

차량 배출가스 규제기준이 소요환기량에 미치는 연구

김효규¹ · 류지오^{2*} · 송석현³ · 정창훈⁴

¹정회원, (주)주성지앤비 대표이사

²정회원, 신한대학교 자동차공학과 교수

³정회원, (주)세익엠이씨 연구소장

⁴비회원, 한국도로공사 밀양울산건설사업단 차장

A study on the effects of exhaust emission standards on the required ventilation rate in vehicle tunnels

Hyo-Gyu Kim¹ · Ji-Oh Ryu^{2*} · Seog-Hun Song³ · Chang-Hoon Jung⁴

¹CEO, JS G&B Inc.

²Professor, Dept. of Automotive Engineering, Shin-Han University

³C.T.O, R&D office, SE-EEK MEC INC.

⁴Business Agency, Korea Expressway Corporation Miryang Ulsan Construction

*Corresponding Author : Ji-Oh Ryu, geotunnel@daum.net

Abstract

The amount of ventilation required in making the tunnel ventilation plan is an important factor for determining the capacity of the ventilation system. The amount of pollutant emission for each type of vehicle (basic emission amount for the design of ventilation volume) for estimating the required ventilation amount is based on the ‘Standard for Allowing the Emission for the car manufacturing’, proposed by Ministry of Environment. However, in 2013, the Ministry of Environment announced the ‘Regulations on the calculation method of total emissions from vehicles’ as a regulation for calculating the pollutants emitted from vehicles. In this regulation, there are the ‘Emission factors for each type of vehicle’. Therefore, it is necessary to review the application of the Regulation to the estimation of the required ventilation volume for the road tunnel. In this study, the influence of the strengthened emission regulation in 2015 caused by the case of manipulation of emission volume for the diesel vehicle on the calculation of the required ventilation volume in the road tunnel has been checked. In addition, in this study, the required ventilation volume calculated according to the Standard for Allowing the Emission for the car manufacturing revised by Ministry of Environment and “Emission factors for each type of vehicle” and that calculated according to the EURO emission standard were compared for analysis. This study has implications that it provides the basic design data for calculating the reasonable ventilation capacity of the ventilation system based on the ground for calculating the required ventilation volume.

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and
Underground Space Association
19(3)409-420(2017)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.3.409>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received April 6, 2017

Revised April 25, 2017

Accepted May 10, 2017



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2017, Korean Tunnelling and Underground Space Association

Keywords: Required ventilation rate, Basic emission rate, (Permissible) Emission standard, Emission factor, Non exhaust emission

초 록

터널환기 계획시 소요환기량은 환기시설 용량을 결정하기 위한 중요한 인자이며, 소요환기량 산정을 위한 차종별 오염물질 배출량(환기설계를 위한 기준배출량)은 현재 환경부에서 제시하는 ‘제작차 허용배출 기준’을 근거하여 산정하고 있다. 그러나, 2013년부터 환경부에서는 자동차에서 배출되는 오염물질을 산정하기 위한 규정으로 ‘자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정’을 고시하고 이 규정에 ‘자동차 차종별 배출계수’를 제시하고 있다. 따라서 도로터널의 소요환기량 산정시 이를 적용하는 것에 대한 검토가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 2015년 경유차량의 배출가스 조작사건 이후 자동차 배출가스 규제강화에 따라 터널의 소요환기량 산정에 미치는 영향을 검토하였으며, 최근 환경부에서 개정된 ‘제작차 허용배출량 기준’과 ‘자동차 차종별 배출계수’에 의한 소요환기량과 EURO 배출기준을 적용한 소요환기량을 비교·분석하였다. 또한 소요환기량 산정 근거에 따른 합리적인 환기시스템 용량결정을 위한 기초 설계자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

주요어: 소요환기량, 기준배출량, 제작차 허용배출 기준, 배출계수, 비엔진 배출량

1. 서론

최근 서부간선 지하도로, 제물포 터널 등과 같은 도심지 터널의 주요 민원 문제중 하나는 차량으로부터 배출되는 오염물질이다. 터널 내 발생하는 오염물질을 제거하기 위해 도로법에서는 ‘도로의 구조·시설기준에 관한 규칙’ 제41조에 “터널에는 안전하고 원활한 교통소통을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 도로의 계획교통량, 설계속도 및 터널길이 등을 고려하여 환기시설 및 조명시설을 설치하여야 한다.”라고 규정하여 터널내 환기시설을 설치하고 있다(Ministry of Land Transportation, 2015).

이에 따라 환기시설을 계획하기 위해서는 소요환기량을 산정이 필요하며, 소요환기량의 산정방법은 도로설계편람(617. 환기시설)에 잘 기술되어 있다. 요약하면 Step 1 교통량 및 차종구성비 정의, Step 2 전체 교통량에 대한 배출량 평균치를 추정하기 위한 가중치(차종구성비)의 추정, Step 3 가중치를 추정한 후에 각 차종별 배출량을 계산하고, 전체 배출량을 추정한 후, Step 4 설계농도를 고려한 소요환기량을 산정하는 단계를 거친다. 따라서 소요환기량 산정은 환기시설 용량결정에 있어 중요한 단계이며, 차종별 기준배출량은 소요환기량 산정의 기초가 되는 배출량의 원단위이다(Ministry of Land Transportation, 2011).

