교통소음은 쾌적한 생활을 영위하고자 하는 거주자들에게 심각한 영향을 초래하고 있고, 이에 대한 대책으로 소음원을 차단할 수 있는 방음터널을 요구하고 있는 사례가 발생하고 있다.

도로변 대규모 주거단지의 형성에 따라 방음터널의 길이와 폭은 늘어나는 추세이며, 교통정체도 빈번하게 발생한다. 그러므로 터널 내에서 배출되는 유해물질과 매연 등은 인체뿐만 아니라 운전자의 시환경에도 많은 문제점을 유발시킨다.

도로변에서 발생하는 소음을 방지하기 위하여 설치하는 방음터널의 경우 일반적인 도로터널과 달리 대규모의 팬을 장착하여 환기를 시키는 것은 무리가 있으므로, 방음터널 내의 환기는 일반적으로 자연환기에 의존하는 것이 대부분이다. 그러나 기존 방음터널의 경우 입구와 출구에 의하여 환기를 행하는 것이 대부분이며, 이외의 환기구를 두지 않는 밀폐형 방음터널의 설치가 주류를 이루고 있다.

본 연구에서는 기존방음터널의 자연환기성능을 보다 향상시키기 위하여 환기구를 두게 함으로써 변화되는 자연환기성능을 알아보고자 함을 목적으로 한다.

1.2 연구방법

방음터널에 대한 환기량에 대한 연구 결과는 미미한 상태이므로 본 연구에서는 방음터널의 자연환기성능을 알아보기 위하여 기존의 일반적인 도로터널에 대한 각종 문헌 및 각국의 차량별 및 연료에 따른 일산화탄소와 질소산화물의 배출량에 대한 조사와 대면통행과 일방통행으로 나누어 필요 환기량에 관련된 계산식을 조사하였다.

본 연구에서는 기존 환기량 계산식의 결과와 CFD의 결과를 비교하여, 이를 근거로 향후 건설될 방음터널 환기량에 대한 참고자료로 활용하고자 한다. 이를 위하여 환기구의 위치에 따른 자연환기성능을 조사하기 위하여 평지붕과 박공지붕의 상부 중앙의 한 곳과 좌우에 각각 하나씩의 환기구를 둔 2가지의 경우에 대하여 CFD를 이용하여 방음터널 내의 자연 환기량을 조사하였다.

2. 국내외의 자동차 배출허용기준

일반적으로 터널 내의 공기오염은 자동차의 배기가스 중에 포함되어 있는 유해물질에 의해서 발생되며, 특히 일산화탄소에 대한 필요 환기량에 따라서 환기를 실시하게 되면, 배기가스 중의 다른 유해물질의 농도는 안전한 농도가 되므로 자동차에서 배출되는 일산화탄소는 터널 환기량

Table 1 Emission controls from vehicle on the each country-1 (fuel-gasoline)

Country	The year of application	Car [g/km]		Light-car [g/km]	
		CO	NOx	CO	NOx
Korea	'02.7~'06	2.11	0.2	2.11	0.25
	'06~	1.06	0.031	1.06	0.031
USA	'04.1~	2.11	0.031	-	-
Japan	'00.1~	1.27	0.17	0.67	0.08

Table 2 Emission controls from light-truck on the each country-2 (fuel-light oil)

Country	Weight [Ton]	The year of application	CO [g/km]	NOx [g/km]
Korea	LVW*≤1.7	'02.7~'06	0.95	0.65
	LVW>1.7	'02.7~	0.95	0.78
USA	LVW≤1.7	'94~	2.11	0.62
	LVW>1.7	'94~	2.73	0.62
Japan	T.W≤1.7	'02.1~	0.63	0.28
	T.W>1.7	'03.1~	0.63	0.49

* LVW : Empty weight + 136 kg, T.W : Total weight

의 계산에 필수적인 요소이다.[1]

차량의 종류에 대한 일산화탄소(CO)와 질소산화물(NOx)의 배출 허용기준에 조사는 필요하며, 각국의 승용차[2]에 대한 허용치는 Table 1, 화물차에 대한 각국의 허용치는 Table 2와 같다.

