

## SULEV LPG 자동차의 배출가스 저감효과 평가

### Estimation on the Emission Reduction of SULEV LPG Vehicles

박준홍\* · 이종태 · 김선문 · 김정수 · 강대일 · 임윤성 · 한보영

국립환경과학원 교통환경연구소

(2011년 10월 12일 접수, 2012년 1월 5일 수정, 2012년 1월 12일 채택)

Junhong Park\*, Jongtae Lee, Sunmoon Kim, Jeongsoo Kim, Daeil Kang,  
Yunsung Lim and Boyoung Han

*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research,  
Incheon 404-708, Korea*

(Received 12 October 2011, revised 5 January 2012, accepted 12 January 2012)

#### Abstract

SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) which is one of the emission standards in Fleet Average System introduced to Korea from 2009 is known as the most severe standard to achieve with internal combustion engine. Considering low sales volume of hybrid vehicles in Korea, vehicle manufacturers are required to develop SULEV technologies for conventional gasoline and LPG vehicles to meet the future Fleet Average standard. In this study, the comparison of emissions has been made between SULEV developed and ULEV LPG vehicles mainly produced in this time. To estimate the emission reduction of SULEV vehicles, CVS-75 and NIER test modes have been used. CVS-75 has been used for emission certification of gasoline and LPG vehicles. NIER modes cover various average vehicle speed and reflect Korean real driving patterns better than CVS-75. The test results show that SULEV LPG vehicles have very high potential to reduce  $\text{NO}_x$  in regulated emissions,  $\text{N}_2\text{O}$  in green house gases and toluene in VOCs. However, SULEV LPG vehicles don't affect much on the reduction of CO and total green house gases.

**Key words** : SULEV, ULEV, LPG vehicle, Vehicle emission, Green house gas, VOCs

#### 1. 서 론

자동차로 인한 대기오염을 최소화하기 위하여 우리나라는 신규로 제작되는 자동차의 배출허용기준을 지속적으로 강화해 왔다. 휘발유 및 LPG 자동차에

대해서는 전 세계적으로 가장 강력한 규제로 알려진 미국 캘리포니아의 규제 (CARB, 2008)를 도입해 왔는데 2002년 7월에 캘리포니아 1단계 저공해 프로그램, 2006년에 2단계 저공해 프로그램의 ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) 기준을 도입하였다. 2009년부터 평균배출량 제도 (Fleet Average System)를 도입하여 자동차 제작사에게 표 1과 같이 4 가지의 배출허용기준을 적용할 수 있도록 하되, 판매된

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7610, E-mail : [pjhy98@korea.kr](mailto:pjhy98@korea.kr)

**Table 1. Vehicle emission standards in fleet average system (g/km).**

	NMHC	CO	NO <sub>x</sub>
Standard 1 (LEV)	0.054 *(0.045)	2.61	0.044
Standard 2 (ULEV)	0.033 *(0.024)	1.31	0.044
Standard 3 (SULEV)	0.00601 *(0.00601)	0.625	0.0125
Standard 4 (ZEV)	0	0	0

\* Values for calculating fleet average

자동차의 탄화수소 평균배출량이 일정 수준 이하를 만족하도록 하였다. 대기환경보전법 별표 17의 자동차 배출가스 허용기준에서 휘발유와 가스 자동차의 탄화수소는 비메탄유기가스(NMOG)로 규제하는데, 비메탄탄화수소(NMHC)에 1.04를 곱한 값을 등가로 인정하고 있다. 표 1에는 이를 반영하여 NMHC로 환산된 탄화수소 배출허용기준을 나타내었다. 평균배출량 기준에서 기준 4는 ZEV (Zero Emission Vehicle) 기준으로서 전기 또는 수소자동차 기술로 달성할 수 있고, 기준 3은 SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) 기준으로서 2006년부터 도입된 ULEV 기준과 비교했을 때 탄화수소는 약 5배, 일산화탄소는 약 2배, 질소산화물은 약 3.5배 강화된 것이다. SULEV 기준은 휘발유 및 LPG 등 기존 연료를 사용하는 자동차 기술로 도달 할 수 있는 가장 엄격한 기준으로 알려져 있다.

표 2에 나타난 바와 같이 2009년부터 2012년 6월까지의 NMHC로 환산된 평균 탄화수소 기준은 0.024 g/km로서 자동차 제작사는 모든 자동차를 ULEV 기준으로 생산하면 달성할 수 있다. 그러나, 2012년 6월 이후부터 평균탄화수소 배출기준이 ULEV 이상으로 강화되므로 자동차 제작사는 반드시 SULEV 수준의 자동차를 판매하여야 한다. 국립환경과학원(2010)의 자동차 배출가스 등급 산정 자료에 의하면 2010년까지 국내 제작차 중 SULEV 차량들은 모두 하이브리드 자동차인데, 이들의 낮은 판매량을 고려하면 자동차 제작사는 휘발유, LPG 자동차에 대해서도 SULEV 개발이 요구되는 상황이다.