2015년 경유(디젤)차량의 배출가스 조작사건 이후 유럽(EU)에서는 차량의 규제기준이 강화되고 있는 추세에 있다. 종전 환기설계기준은 휘발유승용차에 대하여 매연 배출량을 고려하지 않았지만 2005년 국내 경유승용차의 시판에 따라 2011년도부터 승용차내 경유승용차의 구성비를 약 40% 정도 고려하여 환기설계를 하고 있다(Kim et al., 2007). 그러나 여전히 휘발유승용차에 대한 매연배출량은 고려하지 않고 있다.

제작차의 오염물질 배출에 대한 선행연구로는 일본 국립환경연구소에서 2011년식 직분사(GDI) 휘발유 승용차(2대), 포트분사 휘발유 차량(1대)를 대상으로 한 미립자 배출특성을 조사하여 직분사 휘발유 엔진 자동차가 비교적 농도가 높은 미립자를 배출한다는 것을 확인하였고(Nikkei Automotive Technology, 2013), 2012년 독일 자동차클럽(ADAC)은 휘발유 직분사(GDI) 방식의 엔진을 적용한 폭스바겐 골프 1.2 TSI 와 BMW 116i 를 대상으로 실험한 결과 “미세먼지 수치가 경유 엔진의 배출가스 규제치를 넘어선 것으로 나타났다.”는 연구 결과를 발표하였으며, 2013년 미국 포드사는 GDI 엔진이 DPF를 장착한 경유 엔진보다 미세먼지를 더 배출해 심각한 수준이라고 밝혔고, 독일 자동차연구자단체 ‘TUEV 노드’도 GDI 엔진의 미세먼지 배출량은 경유엔진보다 10배나 많다는 실험 결과가 있다(Kim, 2016).

국내 환경부 보도자료에 따르면 휘발유 엔진(GDI 엔진)은 Table 1에 나타난 바와 같이 CVS-75 모드, 경유 엔진(EURO6)은 NEDC 모드로 실내 배기 가스량 조사시험을 수행하였는데, MPI 엔진 9종, GDI 엔진은 11종, 경유 엔진은 32종의 평균치 분석에서, PM10 기준의 미세먼지는 GDI 엔진이 0.0010 g/km, 경유는 0.0011 g/km으로 유사한 수준이 배출되는 것으로 조사되었다(Ministry of Environment, 2016).

Table 1. Ministry of Environment (2016), Press Releases(2016.10.11.), (<http://www.me.go.kr/home/web/board/>)

Vehicle type	Gasoline		Diesel
	MPI engine	GDI engine	Diesel (Euro6) engine
PM10 (g/km)	-	0.0010	0.0011
NOx (g/km)	0.011	0.011	0.036

따라서 본 연구에서는 최근 경유 차량의 배출가스 조작사건 이후 강화되고 있는 차량의 배출가스규제가 터널의 소요환기량 산정에 미치는 영향을 조사하기 위해 최근 환경부에서 개정된 ‘제작차 허용배출량 기준’과 ‘배출계수’에 의한 방법으로 소요환기량의 변화를 분석하였다. 또한 환기설계 기법에 따른 합리적인 환기시설 용량을 결정하기 위한 설계기초자료의 제공을 목적으로 한다.

2. 기준 배출량 조사

2.1 배출량 조사

차종구분은 오염물질 기준배출량의 적용을 위한 기초자료인데 국내 차종구분은 크게 국토교통부 기준(도로설계편람)과 환경부 기준(대기환경보전법 시행규칙)으로 대별된다. 차종구분은 도로설계편람(617. 환기시설)에 따라 분류하였으며, 제작차 허용배출량 기준(Emission standards)은 법제처 홈페이지를 통해 최신 대기환경보전법 시행규칙의 ‘별첨17, 제작차 배출허용 기준’을 참조하였다(Ministry of Government Legislation, 2017). 현재, 2016년 1월 1일 이후 ‘휘발유 또는 가스’ 차량에 대한 제작차 배출허용 기준이 제시되었으나 경유차량에 대한 배

출허용 기준이 제시되지 않아 휘발유 차량은 2013년 이후 경유차량은 2014년 이후를 적용대상으로 하는 ‘2013/2014년도 적용’ 기준으로 조사하였다. 국내 차량에 대한 배출계수(Emission factor)는 환경부 고시, ‘자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정’의 2012년 7월 1일 이후 적용 ‘자동차 차종별 배출계수’를 참조하였다 (Ministry of Government Legislation, 2013).

