

국내 휘발유 자동차의 증발가스 배출 특성에 관한 연구

박 준 홍^{*1)} · 박 영 표¹⁾ · 임 윤 성¹⁾ · 이 종 태¹⁾ · 김 정 수¹⁾ · 최 광 호²⁾

국립환경과학원 교통환경연구소¹⁾ · 남서울대학교 교양과정부²⁾

A Study on the Evaporative Emission Characteristics of Korean Gasoline Vehicles

Junhong Park^{*1)} · Youngpyo Park¹⁾ · Yunsung Lim¹⁾ · Jongtae Lee¹⁾ · Jungsu Kim¹⁾ · Kwangho Choi²⁾

¹⁾Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea

²⁾Department of General Education, Namseoul University, Cheonan 331-707, Korea

(Received 30 November 2010 / Accepted 8 March 2011)

Abstract : Hydrocarbons which are the main sources of VOCs from motor vehicles are emitted not only from the engine exhaust gas but also from evaporation of the fuel in storage and supplying systems. Evaporative emissions from gasoline fuel systems could be classified by diurnal, hotsoak and running loss. Diurnal loss test procedures are different as countries. Korea introduced new evaporative regulation in 2009 with 24hour VT-shed test procedure and relaxed emission standards. The estimations on different test procedures in this study show that the new Korean regulation get a little more severe than before and the 2 day diurnal loss test of U.S. is the most severe. So the test procedures as well as the stronger standards should be considered in the next evaporative emission regulation to reduce VOCs from motor vehicles. The important parameters to affect evaporative emissions are air and fuel temperature and fuel vapor pressure. Diurnal loss increases exponentially as rising air temperature and vapor pressure. The effects of vapor pressure on running loss are different as the capacities of canisters. Tests with simulating real temperature and driving conditions show that hydrocarbons in evaporative emissions could be more than those in exhaust gas in summer season because of the higher air temperature.

Key words : Evaporative emission(증발가스), Diurnal loss(주간 증발가스), Running loss(주행 중 증발가스), Variable temperature SHED(가변 온도 제어 밀폐실), Fuel vapor pressure(연료 증기압력)

1. 서론

자동차 배출가스로 인한 대기오염 방지를 위하여 우리나라는 휘발유 자동차의 배출가스 규제에 대하여¹⁾ 미국 캘리포니아(CARB)의 제도를 도입해 왔고, 2006년에는 캘리포니아에서 2004년 이후에 시행된 LEV-2 프로그램의 ULEV 기준을 도입하는 등 배기관 가스의 기준은 세계에서 가장 엄격한 수준에 도달하였다. 그 결과 Fig. 1에 나타나 있듯이 배기

관 탄화수소의 기준은 2000년대 이후 급격히 강화되었다. 그러나 자동차 탄화수소의 또 다른 배출원인 증발가스에 대한 허용기준 강화는 상대적으로 미약하였다. 휘발유 자동차의 증발가스는 주간 증발, 고온 증발, 주행 중 증발가스로 구분할 수 있는데, 우리나라와 유럽, 일본은 주간증발 및 고온증발에 한해 규제하고, 미국은 주행 중 증발가스까지도 규제하고 있다.²⁻⁶⁾ 우리나라는 2009년 대기환경 보전법 개정을 통해 주간증발가스 시험에 대하여 기존의 1시간 연료탱크 가열 방식에서 24시간 가변온

*Corresponding author, E-mail: pjhy98@korea.kr

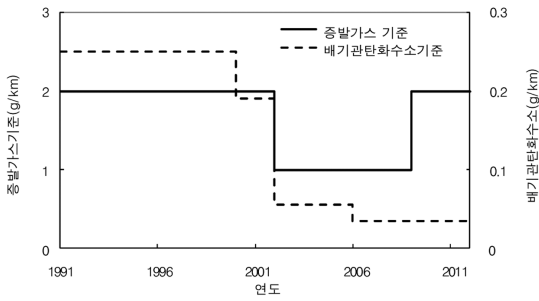


Fig. 1 Comparison of evaporative and exhaust emission standards for hydrocarbon

도 밀폐실 방식으로 시험방법을 강화하면서 허용기준 값은 완화하였다.

국가별로 주간 증발가스 시험의 온도 및 연료 증기압 조건에 차이가 있어 직접적인 비교는 어렵지만, 우리나라의 2009년 증발가스 기준은 유럽과 유사한 수준이고, 미국의 EPA 또는 CARB 보다는 상당히 완화된 수준이다.

유럽 JRC(Joint Research Center)등은^{7,8)} 유럽 기준에 따라 인증 받은 휘발유 자동차들에 대한 증발가스 시험을 통해서 연료탱크 내의 증발가스에 대한 평균적인 실험식을 다음과 같이 나타내었다.

$$m_{v,gen} = 0.025 \cdot \exp(0.0205V_p) \cdot \{ \exp(0.0716T_2) - \exp(0.0716T_1) \} \quad (1)$$

여기서, $m_{v,gen}$: 연료탱크에서 발생하는 단위체적당 증발가스량(g/liter)

V_p : 휘발유 증기압 (kPa)

T_1 : 최소 대기온도(°C)

T_2 : 최대 대기온도(°C)

(1)식으로부터 연료탱크 내의 증발가스 발생량은 휘발유 증기압력, 대기온도, 일교차에 지수함수적으로 비례함을 알 수 있다.