본 연구에서는 환경부 산하 무·저공해 자동차 사업단 과제로 개발된 2,000 cc급 SULEV LPG 자동차

**Table 2. Fleet averaged NMHC standard and projected SULEV sales.**

Year	2009~ 2012. 6	2012. 7~ 2013	2014	2015
Fleet averaged NMHC standard (g/km)	0.024	0.023	0.022	0.021
Projected SULEV sales	0%	6%	11%	16%

**Table 3. Specification of test vehicles.**

Vehicle	Fuel injection	Emission level
A	LPGI	SULEV
B	LPLI	SULEV
C	LPLI	SULEV
D	LPGI	ULEV
E	LPLI	ULEV
F	LPLI	ULEV

의 배출가스 특성을 현재 양산중인 ULEV 자동차와 비교하여 SULEV LPG 자동차 도입에 따라 기대되는 배출가스 저감 효과를 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 평가대상 LPG 자동차

표 3에 본 연구에서 평가한 시험차량의 제원을 나타내었다. 시험차량은 모두 배기량 1,998 cc, 시험중량 1,644 kg으로서 동급 배기량과 중량의 자동차이다. SULEV 차량들은 환경부의 무·저공해자동차 사업단 과제로 개발된 차량으로서 2011년 6월 현재 양산되지는 않고 있다. 시험차 A,D는 연료탱크의 LPG가 기화기를 통해 증발된 후 기체 상태로 연료 인젝터에서 분사되는 기술(LPGI)이 적용되었고, 시험차 B, C, E, F는 액상의 연료를 인젝터에서 분사하는 기술(LPLI)을 적용한 차량이다. Park *et al.* (2009), Myung *et al.* (2006), Kim *et al.* (2001)의 연구에 따르면, SULEV LPG 기술은 기본적으로 ULEV와 동일하게 이론공연비 연료 제어와 삼원촉매를 적용하지만, 촉매 귀금속 로딩량 증가, 촉매 활성화 소요 시간 단축을 위한 배기계통의 설계 개선 등 촉매 성능 관련 기술 개선과 선형 산소센서, 가변 밸브 타이밍 기술, 전자식 스로틀 밸브 적용 등 보다 정밀한 연료 전자 제어 기술들이 적용되었다. 이러한 기술들은 주로

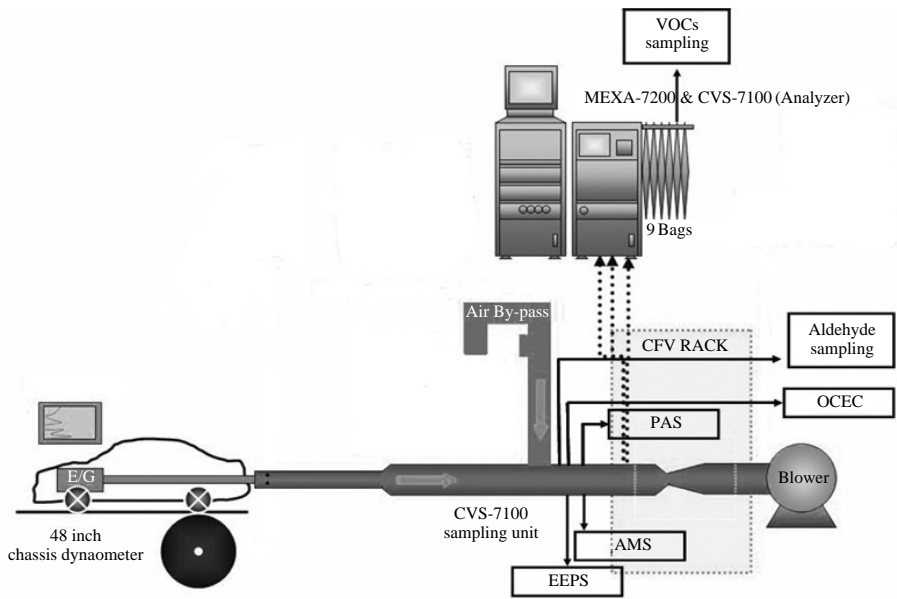


Fig. 1. Schematic diagram of emission measurement equipment.

NMHC와 NO<sub>x</sub> 저감을 주목적으로 하고, 특히 냉간 시동시의 배출가스를 줄이는 데 초점이 맞추어져 있다.