3. 차량별 유해성분 배출량과 필요 환기량

터널 내의 필요 환기량은 차량에서 배출되는 유해물질 중 일산화탄소 및 매연의 양에 따라 결정되어지므로, 터널 내에서 교통정체나 사고 및 보수작업으로 인하여 장시간 터널 내에 체류하는 경우에는 인체에 많은 영향을 미치므로, 2장에서 언급한 바와 같이 일산화탄소에 대한 농도제어가 이루어져야 할 것이다.

PIRAC에서 제안하고 있는 일산화탄소의 농도는 Table 3[3]과 같으며, 정체와 비정체시에 따른 허용 일산화탄소에 대한 농도기준을 나타내고 있다. 또한, 일본 도로협회 터널기술 기준에서 제안하는 필요 환기량은 가솔린과 디젤 차량으로 나누어져 있으며 Table 4[1]과 같다.

4. 방음터널 내의 환기량 계산

방음터널의 경우 일반적인 도로터널과 달리 중량의 팬을 설치하는 것은 무리가 있으므로, 자연환기에 의존하는 것이 일반적이므로, 본 논문에서도 방음터널에 대하여 자연환기성능의 향상에 중점을 두고자 한다.

방음터널도 도로터널과 같이 터널의 길이, 구배, 교통조건, 기상조건 등을 고려하여 검토하여야 하며, 터널 내를 설계농도로 유지하기 어려운 경우에는 자연환기성능을 향상시켜야만 한다.

자연환기의 한계는 여러 가지 조건에 따라 변화하므로 이를 정량적으로 구하는 것은 어려우므로 여기서는 "일본도로협회의 道路トンネル技術基準(換氣編)"에서 제시하는 일방통행과 대면통행의 터널에 대하여 터널의 길이와 교통량과의 관계와 일산화탄소 농도에 따른 자연 환기량을 계산하고자 한다.

4.1 일방통행과 대면통행의 자연환기 가능성

일방통행의 경우, 환기효과는 1방향으로 작용하기 때문에 자연 환기력의 한계는 대면 환기력에 비하여 아주 크게 되는 반면, 대면통행의 경우, 환기효과는 교통량과 방위별에 따라서 변화하게 된다. 식(1)과 식(2)는 일방통행과 대면통행에 있어서 자연환기의 가부(可否)를 나타내고 있다.

$$L \times N = 2000 \quad (1)$$

$$L \times N = 600 \quad (2)$$

4.2 일산화탄소와 매연에 대한 필요 환기량

터널 내에서 발생하는 오염물질은 다수가 있으나, 그 가운데에서 환기량의 지표가 되는 일산화탄소와 시환경 확보를 위한 매연에 대한 필요 환기량을 계산하고자 한다.

4.2.1 매연에 대한 필요 환기량

매연에 관한 환기의 설계농도는 터널 내에 있

Table 3 The limit of CO concentration of tunnels (PIRAC)

Tunnel type		CO Concentration on peak time [ppm]	
		Non traffic congestion	Traffic congestion
City	Traffic congestion	100~150*	100~150*
	Non traffic congestion	100~150*	150~250*

Table 4 The emissions rate and required ventilation rate on vehicles

Type	Gasoline		Diesel		
Pollutants	CO	NOx	CO	NOx	PM
Emission controls	1.27 g/km	0.17 g/km	9.2 g/kWh	5.8 g/kWh	0.49 g/kWh
Limit of concentration for ventilation	100 ppm	25 ppm	100 ppm	25 ppm	40%
Required ventilation rate per car	11 m^3/km	3.6 m^3/km	79 m^3/kWh	121 m^3/kWh	643 m^3/kWh

Table 5 Exhaust rate per vehicle

Type	Average [m^2/km]*	Standard deviation [m^2/km]*	
Heavy	5.1	2.3	Express as natural logarithm
Light	0.5	0.7	

어서 자동차의 주행속도에 대한 필요한 허용 가시능(visuality)을 확보하는 것이 목적이다.

