

## 자동차의 배기관 VOCs 배출 특성

### Exhaust VOCs Emission Characteristics from Motor Vehicles

유영숙\* · 류정호 · 한종수 · 김선문 · 임철수 · 김대욱

이동민 · 이중구 · 엄명도 · 김종춘

국립환경과학원 교통환경연구소

(2007년 6월 26일 접수, 2008년 6월 18일 채택)

Youngsook Lyu\*, Jungho Ryu, Jongsoo Han, Sunmoon Kim, Cheolsoo Lim,  
Daewook Kim, Dongmin Lee, Joongkoo Lee, Myungdo Eom and Jongchoon Kim  
*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research*

(Received 26 June 2007, accepted 18 June 2008)

### Abstract

Since mobile source is a major source of VOCs, quantifying emissions from motor vehicles is an important factor to control VOCs in atmosphere. In this study, in order to evaluate tailpipe VOCs emissions from motor vehicles, mass emissions of non-methane volatile organic compounds from 45 vehicles were determined. Measurements were made on a chassis dynamometer using CVS-75 mode and speed specific drive modes. Target VOCs are 53 compounds determined as the volatile ozone precursors. The individual VOCs composition of vehicle emission and emission rates were also determined. In case of gasoline vehicles, VOCs emission from over 80,000 km vehicles were about 46% larger than less 80,000 km vehicles. The difference in benzene and toluene according to driving mileage was 44% and 26% respectively. The composition of VOCs were different by fuel type. The order of VOCs composition was paraffins > aromatics > olefins in gasoline vehicle emissions, paraffins > olefins > aromatics in light duty diesel vehicle emissions. The VOCs emissions were decreased as vehicle speed increasing. These results will be used to calculate total VOCs emissions from automobiles in the future.

**Key words :** Vehicle emission, VOCs, Fuel, CVS-75 mode

### 1. 서 론

VOCs는 자체의 유독성뿐만 아니라 광화학 스모그의 전구물질이라는 점에서 그 중요성이 점점 크게 인식되고 있다. 일반적으로 인위적 배출 VOCs는 자

연적 배출에 비해 직접적인 인체 유해성이 상대적으로 크고, 도시지역에서는 자동차 등에 의한 NO<sub>x</sub>와 VOCs가 함께 광화학반응에 참여하여 인체 및 동식물에 유해한 오존의 고농도 발생빈도가 높아지게 된다(김조천, 2006). 이와 같이 지표면 오존농도의 저감을 실현시키기 위한 가장 중요한 과제로 오존의 생성과 관련 있는 전구물질(precursor)에 대한 제어 과정이 대두됨에 따라 세계 각국에서는 대표적인 오

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7625, E-mail : ssy0318@me.go.kr

**Table 1. Target VOCs.**

No.	Component	No.	Component
1	ethane	27	n-hexane
2	ethylene	28	trans-2-hexene
3	propane	29	cis-2-hexene
4	propylene	30	methylcyclopentane
5	iso-butane	31	2,4-dimethylpentane
6	n-butane	32	benzene
7	acetylene	33	cyclohexane
8	trans-2butene	34	2-methylhexane
9	1-butene	35	2,3-dimethylpentane
10	cis-2-butene	36	3-methylhexane
11	cyclopentane	37	2,2,4-trimethylpentane
12	isopentane	38	n-heptane
13	n-pentane	39	methylcyclohexane
14	2-methyle-2-butene	40	2,3,4-trimethylpentane
15	cyclopentene	41	toluene
16	trans-2-pentene	42	2-methylheptane
17	3-methyl-1-butene	43	3-methylheptane
18	1-pentene	44	n-octane
19	cis-2-pentene	45	ethylbenzene
20	2,2-dimethylbutane	46	p-xylene
21	2,3-dimethylbutane	47	styrene
22	2-methylpentane	48	o-xylene
23	3-methylpentane	49	n-nonane
24	isoprene	50	isopropylbenzene
25	4-methyl-1-pentene	51	n-propylbenzene
26	2-methyl-1-pentene	52	1,3,5-trimethylbenzene
		53	1,2,4-trimethylbenzene

존 전구물질인 VOCs의 감소에 많은 관심을 기울이고 있으며, VOCs의 주요 배출원 중 하나인 자동차 배출가스 저감을 위한 다양한 노력이 진행 중이다.

자동차에서 배출되는 VOCs는 연료, 적용기술, 차종 등 다양한 조건에 따라 그 배출특성이 다르다(유영숙 등, 2001). 외국에서는 각 국가의 차량에 따른 VOCs 배출특성에 대한 연구가 이루어져 왔으며(Caplain *et al.*, 2006; Schmitz *et al.*, 2000), 특히 미국에서는 정부차원에서 자동차에서 다양한 경로로 배출되는 VOCs에 대한 배출특성을 조사하는 등 규제 관리를 위한 노력이 꾸준히 진행되어 왔다(EPA, 1997). 또한 이러한 연구 결과를 바탕으로 MOBILE 프로그램 등을 이용하여 VOCs 조성비에 기초한 배출계수 및 배출량을 산정하고 있다(EPA, 2002). 유럽의 경우도 누적된 VOCs 조성비 데이터를 기초로 COPERT 프로그램을 이용하여 자동차의 VOCs 배출 계수 및 배출량을 계산하고 있다(EEA, 2002).

국내에서도 자동차의 개별 물질별 VOCs 배출계수

**Table 2. Classification of test vehicles.**

	Vehicle type	Displacement	Mileage	Fleet
Gasoline	Light-duty	800~1,500 cc	< 80,000 km	6
			≥ 80,000 km	6
	Medium-duty	1500~2,000 cc	< 80,000 km	7
LPG	Heavy-duty	2,000 cc≤	< 80,000 km	5
			≥ 80,000 km	2
Diesel	Medium-duty	1500~2,000 cc	< 80,000 km	4
	Light-duty	2,900 cc	< 80,000 km	3
			≥ 80,000 km	1

및 배출량 산정, 국내 실정에 적합한 규제기준 설정 등 배출원관리를 위해서 다양한 조건에서의 배출실태 조사가 필요하나 이에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 자동차 배출가스 중 파라핀, 올레핀 및 방향족화합물 등 VOCs의 차종별, 연료별 배출특성을 측정·분석하여 향후 효율적인 대기질 관리에 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 연구 및 방법

### 2. 1 측정 항목

자동차 배기관 VOCs의 배출특성을 조사하기 위한 측정분석은 차량시험에 사용된 연료, 규제오염물질, VOCs로 구분하여 수행하였다. 연료의 조성은 VOCs 배출과 밀접한 관련이 있기 때문에 이를 확인하기 위하여 휘발유와 경유에 대해 연료제조기준항목을 분석하였으며, 특히 휘발유에 대해서는 개별 탄화수소와 파라핀, 올레핀, 방향족을 구분 측정하여 배기관 배출과 비교하였다. 분석대상 VOCs는 휘발성 오존 전구물질로 알려진 53개 물질로 표 1과 같다.