## 2. 2 배출가스 측정방법

### 2.2.1 배출가스 측정 항목 및 장비

본 연구에서의 측정항목은 자동차 배출가스 규제 물질 (NMHC, CO, NO<sub>x</sub>), 온실가스 (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), VOCs (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)로 하였다. NMHC는 THC와 CH<sub>4</sub>를 각각 측정하고, THC에서 CH<sub>4</sub>를 감하여 산출하였다.

자동차 배출가스 측정방법은 차대동력계에서 시험 차량을 설정된 주행모드에 따라 운전하고, 이때 배출되는 가스를 정용량시료채취방법 (Control Volume Sampling)으로 샘플링하여 분석하는 방법을 적용하였다. 그림 1에 배출가스 측정시스템 개략도, 표 4에 샘플링 가스 분석 방법을 나타내었다. 차대동력계는 자동차가 도로 주행시에 받는 구름저항과 공기저항 등 주행저항을 전기적인 제동력을 통해 모사하는 장치이다. 바람이 거의 없는 조건에서 평지를 주행하면 주행 저항은 속도의 2차함수로 표시할 수 있는데, 이를 차대동력계에 입력하여 실제 도로 주행 조건을

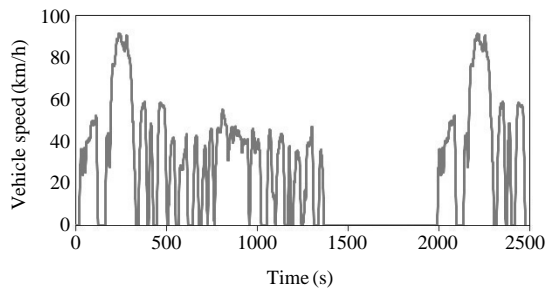
모사한다. 정용량 시료채취 방법은 블로워를 이용하여 자동차에서 배출되는 배기가스를 외부 공기와 희석하여 높은 속도로 흡입하고 오리피스를 통과시키는데, 이 때 희석된 배기가스가 특정속도 이상에 도달하면 일정한 유량이 흐르게 된다. 희석된 배기가스를 샘플링하여 오염물질 농도를 측정하고, 희석비를 산출하여 자동차 배기가스 중의 오염물질의 양을 중량 단위로 계산할 수 있다. 정용량 시료채취 방법은 희석 터널에서 시험차량의 운전 조건에 관계없이 일정한 유량이 흐르므로, 중량단위로 배출가스 값을 나타내기가 용이한 장점이 있다. 차대동력계에 설치된 배기가스 분석기는 N<sub>2</sub>O와 VOCs를 직접 측정할 수 없으므로, 희석터널에서 별도로 샘플링하여 GC로 분석하였다.

### 2.2.2 배출가스 측정용 주행모드

차대동력계에서 시험 자동차를 운전할 때에는 실제 도로 주행특성을 반영한 주행모드를 사용하고 있다. 자동차의 배출가스는 일반적으로 단위주행거리당 중량 (g/km)으로 표시하는데 주행모드의 특성에 따라 그 결과가 달라지며, 일반적으로 모드의 평균 속도와 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다 (NIER 2009; Jung *et al.*, 2006; Lyu *et al.*, 2006).

**Table 4. Exhaust gas analyzers.**

Item	Principle	Model	Manufacturer	Remark
THC	Flame ionization detector	FIA-726SLE	Horiba	On-line
CH <sub>4</sub>	Gas chromatograph flame ionization detector	GFA-720SLE	Horiba	On-line
CO	Non-dispersive infrared detector	AIA-721SLE	Horiba	On-line
CO <sub>2</sub>	Non-dispersive infrared detector	AIA-722	Horiba	On-line
NO <sub>x</sub>	Chemiluminescence detector	CLA-750SLE	Horiba	On-line
VOCs	Gas chromatograph	GC 6890	Agilent	Off-line
N <sub>2</sub> O	Gas chromatograph	GC 6890	Agilent	Off-line

**Fig. 2. CVS-75 test driving mode.**

우리나라의 휘발유와 LPG 자동차 배출가스 인증 시에는 그림 2의 미국 연방시험 절차에서 도입한 CVS-75 주행모드를 사용한다. 시험 자동차를 12~36 시간 동안 20~30°C 온도 조건에서 주차한 후, 시동을 켜고 배출가스 시험을 시작하여 약 1,100초를 주행한 후 시동을 끄는데 이 구간을 “저온시동 주행구간”이라 한다. 엔진정지 10분 후 엔진이 열간 상태에서 재시동을 하여 550초를 더 주행하는데 이를 “고온시동 주행구간”이라 한다. 일반적으로 촉매가 활성화 온도에 도달하지 않은 상태에서 시동을 거는 저온시동 주행구간의 탄화수소와 질소산화물 배출이 높은 경향을 나타낸다 (Han *et al.*, 2009; Tao *et al.*, 2004).

