

## 연료의 조성변화가 천연가스차량의 연비 및 배출가스 특성에 미치는 영향

### Effect of Gas Compositions on Fuel Economy and Exhaust Emissions of Natural Gas Vehicles

이영재\*, 김강출\*  
Youngjae Lee, Gangchul Kim

#### ABSTRACT

Natural gas is one of the most promising alternative fuels for automotive vehicles. However, natural gas varies in composition between the originating fields and may be further modified due to processing and additional mixing. These variations are known to affect engine performance and emissions through changes in fuel metering and combustion characteristics.

In the present study, the effect of gas compositions on vehicle performance such as fuel economy, driveability and exhaust emissions was examined. Analysis are made of using 3 types of NGVs which were made by automakers and 6 different fuels which are selected in consideration of the variation in fuel composition on the worldwide market. The results may be utilized to develop natural gas engine in automakers and/or to establish the fuel standard in the refuelling stations.

주요기술용어 : Natural Gas Vehicle(천연가스차량), Gas Composition(가스조성), Fuel Economy(연비), Exhaust Emissions(배출가스), Driveability(운전성)

#### 1. 서론

자동차연료의 주종을 이루고 있는 석유계연료의 유한성과 아울러, 지구온난화가스인 이산화탄소와 도심대기오염의 주요원인인 NOx, HC, CO 등 유해배출가스의 저감과 관련하여, 천연가스차

량에 대한 연구개발이 활발히 추진되고 있다.<sup>1),2)</sup>

그러나, 천연가스는 산지별로 그의 조성이 판이하게 다르기 때문에, 특정조성의 천연가스에 맞추어 제 운전조건을 최적화하여 개발한 엔진에, 조성이 현저히 다른 천연가스를 사용할 경우, 엔진의 성능과 관련된 주요물성이 변화하여, 성능을 크게 악화시키거나, 설계성능을 얻을 수 없을 것으로 생각된다.<sup>3)-9)</sup>

즉, 엔진의 성능, 효율 및 배출가스 등은 압축

\* 정회원, 한국에너지기술연구소

비, 체적효율 등의 설계변수와, 당량비, 점화시기 등의 운전변수 등 많은 변수에 의해 영향을 받으나, 이들 설계 및 운전변수는 연료의 조성 및 밀접히 관련되어 있어서, 조성이 변화하면 연료공급계, 연소계, 배출가스정화계, 엔진제어계 등에 영향을 미칠 것으로 생각되며, 심한 경우에는 차량 인증시의 연비나 배출가스 등도 만족하지 못하는 결과를 유발할 수 있을 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구에서는, 국내에서 개발된 천연가스차량을 사용하여(국내공급 천연가스에 맞추어 제작된 엔진을 의미함), 여러 조성의 천연가스에 대한 NGV의 제 성능특성(연비 및 배출가스 특성, 운전성 등)을 평가하므로써, NGV 관련연구개발이나 충전소 연료기준의 설정에 도움이 되고자 하며, 향후에 예상되는 천연가스 도입선의 다변화시에도 일익이 되고자 한다.<sup>2)</sup>

## 2. 시험연료

시험에 사용한 연료의 조성 및 주요물성은 Table 1에서와 같다. 본 연구에서 사용한 시험 천연가스연료는 총 6종류로서, 국내도입 천연가스인 Gas B와 순수메탄인 Gas D, 그리고 세계 여러 산지의 천연가스를 대표하는 4종류의 혼합가스이다. 여기에서 Gas C는, Gas B와 WI(Wobbe Index) 및 연소속도가 유사하나 조성이나 다른 혼합가스이고, Gas F는 WI와 연소속도가 낮은 그룹을 대표하는 혼합가스, Gas E는 이 가스와 순수메탄의 중간그룹에 속하는 혼합가스, Gas A는 WI값이 제일 큰 그룹을 대표하는 혼합가스이다. 이들 가스는 모두 조제하여 시험에 사용하였다.