1대의 차량이 단위거리(1 km)를 주행한 경우에 대한 매연발생량으로 매연농도(K_{VI})에 배출량을 곱한 것으로 (1/m)×(m^3/km대)를 의미하고, 매연농도는 식(3)과 같다.

$$K_{VI} = -\frac{1}{100}\ln\left(\frac{\tau}{100}\right) \tag{3}$$

자동차 군에 대한 매연의 배출량은 Table 5와 같으며, 소형과 대형차량의 혼합률(μ)과 표준편차(σ)[1]는 식(4), 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 필요 환기량은 매연의 배출량, 매연농도(K_{VI})의 관계로부터 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = r_L \times \mu_L + (1 - r_L) \times \mu_S \tag{4}$$

$$\sigma^2 = r_L \times \{\sigma_L^2 + (\mu_L - \mu)^2\} + (1 - r_L) \times \{\sigma_S^2 + (\mu_S - \mu)^2\} \tag{5}$$

$$\frac{\mu}{T_t Q} + \frac{3\sigma}{\sqrt{2QT_t A_r 1000}} \le K_{VI} \tag{6}$$

식(6)을 풀면 매연에 대한 필요 환기량은 식(7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \left(\frac{3\sigma + \sqrt{9\sigma^2 + 8\mu K_{VI} A_r 1000}}{\sqrt{8 T_t A_r 1000}} K_{VI}\right)^2 \tag{7}$$

Table 6 Transmission rate of exhaust gas

Transmission rate (%)	Conditions
100~60	Clear
60~50	Seeable exhaust gas
50~40	Nervous about exhaust gas
40~30	Very discomfort
30 이하	Not permission

그러나 설계 환기량과 실제 환기량의 사이에서 차이의 발생은 설계지점에서부터 불명확한 요소를 포함하고 있으므로, 간단히 터널의 단면적(A_r)에 따른 기준 환기량(Q_0)으로 나타낼 수 있으며 식(8)과 같다.

$$Q_0 = q_0 N L_r \frac{1}{1000} \tag{8}$$

여기서, L_r은 터널의 길이[m]이다.

위 식의 q_0는 단위기준 환기량은 식(7)로부터 식(9)와 같이 나타낼 수 있고, 교통량 1대/h이고, 1 km를 주행하는 동안의 배출량을 토대로 계산한 환기량을 의미한다.

$$q_0 = \left(\frac{3\sigma + \sqrt{9\sigma^2 + 8\mu K_{VI} A_r 1000}}{60 \times \sqrt{8 A_r 1000}\, K_{VI}}\right)^2 \tag{9}$$

4.2.2 일산화탄소에 대한 필요 환기량

일산화탄소는 노출시간과의 관계를 고려하여야 하므로, 평균 농도에 대한 목표치를 기준으로 하여야 하며 식(10)과 같이 나타낼 수 있으며, K_{CO}는 일산화탄소의 허용농도로써 100 ppm이다.

$$\frac{\mu}{T_t Q} \le K_{CO} \times 10^{-6} \tag{10}$$

식(10)을 일산화탄소에 대한 필요 환기량(Q)과 단위기준 환기량(q_0)으로 나타내면 식(11), 식(12)와 같이 된다. 차종에 따른 이산화탄소의 배출량은 Table 7[1]에서 얻을 수 있다.

$$Q = \frac{\mu}{T_t \cdot K_{CO} \cdot 10^{-6}} \tag{11}$$

$$q_0 = \frac{\mu}{3600 \times K_{CO} \times 10^{-6}} \tag{12}$$

Table 7 Exhaust rate of CO per vehicle

Type	Exhaust rate of CO		
	Average	Standard deviation	
Light	7 L/km	-	Traffic congestion 15 L/km
Heavy			

5. 터널 내에 작용하는 압력계산

대상이 되는 터널의 필요 환기량은 자연 환기력에 의한 환기량과 교통 환기력에 의한 환기량으로 계산된다.