Table 2에서 Case 1 은 국토교통부의 도로설계편람(2011) 기준(환경부 2006년 이후 제작차 허용배출량 기준에 해당함), Case 2 는 환경부 2013/14년 이후 제작차 허용배출량(휘발유 2013/ 경유 2014) 기준, Case 3 은 환경부 2016년 이후 제작차 허용배출량(휘발유 2016) 기준, Case 4 환경부 2012년 이후 배출계수(2012) 기준을 나타내고 있다. Case 3의 경우는 2016년 이후의 경유 차량에 대한 제작차 허용배출량 기준은 제시되지 않아 2014년 이후 값을 적용하였고, 휘발유 차량은 소형차량(승용차, 소형버스, 소형트럭)은 기준 5(CVS-75 모드) 값을 적용하였다. 또한 환경부 2016년 이후 제작차 허용배출 기준에서는 휘발유 승용차의 매연 배출량값은 제시되지 않았지만, 각주의 “CVS-75 모드의 입자상물질 배출허용기준은 0.002 g/km 이하로 한다.”라는 규정에 따라 0.002 g/km를 적용하였다. 이는 최근 휘발유 GDI 엔진 차량에서도 미세먼지가 배출되고 있다는 일부 시험 결과값을 반영한 것으로 사료된다.

반면 국외 자료는 WRA(구, PIARC)의 보고서 자료를 참조하였고, 국외 디젤넷 홈페이지를(www.diselnet.com, 2017) 통해 EURO 수준에 대한 기준배출량을 조사하였으며, 이에 대한 내용을 Fig. 1에 나타내었다. 소형차(승용차(PC), 소형버스(SB), 소형트럭(ST))의 원단위는 [g/km] 이며, 대형차량(대형버스(LB), 중형트럭(MT), 대형트럭(LT), 특수트럭(Sp.T))의 원단위는 [g/kW.h] 이다. EURO 1 은 1992년 7월 이후 EURO 2는 1996년 1월

Table 2. Emission table in local standards

Case	Vehicle	Passenger car		S.Bus	L.Bus	S.Truck	M.Truck	L.Truck	Sp.Truck
	Fuel	Gasoline	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
	Unit	g/km	g/km	g/km	g/kW.h	g/km	g/kW.h	g/kW.h	g/kW.h
Case 1 Road design manual (2011)	Smoke	-	0.005	0.005	0.030	0.005	0.030	0.030	0.030
	CO	1.060	0.500	0.630	4.000	0.630	4.000	4.000	4.000
	NOx	0.031	0.180	0.235	2.000	0.235	2.000	2.000	2.000
Case 2 Emission standards (2013/14)	Smoke	-	0.005	0.005	0.010	0.005	0.010	0.010	0.010
	CO	1.060	0.500	0.500	4.000	0.630	4.000	4.000	4.000
	NOx	0.031	0.080	0.080	0.460	0.105	0.460	0.460	0.460
Case 3 Emission standards (2016)	Smoke	0.002	0.005	0.005	0.010	0.005	0.010	0.010	0.010
	CO	0.625	0.500	0.500	4.000	0.630	4.000	4.000	4.000
	NOx	0.031	0.080	0.080	0.460	0.105	0.460	0.460	0.460
Case 4 (*) Emission factor (2012)	Smoke	-	0.001	0.018	0.040	0.002	0.012	0.048	0.051
	CO	0.052	0.009	0.412	1.850	0.087	0.543	1.262	1.368
	NOx	0.001	0.193	0.949	2.664	0.062	0.959	4.532	4.774

(*) : Unit of emission factor is g/km

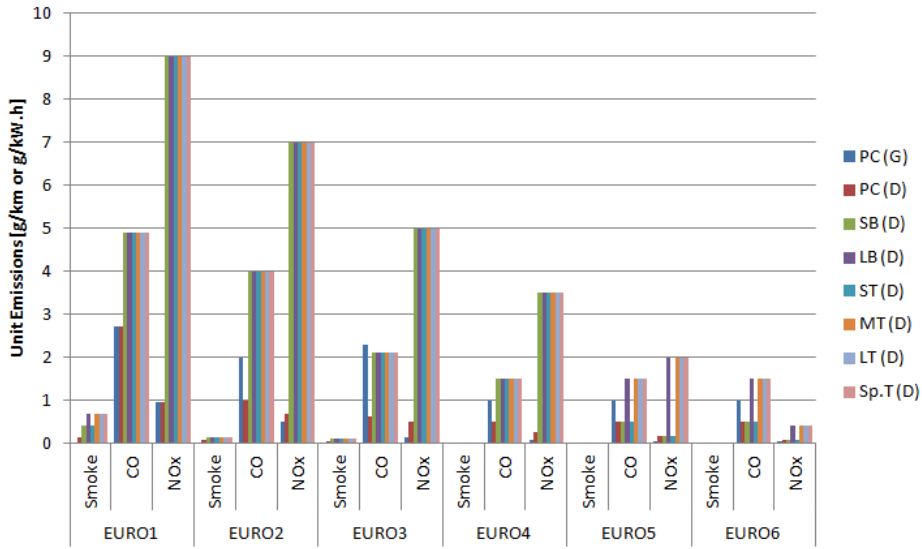


Fig. 1. Emission standards by euro levels (EU)

이후 EURO 3은 2000년 1월 이후 EURO 4는 2005년 1월 이후 EURO 5는 2009년 9월 이후 EURO 6은 2014년 9월 이후의 규제기준을 나타내고 있다. EURO 기준이 개정될수록 배출량 기준은 점점 강화되는 것을 볼 수 있다.