우리나라에서는 전경주^{9,10)} 등이 우리나라와 캘리포니아의 연료를 이용하여 대기온도 조건과 연료사양에 따른 증발가스의 변화특성을 연구한 바 있다.

본 연구에서는 향후 우리나라의 증발가스 규제 설정의 기초자료 제공을 위해 국내외의 다양한 시험방법과 증발가스 배출 영향 인자에 대해 평가하였다. 또한, 현재 국내 제작자동차의 주행 중 증발가스 배출수준과 실 주행 조건에서의 증발가스 배출

수준을 조사하였다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 주간증발가스 측정 방법

주간증발가스 측정 방법은 1시간 연료탱크 가열 방식과 24시간 가변온도 밀폐실 방식으로 구분할 수 있다. 1시간 연료탱크 가열 방식은 연료탱크 하부에 가열장치를 설치하여 연료 온도를 1시간 동안 16 → 30°C까지 가열하였을 때 발생하는 증발가스를 측정한다. 우리나라에서는 2009년 이전의 인증시험 방법에 적용되었다. 24시간 가변온도 밀폐실 방식은 밀폐실 내의 공기온도를 24시간 동안 변화시켰을 때 발생하는 증발가스를 측정하는데, 미국에서는 1995년, 유럽은 2000년부터 도입되었으며, 우리나라는 2009년부터 인증시험에 적용하고 있다. 주간증발 가스 측정시의 밀폐실 온도, 연료증기압, 시험절차는 각국의 여름철 대기온도 변화와 연료 정책등에 따라 다소 차이가 있다. Fig. 2에는 24시간 밀폐실 온도프로파일의 차이를 나타내었는데, 우리나라는 미국 EPA와 동일한 온도 프로파일을 채택하였다. Table 1에는 국가별 증기압 조건, Fig. 3에는 세부적인 시험절차를 나타내었다.

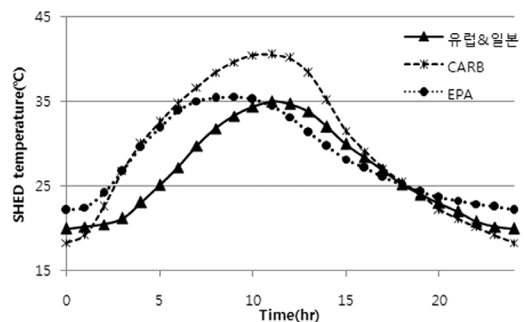
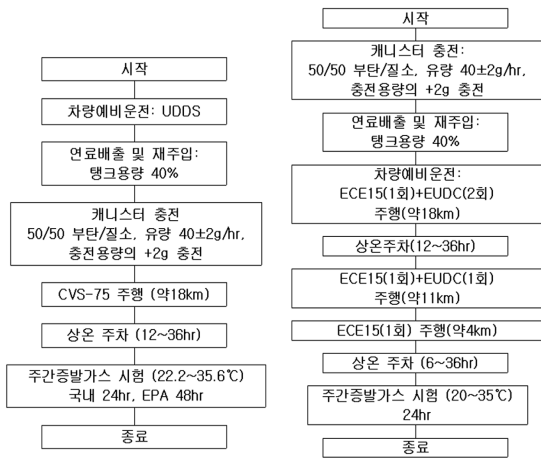


Fig. 2 Comparison of 24hr temperature profiles for diurnal loss test

Table 1 Diurnal loss test conditions as countries

구분	밀폐실 온도프로파일(°C)	연료증기압 (kPa)
우리나라	22.2~35.6	60 이하(6~8월)
미국연방	22.2~35.6	60~63.4
미국 캘리포니아	18.3~40.6	46~48
유럽	20~35	56~60



(a) 국내, EPA (b) 유럽

Fig. 3 Diurnal loss test procedures as countries

2.2 주행 중 증발가스 측정 방법

주행 중 증발가스에 대한 규제는 미국의 EPA와 CARB에서 시행 중이다. 측정절차는 Fig. 4에 나타내었다. 밀폐실의 온도는 35°C로 유지하여야 하고, 시험중 연료탱크 내의 온도 변화는 실제 도로 운행 조건에서 나타나는 변화를 모사하여야 한다. 이를 위해 자동차 제작사는 여름철 35°C 수준의 대기 온도 조건에서 주행 중 증발가스 측정 모드로 실도로를 주행하고 이때의 연료온도 변화를 측정하여 증발가스 시험시에 반영하여야 한다. 하지만, 국내에서 이와 동일한 조건에서 주행하는 것은 현실적으로 불가능 하였다. 이에 본 연구에서는 증발가스 시험 주행 모드와 동일하진 않지만, 실제 도로를 주행하여 연료온도 변화를 측정하고, 이를 사용하여 주행 중 증발가스를 측정하였다.

