

## 도로터널내 교통환기력 연구 -차량항력계수 중심으로

이경복, 이창우 (동아대학교)

### 1. 서 론

차량항력계수는 차도벽면마찰계수, 제트팬 승압계수와 더불어 도로터널 주요 3대 공기역학적 계수(aerodynamics coefficients)중의 하나이다. 현재 국내 도로상에서 운행중인 차량들의 차종구성 및 차량 형태는 지속적으로 변화하고 있으며 특히 대형차의 혼입율은 점진적으로 감소하는 경향을 보이고 있어 터널내 교통환기력의 현저한 변화가 예상된다. 따라서 터널내 교통환기력에 관한 연구는 환기설비 최적화를 위하여 필수적인 과제이나 국내 유일의 관련 기준인 한국도로공사의 고속도로 터널 환기설비 설계 기준상의 차량항력계수 및 차량 전면투영면적은 1997년 일본도로공단의 터널 설계요령에 전적으로 의존하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 차량항력계수에 관한 기초연구로서 국내 주요 도로형태별 차종구성비의 변화추이를 분석하고 제트팬 종류식 환기방식 적용 터널내에서의 항력계수 변화에 따른 풍속 및 소요승압력 변화를 시뮬레이션 분석함을 목적으로 하였다.

### 2. 주요 도로형태별 차종구성비 변화 추이

그림 1은 1984년~2001년, 8년간 고속도로, 일반국도, 지방도에서의 통행차량 차종구성비의 변화를 보여주고 있으며 도로형태별 특징을 터널설계 정리하면 다음과 같다.

#### (1) 고속도로

- 승용차외의 차종 구성비는 77.6%에서 44.0%로 57% 감소.
- 화물차량은 54.8%에서 32.1%로 59% 감소

#### (2) 일반국도

- 승용차외의 차종 구성비는 71.1%에서 33.2%로 47% 감소.
- 화물차량은 47.1%에서 29.4%로 62% 감소

#### (3) 지방도

- 승용차외의 차종 구성비는 67.7%에서 42.1%로 62% 감소.
- 화물차량은 44.4%에서 29.5%로 66% 감소

화물차량의 구성비는 고속도로의 경우가 기타 도로에 비하여 상대적으로 높으며 감소율은 상대적으로 낮게 나타났다. 한편 교통량의 증가에 따른 소형차의 증가율이 상대적으로 크게 나타나 국내 도로 전체를 대상으로 한 대형차 혼입은 1992년 38.4%에서 2001년 30.6%로 점진적으로 감소하고 있다. 이와 같은 경향은 향후 상당기간동안 지속될 것으로 예상된다.

현재 국내에서 적용하고 있는 차량전면투영면적인 소형차량  $2.31m^2$ , 대형차  $7.11m^2$ 은 일본의 1990년대 중반에 수행된 교통센서스의 차량분류에 따른 전면투영면적의 산출결과에 근거하고 있으나 국내 기준상의 차량 분류방법과의 차이 및 차종별 보유대수의 차이를 고려할 경우, 이에 대한 전면적인 재검토가 시급하다.