2.2 비엔진 배출량 조사

2000년 이후 매년 배출량의 대폭적인 감소에 따라 차량이외의 요인에 의하여 발생하는 부유분진의 상대적 중요성이 증가하고 있음에 따라 비차량(엔진) 배출분진(non exhaust emission)에 대한 검토의 필요성을 WRA 2004년 보고서에서 제기하고 있다. 타이어 및 브레이크 마모분진, 도로표면 마모분진, 재부유분진이 비차량 배출분진에 속하며, 대부분의 입자는 $>10 \mu\text{m}$ ($>PM_{10}$)이고, 가시거리 파장범위에 큰 간섭을 일으켜 빛의 투과율에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이상의 비차량 배출분진을 입도에 따라 $PM_{2.5}$ 과 PM_{10} 으로 구분하여 발생 원인 별로 정리하면, Table 3과 같으며, WRA 2012년 보고서에서는 Table 4와 같이 제시하고 있다. 그리고 Fig. 2는 비

Table 3. Non exhaust particles (mg/km) by PIARC 2004

Type	Passenger cars (<3.5ton)		Heavy goods vehicles	
	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀
Tyre wear	6*	6	31*	31
Braker wear	1±0.3	11±3.6	3±0.8	160±52
Road abrasion	12±1.9	220±17	63±12	1400±120
Total	19±2.4	237±21	97±12	1591±172

* PM 10 value, no PM_{2.5} value available

Table 4. Non exhaust particles by PIARC 2012

Type	PC/LDV		HGV(Heavy goods vehicles)	
	mg/km	m ² /km	mg/km	m ² /km
Non-exhaust PM2.5	28	0.1316	104	0.4888

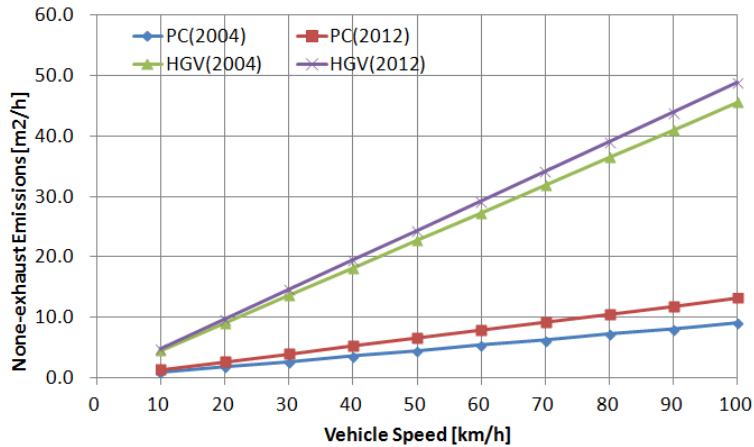


Fig. 2. Comparison of non exhaust emissions by vehicle speed (WRA 2004 vs 2012)

차량 배출분진의 배출량을 계산하기 위한 속도별 기준배출량을 WRA 2004년 보고서와 2012년 보고서를 기준으로 함께 비교하여 나타내었다. 2004년 대비 2012년의 비엔진 배출분진의 증감은 소형차량 1.5배, 대형차량 1.1배 정도 증가한 것으로 분석된다(WRA, 2004; 2012).

2.3 기준 배출량 산정

오염물질별 기준배출량(Basic emissions; q_0)을 산정할 경우, 승용차의 경우는 원단위 허용배출기준(g/km; E_s)을 밀도로 나누고, 테스트 모드의 평균 주행속도를 곱하여 계산할 수 있다. 반면, 대형차의 경우는 원단위 허용배출기준(g/kWh; E_s)을 밀도로 나누고, 차량의 마력(P_s)을 곱하면 된다. 단, 가스상 물질에 대하여 밀도(ρ_{Gas})의 단위는 [g/m³] 이다.

- 소형차량의 입자상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0Particle} [m^2/h] = 6.25 \times E_s (g/km) \times 0.75 \times Vt \tag{1}$$

- 대형차량의 입자상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0Particle} [m^2/h] = 6.25 \times E_s (g/kWh) \times 0.75 \times P_s (HP) \times 0.7355 \tag{2}$$

- 소형차량의 가스상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0Gas} [m^3/h] = \frac{E_s (g/km)}{\rho_{Gas}} \times Vt \quad (3)$$

- 대형차량의 가스상 물질에 대한 기준배출량 계산방법

$$q_{0Gas} [m^3/h] = \frac{E_s (g/kWh)}{\rho_{Gas}} \times P_s (HP) \times 0.7355 \quad (4)$$