자동차의 배출가스 저감효과를 살펴보기 위해서는 다양한 주행조건에서 배출가스를 분석할 필요가 있다. CVS-75모드는 미국 LA의 72년 주행패턴을 조사하여 만들어진 모드로서 현재의 국내 주행 패턴을 반영하기에는 한계가 있다. 국립환경과학원과 Lee *et al.*은 2000년도에 국내 자동차 주행패턴을 조사하여 평균차속에 따른 주행모드인 NIER모드를 개발하였고, 자동차 배출계수 산정에 활용되고 있다. 2010년 국립환경과학원이 국내 자동차의 도로주행 패턴을

**Table 5. Characteristics of test modes.**

Name	Distance [km]	Average speed [km/h]	Start condition
CVS-75	17.8	34	Cold
NIER-1	1.1	4.7	Hot
NIER-3	2.6	10.8	Hot
NIER-7	6.0	24.6	Hot
NIER-9	8.8	34.1	Hot
NIER-12	14.4	65.4	Hot
NIER-14	21.8	97.3	Hot

조사하여 UN의 자동차 배출가스 국제 표준화 포럼인 WP29의 제안 방법에 따라 분석한 결과, NIER모드는 여전히 국내 주행 패턴의 특성을 잘 반영하는 것으로 나타났다 (Park *et al.*, 2011).

본 연구에서는 현재 우리나라의 자동차 배출가스 인증 시험 모드로 사용하고 있는 CVS-75모드를 포함하여 차속에 따른 배출계수 산정시에 적용되는 NIER모드 중 6가지의 평균속도 주행모드에서 배출가스시험을 실시하였다. 표 5에 본 평가 시험에 적용된 주행모드의 특성을 요약하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 규제 대기오염물질 평가 결과

그림 3에 CVS-75모드로 주행하였을 때 SULEV와 ULEV 기준 LPG 자동차의 배출가스 규제 물질을 비교하였다. SULEV는 NO<sub>x</sub>가 평균 92% 감소하여 가장 큰 저감효과를 보였고, NMHC도 평균 66% 감소하여 상당히 저감되었다. 그러나, CO는 ULEV와 유사한 수준이었다. 표 1에서 SULEV는 ULEV와 비교하여 NMHC 72% CO 50%, NO<sub>x</sub> 72% 강화된 기준임을 고려한다면, NMHC와 NO<sub>x</sub>는 규제 강화만큼 또

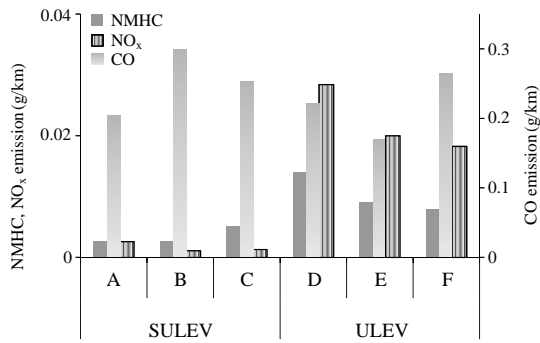


Fig. 3. Comparison of regulated emissions with CVS-75 mode between SULEV and ULEV LPG vehicles.

는 그 이상의 저감효과가 기대되지만, CO의 실제 배출가스 저감효과는 없는 것으로 볼 수 있다.

그림 4에는 6개의 평균차속별 NIER모드들을 이용하여 배출가스 특성을 비교한 결과를 나타내었다. SULEV LPG 자동차의 NO<sub>x</sub>는 모든 NIER모드에서 ULEV보다 80~99% 감소되어서 가장 뚜렷한 저감효과를 나타내었다. NMHC는 NIER-3모드(평균속도 10.8 km/h)를 제외하고 모든 영역에서 7~91% 감소하였는데, ULEV 차량들도 열간시험 조건인 NIER모드에서 상당히 낮은 NMHC 배출수준을 달성하고 있어 CVS-75모드 보다는 상대적으로 감소효과가 적은 것으로 판단된다. CO는 CVS-75모드의 결과와 같이 NIER모드에서도 SULEV의 감소효과는 나타나지 않았다.