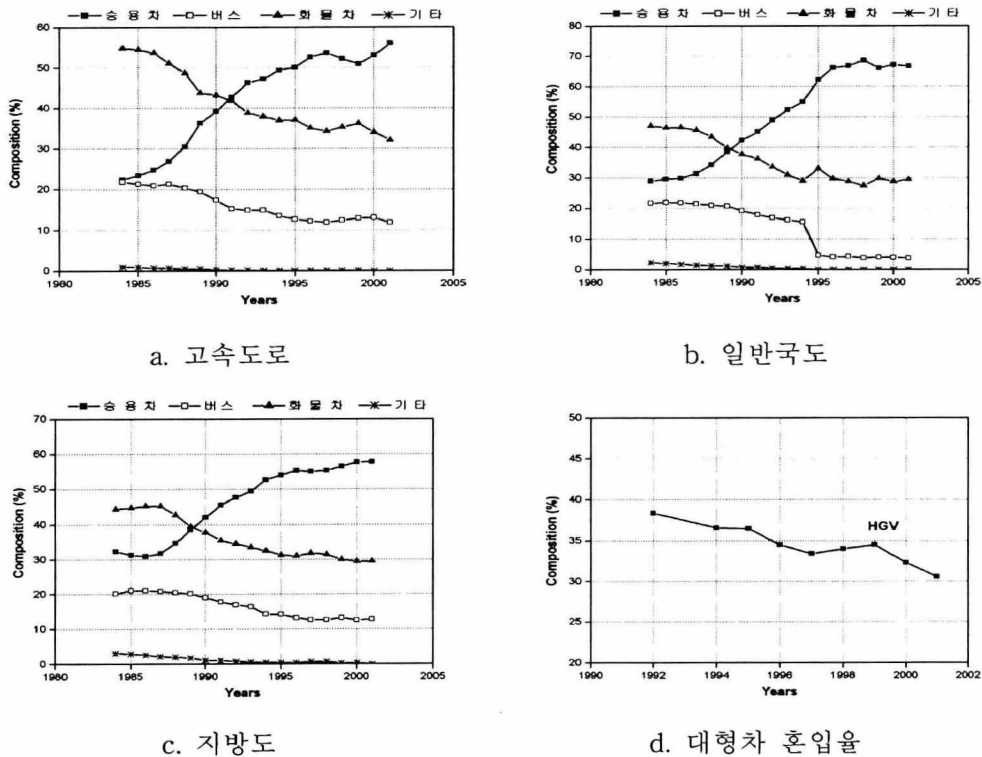


그림 1. 도로형태별 차종구성비 및 대형차 혼입율 변화

### 3. 항력계수와 터널 내 풍속과의 관계 분석

교통환기력은 차량 전면투영면적, 저항계수, 대형차 혼입율에 따라 결정되는 등가저항면적 및 터널내 점적율 (blockage ratio)에 좌우되며 차량의 외형디자인 변화에 따른 전면투영면적의 변화 및 차량구성비의 변화는 이들 주요변수의 변화에 직접적인 영향을 미침으로써 교통환기력의 변화를 초래하게 된다. 본 연구에서는 차량의 공기역학적 특성인 저항계수의 변화가 터널내 풍속에 미치는 영향을 분석하기 위하여 대형차는 더욱 대형화하고 소형차는 더욱 소형화할 전망에 따라 한국도로공사 기준상의 전면투영면적을 대형차는 전면투영면적을 25%까지 증대, 소형차는 반대로 25%까지 감소함에 따른 터널 내 풍속에 미치는 영향을 시뮬레이션 분석하였다. 본 연구의 분석대상 터널의 주요 제원은 표 1과 같다.

표 1. 분석대상 터널 제원

터널	수정산(좌천방향)	N 터널	J 터널
길이 (m)	2,330	1,735	3,487
내공단면 (m <sup>2</sup> )	61.7	63.8	75.5
대표직경 (m)	8.09	8.03	8.52
구배 (%)	-1.65	-0.3	-0.74
차선수	2	2	2
환기방식	제트팬 종류식	제트팬 종류식	제트팬 종류식

### 3.1 기존 터널 대상

표 1과 같은 제원의 제트팬 종류식 수정산터널을 대상으로 분석하였으며 대상시간은 대형차 혼입율의 현격한 차이를 보인 두 시간대인 2004년 8월 26일 8시45분~9시, 15시~15시 15분을 선택하였으며 대형차 혼입율은 각각 3.74%와 22.01%이었다.