### 2. 2 시험 차량

시험대상차량은 국내에서 생산·제작되어 보급되고 있는 차량 중 점유율이 높은 휘발유 승용차, 소형 경유차, LPG 택시를 선정하였으며, 배출가스 관련 부품의 노후화에 따른 배기관 VOCs의 배출특성 변화를 조사하기 위해 주행거리를 80,000 km 미만과 80,000 km 이상으로 각각 구분하였다.

차량의 시험 대수는 전체 차량에 대한 점유율을 고려하여 가장 점유율이 높은 휘발유 승용차를 소형, 중형, 대형으로 구분하여 총 29대, LPG 택시 12대, 소형 경유차 4대를 포함하여 총 45대의 차량에 대해 시험하였다. 선정된 차종 및 시험 대수는 표 2와 같다.

### 2.3 시험 연료

차량 시험에 사용된 휘발유, 경유, LPG는 시중에 유통되고 있는 표준 조성의 연료로 시험의 오차를 줄이기 위해 동일 주유소에서 공급되는 동일 연료를

사용하였다. 이중 휘발유와 경유에 대해 대기환경보전법 상에 규정된 제조기준항목을 분석하여 표 3에 나타내었다. VOCs 배출과 관련이 있는 기준항목은 휘발유의 방향족함량, 벤젠함량, 올레핀함량 등으로 분석결과에 모두 기준치 이내인 것으로 나타났다.

### 2.4 차량시험방법

차대동력계는 자동차의 실측 주행모드를 모사하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로 그림 1과 같이 차대동력계, 보조운전장치, 시료채취장치, 희석터널, 입자상물질 측정장치 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다. 배출가스 측정은 시험 자동차가 차대동력계의 롤러 위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치 (CVS: Constant Volume Sampler)를 이용하여 총 유량이 일정하도록 희석하며 희석 비율은 일반적으로 10~15배이다. 희석된 배출가스는 시료채취백에 채취하여 배출가스 분석기로 분석하게 된다.

차량시험을 위한 운전 조건은 국내 대도시 및 주요 도로의 일정 구간을 운행하여 차속별로 분류시켜 만든 대표차속별 주행모드를 이용하였다. 이 주행모드는 총 15개의 각기 다른 대표차속으로 이루어져 있으며, 이중 본 시험에 사용된 대표차속은 4.7, 10.8,

Table 3. Specification of test fuel.

Fuel type	Items	Standards (2005)	Test fuel
Gasoline	Aromatic contents (v%)	≤35	26
	Benzene contents (v%)	≤2	1.1
	Olefin contents (v%)	≤23	18
	Oxygen contents (v%)	≤2.3	1.2
	Sulfur contents (ppm)	≤200	74
	Lead (g/L)	≤0.013	<0.001
	Phosphorous (g/L)	≤0.0013	<0.0001
	90% distillation temp. (°C)	≤175	162
Diesel	RVP (37.8°C, KPa)	≤82	61
	10% residual carbon (%)	≤0.15	0.01
	Sulfur contents (w%)	≤0.05	0.02

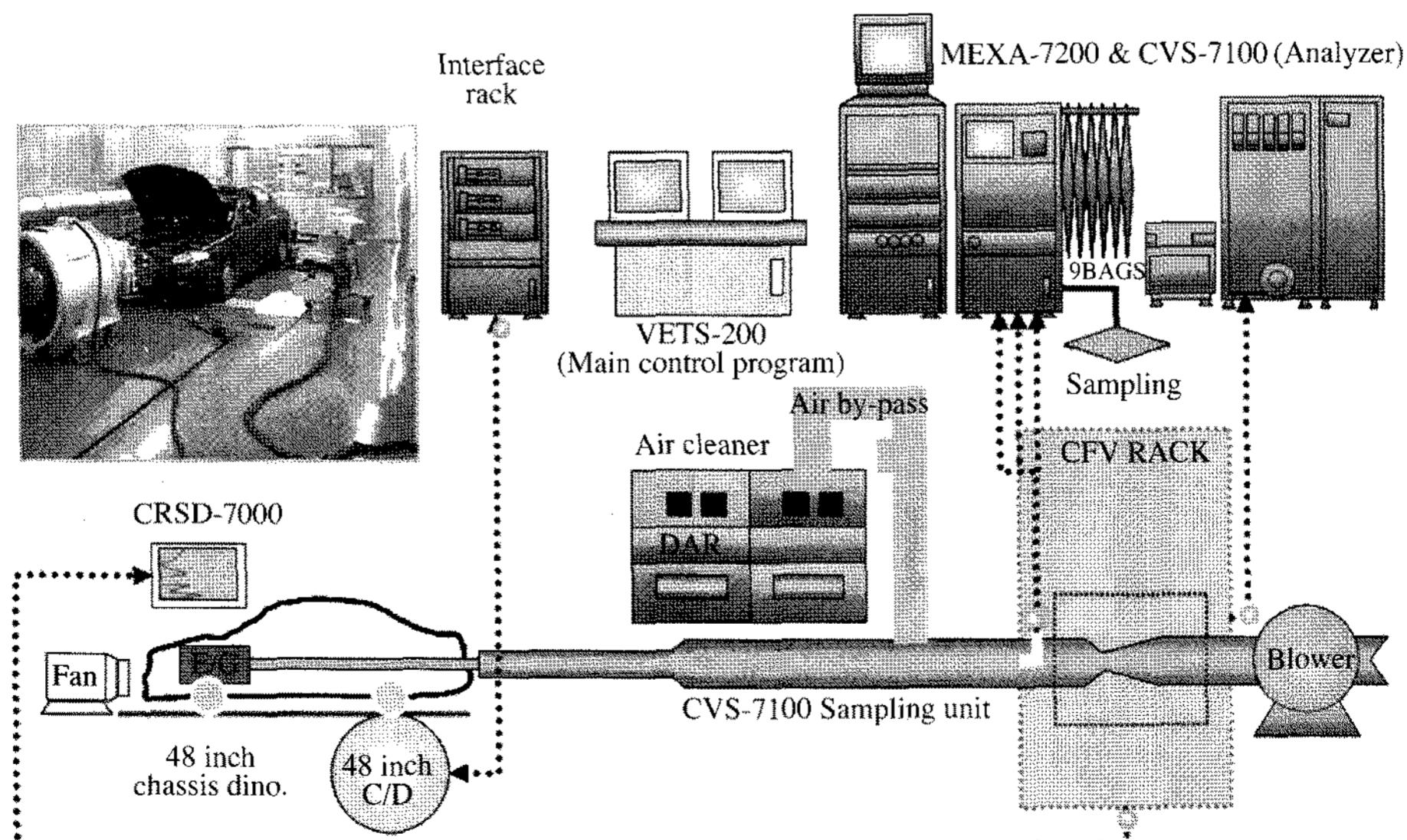


Fig. 1. Schematic diagram of chassis dynamometer.