## 3. 시험장치, 시험차량 및 시험방법

### 3.1 시험장치

시험자동차의 연비·배출가스 등 제 성능을 측정하기 위하여 사용된 시험설비의 개략은 Fig. 1에서와 같다. 본 설비는, 대별하여 항온항습을

Table 1 Compositions and Properties of Test Fuels

	Test gas specifications					
	Gas A	Gas B	Gas C	Gas D	Gas E	Gas F
CH <sub>4</sub>	75.0	90.87	80.0	100.0	90.0	85.0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	22.5	5.81	15.5	0.0	4.00	4.0
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.5	2.38	2.5	0.0	2.0	2.0
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.0	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.0	0.45	0.0	0.0	0.0	0.0
N <sub>2</sub>	0.0	0.02	2.0	0.0	4.0	9.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
MON(by Calculation)	110	125	114	138	125	118
WI(kcal/NM <sup>3</sup> )	13,769	13,227	13,189	12,711	12,362	11,562
Calculated Burning velocity(cm/s)	39.9	38.7	39.1	38.0	37.8	36.8
Stoichiometric Air Fuel Ratio by Volume	11.52	10.50	10.82	9.55	9.74	9.26
LHV(kcal/NM <sup>3</sup> )	10,394	9,446	9,755	8,561	8,750	8,322
LHV(kcal/NM <sup>3</sup> ) of stoichiometric mix	830	821	825	812	815	811
Specific gravity for air	0.692	0.623	0.666	0.558	0.614	0.634

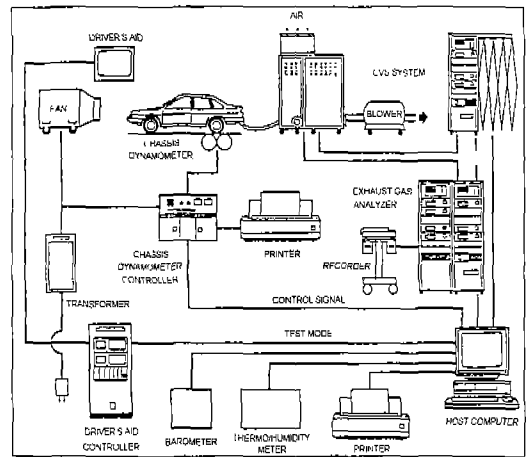


Fig. 1 Schematic Diagram of NGV Test Facility

유지할 수 있는 시험실, 차대동력계, Driver's Aid, 배출가스분석기, 공연비계 등으로 구성된다.

차대동력계(미국 Clayton, DCE-80)는, 차량이 실도로상을 주행할 때의 노상주행저항과 관성등을 모의하여, 볼러상에 셋트된 시험차량이 도로상을 실주행할 때와 유사한 여건하에서 운전되도록 하는 기능을 갖는다. 본 차대동력계는 등가관성중량 3톤미만의 경부하 자동차의 도로부하를 모의할 수 있는 DC타입의 동력계로서, 관성중량의 설정범위는 1000~6875lbs(125lbs간격)이고, 2 Roll Type이며, 최고주행속도는 90mile/h이

다.

Driver's Aid(일본 HORIBA, CRSD-3000)는, 도로상의 실행행패턴을 보의한 모드(시간-차속선도), 기어변속위치 등을 모니터상에 지시하여, 운전자가 이를 보고 시험차량을 운전하도록 보조하는 기능을 가진다.

배출가스분석기(일본 HORIBA, MEXA-9200)는, 크게 CVS시스템, 배출가스분석기, 컴퓨터시스템으로 구성된다. CVS시스템은 시험차량에서 배출되는 배기가스를 공기와 희석한 후 정용량펌프로 흡입하여 샘플링백에 포집하는 기능을, 배출가스분석기는 이 샘플링백에 포집된 배출가스를 분석하는 기능을, 컴퓨터시스템은, 이들 기기를 제어하고 데이터를 분석하여, 배출가스농도와 카본밸런스법에 의해 연비를 산출하는 기능을 가진다. 동 배출가스분석기는, 가솔린자동차, LPG자동차 및 천연가스자동차의 연비와 배출가스를 측정할 수 있으며, 분석가능한 가스는 CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, THC 및 CH<sub>4</sub> 등이다.

공연비계(미국 ECM, AFRecorder 2400E)는, 시험차량의 배기다기관 직후에 설치되어, 엔진운전상태의 변화에 따른 공연비의 변화를 측정하며, 계측기에서 출력되는 아날로그신호는 데이터 애퀴지션컴퓨터에 리얼타임으로 입력되어 분석된다(NGV #1에 대해서만 측정).