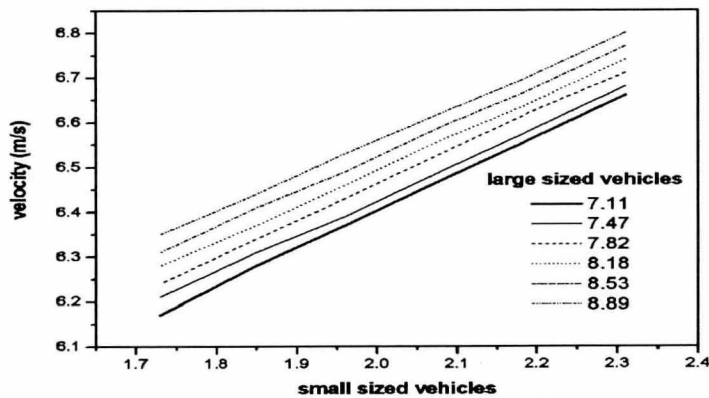


그림 2. 차량 전면투영면적과 풍속  
(수정산터널 04/08/26 8시45분, 대형차 혼입율 3.74%)

표 2. 차량 전면투영면적과 풍속 (수정산터널 04/08/26 8시45분)

소형	대형	대형차 전면투영면적 (m <sup>2</sup> )					
		7.11	7.47	7.82	8.18	8.53	8.89
소형차 전면 투영면적 (m <sup>2</sup> )	2.31	6.66m/s	6.68m/s	6.71m/s	6.74m/s	6.77m/s	6.8m/s
		100%	100.3%	100.8%	101.2%	101.7%	102.1%
	2.19	6.56m/s	6.58m/s	6.62m/s	6.64m/s	6.67m/s	6.7m/s
		98.5%	98.8%	99.4%	99.7%	100.2%	100.6%
	2.08	6.47m/s	6.49m/s	6.53m/s	6.56m/s	6.59m/s	6.62m/s
		97.1%	97.4%	98.1%	98.5%	98.9%	99.4%
	1.96	6.37m/s	6.39m/s	6.43m/s	6.46m/s	6.49m/s	6.53m/s
		95.6%	95.9%	96.5%	97.0%	97.4%	98.0%
	1.85	6.28m/s	6.31m/s	6.34m/s	6.37m/s	6.41m/s	6.44m/s
		94.2%	94.7%	95.2%	95.6%	96.2%	96.7%
	1.73	6.17m/s	6.21m/s	6.24m/s	6.28m/s	6.31m/s	6.35m/s
		92.6%	93.2%	93.6%	94.2%	94.7%	95.3%

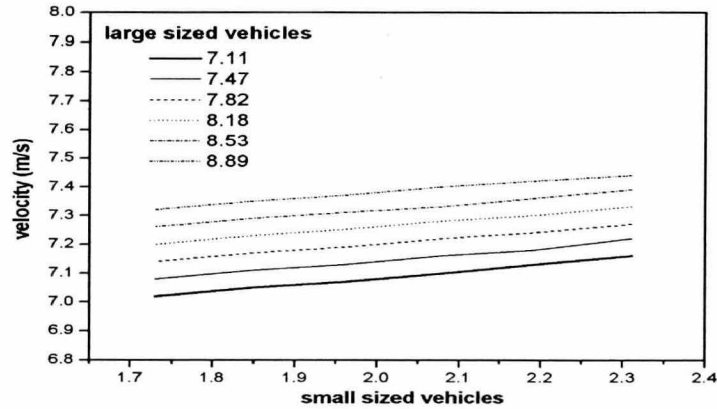


그림 3. 차량 전면투영면적과 풍속  
(수정산터널 04/08/26 15시00분, 대형차 혼입율 22.01%)

표 3. 차량 전면투영면적과 풍속(수정산터널 04/08/26 15시00분)

