

# 도로터널 환기저항계수 현장측정 연구

김효규<sup>1)</sup>, 유상준<sup>2)</sup>, 이자원<sup>2)</sup>, 이창우<sup>3)</sup>

## 1. 서론

장대 도로터널의 환기설비 설계에 있어서 적정 환기저항계수값의 선택 및 적용은 중요한 문제가 아닐 수 없다. 이는 공사비의 절감 및 적정 용량의 환기설비를 운용함으로써 궁극적으로는 환기설비 용량 및 환기시스템의 최적화가 가능하기 때문이다. 본 연구에서는 도심지 장대터널 1개소를 대상으로 터널 개통전과 개통후의 현장 측정 및 시뮬레이션 분석을 통하여 환기저항계수를 측정하였다.

## 2. 환기저항계수와 예상풍속(유도풍속법)의 시뮬레이션 분석

분석대상으로 삼은 부산 백양(하행)터널은 연장이 2,430m의 도심터널로 환기설비는 송기식 반회류방식을 채택하고 있으며 개통이전과 이후 각각 측정하였으며 개통후 측정당시의 일일교통량은 하루 10,000대/day 정도였다.

Table 1. Physical characteristics

터널명	백양(하행) 터널
길이 (m)	2,430
차선수	일방향 2차선
구배(%)	+1.02
차도단면적(m <sup>2</sup> )	53.315
대표치수(m)	6.635
환기방식	반회류식 (1단축류팬 Ø3,000) 160kw(4대), 370kw(2대)

Figure 1. Ventilation system

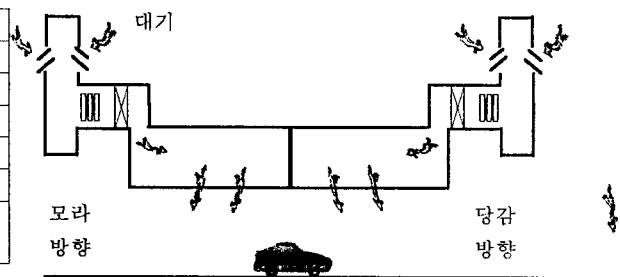


Table 2. Climate and traffic-related data(1999/5/7)

구분	입구(모라)					출구(당감)					터널내부					작용 풍속 m/s
	기압 mbar	풍속 m/s	건구 ℃	습구 ℃	밀도 kg/m <sup>3</sup>	기압 mbar	풍속 m/s	건구 ℃	습구 ℃	밀도 kg/m <sup>3</sup>	기압 mbar	풍속 m/s	건구 ℃	습구 ℃	밀도 kg/m <sup>3</sup>	
1	997.2	0.12	28.0	21.2	1.145	993.4	0.03	27.1	21.1	1.143	996.4	3.26	24.1	18.5	1.160	0.09
2	996.4	0.00	29.3	21.8	1.139	992.8	0.36	27.3	21.3	1.142	995.8	3.22	24.8	18.8	1.157	-0.36
3	996.1	0.00	29.2	21.8	1.139	992.8	0.31	27.4	21.4	1.141	995.7	3.18	24.8	18.8	1.156	-0.31

구분	교통량 (대/time)							총계	차속 km/h	대형차 혼입율 %/100	측정 시간 min	차량 대수 N	교통량 대/h
	승용차	소버	대버	소트	중트	대트	특트						
1	119	11	0	33	4	7	0	174	66.2	0.06	20	19	522
2	101	20	0	45	1	7	0	174	67.2	0.05	20	19	522
3	100	22	0	35	2	4	2	165	60.8	0.05	20	20	495

측정 Data로부터 국내 도로공사의 환기설계 기준인 plain con'c 상의 마찰계수인 λ를 0.025로 가정하여 자연환기력과 교통환기력에 유도된 풍속과 실제 측정된 풍속을 정리해 보면 Table 3과 같다.

주요어 : 도로터널, 환기저항계수, 벽면마찰계수, 백양터널

1) (주) 삼보기술단

2) 동아대학교 자원공학과 대학원

3) 동아대학교 자원공학과 교수

Table 3 Measured & estimated air velocity by natural ventilation force & piston effect

구분	자연환기력(Pa)				교통환기력(Pa)		측정풍속 m/s	예상풍속 m/s
	고도온도, Pa	외부바람, Pa	ΔPMT, Pa	유도풍속, m/s	ΔPv, Pa	유도풍속, m/s		
1	-3.945	0.002	-3.942	0.79	101.28	4.03	3.26	3.23
2	-4.057	-0.035	-4.092	0.81	96.59	3.94	3.22	3.13
3	-4.002	-0.026	-4.028	0.80	80.64	3.60	3.18	2.80

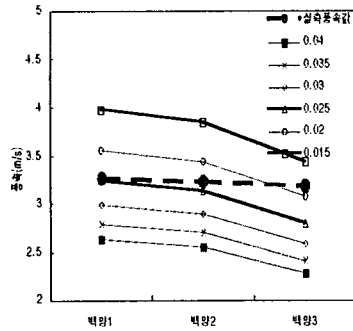


Figure 2. Ranges of friction factor

다음은 마찰계수의 범위를 추정해 보기 위해서 각각의 환기력으로부터 유도된 풍속을 작용방향을 고려하여 마찰계수의 적용에 따른 예상풍속으로 환산하고 이를 실측풍속과 비교해 본 결과 백양터널의 마찰계수 값은 0.015-0.025사이의 범위로 추정되었다.