2.3 증발가스 측정 장치

Fig. 5에는 증발가스 측정을 위한 밀폐실 장치를 나타내었다. 주간증발가스 측정을 위한 가변온도밀폐실(Variable Temperature SHED)은 밀폐실 전체의 온도를 제어할 수 있도록 제작되었으며, 온도 변화에 따른 내부 체적의 변화를 보상하기 위해서 공기주머니(air bag)를 사용한다. 주행 중 증발가스 측정을 위한 밀폐실 장치는 밀폐실 내부에서 자동차를 주행할 수 있도록 차대동력계가 설치되어있고, 자동차의 배기관에서 배출되는 가스는 밀폐실 외부로

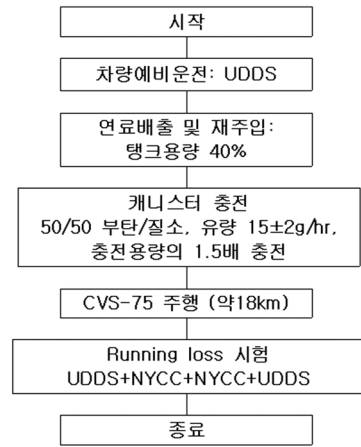


Fig. 4 Running loss measurement procedure

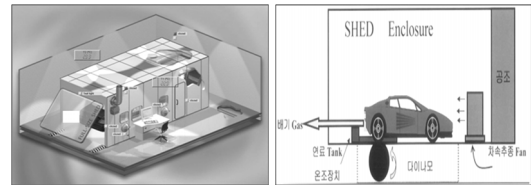


Fig. 5 SHED system for evaporative emission measurement
(a) Variable temperature SHED
(b) Running loss test SHED

방출되도록 제작되어 있으며, 연료탱크의 온도를 규정된 온도로 제어할 수 있도록 온도제어장치가 설치되어 있다. 탄화수소 분석기는 FID 장치를 사용하였다.

2.4 시험자동차 및 시험연료

시험자동차는 우리나라의 2006년 배출허용기준에 따라 인증을 받은 승용자동차 2대를 선정하였고, 상세제원은 Table 2에 나타내었다. 시험차A의 경우 배기량과 연료탱크 용량이 상대적으로 작지만, 캐니스터 흡수용량은 크게 설계되어 있어, 증발가스 측면에서는 시험차B 보다는 양호하게 설계된 것으로 판단된다.

Table 3에는 시험연료의 주요 사양을 대기환경보전법의 연료 제조기준과 비교하여 나타내었다. 연료의 증기압을 조절하기 위해 질소(N₂)와 C5 이하 물질을 사용하였고, 증기압 이외의 주요사양은 대기환경보전법의 기준에 적합하도록 제조하였다.

Table 2 Specifications of test vehicles

구분	시험차A	시험차B
배기량(cc)	1,599	1,998
모델년도	2008	2008
캐니스터 크기(cc)	850	850
캐니스터 흡수용량(g)	39	25
연료탱크용량(L)	45	62

Table 3 Specifications of test fuel

구분	제조 기준	시험연료		
		50	60	80
증기압(kPa)	60 ↓	50	60	80
방향족(부피%)	21 ↓	10.7	10.5	10.4
벤젠(부피%)	0.7 ↓	0.28	0.27	0.27
산소(무게%)	2.3 ↓	1.52	1.49	1.47
올레핀(부피%)	19 ↓	9.1	8.8	8.7
황(ppm)	10 ↓	5	5	5
90%유흥온도(°C)	170 ↓	155.1	159.6	162.4

3. 시험결과 및 검토

3.1 주간증발가스 시험결과

3.1.1 시험방법에 따른 주간증발가스 배출특성

1시간 연료탱크 가열방식과 24시간 가변온도 밀폐실 방식에 따른 증발가스 시험결과를 Fig. 6에 나타내었다. 2009년 대기환경보전법의 개정으로 주간증발가스 시험방법은 1시간 연료탱크 가열방식에서 24시간 가변온도 밀폐실 방식으로 변경되고 허용기준은 1g/test에서 2g/test로 완화되었다. 시험방법의 변경으로 주간증발가스의 측정값이 시험차A는 3.2배, 시험차B는 3.9배 증가된 것으로 볼 때 시험방법은 상당히 강화된 것으로 판단된다. 실제 규제 강화여부를 검토하기 위해서 증발가스 측정값과 허용기준의 비율을 조사하였는데 시험차A는 2009년 이전 12%에서 2009년 이후 24%로 높아졌고, 시험차B는 36%에서 57%로 높아졌다. 증발가스 측정값과 허용기준의 비율 변화를 고려하였을 때 실제 규제는 강화된 것으로 판단된다. 그러나, 시험차A와 시험차B 모두 2009년 이전의 증발가스 규제에 따라 제작된 차량인데, 이를 그대로 적용하더라도 2009년 이후 규제를 만족하고 허용기준에 상당히 여유가 있는 것으로 판단된다. 또, 미국 EPA는 2004년부터 48시간 주간증발가스 시험에 허용기준 1.2g/test,