24.6, 65.4, 97.3 km/h의 5개 모드로 각각 공회전(idling), 저속, 서울시내 평균차속, 연비 우수 차속, 고속 차속을 대표하고 있다(한국에너지기술연구원, 2001). 그림 2에 대표차속 24.6 km/h에서의 운전조건을 나타내었다.

또한 대기환경보전법에서 규정하고 있는 승용 및 소형 경유차의 제작차 배출가스 규제시험모드인 CVS-75 모드를 이용하여 VOCs 및 규제오염물질의 배출량을 측정·분석하였다. CVS-75 모드는 그림 3과 같이 총 3단계로 구분되어 있으며, 1단계는 저온 시동단계로 505초 동안 운전되며, 2단계는 저온시동의 안정화단계로 865초 동안 운전된다. 2단계가 끝나면 10분 동안 엔진을 정지시킨 다음, 3단계인 고온 운전조건에서 505초 동안 운전된다.

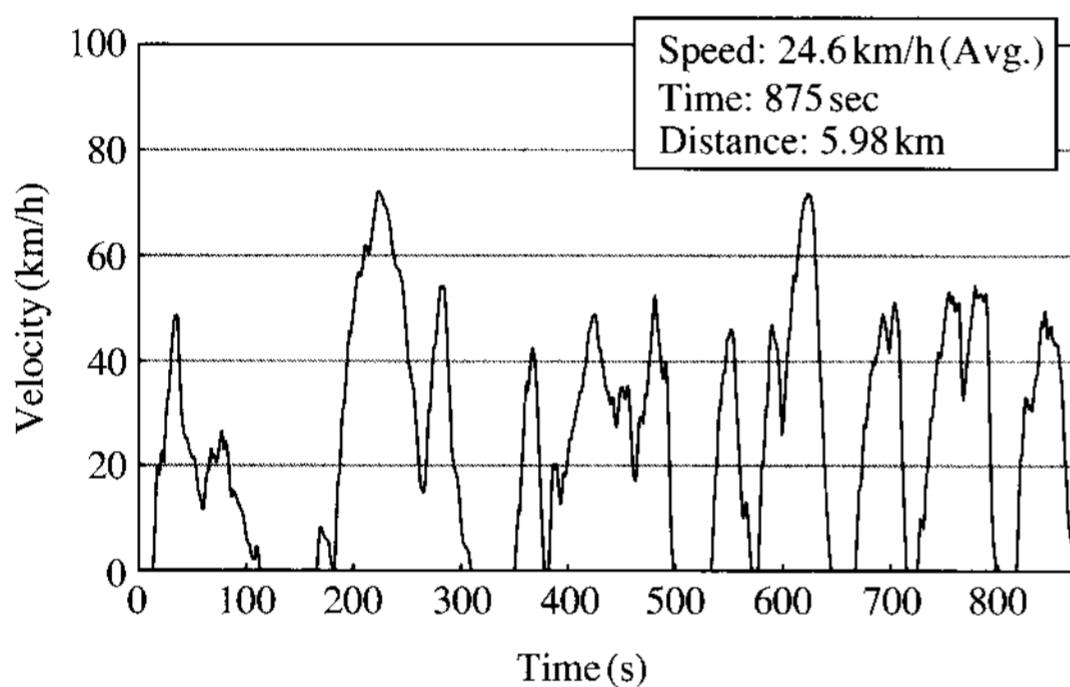


Fig. 2. Driving pattern of representative speed 24.6 km/h for light-duty vehicles.

## 2. 5 VOCs 분석방법

배기가스 중 VOCs는 GC/MSD를 이용하여 분석하였다. VOCs 분석을 위한 시료채취는 CVS (constant volume sampler)를 통하여 희석된 배기관 가스를 테들러백을 통하여 일부 포집하였으며 채취 용량은 2L로 하였다. 테들러백에 의한 시료채취는 백내의 가스나 수증기, 리크 발생, 백 내에서 성분들의 반응 등에 의한 영향으로 대상물질의 농도가 감소하거나 증가할 수 있기 때문에 채취가 완료된 백은 이중으로 밀봉하여 냉암소에 보관하였으며 모든 시료는 72시간 내에 분석을 완료하였다.

포집된 배기가스는 전처리장치인 Entech사의 7100 모델을 사용하여  $-170^{\circ}\text{C}$ 에서 저온 농축한 후  $180^{\circ}\text{C}$ 로 가열 탈착하여, GC/MSD로 주입·분석하였으며 세부적인 분석 조건은 표 4, 5와 같다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3. 1 연료별 VOCs 배출을 비교

자동차 배기관 VOCs의 배출특성을 조사하기 위하여 규제시험모드를 이용한 시험을 통해 각 연료별로 배출량을 비교하였다. 이번 연구에서는 오존과의 반응성이 없는 메탄을 제외한 NMVOCs를 조사하였다. 일반적으로 가스상 오염물질인 VOCs는 경유차량보다는 휘발유와 LPG차량에서 많이 배출되며, 경유차량의 경우 삼원촉매를 장착한 휘발유나 LPG차량에 비해서도 낮게 배출되는 경향을 나타낸다. 본