이상의 국내 차종별 원단위 배출가스로부터 기준배출량을 정리하면 Table 5와 같으며, 공기밀도 및 테스트 모드에 대한 속도값은 도로설계편람(617. 환기시설)에서 제시한 값을 적용하였다. Case 1은 한국도로공사의 환기 설계기준(2002)인 종전 기준을, Case 2는 국토교통부의 도로설계편람(617. 환기시설)의 현행 설계기준을, Case 3과 Case 4는 환경부의 제작차 허용배출 기준의 변경에 따른 향후 적용 기준을 나타내고 있다. 분석결과, 현행 기준(Case 2) 대비 환경부의 최신 기준(Case 4)에 따른 저감율을 살펴보면, Smoke의 경우 소형차량(승용차, 소형버스, 소형트럭)에는 변화가 없으나, 대형차의 경우 약 66.7% 정도가 감소하였고, CO는 대형차량에는 변화가 없으나, 소형차의 약 0~40% 정도가 감소하였다. 또한 NOx는 소형차량의 경우 55.0~70.0% 정도, 대형차량의 경우 76.8~77.2% 정도 감소한 것으로 분석된다(Korea Highway Corporation, 2002).

Table 5. Basic emission rate

Type		Passenger car		S.Bus	L.Bus	S.Truck	M.Truck	L.Truck	Sp.Truck
		Gasoline	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Case 1 K.H.C 2002	Smoke[m ² /h]	-	18.893	29.606	172.195	31.594	83.018	208.750	265.832
	CO[m ³ /h]	0.101	0.080	0.055	0.652	0.072	0.320	0.721	0.933
	NOx[m ³ /h]	0.010	0.015	0.022	0.642	0.027	0.315	0.710	0.919
Case 2 (A) R.D.M 2011	Smoke[m ² /h]	-	0.787	0.787	23.375	0.787	11.481	25.857	33.460
	CO[m ³ /h]	0.030	0.014	0.018	0.554	0.018	0.272	0.613	0.793
	NOx[m ³ /h]	0.001	0.003	0.004	0.166	0.004	0.082	0.184	0.238
Case 3 M.E 2013/ 14	Smoke[m ² /h]	0.000	0.708	0.708	7.792	0.708	3.827	8.619	11.153
	CO[m ³ /h]	0.030	0.014	0.014	0.554	0.018	0.272	0.613	0.793
	NOx[m ³ /h]	0.0005	0.0013	0.0013	0.038	0.0018	0.019	0.042	0.055
Case 4 (B) M.E 2016	Smoke[m ² /h]	0.321	0.787	0.787	7.792	0.787	3.827	8.619	11.153
	CO[m ³ /h]	0.018	0.014	0.014	0.554	0.018	0.272	0.613	0.793
	NOx[m ³ /h]	0.0003	0.0013	0.0013	0.038	0.0018	0.019	0.042	0.055
Reduction rate (1-B/A)	Smoke[%]	N/A	0.0%	0.0%	66.7%	0.0%	66.7%	66.7%	66.7%
	CO[%]	40.0%	0.0%	22.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	NOx[%]	70.0%	56.7%	67.5%	77.1%	55.0%	76.8%	77.2%	76.9%