소형	대형	대형차 전면투영면적 (m <sup>2</sup> )					
		7.11	7.47	7.82	8.18	8.53	8.89
소형차 전면 투영면적 (m <sup>2</sup> )	2.31	7.16m/s	7.52m/s	7.27m/s	7.33m/s	7.39m/s	7.44m/s
		100%	100.8%	101.5%	102.3%	103.2%	103.9%
	2.19	7.13m/s	7.18m/s	7.24m/s	7.3m/s	7.36m/s	7.42m/s
		99.5%	100.2%	101.1%	101.9%	102.7%	103.6%
	2.08	7.1m/s	7.16m/s	7.22m/s	7.28m/s	7.33m/s	7.40m/s
		99.1%	100.0%	100.8%	101.6%	102.3%	103.4%
	1.96	7.07m/s	7.13m/s	7.19m/s	7.25m/s	7.31m/s	7.37m/s
		98.7%	99.5%	100.4%	101.2%	102.1%	102.9%
	1.85	7.05m/s	7.11m/s	7.17m/s	7.23m/s	7.29m/s	7.35m/s
		98.4%	99.3%	100.1%	100.9%	101.8%	102.6%
	1.73	7.02m/s	7.08m/s	7.14m/s	7.20m/s	7.26m/s	7.32m/s
		98.1%	98.8%	99.7%	100.5%	101.4%	102.2%

### 3.2 계획터널 대상

내공단면적에 큰 차이를 보이는 표 1의 2차선 계획터널 2개소(N 및 J 터널)를 대상으로 환기 소요 승압력 및 제트팬 소요대수를 시뮬레이션 분석한 결과는 다음과 같다.

내공단면이 63.8m<sup>2</sup>인 N터널의 경우, ±25% 범위내에서의 소형차 및 대형차 전면투영면적의 변화는 소형차량 2.31m<sup>2</sup>, 대형차7.11m<sup>2</sup>의 경우를 100%로, 97.5~105.1% 범위의 소요승압 변화를 초래하며 Ø1250 제트팬을 적용할 경우의 제트팬 소요 대수에는 전혀 영향을 미치고 있지 않다. 한편 내공단면이 75.5m<sup>2</sup>로 비교적 큰 J터널의 경우는 소요승압 변화가 97.8~106.2%로 N터널과 그다지 큰 차이를 보이지 않고 있다. 제트팬 소요대수의 경우도 전혀 변화가 없게 나타나고 있다. 최소 소요승압은 내공단면이 상대적으로 작은 N터널의 경우, 전면투영면적이 소형차 2.31m<sup>2</sup>, 대형차 8.53m<sup>2</sup>인데 반하여 J 터널의 경우는 반대로 소형차 1.85m<sup>2</sup>, 대형차 8.53m<sup>2</sup>인 경우로 나타나고 있다. 최대 소요승압은 N터널의 경우 소형차 1.85m<sup>2</sup>, 대형차 7.11m<sup>2</sup>일 때이며, 반면 J터널의 경우는 소형차 2.131m<sup>2</sup>, 대형차 8.53m<sup>2</sup>일 때이다.

표 4. 환기 소요 승압력 (mmAq)

4.a N 터널

소형		대형	대형차 전면투영면적 (m <sup>2</sup> )				
			7.11	7.47	7.82	8.18	8.53
소형차 전면 투영면적 (m <sup>2</sup> )	2.31		3.16(4)	3.14(4)	3.12(4)	3.10(4)	3.08(4)
			100.0%	99.4%	98.7%	98.1%	97.5%
	2.19		3.21(4)	3.19(4)	3.16(4)	3.15(4)	3.13(4)
			101.6%	100.9%	100.0%	99.7%	99.1%
	2.08		3.25(4)	3.23(4)	3.21(4)	3.19(4)	3.16(4)
			102.8%	102.2%	101.6%	100.9%	100.0%
	1.96		3.28(4)	3.26(4)	3.25(4)	3.22(4)	3.21(4)
			103.8%	103.2%	102.8%	101.9%	101.6%
	1.85		3.32(4)	3.3(4)	3.28(4)	3.26(4)	3.24(4)
			105.1%	104.4%	103.8%	103.2%	102.5%