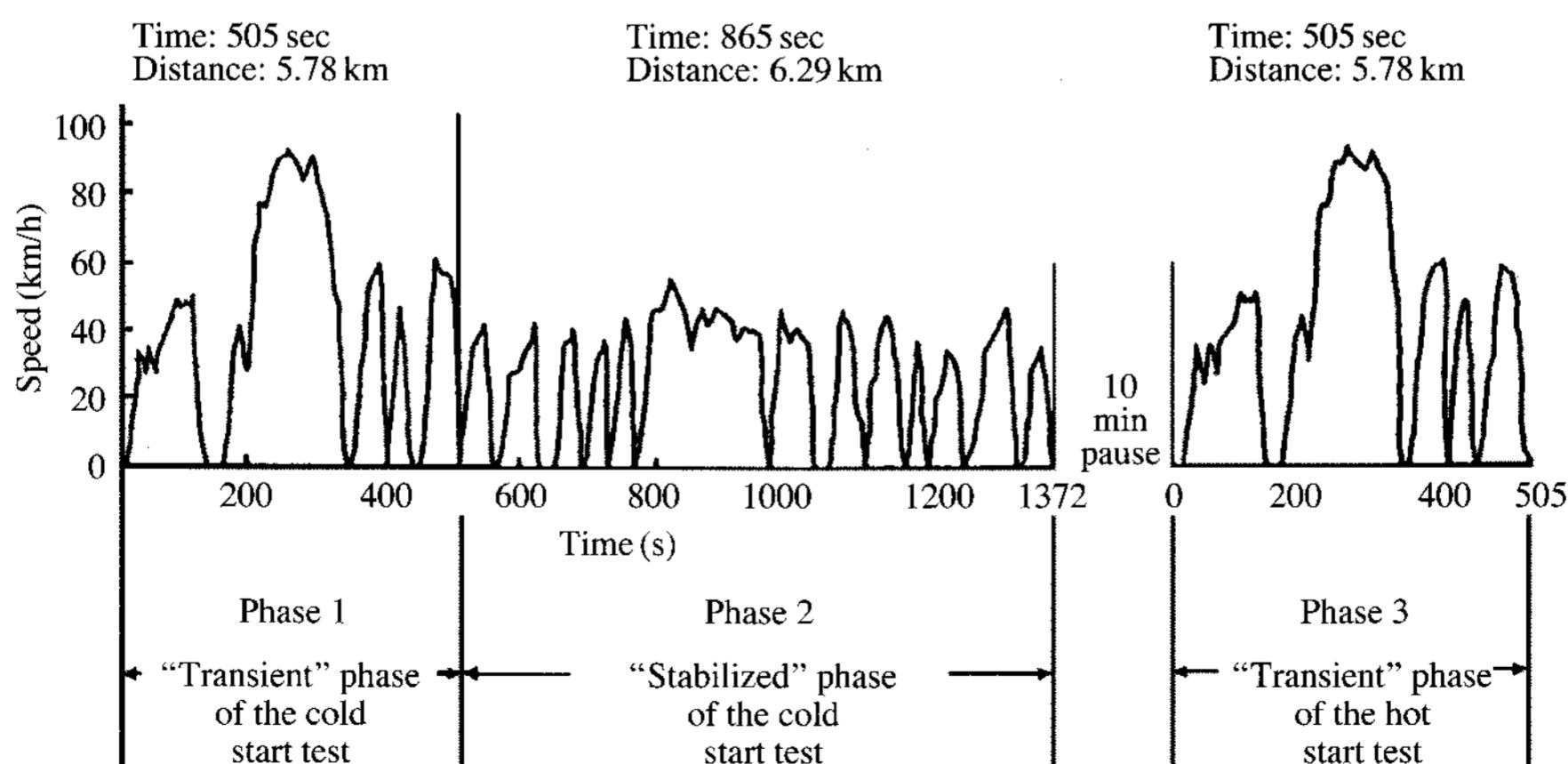


Fig. 3. Driving cycle of CVS-75 mode.

연구에서 조사된 차종별 배출량의 평균값을 그림 4에 나타내었다. 휘발유차량과 LPG차량에서 유사한 수준을 나타내었으며, 소형경유차에서의 배출량은 휘발유 및 LPG차량과 비교하여 약 30% 정도의 배출수준으로 조사되었고, 주요 배출물질인 벤젠과 틀루엔은 휘발유차량에서 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다. 또한 LPG차의 경우 연료의 특성상 부탄의 배출이 많았다. 이러한 결과는 Schmitz *et al.* (2000)의 연구결과와 유사한 것으로 나타났다.

### 3. 2 연료별 VOCs 조성비 비교

물질별 배출조성을 비교 분석한 결과 연료별로 상

이한 배출조성을 나타내었다. 각 연료별 물질별 시험 결과를 산술평균한 결과는 표 6과 같다. 휘발유차의 경우 파라핀족 > 방향족 > 올레핀족 순으로 배출된 반면, 경유차와 LPG차는 파라핀족 > 올레핀족 > 방향족 순으로 배출되었다. 휘발유차량에서 배출된 VOCs 중에는 방향족인 틀루엔이 가장 많이 배출되었고, 올레핀족인 에틸렌이 그 다음으로 많이 배출되는 것으로 나타났다. LPG차의 경우 파라핀족의 비율이 70% 이상으로 매우 높은 배출비율은 나타내었는데 이는 LPG 연료가 주로 탄소수가 적은 가벼운 파라핀족인 부탄과 프로판으로 이루어져 있기 때문으로 사료된다. 경유차의 경우는 올레핀족인 에틸렌이 가장 많이 배출되는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 Mugica *et al.* (1998), Thijssse *et al.* (1999) 등의 연구 결과와 유사한 것으로 배출가스의 조성이 차량의 연소기술 또는 저감장치 종류 등에 따라 일부 달라질 수는 있으나 전반적으로 그 차이가 크지 않음을 나타낸다. 이런 이유로 미국의 EPA (2004)와 유럽의 EEA (2002)에서는 VOCs 배출량 산정시 배출율이 아닌 조성비를 기초로 Top Down 방식에 의한 배출량을 산정하고 있으며, 국내의 경우도 향후 자동차에서 배출되는 벤젠 등 유해 VOCs의 배출량 산정을 위해 물질별 조성비를 DB화 할 수 있는 후속 연구가 진행 중이다.