그림 5에는 SULEV LPG 자동차에서 감소효과가 나타난 NMHC와 NO<sub>x</sub>에 대하여 엔진 시동 조건에 따른 배출가스 영향을 나타내었다. CVS-75모드의 1번 구간(cold start)과 3번 구간(hot start)의 배출가스 양을 비교한 것으로서 이들 구간은 주행모드는 동일하지만, 1번 구간의 경우 시험실 온도 20~30°C 조건에서 12~36시간을 안정화한 후에 시동을 거는 것이다. NMHC는 cold start에서 월등히 높게 나타나는데, SULEV는 이 구간에서 약 50% 이상의 감소효과를 나타내었다. 하지만, 촉매가 활성화된 상태에서 시동을 건 경우(hot start)는 ULEV의 NMHC 배출량도 매우 낮은 수준이어서, SULEV에서 상대적으로 높은 효과는 나타나지 않았다. NIER모드는 hot start를 적용하는 모드로서 SULEV의 NMHC 저감효과가 CVS-75모드보다 상대적으로 적게 나타난 것도 이리

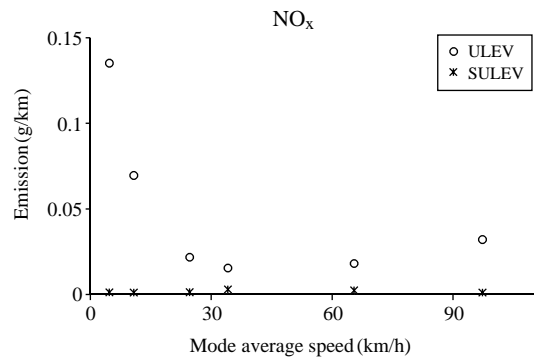
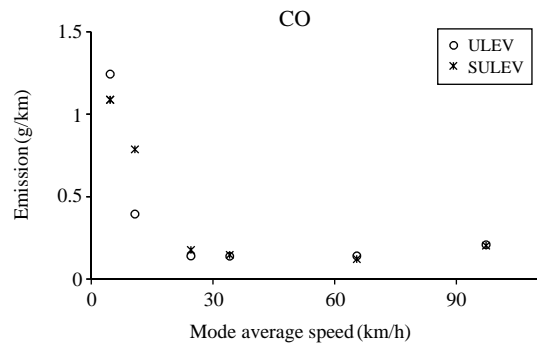
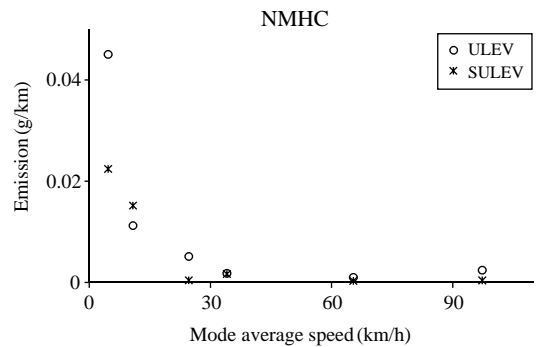


Fig. 4. Comparison of regulated emissions with NIER modes between SULEV and ULEV LPG vehicles.

한 이유 때문인 것으로 판단된다. NO<sub>x</sub>는 hot start 조건에서도 상당히 배출량이 높는데 SULEV는 모든 시동조건에서 높은 감소 효과를 나타내었다.

### 3.2 온실가스 평가 결과

자동차에서 배출되는 주요 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이다. 그림 6에는 CVS-75모드, 그림 7에는 NIER

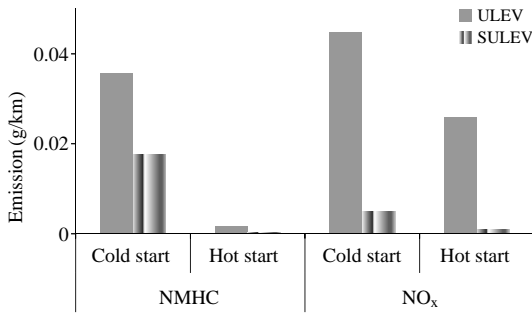


Fig. 5. Comparison of NMHC and NO<sub>x</sub> as engine starting condition.

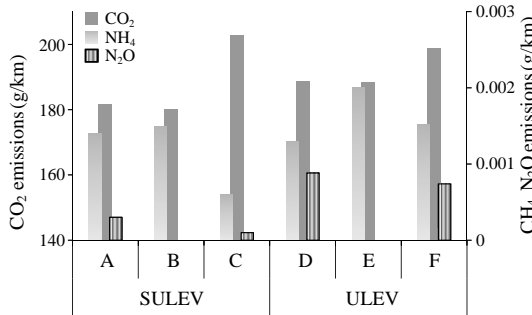


Fig. 6. Comparison of green house gas emissions with CVS-75 mode between SULEV and ULEV LPG vehicles.