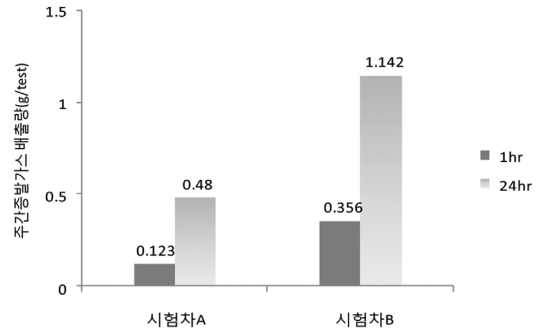


Fig. 6 Comparison of diurnal loss emissions as test procedure

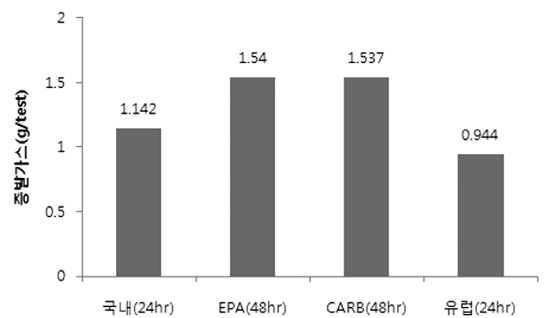


Fig. 7 Diurnal loss emissions as the test procedures of countries

CARB는 0.65g/test를 적용하고, 유럽은 2000년 유로 3부터 24시간 주간증발가스 시험에 2g/test의 규제를 도입한 점을 고려하였을 때 2009년의 국내 증발가스 규제는 이전 보다 크게 강화된 규제는 아닌 것으로 사료된다.

Fig. 7에는 국가별 주간 증발가스 시험 방법의 차이에 따른 배출특성을 나타내었다. Fig. 2에 나타나 있듯이 미국 CARB의 밀폐실 온도 프로파일이 최대-최소 온도차가 가장 크고, 최대 온도도 가장 높아서 밀폐실 온도 조건으로는 증발가스가 가장 많이 발생할 수 있는 조건이다. 그러나, Table 1을 보면 CARB의 연료 증기압이 가장 낮아서 증발가스의 발생을 적게하는 요인으로 작용한다. Fig. 3의 시험절차에서 보듯이 미국 EPA와 CARB는 24시간 밀폐실 온도 변화 과정을 2차례 연속 수행하여 총 48시간을 실시하고 높은 차수의 결과값을 최종 결과값으로 사용하지만, 우리나라와 유럽은 1회만을 수행한다. 캐니스터에 부탄/질소 50/50 혼합가스를 충전한 후에 주행하는 거리는 우리나라와 미국이 약 18km인

데 반해 유럽은 약 43km이다. 이러한 시험조건과 절차의 차이로 인하여 증발가스 측정값에 차이가 있는데 48시간 시험을 적용하는 미국의 EPA와 CARB의 시험방법에서 측정값이 가장 높게 나타났으며, 우리나라의 24시간 시험 보다 약35% 높게 증발가스가 배출되었다. 이는 밀폐실 온도 변화를 반복함에 따라 캐니스터에 저장되는 증발가스가 증가함으로 인해 포집할 수 있는 공간은 감소하여 외부로 배출되는 양이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. EPA와 CARB는 밀폐실 온도 프로파일과 연료증기압에서 서로 차이가 있으나 유사한 결과값을 나타내었다. 실제 EPA와 CARB는 증발가스 시험방법의 동등성을 인정하고 있다. 24시간 시험방법의 경우에는 우리나라의 시험방법이 유럽 보다 더 높은 측정값을 나타내었는데, 이는 캐니스터에 혼합가스를 충전한 후 주행하는 거리가 우리나라의 시험방법이 더 짧아서 그만큼 엔진으로 퍼지하는데 소요되는 시간이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같이 주간 증발가스 시험방법의 차이는 증발가스 측정값에 상당한 영향을 주는 바 향후의 증발가스 규제 설정시에는 반드시 이러한 시험방법의 영향을 함께 고려해야 할 것이다.

3.1.2 대기온도에 따른 주간증발가스 배출특성

Fig. 8에는 24시간 주간증발가스 시험 중에 초기 밀폐실온도와의 차이와 단위시간당 증발가스 발생량의 관계를 나타내었다. 24시간 시험 중 온도 상승 기간과 온도하강기간을 구분하여 상관관계를 조사하였는데 지수함수 적으로 매우 높은 상관관계를 나타내었다.

Fig. 9에는 밀폐실의 최대온도와 최소온도의 차이(ΔT)를 변화시켰을 때 주간증발가스 결과를 나타내었다. ΔT는 각각 8°C, 13°C, 18°C로 설정하였는데, ΔT가 증가함에 따라 증발가스 발생량은 증가하였고, 증가하는 경향은 지수함수적으로 높은 상관계수를 나타내었다. Fig. 8과 Fig. 9에 나타난 결과는 유럽 JRC의 연구결과를 통해 도출된 식 (1)에서 다루었듯이 연료탱크내의 증발가스 발생량이 일교차에 지수함수적인 관계가 있는 것과 상통하는 부분으로 판단된다.