**Table 4. General consideration of analysis.**

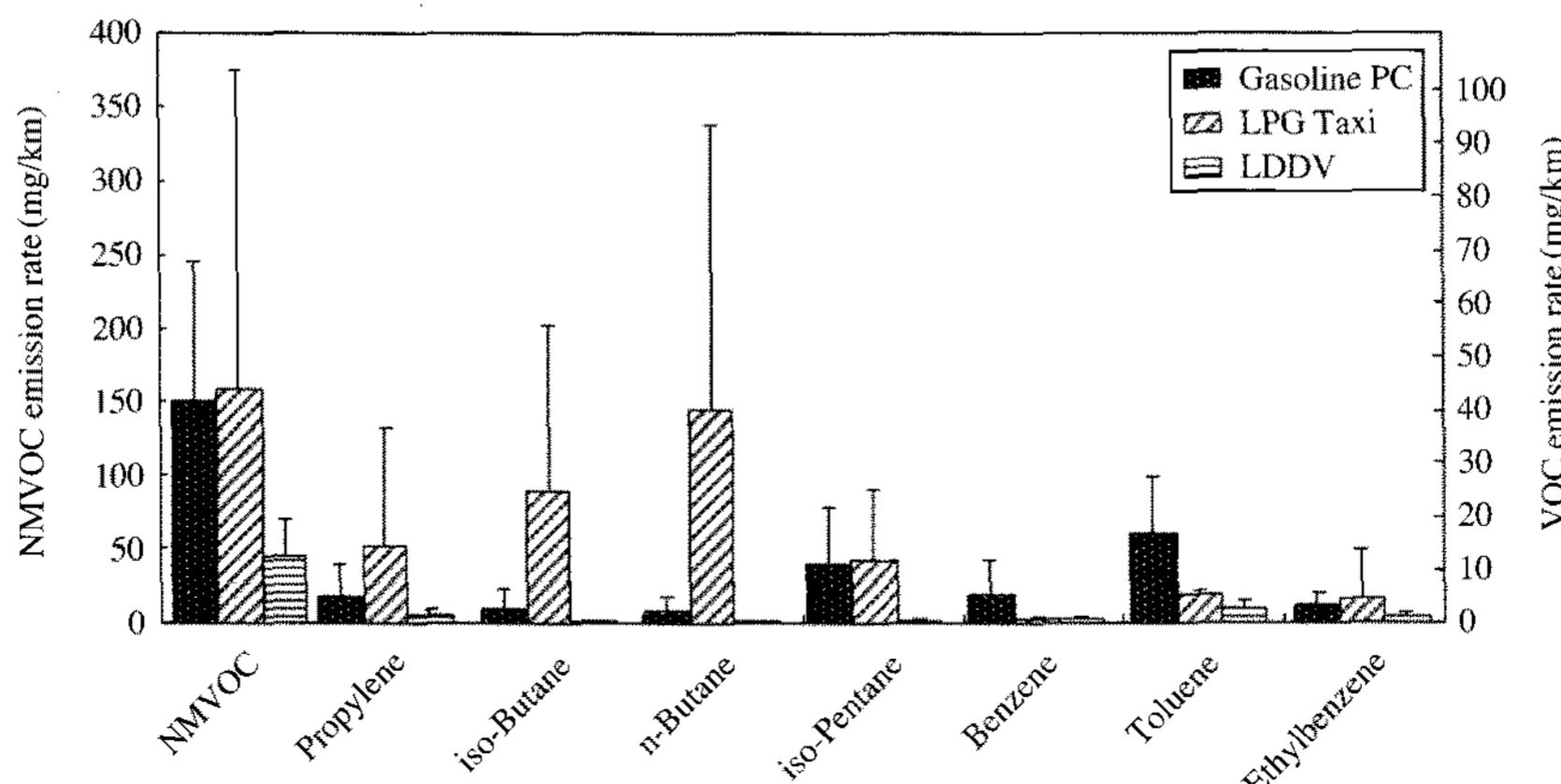
Item	Condition
Target materials	Ozone precursor volatile organic compounds
Column	DB-1, 60 m × 0.32 mm × 3 μm
Carrier gas flow rate	1.4 mL/min
Outlet split ratio	10 : 1

**Table 5. Analytical conditions of GC/MSD.**

Parameter	Setting		
	°C/min	Next °C	Hold
Initial temp.		-60	5
Ramp 1	8	100	0
Ramp 2	6	150	0
Ramp 3	8	240	10

### 3. 3 연료와 배출가스의 VOCs 조성비 비교

연료의 성분은 VOCs 배출에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 인자이기 때문에 본 연구에서는 배출가스

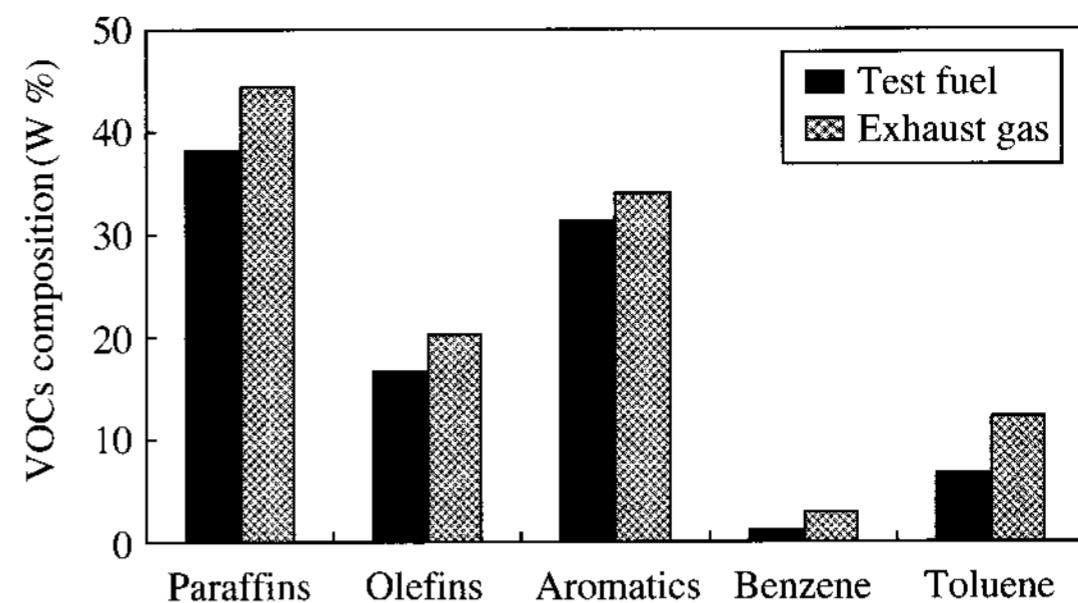


**Fig. 4. Comparison of VOCs emission rate by fuel type.**

**Table 6. Comparison of exhaust VOCs composition by fuel type.**

w/w % of VOC	Gasoline passenger car	Light-duty diesel vehicle	LPG taxi
Paraffins	Ethane	2.6	0.9
	Propane	0.5	6.3
	n-Butane	1.5	0.5
	iso-Butane	2.4	0.4
	iso-Pentane	5.0	1.1
	n-Pentane	4.1	3.5
	n-Hexane	7.3	4.7
	n-Heptane	1.4	0.4
	n-Octane	0.6	0.7
	Others	19.4	24.6
Total		44.4	43.2
			74.7
Olefins	Ethylene	8.4	11.4
	Propylene	5.0	3.2
	1-Butene	0.9	0.5
	cis-2-Butene	0.4	0.0
	1-Pentene	0.5	0.4
	Others	5.2	5.3
Total		20.3	21.0
			14.6
Aromatics	Benzene	3.0	1.7
	Toluene	12.2	5.7
	Ethylbenzene	3.0	2.6
	m,p-Xylene	2.0	0.9
	Styrene	2.4	1.3
	O-Xylene	2.6	2.1
	Others	8.4	4.5
	Total	34.1	18.8
			10.4