모드 시험결과를 나타내었다. SULEV LPG 자동차의 CO<sub>2</sub>는 ULEV와 비교하여 CVS-75모드에서 평균 2% 낮게 나타났지만 차종별 편차를 고려한다면 동등한 수준으로 볼 수 있다. NIER모드에서도 모든 평균속도 주행모드에서 SULEV와 ULEV의 CO<sub>2</sub>는 동등한 수준이었다. CH<sub>4</sub>는 CVS-75모드에서 SULEV의 평균이 27% 낮게 나타났지만, SULEV A, B와 ULEV D, F의 배출량이 유사한 수준인 바 SULEV 도입에 따라 CH<sub>4</sub>가 감소했다고 보기는 어려울 것으로 판단된다. NIER모드의 결과는 평균속도 30 km/h 이하의 주행모드에서 SULEV의 CH<sub>4</sub>가 약간 감소하는 것으로 나타났다. N<sub>2</sub>O는 SULEV에서 뚜렷한 저감효과를 보여주었는데 CVS-75모드 평균 75% 감소되었다. NIER모드에서도 N<sub>2</sub>O는 NO<sub>x</sub>의 경향과 같이 모든 평균속도 주행모드에서 감소하였다.

CO<sub>2</sub>에 대한 지구 온난화 지수(CH<sub>4</sub> 23, N<sub>2</sub>O 296)

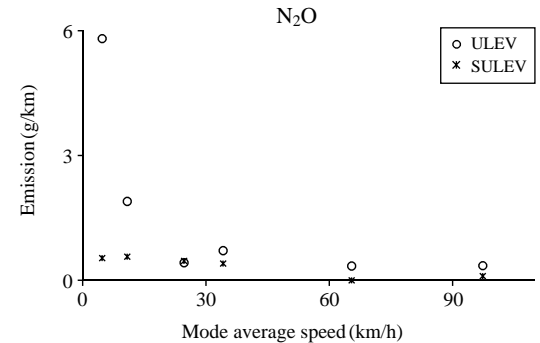
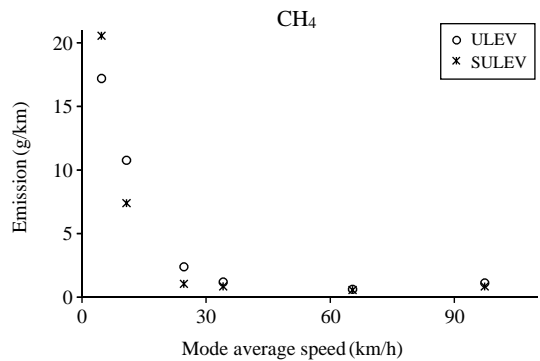
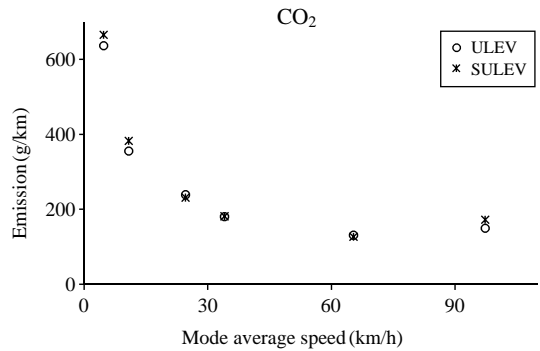
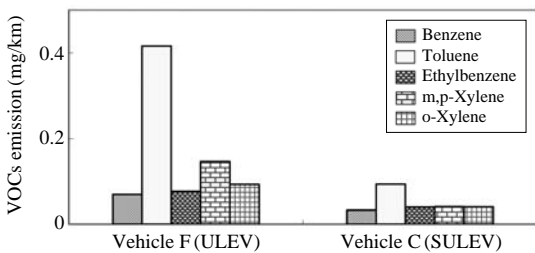


Fig. 7. Comparison of green house gas emissions with NIER modes between SULEV and ULEV LPG vehicles.