Fig. 10에는 여름철 및 가을철에 시험차B를 외부

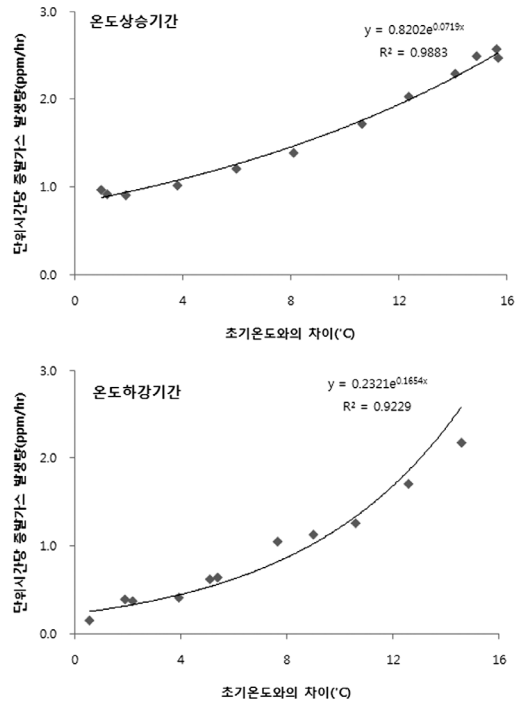


Fig. 8 Diurnal loss as SHED temperature change

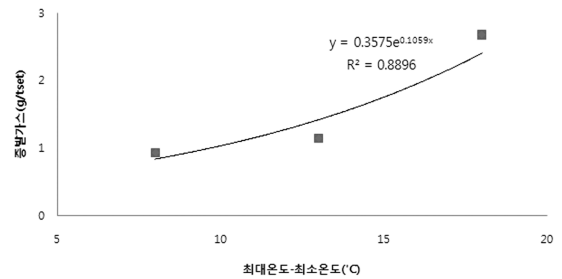


Fig. 9 Diurnal loss as SHED maximum temperature difference

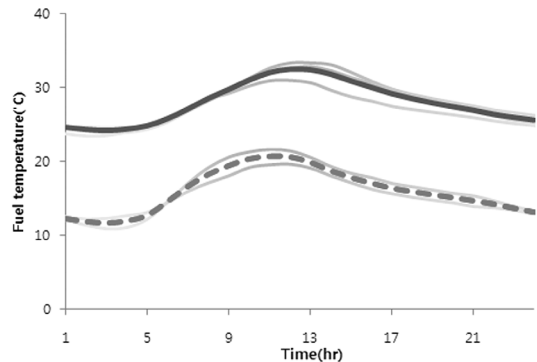


Fig. 10 Fuel temperature change in summer and fall season

에 주차하여 24시간동안의 연료탱크 내 연료온도 변화를 측정된 결과를 나타내었다.

여름철은 8월 중순, 가을철은 10월 중순에 측정된 결과로서 3회 측정하여 평균온도 변화를 산출하였다. 이러한 연료온도 프로파일이 나타나도록 밀폐실 온도를 반복적으로 변화시켜, Fig. 11과 같이 여름철은 24 → 35°C, 가을철은 12 → 25°C의 밀폐실 온도 프로파일을 설정하였다. 설정된 여름철 밀폐실 온도 프로파일은 Fig. 2의 미국 EPA 시험조건을 도입한 2009년 우리나라 인증 시험 조건과 거의 유사하였다.

Fig. 12에 여름철과 가을철 밀폐실 온도 프로파일 에 따른 주간증발가스 결과를 나타내었다. 여름철의 온도 프로파일은 국내 인증 시험조건과 유사한 바 증발가스배출량은 우리나라 규제모드 시험과 거의 동일한 수준으로 나타났다. 가을철 온도 프로파일의 경우 ΔT는 여름철과 차이가 없지만, 낮은 대기 온도로 인하여 증발가스 발생량이 여름철의 약 40% 수준으로 감소하였다. 하지만, 이는 가을철의 연료

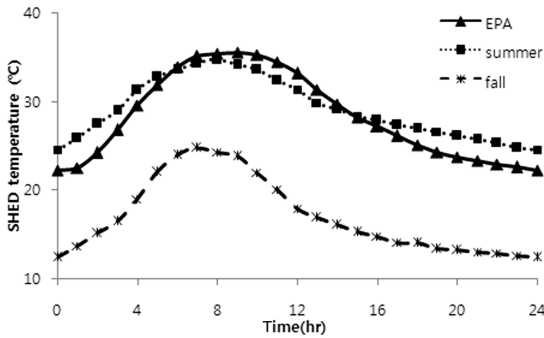


Fig. 11 Seasonal SHED temperature profile compared with EPA test condition

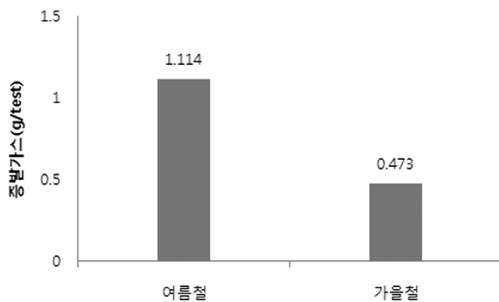


Fig. 12 Diurnal loss as seasonal SHED temperature profile

증기압이 여름철과 동일한 60kPa인 경우의 결과로서 이와 같은 효과를 실제로 얻기 위해서는 가을철에도 여름철과 동일한 증기압 규제가 필요할 것이다.