5.1 자연 환기력

교통량이 없는 상태이고 터널 내에서 외기가 유입되는 경우에는 식(13)[1]과 같이 터널의 입구측과 출구측에서 압력차가 발생하게 되며, 이에 따라 자연환기가 일어나게 된다.

$$\Delta P_{MT}=\left(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D}\right)_r\cdot\frac{\rho}{2}\cdot U_n^2 \qquad (13)$$

식(13)에서 보듯이 터널 내에서 압력차의 발생 요인은 터널 내외의 온도분포에 따른 압력차 및 외기의 유속에 따른 압력차 등이 상호적으로 관련되어 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

5.2 교통 환기력

교통 환기력은 자연 환기력과 비교하여 비교적 큰 경우가 대부분이다. 일방통행 터널의 경우, 공기의 흐름이 한 방향이므로 교통 환기력에 의해서도 충분한 환기가 가능하다. 그러나 대면통행 터널의 경우에는 교통 환기력은 상호적으로 상쇄되므로 비교적 길이가 짧은 터널에서도 충분한 환기시설이 필요하다.

일반적으로 터널 내를 주행하는 자동차의 피스톤(piston) 작용에 따른 교통 환기력은 정상 상태에서 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_t=\frac{A_m}{A_r}\frac{\rho}{2}n_+(V_{t(+)}-U_r)^2-\frac{A_m}{A_r}\frac{\rho}{2}n_-(V_{t(-)}+U_r)^2 \qquad (14)$$

여기서, A_m : 자동차 등가저항면적

$$A_m=0.8+\frac{41.9}{A_r}+\left(1.68+\frac{355}{A_r}\right)r_L$$

$$n=\frac{N\times L_r}{1000\times V_T}$$

Table 8 Wind velocity in the tunnel

Velocity	Tunnel type		
	One-way traffic	Facing traffic	Tunnel with side walk
Wind velocity in the tunnel [m/s]	12	8	7

여기서, 차도내의 풍속(U_r)과 동일방향 (+), 역방향 (−)

터널 내에 작용하는 전체 환기량은 외기에 따른 자연 환기력과 주행차량에 따른 교통 환기력에 의한 합으로 식(15)[6]와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta P_r=\pm\Delta P_t\pm\Delta P_{MT} \qquad (15)$$

여기서, 환기저항은

$$\Delta P_r=\left(1+\zeta_e+\lambda\cdot\frac{L}{D}\right)_r\cdot\frac{\rho}{2}U_r^2$$

와 같다. 단, 차도내의 풍속(U_r)은 위험요소가 있으므로, Table 8과 같이 제한된다.

6. Case Study

일반적인 방음터널의 경우 본 논문에서 제시하고 있는 상부가 밀폐된 형태가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 본 연구에서 제시하고 있는 모델은 기존 모델과 비교하여 보다 나은 환기성능을 가질 수 있는 새로운 모델을 만들기 위하여 기존 모델에서 지붕면 상부에 환기구를 설치하는 형태를 취하여 자연환기성능을 조사하였다.

6.1 모델개요

본 연구에서 대상으로 하는 모델의 개요는 Table 9와 같다. 터널 내의 환기성능은 차량의 주행방향과 외기와의 풍속 및 풍향에 따라 좌우되므로, 본 연구에서 차량의 주행방향은 일방통행, 터널 내의 풍향은 차량과 동일 방향으로 하여 터널 내의 필요 환기량을 계산하였다.

또한 방음터널의 상부에 환기구를 설치한 경우

Table 9 Model outline

Tunnel length	100 m
Cross section area	108 m^2, D_r=9 m
Traffic	2,500 car/h
Mixed ratio of heavy vehicle	20%
Traveling velocity	60 km/h
Outdoor air velocity	2.5 m/s
Transmission rate	50%

터널 내의 필요 환기량의 변화를 알아보기 위하여 CFD를 이용하였다.