Table 6. Comparison of local and euro standards

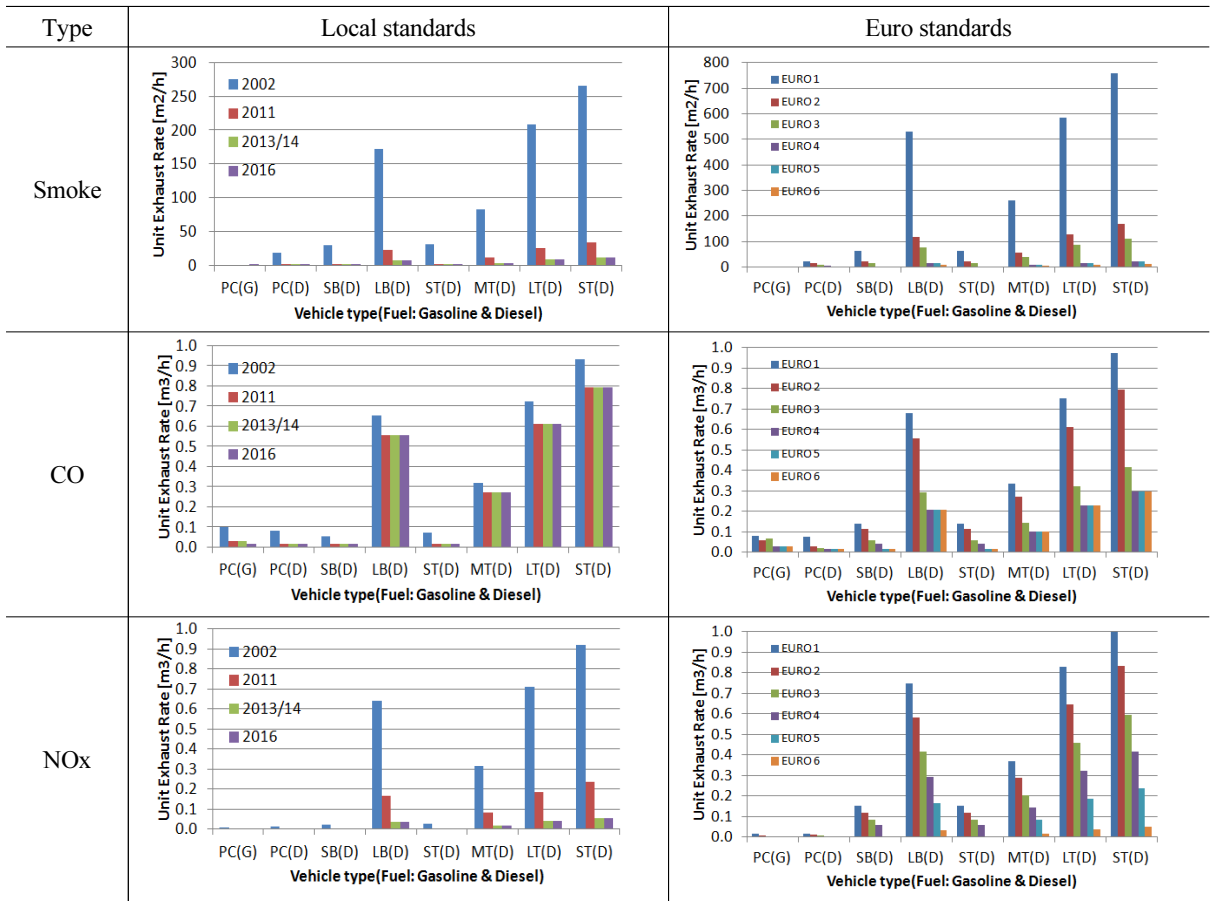


Table 6은 국내 기준배출량과 유럽의 제작차 허용배출 기준을 기준배출량으로 환산하여 비교한 내용이다. 종전 국내 설계기준(Case 1)은 EURO 1(1992)에서 EURO 2(1996)로 이행하는 단계이고, 현 설계기준(Case 2)은 EURO 3(2000)에서 EURO 4(2005)로 이행하는 단계에 있으며, 최근 개정된 환경부 기준(Case 4)은 EURO 6(2014) 수준의 배출기준을 나타내고 있는 것으로 분석된다.

3. 소요환기량의 변화 검토

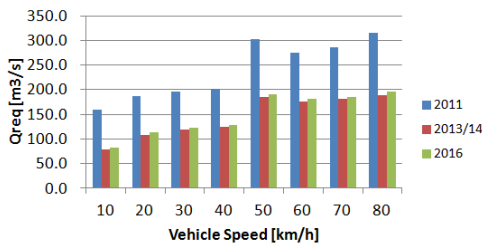
3.1 제작차 허용배출 기준을 통한 소요환기량 검토

본 논문에서는 Table 7에서 제시한 모델터널에 대해서 적용기준에 따른 기준배출량을 산정하고 이에 따른 소요환기량 변화를 검토하였다. Table 7은 터널 및 교통량 제원을 나타내고 있으며, 차량의 배출규제 기준(기준배출량)에 따른 소요환기량의 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 현행 기준(2011)대비 환경부의 2016년 이후 기준(제작차 허용배출 기준)을 적용할 경우, 매연은 34.1~48.1%, CO는 5.2%, NOx는 76.1% 정도 감소하는 것으로 분석된다.

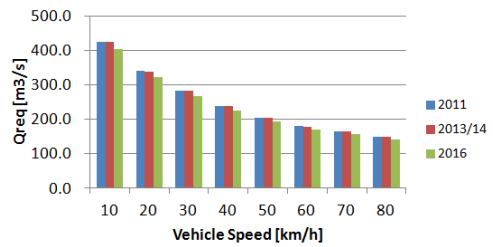
Table 7. Input values for tunnel & traffic data

Type	Value	Layout
Length [km]	3	
Cross Area [m ²]	75	
Diameter [m]	8.8	
Grade [%]	1	
Lane [lane(s)]	2	
Elevation [m]	400	

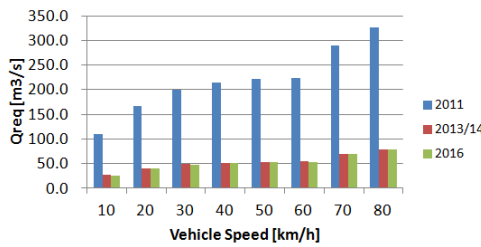
Type	Passenger car		Bus		Truck				AADT (Veh/day)	HGV (%)
	G	D	Small	Large	Small	Medium	Large	Special		
Traffic	18,040	12,026	3,069	3,098	211	5,475	1,789	866	44,574	25.2
Comp.(%)	40.5	27.0	6.9	7.0	0.5	12.3	4.0	1.9	100.0	



(a) Qreq of Smoke



(b) Qreq of CO



(c) Qreq of NOx

Fig. 3. Qreq Profiles by local emission standards

3.2 배출계수 기준을 통한 소요환기량 검토

배출계수와 소요환기량 변화관계를 알아보기 위해, Table 2의 Case 4에 따른 배출계수를 적용한 소요환기량 산출결과를 Table 8에 나타내었다. 환경부에서 제공하는 배출계수는 주행속도의 개념이 없기 때문에 현행 환기 설계 기법을 직접적으로 적용할 수 없으므로, 터널내 주행속도별 차종별 차량대수(veh/tunnel)를 기준으로 해당 차종별 배출계수를 곱하여 터널내 총 발생량(g/s)을 구한 후, 소요환기량을 산출하였다(Table 8). 이때, Fig. 2와