### 3.2 시험차량

본 연구에서는, 가솔린차량베이스의 3종의 천연가스차량을 사용하였다.

"NGV #1"은 AT차량으로서, 배기량 1,998cc의 전기점화 DOHC MPI 이론공연비 천연가스 엔진이 탑재되어 있다. 엔진의 압축비는 베이스엔진의 9.2 : 1을 그대로 사용하였고, 점화시기와 연료분사량 및 분사시기는 천연가스에 맞추어 최적화하였으며, 천연가스진용 촉매컨버터를 사용하고 있다. 시험차량에는, 83Liter FRP강화 알루미늄 CNG실린더가 탑재되어 있다.

"NGV #2-1"은 MT차량으로서, 상기 "NGV

#1"과 동일 배이스차량을 개조한 것이나, 엔진의 압축비를 11.0:1로 높였고, Tumble Ratio를 높여 연료공기의 혼합성을 향상시켰으며, Valve Train을 변경하여 Valve Lift와 Duration을 변화시켰고, 점화시기와 연료분사량 및 분사시기를 변경된 제원에 맞추어 최적화한 점 등이 크게 다르다.

"NGV #2-2"는 AT차량으로서, 배기량 1,598cc의 전기점화 SOHC MPI 이론공연비 천연가스엔진이 탑재되어 있다. 엔진의 압축비는 10.9:1이고, 흡/배기계, 밸브트레인(Lift 및 Duration), 점화시기, 연료분사량 및 분사시기 등을 천연가스에 맞추어 최적화하였고, 천연가스전용 촉매컨버터를 사용하였다. 동 시험차량에는 75Liter의 All Composite CNG실린더가 탑재되어 있다.

이들 차량에 탑재된 엔진은 모두 국내도입 천연가스인 Gas B를 사용하여 최적화된 것으로서, 연료의 조성변화에 대응하도록 설계된 엔진이다. 시험시에는, 연료의 조성변화에 관계없이 엔진 ECU의 Map Data(연료분사 및 점화 관련)를 전혀 조정하지 않고, 자동차메이커에서 설정한 상태 그대로를 사용하였다.

### 3.3 시험방법

시험은, 항온항습이 유지된 시험실내에서 대기환경보전법 제3조 제1호에 규정된 CVS-75모드 측정방법에 의거하여 실시하였다.

즉, 온도 25°C, 상대습도 60%로 유지된 시험실내에서 엔진이 정지된 상태의 시험차량을 12~36시간동안 Soaking한 후, 차대동력계상에 시험차량을 위치시켜, 각각의 시험연료에 대해 CVS-75모드를 추적주행한 후, 이때에 배출되는 배기가스중의 CO<sub>2</sub>, CO, THC, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> (g/mile) 등을 측정하였다.

연비는 측정된 배출가스중의 CO<sub>2</sub>, CO, NMHC, CH<sub>4</sub>의 단위주행거리당 배출량(g/mile)에 의해, 하기 (1)식에 의해 가솔린등가연비로 산출하였다(EPA의 CFR40 PART 600 Fuel

$$mpg_e = \frac{121.5 \cdot CWF_{HC/NG} \cdot D_{NG}}{0.749 \cdot CH_4 + CWF_{NMHC} \cdot NMHC + 0.429 \cdot CO + 0.273(CO_2 - CO_{2NG})} \quad (1)$$

여기에서,

$mpg_e$  : 천연가스차량의 가솔린등가연비 [mpg]

$CWF_{HC/NG}$  : 천연가스연료중 탄화수소성분의 탄소중량비

$D_{NG}$  : 천연가스연료의 밀도[grams/ft<sup>3</sup> at 20°C and 760 mmHg]

$CH_4$ ,  $NMHC$ ,  $CO$ , and  $CO_2$  : 각 성분가스의 weighted mass exhaust emissions (grams/mile).