3.1.3 연료증기압에 따른 주간증발가스 배출특성

연료의 증기압을 50~80kPa까지 변화시켰을 때 주간증발 가스 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 휘발유 증기압이 상승됨에 따라 증발가스의 발생은 증가하였고, 지수함수로 나타내었을 때 매우 높은 상관계수가 나타났다. 우리나라는 2002년 70kPa의 증기압 규제에서 2010년 60kPa로 강화하였다. 이러한 규제 강화로 인해 본 시험차량의 경우에는 18%의 증발가스가 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 14에는 여름철과 가을철 온도 조건에서의 증기압 변화에 따른 주간증발가스 결과를 나타내었다. 현행 여름철 연료증기압 기준인 60kPa를 50kPa로 강화할 경우에는 약10%의 증발가스가 감소하는 것으로 나타났다. 가을철의 경우에도 증기압이 낮아짐에 따라 여름철과 유사한 수준의 증발가스 감소효과가 나타났다.

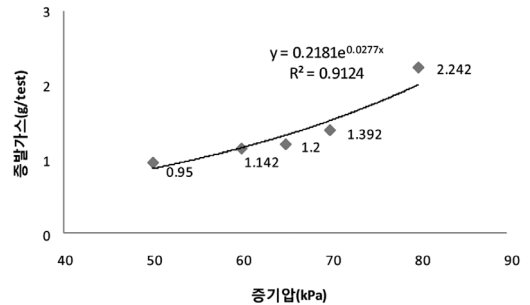


Fig. 13 Diurnal loss as fuel vapor pressure

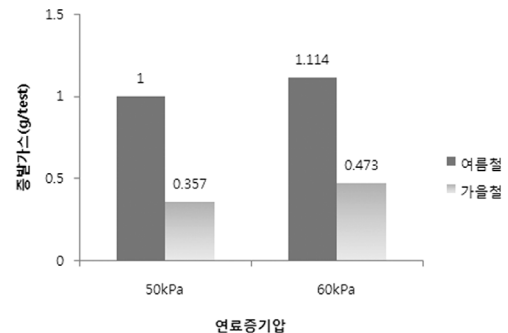


Fig. 14 Diurnal loss as seasonal fuel temperature profile and vapor pressure

3.2 주행 중 증발가스 시험결과

시험차A, B에 대한 주행 중 증발가스 시험결과를 Fig. 15에 나타내었다. 캐니스터 포집용량이 더 큰 시험차A의 증발가스가 시험차B 보다 더 낮게 나타났다. 시험차량들은 미국 대비 낮은 수준의 증발가스 제어기술이 적용되었지만, 주행 중 증발가스 양은 미국의 증발가스 허용기준에도 적합한 수준이었다.

Fig. 16에는 연료온도 변화가 주행 중 증발가스에 주는 영향을 나타내었다. 주행 중 증발가스는 대기온도가 35°C인 조건에서 시험을 시작한다. 초기 연료온도는 대기온도와 동일하게 유지하고 시험 종료 시 연료온도가 45, 50, 55°C로 변화하도록 연료온도 프로파일을 설정하여 주행중 발생한 증발가스양을 비교하였다. 시험결과 연료온도 상승이 높은 온도 조건에서 증발가스 배출량은 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 17에는 연료 증기압의 변화에 대한 주행 중 증발가스 배출특성을 나타내었다. 캐니스터 용량이 상대적으로 큰 시험차A는 연료증기압이 증가하더라도 일정 수준 이상으로는 증가하지 않았다. 그러나, 시험차B는 연료 증기압이 상승함에 따라 증발