를 반영한 온실가스의 CO<sub>2</sub> 환산 배출량을 배출허용 기준별로 표 6에 나타내었다. ULEV 3대, SULEV 3대의 온실가스 각 항목 평균값에 온난화 지수를 곱하고 이의 총합을 비교한 것이다. 지구 온난화 지수를 고려하더라도 ULEV 온실가스의 99.85%는 CO<sub>2</sub>가 점유하였다. SULEV는 N<sub>2</sub>O의 감소로 CO<sub>2</sub> 점유 비율

**Table 6. CO<sub>2</sub> equivalent emissions for green house gases from SULEV and ULEV LPG vehicles.**

Driving mode	SULEV				ULEV			
	CO <sub>2</sub> [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	N <sub>2</sub> O [g/km]	CO <sub>2</sub> portion [%]	CO <sub>2</sub> [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	N <sub>2</sub> O [g/km]	CO <sub>2</sub> portion [%]
CVS-75	188.133	0.027	0.059	99.954	191.942	0.037	0.240	99.856
NIER-1	666.223	0.473	0.158	99.905	637.125	0.395	1.721	99.669
NIER-3	383.097	0.170	0.168	99.912	355.672	0.248	0.560	99.773
NIER-7	230.986	0.024	0.138	99.930	238.495	0.055	0.124	99.925
NIER-9	181.030	0.019	0.118	99.924	180.901	0.027	0.210	99.869
NIER-12	126.963	0.013	0.000	99.990	130.488	0.015	0.100	99.912
NIER-14	172.541	0.020	0.030	99.971	149.680	0.026	0.104	99.913



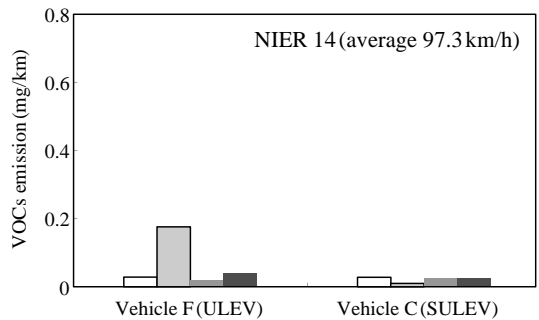
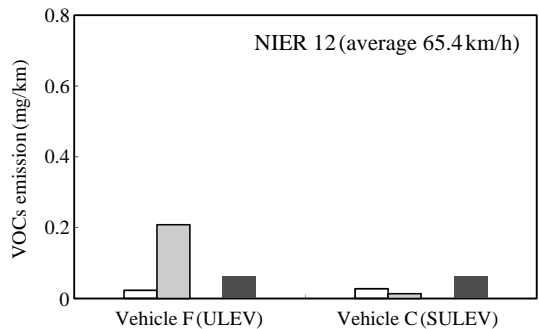
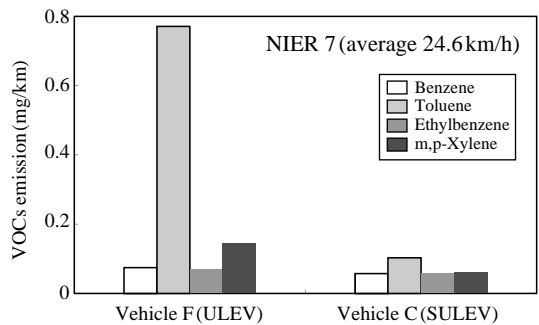
**Fig. 8. Comparison of VOCs emission with CVS-75 between SULEV and ULEV LPG vehicles.**

이 99.95%로 약 0.1% 높아졌다. SULEV와 ULEV의 CO<sub>2</sub> 배출량이 동등한 수준이므로, SULEV의 N<sub>2</sub>O 감소에 따른 온실가스 저감효과는 0.1% 내외로 극히 적은 수준으로 예상된다.

**3. 3 VOCs 평가 결과**

VOCs에 대한 분석은 시험차C(SULEV)와 시험차F(ULEV)에 대하여 수행하였다. 그림 8에 CVS-75모드에서의 BTEX 분석 결과를 나타내었다. 시험차C의 시험차F 대비 VOCs 감소율은 Toluene 77%, m,p-Xylene 72%, o-Xylene 56%, Benzene 53%의 순으로 나타났다. 두 시험차 모두 BTEX 중 toluene의 배출이 가장 높았지만, BTEX 중 toluene 점유 비율은 ULEV 52%에서 SULEV 38%로 낮아졌다.