$CWF_{NMHC}$  : 천연가스연료중 비메탄탄화수소성분의 탄소중량비

$CO_{2NG}$  : 단위주행거리당 소비된 천연가스연료중 이산화탄소의 중량(grams/mile)

Economy of Motor Vehicle의 NGV 연비산출식)<sup>10)</sup> 동식에서, 연료의 조성변화에 따라 영향을 받는 변수는  $CWF_{HC/NG}$ ,  $D_{NG}$ ,  $CWF_{NMHC}$ ,  $CO_{2NG}$  등으로서, 이들 값은, 각 시험천연가스의 조성에 맞추어 계산하여 사용하였다. 단, 본 시험에 사용한 천연가스연료는  $CO_2$  성분을 함유하고 있지 않기 때문에, 식중의  $CO_{2NG}$ 는 고려하지 않았다.

상기 CVS-75모드 시험시에는, 연비 및 배출가스의 평가와 아울러, 연료의 조성변화에 따른 가속성·주행성 등의 운전성, 노크발생 여부, 시동성 등을 운전자의 관능에 의해 평가하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 조성변화에 따른 연비특성

Fig. 2에 시험차량 3종에 대한 시험천연가스 6종의 이론혼합기 단위체적당 발열량과 가솔린등가연비 사이의 관계를 Gas B에 대하여 무차원화하여 나타낸다. 그림에 의하면, 모든 시험차량에

대하여 무차원 이론혼합기 단위체적당 발열량은 무차원 연비와 정비례관계가 있어서, 발열량이 높을수록 연비가 증가하여, 다음 식에서와 같은 관계를 보여주고 있다.

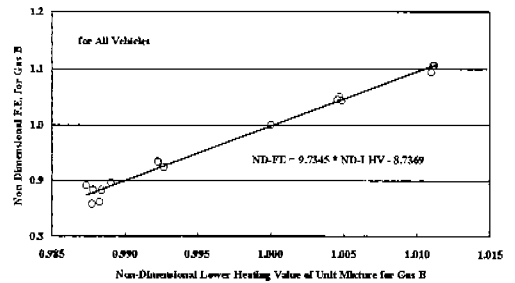


Fig. 2 Relationship between Lower Heating Value of Stoichiometric Mixture and Fuel Economy (Non-Dimensional)

$$ND-FE = 9.7345 \times ND-LHV - 8.7369 \quad (2)$$

여기에서,

$ND-FE$  : 가스 B에 대한 무차원 연비

$ND-LHV$  : 가스 B에 대한 무차원 이론혼합기 단위체적당 발열량

또한, 최대연비와 최소연비의 차이는 대략 25% 정도로서, 그 차이가 상당히 큼을 알 수 있다. 조성변화에 따른 이러한 연비의 커다란 변화는 차량사용자에게 불만요인으로 작용할 것으로 예상되므로(동일운행조건에서 연료소비량의 변화), 천연가스충전소에 공급되는 연료는 이론혼합기 단위체적당 발열량의 변화폭이 적을 것이 요망된다.

### 4.2 조성변화에 따른 운전성

시험천연가스 6종에 의한 CVS-75모드 주행시에 있어서, 3개 시험차량 모두 가속성의 악화를 인지할 수 없었다. 시동성에도 전혀 문제가 없었으며, 엔진이 정지하거나(stalling), 멈춤거리는(hesitation) 현상도 발생하지 않았고, 노킹현상도 전혀 발생하지 않았다.

이는, 3종의 시험차량 모두, 압축비를 크게 높이거나 노크한계 부근에서 운전되도록 점화시기를 설정한 상태의 엔진이 아니기 때문에, 연료의 조성변화에 그다지 영향을 받지 않은 것으로 생각된다.

이전에 당소에서 실시한 천연가스엔진 관련연구에 따르면,<sup>11)</sup> 가솔린엔진의 경우에는 점화시기의 변화에 따라서 엔진의 성능이 민감하게 영향을 받는 데에 대하여, 천연가스를 연료로서 사용하는 경우에는 점화시기가 넓은 범위에서 변화하여도 엔진출력의 변화폭이 적음을 확인한 바 있어서, 압축비를 크게 올리고 노크한계부근으로 운전하도록 점화시기를 설정한 엔진이 아닌 경우에는, 통상의 시장 천연가스의 조성변화에 따른 운전성의 현저한 악화는 없을 것으로 생각된다.

### 4.3 조성변화에 따른 배출가스특성

Table 2~Table 5에, 미국 CARB(California Air Resource Board)의 Current, TLEV, LEV, ULEV Emission Standard에 대한 시험차량 3종의 가스조성별 CO, NOx, NMHC의 영향을 정리하여 나타낸다.