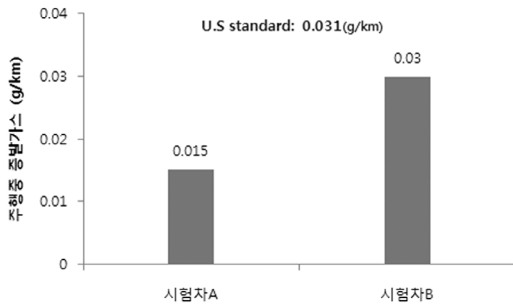


Fig. 15 Running loss for test vehicles

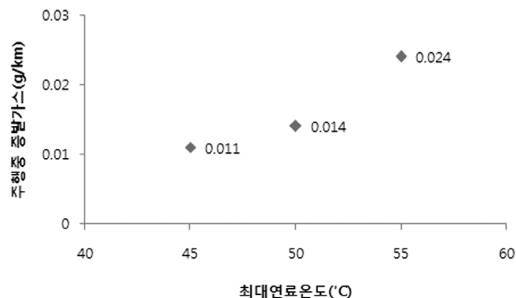


Fig. 16 Running loss as fuel temperature change

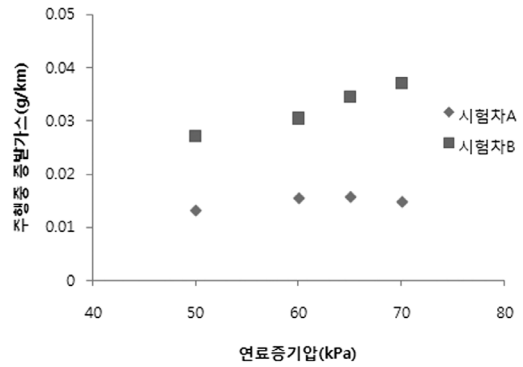


Fig. 17 Running loss as fuel vapor pressure

가스의 배출량이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 주행 중 증발가스의 경우 캐니스터에 포집된 증발가스를 주행 중에 흡기관으로 환원시켜 줄 수 있는데, 시험차A의 경우에는 증기압이 상승하더라도 캐니스터에 포집된 증발가스를 주행 중에 충분히 흡기관으로 환원 시켜 주기 있기 때문인 것으로 사료된다. 즉, 주행중 증발가스의 감소를 위해서는 캐니스터의 포집과 흡기관으로의 환원 성능이 동시에 고려되어야 할 것이다.

3.3 증발 및 배기가스 중 탄화수소 배출량

주행 중 증발가스의 발생 수준을 파악하기 위하여 배기관에서 배출되는 탄화수소의 양과 비교하였다. Fig. 18에 시험차량의 주행 중 증발가스와 배기관탄화수소의 배출량을 비교하여 나타내었다. CVS-75(냉간시동)은 외기온도 25°C 조건에서 12시간을 안정화한 후에 시동을 걸고 배출가스 시험을 실시한 경우로서 배출가스인증시험시 적용되는 조건이다. CVS-75(열간시동)은 냉각수 온도가 충분히 높은 상태에서 시동하여 주행한 것이다. UDDS-NYCC는 CVS-75(열간시동)와 동일한 조건에서 시동하되, 주행 중 증발가스 측정시의 운전모드를 사용한 것이다. CVS-75(열간시동)와 UDDS-NYCC 측정시의 실험실 내부온도는 30~35°C 사이를 유지하여 증발가스 측정 조건과 최대한 유사하게 하였다. 시험결과 시험차A의 주행 중 증발가스는 냉간시동시의 배기관 탄화수소와 유사한 수준이지만, 열간시동시에는 주행 중 증발가스의 양이 배기관 탄화수소 보다 훨씬 더 높은 수준으로 배출되었다. 이는

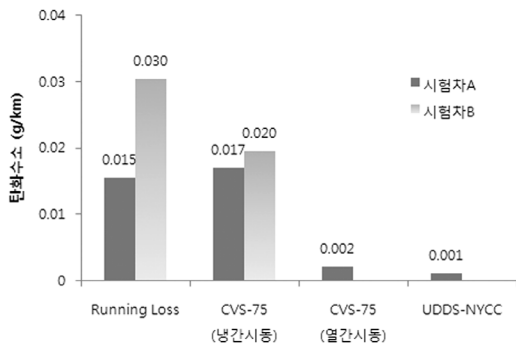


Fig. 18 Comparison of running loss with exhaust hydrocarbon emissions

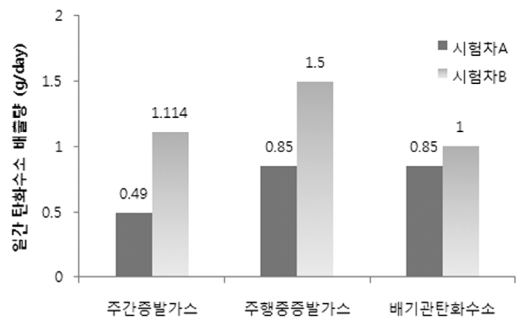


Fig. 19 Comparison of estimated one day hydrocarbon emission from evaporation and exhaust

열간시에는 배기가스 온도가 높아 배기관의 삼원촉매가 충분히 활성화되어 배기관 탄화수소의 양은 감소하지만, 연료온도의 상승으로 증발가스는 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 캐니스터의 용량이 작은 시험차B는 주행 중 증발가스가 냉간시동 시의 배기관 탄화수소 보다 더 높게 나타났다. 따라서 자동차의 증발가스 시스템 설계에 따라, 여름철 또는 연료온도가 높은 열간 조건에서는 주행 중 증발가스에 의한 탄화수소 배출량이 배기관탄화수소 보다 더 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 19에는 여름철 1 일동안 배출되는 증발가스와 배기관에서 배출되는 탄화수소의 양을 산출하여 비교하였다. 1일 평균주행거리는 우리나라 국민의 1일 자동차 평균주행거리¹¹⁾인 50km로 하였다. 배기관 탄화수소는 CVS-75 (냉간시동) 조건의 값을 이용하였다. 시험차량의 증발가스 시스템 설계에 따라 차이는 있으나, 여름철에는 주행 중 증발가스로 인한 탄화수소 배출량이 가장 높은 것으로 나타났다. 상대적으로 캐니스터

용량이 작았던 시험차B의 경우에는 주차 중에 발생하는 탄화수소가 주행 중 배기관에서 배출되는 탄화수소 보다 더 높은 것으로 나타났다.