6.2 필요환기량의 계산

6.2.1 오염물질을 기준으로 한 필요 환기량 계산

필요 환기량은 터널 내에서 오염물질을 제거하기 위한 환기량이며, 기준 환기량은 차량 1대에 대하여 배출되는 오염물질에 대한 환기량을 의미한다. 본 연구에서 제시된 모델의 터널 내 매연과 일산화탄소를 기준으로 한 필요 환기량은 4.1장의 식(8), 식(11) 및 식(12)를 이용하여 구할 수 있고, 이에 따라 계산한 방음터널 내의 기준 환기량과 필요 환기량은 Table 10과 같다.

6.2.2 자연 환기량의 계산

터널 내의 자연 환기력은 외기와 교통력에 의해서 발생하는 피스톤(piston) 효과에 의한 환기력의 조합으로 터널 내의 유속을 구할 수 있다. 터널 내의 유속은 식(14)를 풀어 다시 쓰면 식(16)과 같이 나타낼 수 있다. 식(17)은 유속에 터널의 단면적을 곱한 것으로 필요 환기량(Q_{req})을 의미한다.

$$U_r = \frac{1}{1-\alpha}\left\{\sqrt{\alpha+(1-\alpha)\left(\frac{U_n}{V_t}\right)^2}-\alpha\right\}V_t \quad (16)$$

Table 10 The Standard and Requirement ventilation rate in the tunnel

	Standard ventilation rate [$m^3/s\cdot km$]	Requirement ventilation rate [m^3/s]
Exhaust gas	0.066	16.5
CO	0.02	48.6

Table 11 Possibility of Natural ventilation

	Requirement ventilation rate [m^3/s]	Natural ventilation rate [m^3/s]	
Exhaust gas	16.5	401.8	Natural ventilation is possible
CO	48.6		

단, $\alpha = \left(\frac{A_m}{A_r}n\right)\Big/\left(1+\zeta_e+\lambda\frac{L}{D_r}\right)$

$$Q_{req} = A_r \times U_r \quad (17)$$

식(16)와 식(17)로부터 방음터널의 필요 환기량과 자연환기의 가능성을 조사하였으며, 이에 따른 환기량은 Table 11과 같다.

위에서 보는 바와 같이 일산화탄소에 의한 필요 환기량은 48.6 m^3/s이며, 이는 매연에 대한 필요 환기량의 약 2배 이상이며, 이를 자연 환기량과 비교하였을 때 자연 환기량이 월등히 크므로, 대상터널은 자연환기가 가능한 것으로 판단된다.

6.3 CFD를 이용하여 터널의 상부에 환기구를 설치한 경우에 대한 자연 환기량의 예측

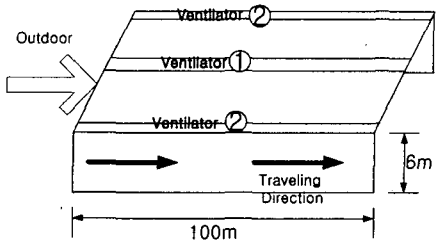
6.3.1 기존 방음터널에 대한 계산 결과값과 CFD 결과값의 비교

기존 방음터널의 경우에는 대부분이 입구와 출구에 의해서 자연환기를 실시하고 있으므로, 자연환기성능을 향상시키기 위해 방음터널의 상부에 환기구에 둔 경우에 대하여 CFD를 이용하여 자연 환기량을 예측하고자 한다.

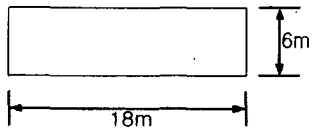
전산유체 해석프로그램인 FLUENT를 이용하였으며, 대상 터널의 mesh 수는 총 108,000개로써, 180[W]×6[h]×100[L]이고, 상부에 설치된 환기구의 크기는 1 m[W]×100[L]로 하였고, 경계조건은 Table 12와 같다.

본 연구에서 제안한 대상 터널 내의 차량과 외기의 흐름의 조건은 Fig. 1과 같다. 기존 방음터널의 경우에는 상부에 위치한 환기구 ①, ②가 없는 형태이고, case study에서 제시하고 있는 방음터널은 환기구 ① 및 ②에 대하여 각각 CFD를 실시하였다.