미국의 경우, NMHC(non-methane hydrocarbon)대신에 실제로는 NMOG(non-methane organic gas)로 규제하고 있기 때문에, 알데하이드류가 추가된 값으로 비교하여야 한다. 그러나, 메탄의 불완전산화에 의해 생성되는 알데하이드류의 배출농도는, NMHC의 수퍼센트 정도에 불과하다는 보고가 있기 때문에, 비교상에 커다란 차이는 없을 것으로 생각된다.<sup>12)</sup>

이들 표에 의하면, 미국 CARB의 Current 및 TLEV CO/NOx/NMHC Emission Standard

Table 2 Emissions Data and CARB Current Emission Standard

		Gas A	Gas B	Gas C	Gas D	Gas E	Gas F
NGV #1	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	○
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-1	CO	○	○	○	×	○	○
	NOx	○	○	○	○	×	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-2	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	○
	NMHC	○	○	○	○	○	○

○ good, × no good

Table 3 Emissions Data and CARB TLEV Emission Standard

		Gas A	Gas B	Gas C	Gas D	Gas E	Gas F
NGV #1	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	○
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-1	CO	○	○	○	×	○	○
	NOx	○	○	○	○	×	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-2	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	○
	NMHC	○	○	○	○	○	○

○ good, × no good

Table 4 Emissions Data and CARB LEV Emission Standard

		Gas A	Gas B	Gas C	Gas D	Gas E	Gas F
NGV #1	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	×	○	×	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-1	CO	○	○	○	×	○	○
	NOx	○	○	×	○	×	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-2	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○

○ good, × no good

Table 5 Emissions Data and CARB ULEV Emission Standard

		Gas A	Gas B	Gas C	Gas D	Gas E	Gas F
NGV #1	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	×	○	×	×
	NMHC	○	○	×	○	○	○
NGV #2-1	CO	×	○	○	×	○	○
	NOx	○	○	×	○	×	×
	NMHC	○	○	○	○	○	○
NGV #2-2	CO	○	○	○	○	○	○
	NOx	○	○	○	○	○	×
	NMHC	×	○	○	○	○	○

○ good, × no good

에 대하여, NGV #1 및 NGV #2-2는 6종의 모든 천연가스가 이를 만족하며, NGV #2-1은 Gas A, Gas B 및 Gas C만이 이를 만족한다.

LEV CO/NOx/NMHC Standard에 대해서는, NGV #1과 NGV #2-1은 Gas A 및 Gas B가, NGV #2-2는 Gas A~Gas E의 5종의 가스가 이를 만족한다.

ULEV CO/NOx/NMHC Standard에 대해서는, NGV #1은 Gas A 및 Gas B가, NGV #2-1은 Gas B가, NGV #2-2는 Gas B~Gas E의 4종의 가스가 이를 만족한다.

즉, 3종의 모든 시험차량에 대해, CARB의 ULEV Emission Standard를 모두 만족하는 시험천연가스는 Gas B(국내도입천연가스) 뿐임을 볼 수 있으며, 이는 이들 차량이 Gas B를 사용하여 최적화되었음에 기인한 것으로 생각된다.

한편, Fig. 3~Fig 5에 3종의 시험차량과 6종의 시험천연가스에 대하여, CO, NOx, CH<sub>4</sub> 및 THC에미션을 Gas B에 대해 상대에미션으로 정리하여 나타낸다. 이들 그림에 의하면, 천연가스의 조성변화가 CO, NOx, CH<sub>4</sub> 및 THC에 미치는 영향은 상반되어 나타나는 경우가 많기 때문에(예를 들면, CO가 저감되면 NOx가 증가하고, NOx가 저감되면 CO가 증가하는 등), 연료의 조성이 바뀌면 특정배출가스의 농도는 감소하나 다른 성분의 배출가스농도는 증가하는 등에 기인하여, 당초에 설정한 배출가스목표치 내지는 규제치를 부분적으로 벗어나는 경우가 예상된다.