에 대한 연료의 영향 정도를 확인하기 위하여 휘발유 연료와 휘발유차의 배출가스 중 VOCs 성분별 조성비를 비교·분석하였다. 배출가스 중 VOCs 조성비는 규제모드인 CVS-75모드에서 시험한 주행거리별 VOCs 배출 조성비를 파라핀족, 올레핀족, 방향족 성분으로 구분하였으며, 휘발유는 탄소수에 따른 성상을 역시 파라핀족, 올레핀족, 방향족으로 구분하여 비교하였다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 휘발유차의 배출가스 중 VOCs는 파라핀족>방향족>올레핀족 순으로 배출되는 것으로 나타났으며, 가장 높은 배출 비율을 나타내는 물질은 연료와 배출가스 모두 톨루엔으로 조사되어 전반적으로 매우 유사한 경향을 나타내는 것으로 확인되었다(그림 5). 휘발유 연료 중 개별 VOCs의 조성 분석결과는 표 7에 나타낸 것과 같이 C<sub>5</sub>~C<sub>9</sub>사이의 VOCs가 가장 많이 포함된 것으로

**Fig. 5. Comparison of VOCs composition ratio for gasoline fuel and exhaust emission.****Table 7. VOCs components of test fuel.**

	n-paraffins	i-paraffins	Olefins	Naphtha	Aromatics	Total
C3	0.01	—	0.00	—	—	0.01
C4	0.93	0.35	0.75	—	—	2.03
C5	3.83	8.22	5.73	0.46	—	18.24
C6	3.06	9.12	3.88	2.24	1.15	19.43
C7	1.55	6.00	4.20	2.32	6.94	21.01
C8	0.69	2.98	1.33	1.24	8.17	14.40
C9	0.20	1.08	0.53	0.48	11.08	13.37
C10	0.15	0.58	0.12	0.08	3.35	4.27
C11	0.09	0.37	0.06	0.01	0.70	1.23
C12	0.03	0.05	0.00	0.00	0.05	0.12
C13	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Total	10.55	28.75	16.60	6.83	31.41	94.14

로 나타났으며 조성비는 파라핀족(n-파라핀+i-파라핀)>방향족>올레핀족>나프타 순이었다. 국내의 경우 시중에 유통되는 휘발유의 경우 방향족과 올레핀의 규제기준이 설정되어 있기 때문에 이러한 물질들의 조성이 파라핀에 비해 낮게 조정되는 것이 일반적이다.

### 3. 4 주행거리별 VOCs 배출특성

휘발유차와 LPG차의 경우 THC 저감을 위한 삼원 촉매장치가 부착되어 있으며 이로 인해 개별 VOCs 또한 저감된다. 이러한 배출가스 관련 부품의 노후화에 따른 VOCs 배출영향을 조사하기 위하여 시험대상차량을 주행거리 80,000 km 전후로 구분하여 VOCs 배출특성을 조사하였다. 조사결과 배출가스 저감장치 및 차량의 노후화에 의해 휘발유차, 소형경유차 등 모든 차량에서 주행거리 80,000 km 이상 차량

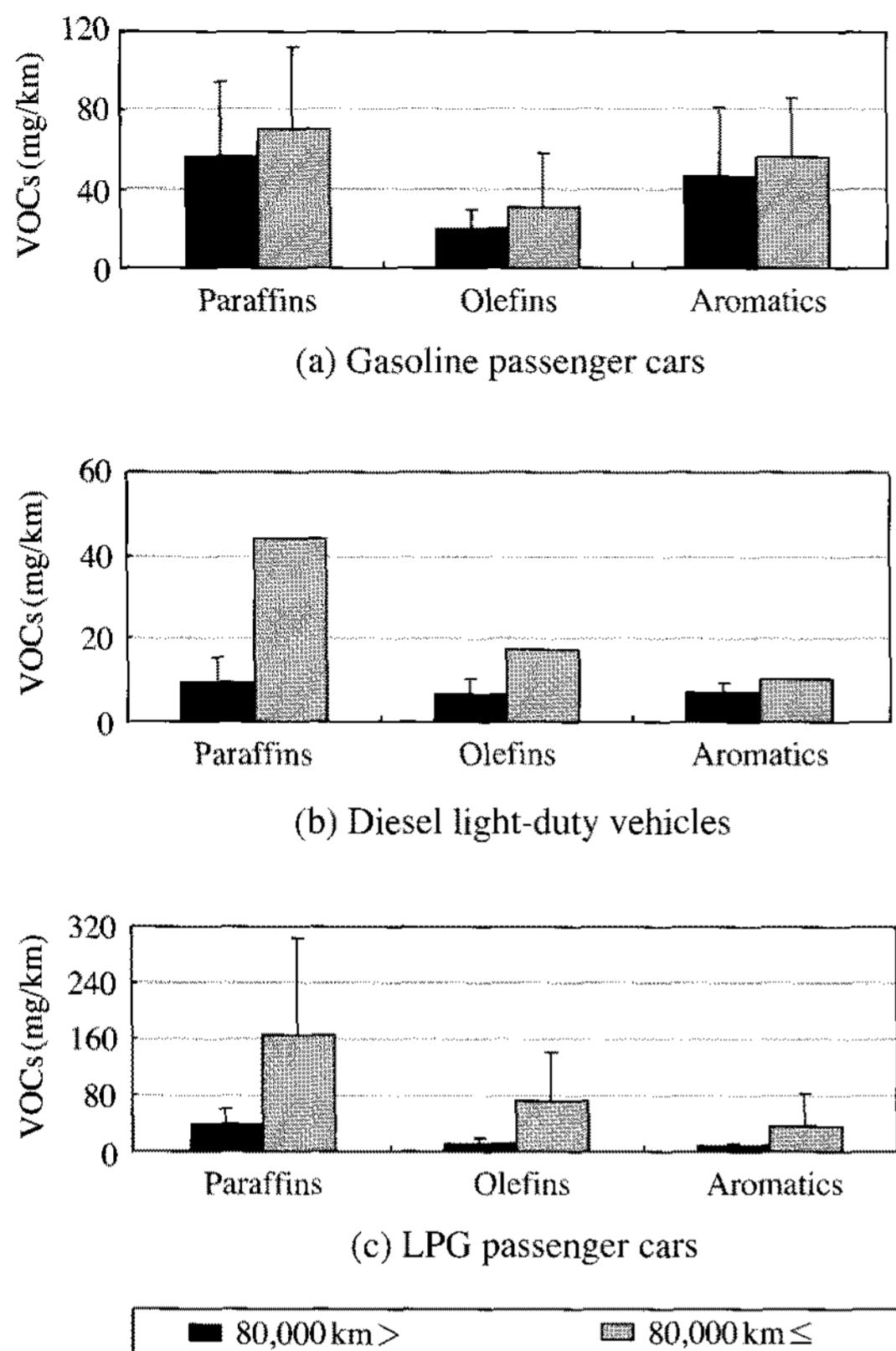


Fig. 6. VOCs emissions by driving mileage.