3, 속도 감쇠법에 의한 환기저항계수의 측정

환기설비의 작동을 중지한 후 환기속도 감쇠는 터널의 총 환기저항에 기인함으로 터널내의 공기유동은 unsteady motion에 따라 다음식으로 정리할 수 있다.

$$\pm \Delta P_w - \zeta \frac{1}{2} \rho u^2 = \Delta P - \lambda \frac{L_p}{D_h} \frac{1}{2} \rho u^2 = \rho L \frac{du}{dt} \quad (1)$$

이때 환기속도 감쇠과정 동안의 외부풍속 및 풍향이 일정하다고 가정할 경우 ΔPw는 일정하며 ΔPw = ζ · 1/2 ρ u\_e^2 가 된다. 따라서 환기속도 감쇠도중의 환기속도 U(t)는 다음과 같이 계산 가능하다.

$$u(t) = u_e \frac{e^{a+bt} + 1}{e^{a+bt} - 1} \quad \text{또는} \quad \ln \frac{u(t) + u_e}{u(t) - u_e} = a + bt, \quad a = \ln \frac{u_o + u_e}{u_o - u_e}, \quad b = \zeta \frac{u_e}{L} \quad (2)$$

u\_e : 환기설비 작동 중지 후 수렴하는 환기속도(자연환기속도)

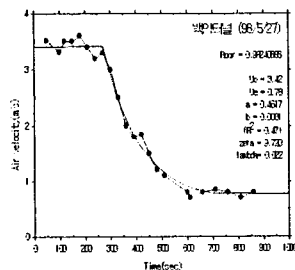
u\_o : 환기설비 작동 중지 직전의 환기속도(초기 환기속도)

따라서 상수 a는 u\_e와 u\_o의 측정으로 계산 가능하며, b 및 ζ는 위 식의 선형회귀분석(절편=0)을 통하여 계산이 가능하다. 실험은 개통이전의 터널을 대상으로하여 환기설비의 Fan off 시 환기속도의 감쇠동안의 터널내 환기속도를 기록하였고 식(2)의 회귀분석을 통해 환기저항계수, ζ는 7.57-9.72의 범위로 나타났으며, 마찰계수, λ는 0.017-0.022의 범위로 나타났다.

Figure 3. Comparison of measured and calculated air velocities after the fans are stopped

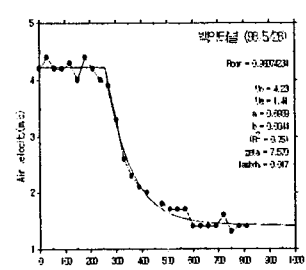
(a) Data for casel (1998/5/27)

sec	m/s	sec	m/s
120	3.5	450	1.5
150	3.5	480	1.2
180	3.6	510	1.1
210	3.4	600	0.8
240	3.2	610	0.7
270	3.3	660	0.8
300	3	710	0.85
330	2.5	760	0.8
360	2	810	0.7
390	1.8	860	0.8
420	1.85		



(b) Data for case2 (1998/5/28)

sec	m/s	sec	m/s
120	4.3	480	1.8
150	4	510	1.7
180	4.4	540	1.7
210	4.2	570	1.7
240	4	600	1.4
270	3.9	630	1.4
300	3.3	660	1.4
330	2.6	690	1.4
360	2.3	720	1.6
390	2.1	750	1.3
420	2	780	1.4



#### 4. 결론

일반적으로 유도풍속법에 의한 계산보다는 환기속도 감쇠법에 의한 계산이 더욱 안정적인 것으로 알려져 있으며 속도감쇠법에 의한 측정결과  $\lambda$ 는 0.017-0.022의 범위를 보여 도로터널의 설계기준보다 약간 낮은 편으로 측정되었다. 이는 기존 도로터널의 설계상의 환기력보다 실제 환기력이 더욱 크게 작용할 수 있음을 시사하고 있다.

본 연구를 통해 도로터널 환기시스템의 설계설비용량 결정시 일괄적으로 적용하고 있는 벽면마찰계수  $\lambda$ 에 대한 재고찰이 이루어져야 하며, 각 터널 현장상황별 총 환기저항을 구성하는 토목구간의 특성, 환기설비, 교통신호관, 조명시설 및 소방설비 등에 따라 마찰저항값이 달라지므로 이에 대한 현장 측정연구가 지속적으로 필요하다고 사료된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] A. West and C. Pope, "The effect of wind on the ventilation of a road tunnel occupying an exposed position", proc. of the 5th International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Lille, France, 20-22 May, 1985, D3 pp. 219-239
- [2] Brun, A.C.de and R.A. Maarsingh, "New attempts to solve an old problem: aerodynamic measurements in new vehicle tunnels", proc. of the 9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Aosta Valley, Italy, 1997, pp. 3-23
- [3] 한국도로공사, "고속도로 터널 환기시설 설계기준"(1997.10)