4.a J 터널

소형		대형	대형차 전면투영면적 (m <sup>2</sup> )				
			7.11	7.47	7.82	8.18	8.53
소형차 전면 투영면적 (m <sup>2</sup> )	2.31		30.61(22)	31.04(22)	31.5(22)	32.00(22)	32.51(22)
			100.00%	101.40%	102.91%	104.54%	106.21%
	2.19		30.41(22)	30.86(22)	31.31(22)	31.82(22)	32.33(22)
			99.35%	100.82%	102.29%	103.95%	105.62%
	2.08		30.23(22)	30.71(22)	31.17(22)	31.67(22)	32.15(22)
			98.76%	100.33%	101.83%	103.46%	105.03%
	1.96		30.08(22)	30.53(22)	30.99(22)	31.49(22)	32.00(22)
			98.27%	99.74%	101.24%	102.87%	104.54%
	1.85		29.92(22)	30.38(22)	30.84(22)	31.34(22)	31.85(22)
			97.75%	99.25%	100.75%	102.38%	104.05%

(주) 괄호 안의 숫자는 제트팬 (Ø1250) 소요대수

4. 결 론

최근의 국내에서 운행 중인 차량의 도로유형별 차종구성비는 터널내 교통환기력 결정에 직접적인 영향을 미치게 되며, 도로유형별 차종구성의 차이는 터널유형별로 차량항력계수의 영향이 각각 다르게 된다. 도로유형별 차종구성비 및 항력계수의 영향에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 국내 도로의 유형에 관계없이 승용차는 감소, 화물차는 증가 경향을 보이고 있으며, 대형차 혼입율은 1992년 38.4%에서 2001년 30.6%로 점차 감소하였다.
- (2) 화물차량의 구성비는 고속도로의 경우가 기타 도로에 비하여 상대적으로 높으며 감소율은 상대적으로 낮게 나타났다. 1984년의 54.8%에서 2001년 32.1%로 59% 감소하였다.
- (3) 대형차 혼입율이 비교적 낮은 터널에서의 소형차량 항력계수의 저감은 혼입율이 높은 터널에 비하여 터널내 풍속에 상대적으로 큰 영향을 미친다. 소형차량의 전면투영면적을 25% 감소시킨 경우, 대형차 혼입율이 낮은 경우의 풍속 감소는 7.4%인 반면, 혼입율이 높은 경우는 1.9%에 불과하였다.
- (4) 그러나 대형차 항력계수의 증대는 대형차 혼입율에 큰 영향을 받지 않았으며 터널내 풍속에 대한 영향도 소형차 항력에 비하여 미미하였다. 대형차량의 항력계수만을 25% 증대시킨 경우, 대형차 혼입율이 낮은 경우의 풍속 증대는 2.1%, 혼입율이 높은 경우는 3.9%이었다.
- (5) 길이 1.7km, 3.5km, 내공단면적 63.8m<sup>2</sup>, 75.5m<sup>2</sup>인 2차선 터널에서의 전면투영면적이  $\pm 25\%$  범위내에서 변화할 때, 환기 소요승압력 변화는 -2.5~6.2% 정도로 나타났다. 그러나  $\phi 1250$  제트팬 소요대수에는 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- (6) 따라서 항력계수는 벽면 마찰계수나 오염물질 기준배출량 보다는 터널 내 풍속 및 이에 따른 오염물질 농도에 미치는 영향이 상대적으로 작을 것으로 판단된다.

#### ■ 참고문헌 ■

1. 일본도로공단, 1997, 설계요령, 제3집 터널
2. 한국도로공사, 2002, 고속도로 환기시설 설계기준
3. Bruin, A.C., Maarsing, .R.A and Swart, L., 1997, New Attempts to Solve an Old Problem : Aerodynamic Measurements in New Vehicle Tunnels, Proceedings of the 9th Symposium on Arodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, pp. 3-23.
4. Jang, H.M. and Chen F., 2002, On the Determination of the Aerodynamic Coefficients of Highway Tunnels, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 90, pp.869-896