Table 8. Qreq profiles by emission factor (2012)

Type	10 km/h	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h	70 km/h	80 km/h
Smoke[m ³ /s] (PM10)	10.1	19.9	23.7	25.3	36.8	37.1	37.5	36.1
Smoke[m ³ /s] (PM10+NEE)	55.2	108.1	128.9	138.0	200.6	202.4	204.3	197.0
CO[m ³ /s]	9.4	14.3	17.0	18.2	19.0	19.1	19.3	18.7
NOx[m ³ /s]	32.4	49.5	58.9	63.1	65.6	66.2	66.8	64.3

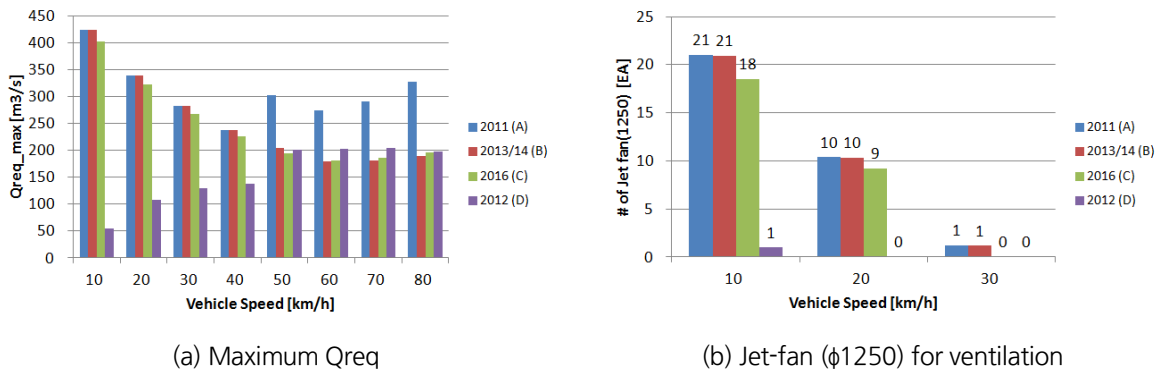


Fig. 4. Qreq and jet-fan profiles

같이 비차량 엔진에 의한 발생량은 현행 설계기준에서 적용하고 있는 WRA 2004년 보고서에서 제시한 값을 적용하였다.

현행 ‘제작차 배출허용 기준’을 적용하고 있는 환기설계기준(2011) 대비 환경부의 ‘배출계수 기준’(2012)을 적용할 경우, 매연은 26.2~65.2% 정도, CO는 87.4~97.8% 정도, NOx는 70.3~80.3% 정도 소요환기량이 감소하는 것으로 분석되며, 특히 CO의 배출가스 저감이 많은 것으로 나타났다. 국내 대부분의 환기설비 용량이 저속시 CO에서 결정되는 점을 고려한다면, 향후 배출계수를 적용할 경우 환기설비용량의 저감이 클 것으로 예상된다. 또한 차량의 엔진으로부터 배출되는 분진(PM10)은 총 배출분진(PM10+NEE)의 약 18% 수준으로 파악되며, 타이어 및 브레이크 마모분진, 도로표면 마모분진, 재부유분진 등 비엔진 배출분진이 차량의 엔진으로부터 배출되는 분진보다 약 5.4배 이상 큰 것으로 분석된다. 이와 같은 특성은 향후, 전기차와 같은 오염원이 없는 차량이 도입되어도 터널내 비엔진 배출분진에 대한 환기대책의 수립은 필요한 것으로 분석된다.