이 80,000 km 미만 차량보다 VOCs 배출이 증가하는 것으로 나타났다. 휘발유차의 경우 약 11% 가량 증가했으며, LPG차의 경우 약 300% 증가하여 매우 높은 증가율을 나타내었다. 경유차의 경우 휘발유차와 LPG차에 비해 VOCs 배출량은 적으나 차량 노후화에 의해 배출율은 높아지는 것으로 조사되어 80,000 km 이상 차량이 미만 차량에 비해 약 90% 높게 배출되는 것으로 조사되었다.

### 3.5 차속별 VOCs 배출특성

차속에 따른 VOCs 배출특성을 조사하기 위하여 5개 대표차속에서의 NMVOCs 배출특성을 조사하였다. 보증기간 이내의 휘발유, 경유, LPG 차량의 차속별 배출특성 조사결과 그림 7과 같이 사용연료에 관계없이 모든 차종에서 저속에서 고속으로 갈수록 VOCs 배출이 뚜렷이 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 20 km/h 정도에서 배출량이 급격히 감소하여

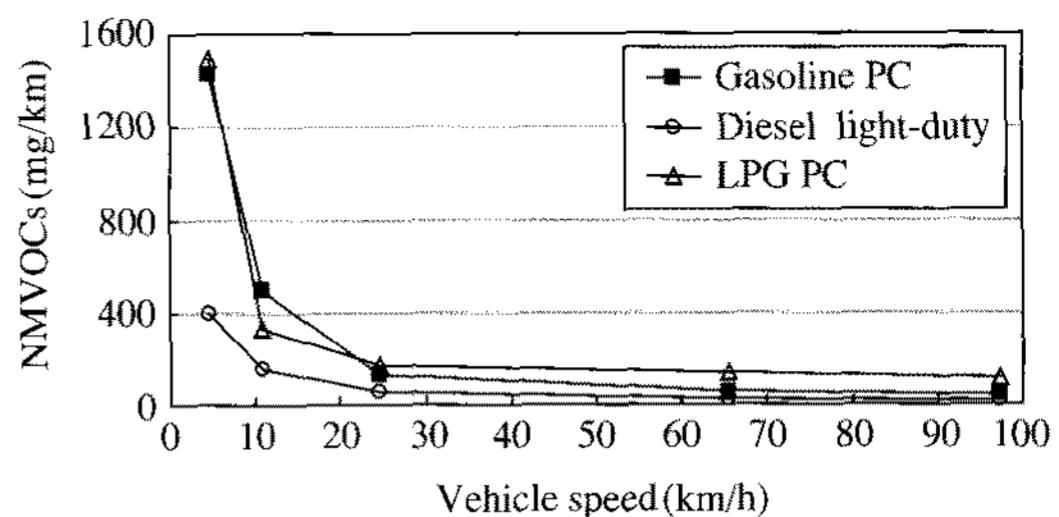


Fig. 7. Exhaust VOCs emissions by vehicle speed.

VOCs 배출이 주로 20 km/h 이하의 저속에서 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 저속과 고속에서의 운전패턴의 차이에 의해 발생하는데 저속 주행 시 정차와 공회전이 많고 주행거리는 상대적으로 짧은 반면 고속의 경우 주로 정속에 의한 장거리 주행이 많기 때문에 단위 주행거리 당 배출량의 차로 비교할 경우 그림과 같은 결과를 나타내게 된다.

### 3.6 온도에 따른 VOCs 배출특성

축매 및 엔진의 온도에 따른 배출특성을 비교·분석하기 위하여 CVS-75모드 시험 결과 중 냉간시동(cold start) 조건인 Phase1과 열간시동(hot start) 조건인 Phase3에 대한 결과를 비교하였다.

그림 8은 배기량 1,500 cc (LDG), 1,800 cc (MDG), 2,000 cc (HDG) 이상인 휘발유 자동차에 대한 냉간시동과 열간시동시의 VOCs 배출특성을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 휘발유차량에서 냉간시동시에 열간시동시보다 높은 VOCs 배출값을 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 저온에서의 배출량 증가는 축매가 활성화 되는 light-off 온도 이전에 주로 일어나며 주요 VOCs 그룹별 차이를 살펴보면 파라핀족, 올레핀족, 방향족이 모든 차종에서 냉간시동시 높게 배출되는 것으로 조사되었다. 소형차의 경우 냉간시동시 열간시동에 비해 약 2.5배, 중형차의 경우도 냉간시동시 열간시동에 비해 약 3.6배 더 높은 VOCs 배출값을 나타내었다. 2,000 cc 이상의 대형차에서도 역시 약 4.2배 정도 냉간시동시에 더 높게 배출되었다.