4. 결론

2009년 이전의 증발가스 규제에 따라 제작된 국내 휘발유 자동차 2대를 선정하여 증발가스를 평가한 본 연구의 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 대기환경보전법 개정으로 2009년부터 주간증발가스 시험방법이 1시간 연료탱크 가열방식에서 24시간 가변온도 밀폐실 방식으로 변경됨에 따라 증발가스 측정값은 시험차A는 3.2배, 시험차B는 3.9배 증가하였다. 허용기준은 1g/test에서 2g/test로 완화되었는데 증발가스 측정값과 허용기준의 비율은 2009년 이전 시험차A 12%, 시험차B 36%에서 2009년 이후 시험차A 24%, 시험차B 57%로 높아졌다. 증발가스 측정값과 허용기준의 비율 변화를 고려하였을 때 실제 규제는 강화되었지만, 2009년 이전의 증발가스 관련 설계 사양으로도 2009년 이후의 규제를 만족하는 점과 국외의 증발가스 규제 수준을 고려하였을 때 크게 강화된 것은 아닌 것으로 판단된다.
- 2) 휘발유 자동차의 주간증발가스는 대기온도와 연료증기압에 지수함수적인 관계를 나타내었다. 시험차B를 여름철과 가을철에 외부 주차하여 계절별 밀폐실 온도프로파일을 구하였으며, 여름철 밀폐실 온도 조건은 2009년 이후 국내에서 도입한 미국 EPA의 시험조건과 유사하였다. 여름철 온도 조건으로 시험차B는 1.114g/test의 증발가스가 배출되었지만, 가을철의 경우 약 40% 수준인 0.473g/test로 감소하였다.
- 3) 연료증기압이 감소함에 따라 주간증발가스는 지수함수적으로 감소하였다. 우리나라는 휘발유의 증기압 기준을 2002년 70kPa에서 2010년 60kPa로 변경하였는데 시험차B의 경우 약18%의 증발가스가 감소하였으며, 증기압 기준을 50kPa로 낮추는 경우 60kPa 대비 약 10%의 증발가스가 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 주행 중 증발가스 규제는 미국에서 시행 중인데, 미국 보다 상당히 완화된 우리나라의 2009년 이

전 증발가스 규제에 따라 제작된 시험차A는 미국 기준의 48%, 시험차B는 97% 수준으로 만족하였다. 주행 중 증발가스도 연료온도가 상승하고, 연료 증기압이 높아짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었는데, 캐니스터의 포집용량이 상대적으로 큰 시험차A는 연료증기압의 증가에 따른 주행 중 증발가스 증가가 상대적으로 적게 나타났다.

- 5) 주행 중 증발가스의 양은 시험차A의 경우 냉간시동 CVS-75모드 배기관 탄화수소의 88% 수준이지만, 삼원촉매가 충분히 활성화된 열간시동 CVS-75 모드 보다는 7.5배가 많은 수준이었다. 캐니스터 포집용량이 상대적으로 작은 시험차B는 주행 중 증발가스의 양이 냉간시동 CVS-75모드의 탄화수소 양 보다 1.5배 많이 배출되었다.

References

- 1) Clean Air Conservation Act, Chapter 4, "Regulation of Exhaust Gases from Automobiles, Ships, Etc.," Act No. 9695, 2009.
- 2) California Air Resource Board, California Standards and Test Procedures for 2001 and Subsequent Model Motor Vehicles, 2008.
- 3) U.S Environment Protection Agency, Control of Emissions from New and In-use Highway Vehicles and Engines, 40 CFR PART 86 SUBPART B, 2006.
- 4) K. Koseki, T. Matsumoto, K. Morita, M. Hirose and S. Sembokuya, "RVP Dependence of Evaporative Emissions for Japanese Current and Older Vehicles and US Vehicles Using Typical Japanese Gasoline," SAE 2000-01-1170, 2000.
- 5) UN ECE Regulation No.83, Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to the Emission of Pollutants according to Engine Fuel Requirements.
- 6) G. Mellios and Z. Samaras, "An Empirical Model for Estimating Evaporative Hydrocarbon Emissions from Canister-equipped Vehicles," Fuel, Vol.86, pp.2254-2261, 2007.
- 7) G. Mellios, Z. Samaras, G. Martini, U. Manfredi, S. McArragher and K. Rose, "A Vehicle Testing Programme for Calibration and Validation of an Evaporative Emissions Model," Fuel, Vol.88, pp.1504-1512, 2009.
- 8) H. Van der Westhuisen, A. B. Taylor, A. J. Bell and M. Mbarawa, "Evaluation of Evaporative Emissions from Gasoline Powered Motor Vehicles under South African Conditions," Atmospheric Environment, Vol.38, pp.2909-2916, 2004.
- 9) K. J. Jeon, S. Y. Beak and S. M. Han, "The Effect of Fuel Vaporation Pressure and Fuel Species on Vehicle Exhaust Gas and Evaporative Emission," Spring Conference Proceedings, KSAE, 2000-03-2004, 2000.
- 10) J. Y. Hong and K. J. Jeon, "A Study on the Change of the Fuel Composition during Diurnal Test," Fall Conference Proceedings, KSAE, KSAE04-F0003, 2004.
- 11) 교통안전공단, 2008년도 자동차 주행거리 실태조사, 2009.