Fig. 4는 현행 기준(2011)대비 각 Case 별 최대 소요환기량(Qreq_max)의 변화와 환기용 제트팬(φ 1250 기준) 설치대수를 나타내고 있다. Fig 3.을 참조하면 제작차 허용배출 기준(A~C)에서는 저속시 CO 환기량이 크게 나타난 반면, Table 8과 같이 배출계수(D)에서는 모두 매연에 의한 소요환기량이 크게 나타나고 있다. 이는 비엔진 배출분진(NEE)에 의한 환기량이 크게 나타난 것으로 관찰되고, 현행 기준(2011(A))대비 배출계수(2012(D))에 의한 환기설비용량은 95% 절감되는 것으로 분석된다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 경유 차량의 배출가스 조작사건 이후 강화되고 있는 차량의 배출가스규제가 터널의 소요 환기량 산정에 미치는 영향을 알아보기 위해, 최근 환경부에서 개정된 ‘제작차 허용배출량 기준’과 ‘배출계수’에 의한 방법으로 소요환기량의 변화를 분석하였다. 이상의 연구내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 현행 국토교통부의 도로설계편람(617. 환기시설)의 터널환기 설계기준은 환경부의 ‘제작차 허용배출 기준’을 근거하고 있으며, 환경부는 2~3년 주기로 ‘대기환경보전법’에 ‘제작차 배출허용 기준’을 제시하고 있다. 그러나 최근(2013년 이후)에는 ‘자동차 총 오염물질 배출량 산정방법에 관한 규정’에서 ‘자동차 차종별 배출계수’를 제시하고 있다. 따라서 도로터널 환기설계시 적용하는 기준배출량은 이를 반영하여 산정할 필요가 있다.
2. 도로터널 환기설계시 적용하는 국내 기준배출량과 유럽의 제작차 허용배출 기준을 적용하여 산정한 기준 배출량을 비교한 결과, 종전 국내 설계기준(Case 1, 한국도로공사, 2002)은 EURO 1(1992년 이후)에서 EURO 2(1996년 이후), 현 설계기준(Case 2, 국토교통부, 2011)은 EURO 3(2000년 이후)에서 EURO 4(2005년 이후), 최근 개정된 환경부 기준(Case 4, 환경부 2016년 이후)은 EURO 6(2014년 이후) 수준으로 나타내고 있다.
3. 2011년 도로설계편람을 적용한 소요환기량과 2016년 이후 ‘제작차 허용배출 기준’을 적용하여 계산한 소요 환기량을 비교한 결과, 매연 34.1~48.1% CO는 5.2%, NOx는 76.1% 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서, 2016년 이후 제작차 허용배출 기준을 적용하여도 CO에 대한 소요환기량 저감율은 낮은 것으로 분석된다.
4. 또한, 환경부에서 제시하는 ‘자동차 차종별 배출계수 기준’(2012년 이후)을 적용하여 산정한 소요환기량은 현행 도로설계편람(2011)에서 제시하는 환기설계기준(2011)에 의한 소요환기량 보다, 매연은 26.2~65.2%, CO는 87.4~97.8%, NOx는 70.3~80.3% 정도 감소하는 것으로 분석되며, 이에 따라, 배출계수를 소요환기량 산정기준으로 도입하게 되면 CO에 대한 소요환기량의 급격히 감소하기 때문에 환기설비용량도 크게 감소할 것으로 예상되며, 모델터널에 대한 검토결과에서는 환기용량이 약 95% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다.
5. WRA(구, PIARC)의 2004년도 보고서를 기준으로 차량의 엔진으로 부터 배출되는 분진(PM10)과 비엔진 배출분진(타이어 및 브레이크 마모분진, 도로표면 마모분진, 재부유분진 등)을 비교한 결과, 총 배출분진(PM10+NEE)중 비엔진 분진을 제외한 차량배출분진은 약 18%를 차지하는 것으로 분석되었다. 따라서 향후 엔진에 의한 오염물질 배출이 없는 전기자동차를 도입할지라도 터널내 발생분진에 대한 환기대책의 수립이 필요한 것으로 판단된다.
6. 이상의 결과에서 도로터널의 환기시스템 용량을 결정하는 소요환기량은 현행과 같이 ‘제작차 허용배출 기준’을 적용하여 산정하는 것은 과다설계가 예상되므로 ‘자동차 차종별 배출계수’를 근거로 하여 산정하는 것이 타당한 것으로 판단되며, 이를 적용하는 경우, 3 km이상의 장대터널에서도 종류식 환기에 의한 환기가 충분히 가능할 것으로 예측된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2014년 건설기술연구사업의 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01) 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. DIESELNET Website (2017), (<http://www.dieselnet.com>)
2. Haruhiko, H. (2013), “National Institute for Environmental Studies, confirms that direct-injection gasoline passenger cars emit particulates of relatively high concentration”, 2013 Nikkei Automotive Technology (<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20131217/323180/>).
3. Kim, B.G. (2016), “[Tears of Diesel] ① Gasoline Turbo has a lot of fine dust emission than Diesel”, eDaily News, May 5, 2016 (<http://www.edaily.co.kr/news/>).
4. Kim, H.G., Song, S.H., Kim, N.Y., Lee, C.W. (2007), “The effects of introduction of diesel passenger cars on the ventilation requirements for road tunnels”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 9, No. 3, pp 309-321.
5. Korea Highway Corporation (2002), Design Criteria for Highway Tunnel Ventilation Facilities.
6. Ministry of Environment (2016), (Explanation) Diesel and Gasoline Engines Dust Survey, (<http://www.me.go.kr/home/web/board/>).
7. Ministry of Government Legislation (2013), Regulations on the method of calculating the total emission of pollutants from the law, the Ministry of the Environment Notice.
8. Ministry of Government Legislation (2017), Air Environment Conservation Act Implementation Regulations, Ministry of Environment.
9. Ministry of Land Transportation (2011), Road Design Manual (617. Ventilation Facility).
10. Ministry of Land Transportation (2015), Regulations on the structure and facility standards of roads.
11. WRA(PIARC) (2004), Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation, (C5) 05.14.B, pp. 39-41.
12. WRA(PIARC) (2012), Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation, PIARC Technical Committee C4, pp. 33-34.