## 4. 결 론

본 연구는 인체 유해성이 높고 오존 전구물질로

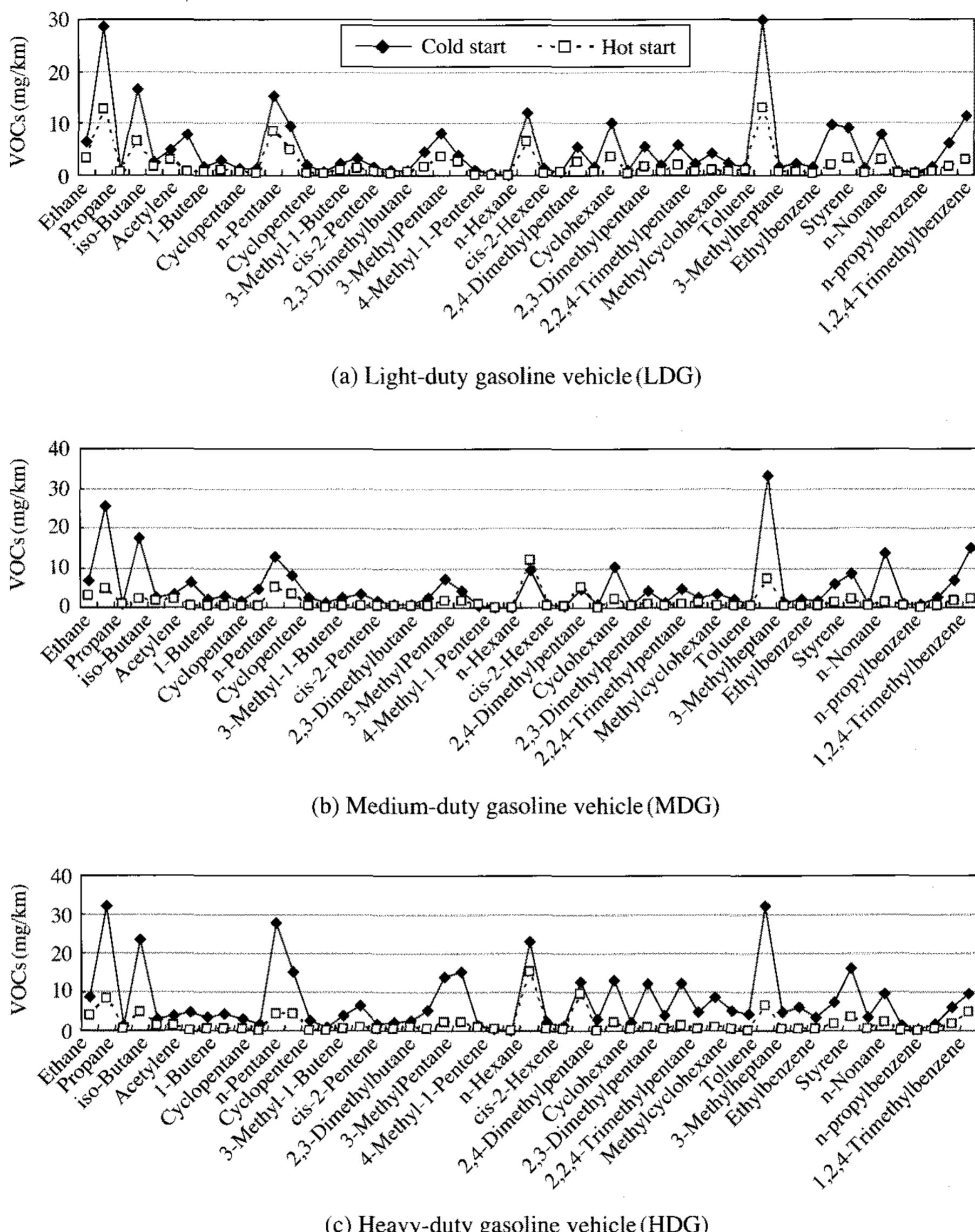


Fig. 8. Cold and hot start VOCs Emissions of 1,500, 1,800, 2,000 cc gasoline vehicles.

작용하는 VOCs의 주요 배출원인 자동차 배출가스 중의 VOCs 배출특성을 조사하여 배출량 산출 및 국내 실정에 적합한 관리방안 마련을 위한 기초 연구 자료 확보를 위해 수행되었다. 자동차에서 배출되는 VOCs는 차종, 사용연료, 적용기술, 주행거리 등 매우 다양한 인자에 의해 그 배출 특성이 변하기 때문에 이를 세부적으로 조사하기 위해 휘발유, 경유, LPG

자동차를 주행거리별로 구분하여 총 45대를 시험하였으며, CVS-75모드 및 차속모드를 이용하여 연료 및 차속에 따른 배출특성, 주행거리에 의한 영향, 연료성상과의 상관관계 등을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

연료별 VOCs 배출특성을 비교한 결과 휘발유차량과 LPG차량은 유사한 배출수준을 나타내었으며 소

형경유차는 휘발유차량과 LPG차량 배출량의 약 30% 수준으로 배출되는 것으로 나타났다. 또한 연료별 배출조성을 비교 분석한 결과 주행거리와 운전조건에 상관없이 휘발유차의 경우 파라핀족>방향족>올레핀족 순으로 배출된 반면, 경유차와 LPG차는 파라핀>올레핀>방향족 순으로 배출되었다. 휘발유차량에서 배출된 VOCs 중에는 방향족인 툴루엔이 가장 많이 배출되었고, 올레핀족인 에틸렌이 그 다음으로 많이 배출되는 것으로 나타났다. LPG차의 경우 파라핀의 비율이 70% 이상으로 매우 높은 배출비율을 나타내었다.

휘발유 연료와 휘발유차 배출가스 중 VOCs 성분별 조성비를 비교·분석한 결과, 휘발유 연료 중 C<sub>5</sub>~C<sub>9</sub>사이의 VOCs가 가장 많이 포함된 것으로 나타났으며, 조성비는 파라핀족(n-파라핀+i-파라핀)>방향족>올레핀족>나프타 순이었다. 휘발유차의 배출가스 중 VOCs는 파라핀족>방향족>올레핀족 순으로 배출되는 것으로 나타났으며, 가장 높은 배출비율을 나타내는 물질은 연료와 배출가스 모두 툴루엔으로 조사되어 전반적으로 매우 유사한 경향을 나타내는 것으로 확인되었다.

배출가스 관련 부품의 노후화에 따른 VOCs 배출 영향을 조사하기 위하여 시험대상차량을 주행거리 80,000 km 전후로 구분하여 VOCs 배출특성을 조사한 결과, 모든 차종에서 주행거리 80,000 km 이상 차량이 80,000 km 미만 차량보다 VOCs 배출이 증가하는 것으로 조사되었다.

차속에 따른 VOCs 배출특성은 사용연료에 관계없이 모든 차종에서 저속에서 고속으로 갈수록 VOCs 배출이 뚜렷이 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 20 km/h 정도에서 배출량이 급격히 감소하여 VOCs 배출이 주로 20 km/h 이하의 저속에서 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 연구결과는 향후 이동오염원 유해대기오염물질 배출량 산출 및 규제기준 설정을 위한 기초자료로 활용될 것이며, 계속적으로 강화되고 있는 자동

차 규제기준과 이에 대응하기 위해 점차 발달되고 있는 자동차 기술에 따른 VOCs 배출특성을 적절히 반영하기 위해서는 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 김조천 (2006) 국내의 휘발성유기화합물(VOC) 현황 및 관리기술, 한국대기환경학회지, 22(6), 743-757.
- 유영숙, 류정호, 엄명도, 임철수, 정성용, 김종준, 박용희, 김선문 (2001) 자동차 미규제 오염물질 배출특성 평가에 관한 연구(II), 국립환경연구원, 36-74.
- 한국에너지기술연구원 (2001) 자동차 오염물질 배출량 산정 연구, 96-123.
- Caplain, I., F. Cazier, H. Nouali, A. Mercier, J.C. Dechaux, B. Nollet, R. Joumard, J.M. Andre, and R. Vidon (2006) Emission of unregulated pollutants from european gasoline and diesel passenger cars, Atmospheric Environment, 40, 5954-5966.
- EEA (2002) Atmospheric emission inventory guidebook (3rd edition).
- EPA (1997) Motor vehicle related air toxics study.
- EPA (2002) Technical description of the toxics module for MOBILE 6.2 and guidance on its use for emission inventory preparation.
- EPA (2004) Development of a 1999 national air toxics inventory for highway mobile sources using MOBILE-6.2.
- Mugica, V., E. Vega, J.L. Arriaga, and M.E. Ruiz (1998) Determination of motor vehicle profiles for non-methane organic compounds in the Mexico City Metropolitan Area, JAWMA, 48, 1060-1068.
- Schmitz, T., D. Hassel, and F.J. Weber (2000) Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger car, Atmospheric Environment, 34, 4639-4647.
- Thijssse, T.R., R.F. van Oss, and P. Lenschow (1999) Determination of source contributions to ambient volatile organic compound concentrations in Berlin, JAWMA, 49, 1394-1404.