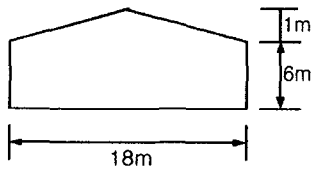
기존 방음터널의 자연 환기량에 대한 계산결과



(a) Airflow and vehicle direction in tunnel



(b) Front view of tunnel with flat roof



(c) Front view of tunnel with gable roof

Fig. 1 Airflow and vehicle direction in tunnel.

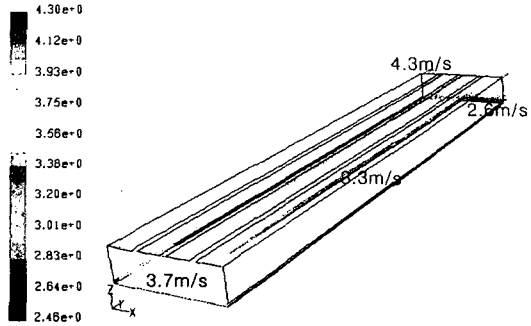
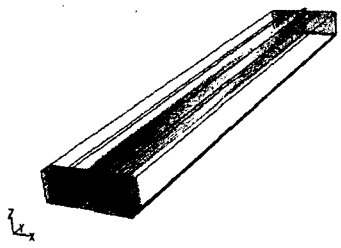
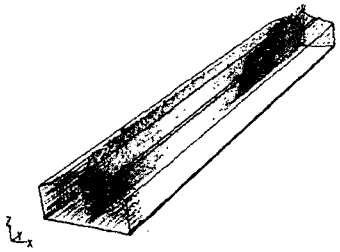
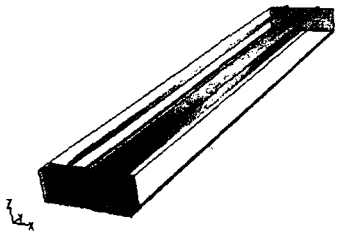
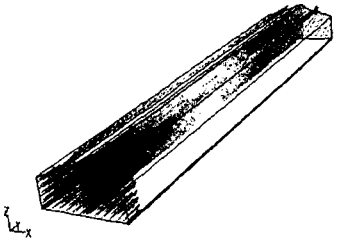


Fig. 2 The air velocity on the existing model.

Table 12 Boundary condition

Elements	Boundary condition
Initial temp.	Outdoor temp. (301.15 K)
Velocity-inlet	$U_r=\frac{1}{1-a}\left\{\sqrt{a+(1-a)\left(\frac{U_t}{V_t}\right)^2}-a\right\}V_t$ $U_r=3.7,\ V_r=0,\ W_r=0$
Velocity-outlet	Free
Wall boundary	$\frac{\partial k}{\partial n}=0$
Turbulent model	$k-\epsilon$ Model
Mesh layout	180 [W]×6 [h]×100 [L]

Table 13 Air velocity in tunnel and ventilator on the each model

Ventilator location	Flat roof	Gable foot
Center on the soundproof tunnel	 Velocity in tunnel : Max 3.7 m/s, Min 2.3 m/s Average velocity in ventilator : 3.1 m/s	 Velocity in tunnel : Max 4.1 m/s, Min 2.9 m/s Average velocity in ventilator : 3.4 m/s
Right and left on the soundproof tunnel	 Velocity in tunnel : Max 3.5 m/s, Min 2.1 m/s Average velocity in ventilator : 2.7 m/s	 Velocity in tunnel : Max 3.7 m/s, Min 2.7 m/s Average velocity in ventilator : 3.2 m/s

와 비교하기 위하여 CFD를 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같으며, 최고유속은 4.3 m/s로 출구의 상부에서, 최저유속은 2.6 m/s로 터널의 저면에서 나타났다. 터널 내의 평균 유속은 3.58 m/s로 필요 환기량은 415.8 m^3/s로 나타났다.