그림 9에는 저속, 중속, 고속 운전 모드 조건에서의 BTEX를 비교하였다. 시험차C(SULEV)와 시험차F(ULEV) 모두 모드의 평균속도가 높아짐에 따른 BTEX의 단위 주행거리당 배출량은 감소하는 경향이였다. 시험차F(ULEV)는 toluene의 비율이 모든 운전모드에서 가장 높았는데, 시험차C(SULEV)는 tol-



**Fig. 9. Comparison of VOCs emission with NIER modes between SULEV and ULEV LPG vehicles.**



uene의 감소율이 모든 운전 조건에서 90%에 달해서 다른 물질들과 유사한 분포특성을 나타내었다. SULEV 차량은 저속 운전에서 BTEX의 저감율이 대체로 높게 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 현재 개발단계인 SULEV LPG와 양산중인 ULEV LPG 자동차 각 3대의 배출가스 특성을 비교하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SULEV LPG 자동차는 NO<sub>x</sub>의 저감효과가 가장 높았는데, CVS-75모드에서 ULEV 대비하여 평균 92% 낮게 배출되었다. NMHC도 평균 66% 감소하였지만, CO의 실제 감소효과는 나타나지 않았다. NMHC는 냉간시동 조건에서의 감소효과가 높았고, NO<sub>x</sub>는 모든 운전 조건에서 90% 수준의 높은 감소효과가 나타났다.
2. 온실가스는 N<sub>2</sub>O의 감소효과가 CVS-75모드에서 평균 75%로 높게 나타났지만, CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>는 거의 감소되지 않았다. 지구 온난화 지수를 고려하더라도 시험 자동차의 온실가스 중 CO<sub>2</sub> 비율은 99.8% 이상이었다. SULEV의 CO<sub>2</sub> 감소효과가 거의 없으므로 자동차 온실가스의 CO<sub>2</sub> 환산 배출량 저감효과는 매우 낮은 수준이었다.
3. ULEV LPG 자동차는 BTEX 중 toluene의 비율이 가장 높았는데, SULEV는 toluene 감소율이 CVS-75모드에서 75%, NIER모드에서 90%로서 매우 높게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

박준홍, 이종태, 김정수, 이태우, 최기주, 이용주 (2011) 자동차 배출가스 측정모드의 실차 운행조건 반영 특성, 한국대기환경학회 춘계학술대회 발표논문집, 66.

California Air Resource Board (2008) The California Low-Emission Vehicle Regulations (With Amendments Effective June 16, 2008).

Han, S.B., Y.T. Kim, H.K. Lee, J.H. Kang, and Y.J. Chung (2009) Characteristics Analysis of Exhaust Emission

according to Fuels at CVS-75 Mode, Journal of Energy Engineering, 18(1), 69-73. (in Korean with English abstract)

- Huai, T., T.D. Durbin, J.W. Miller, and J.M. Norbeck (2004) Estimates of the emission rates of nitrous oxide from light-duty vehicles using different chassis dynamometer test cycles, Atmospheric Environment 38, 6621-6629.
- Jung, S.W., J.H. Ryu, and Y.S. Lyu (2006) Comparison of Correlation between CVS-75 Mode and Korea Mode to Estimate Emission Factors from Vehicles, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 22(3), 383-391. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.T., W.J. Lee, J.S. Yoon, and C.K. Park (2001) An Exploratory Study of THC Emission Reduction Technologies Compliant with SULEV Regulation, International Journal of Automotive Technology, 2(2), 63-75.
- Korea Ministry of Environment (2009) Regulation of Exhaust Gases from Automobiles, Ships, Etc., Clean Air Act Chapter 4.
- Lyu, Y.S., J.H. Ryu, M.S. Jeon, D.W. Kim, S.W. Jung, S.M. Kim, M.D. Eom, and J.C. Kim (2006) A Study on Characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Passenger Cars, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 22(4), 451-458. (in Korean with English abstract)
- Myung, C.L., H. Kwak, and S. Park (2006) Development on Enhanced Leaked Fuel Recirculation Device of LPLI Engine to Satisfy SULEV Standard, International Journal of Automotive Technology, 7(4), 407-413.
- National Institute of Environmental Research (2000) A Study on the Estimation of Pollutant Emission Factors for Motor Vehicles (I), Administrative publication No. 38010-67730-36-24. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Environmental Research (2009) A Study on the National Emission Inventory for Air Pollutant by Transportation Type(II), NIER No. 2009-14-1070. (in Korean with English abstract)
- National Institute of Environmental Research (2010) Vehicle Emission Grade in 2010.
- National Institute of Environmental Research (2010) In-use Vehicle Data Collection in Korea for WLTP/DHC, UNECE WP29 GRPE, WLTP-DHC-05-07. Jung, S.W., J.H. Ryu, Y.S. Lyu, and C.S. Lim (2006) A study on the exhaust characteristics of pollutants from recreational vehicle (RV) in Korea, 2006, Jou-



Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 22(1), 127-134. (in Korean with English abstract)  
Park, M.C., J.H. Kim, S.H. Ji, and J.R. Park (2009) Develop-

ment of SULEV Emission of LPG Gaseous Injection System, The Korean Society of Automotive Engineers 2009 Annual Conference, pp. 192-196. (in Korean with English abstract)