#### 4.4 조성변화에 따른 공연비의 변화가 배출가스특성에 미치는 영향

엔진의 연소특성에 관여하여 배출가스특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 공기연료비라고 생각된다. 일반적으로 이론공연비로부터 벗어남에 따라 가장 크게 영향을 받는 배출가스는 CO로서, 농후측으로 벗어나면 크게 증가하고 희박측으로 벗어나면 감소한다. HC도 영향을 받으며, 농후측으로 벗어나면 증가하고 희박측으로 벗어나면 감소하다가 너무 희박해지면 다시 증가한

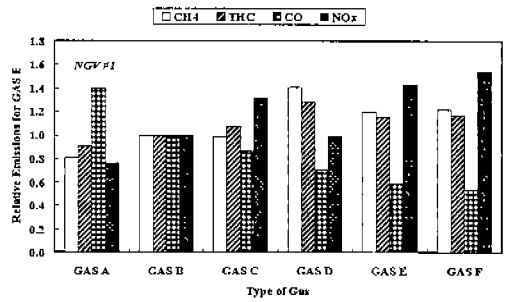


Fig. 3 Relative Emissions for Gas B (NGV #1)

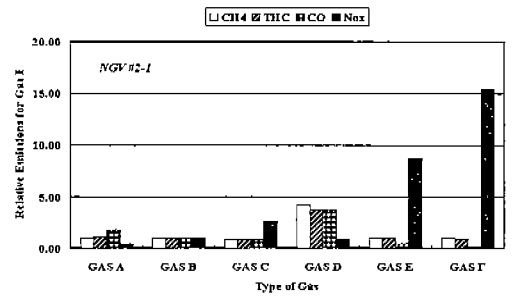


Fig. 4 Relative Emissions for Gas B (NGV #2-1)

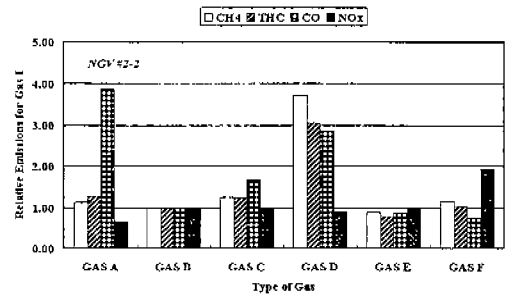


Fig. 5 Relative Emissions for Gas B (NGV #2-2)

다. NOx 역시 크게 영향을 받으며, 농후측으로 벗어나면 크게 감소하고, 희박측으로 벗어나면 증가하다가 다시 감소한다.

전술한 Table 1에서와 같이, 시험연료 6종의 이론공연비는 11.52에서 9.56까지 크게 변화한다 (Gas F 대비 Gas A는 약 20% 이론공연비가 큼). 한편, 일정엔진조건하에서, 실린더내로 유입되는 공기량은 동일하며, 조성변화에 대응하도록 설계되지 않은 엔진의 경우에 ECU Map에 설정된 기초연료분사량 역시 동일하므로, 엔진 초기

조정시에 사용된 연료보다 이론공연비가 큰 연료인 경우에는 상대적으로 분사된 연료량이 과다하여 공연비가 농후한 쪽으로 쉬프트하며, 반대로 이론공연비가 작은 연료인 경우에는 상대적으로 분사된 연료량이 작아서 공연비가 희박한 쪽으로 쉬프트할 것으로 생각된다.

위와 같은 배경하에, Fig. 6~Fig. 8에서와 같이 6종 시험천연가스의 이론공연비 변화에 대하여 CO, NOx, NMHC의 변화성향을 정리하여 보았다

그림에 의하면, 3종의 시험차량 모두, 순수메탄인 Gas D가 다소 특이한 거동을 보이는 외에는, 대체적으로 이론공연비가 큰 연료일수록 CO와 NMHC의 배출농도가 증가하고, NOx의 배출농도가 감소하고 있다.

전술한 바와 같이, 이들 시험차량은 Gas B(이론공연비 10.50)에 대해 최적화된 엔진이다. 따라서, Gas B보다 이론공연비가 큰 연료인 경우에는 농후혼합기쪽으로, 반대로 이론공연비가 작은 연료인 경우에는 희박혼합기쪽으로 공연비가 쉬프트되는 성향을 가질 것으로 생각된다.