이는 계산결과에서 구한 유속 3.7 m/s와 자연환기량 401.8 m^3/s와 비교하여 유속의 경우에는 0.12 m/s의 차를 보이고 있으며, 환기량의 차이는 3% 정도로 잘 일치하는 것으로 조사되었다. 그러므로 기존 방음터널에 환기구를 설치한 경우에 대하여, CFD를 이용하여 필요 환기량을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

6.3.2 각 모델에 대한 CFD의 결과

각 모델에 대한 CFD의 결과값은 Table 13과 같이 정리할 수 있다. 평지붕이고 환기구가 상부 중앙에 위치하고 있는 경우, 터널 내의 최고유속은 3.7 m/s, 최저유속은 2.3 m/s이며, 상부 환기구에서의 평균 유속은 3.1 m/s로 나타났다.

이 경우 필요 환기량은 출구를 통한 환기량과 상부 환기구를 통한 환기량의 합으로 나타낼 수 있으며, 그 값은 558.4 m^3/s로 예측할 수 있다.

박공지붕이고 환기구가 상부의 중앙에 위치하고 있는 경우, 터널 내의 최고유속은 4.1 m/s, 최저유속은 2.9 m/s이며, 환기구에서의 평균 유속은 3.4 m/s이다. 이 경우 필요 환기량은 653.2 m^3/s를 얻을 수 있다.

평지붕이고 환기구가 상부의 좌우에 위치하고 있는 경우, 터널 내의 최고유속는 3.5 m/s, 최저속도는 2.1 m/s이며, 환기구의 평균 속도는 2.7 m/s로 필요 환기량은 496.8 m^3/s로 나타났다.

박공지붕이고 상부의 좌우에 환기구를 설치한 경우, 터널 내의 최고유속은 3.7 m/s, 최저유속은 2.7 m/s이며, 환기구의 평균 유속은 3.2 m/s로 나타났다. 이 경우 필요 환기량은 611.6 m^3/s를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

기존 방음터널의 경우에서는 출구부분만의 자연환기량 401.8 m^3/s를 얻을 수 있는 것과 비교하여, 4가지 모델의 경우에서는 출구부분과 상부에 설치된 환기구로부터 평균 자연 환기량은 581.9 m^3/s 얻을 수 있으므로, 약 50% 정도의 자연환기 성능의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

7. 결 론

(1) 터널 내의 자연 환기량은 외기에 의한 환기력과 차량의 교통력에 의한 환기량의 합으로 계산하여야 한다.

(2) CFD를 이용하여 계산된 결과값과 비교하면 유속과 자연 환기량에서는 거의 일치하므로, CFD를 이용하여 제시된 모델에 대한 환기량의 변화량을 추정하는 것은 가능하다고 판단된다. 또한, 향후 상부에 환기구를 설치하는 새로운 형태의 방음터널에 대한 자연 환기량의 계산을 위한 참고자료로서 활용이 가능하다고 판단된다.

(3) 상부에 환기구가 설치된 경우와 기존 방음터널을 비교한 경우, 상부에 환기구가 설치된 경우에서 보다 나은 환기성능을 지닐 수 있을 것으로 나타났다.

(4) CFD의 결과에 따른 자연환기성능을 살펴보면, 지붕의 형태는 박공지붕에서 우수하게 나타났고, 환기구의 위치는 좌우에 설치하는 것보다 중앙에 위치하는 것이 환기성능이 우수한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2004년도 경남지역환경기술개발센타 연구개발과제의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 04-4-40-78).

참고문헌

1. Technical standard of road tunnels (Ventilation), 2002, Japan Road Association.
2. Exhaust gas standard limit of producted vehicle, Ministry of Environment.
3. http://www.me.go.kr.
4. Permanent International Association of Road Congress, 1991, Report of Technical Committee on road Tunnels Reports.
5. Technical standard of road tunnels (Ventilation), 2001, Japan Road Association.
6. Load Plan Manual (Tunnel and Pavement), 2001, Korea Highway Corporation.