이를 확인하기 위하여, Fig. 9에서와 같이, 이론공연비가 가장 큰 Gas A, 국내도입 천연가스인 Gas B, 이론공연비가 가장 작은 Gas F에 대하여 CVS-75모드 운전중의 공기과잉을 빈도분포를 대표적으로 정리하여 보았다. 그림에 의하면, Gas A는 농후혼합기측으로, Gas F는 희박혼합기 측으로, 각기 Gas B에 대하여 쉬프트되어 있음을 볼 수 있어서, 위 검토를 뒷받침함을 볼 수 있다.

이와 같이, 연료의 조성변화에 대응하는 기능을 갖추지 않은 엔진의 경우에는, 공연비의 농후 또는 희박측으로의 쉬프트를 초래하여, 엔진의 배출가스특성에 크게 영향을 미칠 것으로 예상되며, 따라서 엔진설계시에 이에 대한 대응기능을 고려하거나, 아니면 충전소의 연료규격을 제한해야 할 것으로 생각된다. 천연가스엔진에 있어서 조성변화에 따른 이러한 공기과잉을 빈도분포의 쉬프트는 외국의 연구결과에서도 확인되고 있

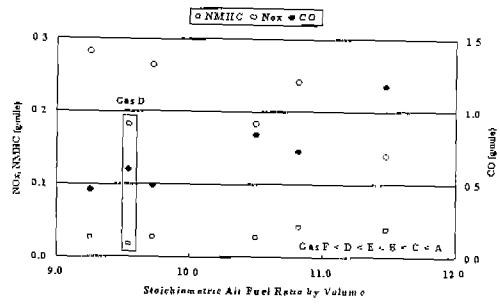


Fig. 6 Stoichiometric A/F Ratio of Test Fuels and CO/NOx/NMHC Emissions (NGV #1)

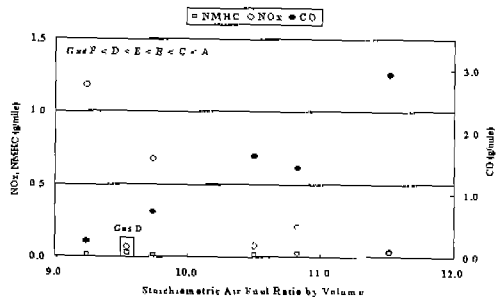


Fig. 7 Stoichiometric A/F Ratio of Test Fuels and CO/NOx/NMHC Emissions (NGV #2-1)

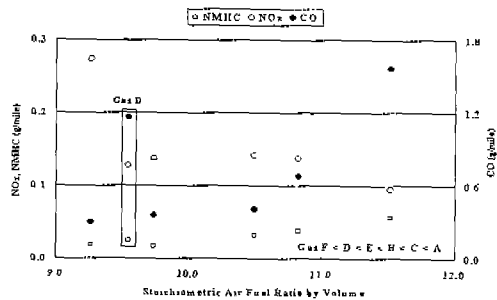


Fig. 8 Stoichiometric A/F Ratio of Test Fuels and CO/NOx/NMHC Emissions (NGV #2-2)

다.<sup>7)</sup>

이외에, 조성변화에 따른 점화시기의 미스매칭 등도 영향을 미칠 것으로 생각되나(특히 NOx), 본 연구에서는 이에 대한 영향은 명확히 파악할 수 없었다. 따라서, 조성변화에 따른 배출가스에 대한 주요 영향인자는 공연비의 농후 또는 희박측으로의 쉬프트라고 생각된다.

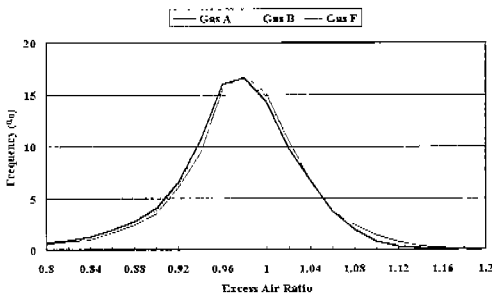


Fig. 9 Frequency of Excess Air Ratios of Gas A, Gas B and Gas F during CVS-75 Mode Driving

## 5. 결론

이상의 시험을 통해 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 이론혼합기 단위체적당 발열량은 연비와 정비례관계에 있어서 발열량이 높을수록 연비가 증가한다. Gas B에 대해 무차원으로 정리한 이론혼합비 단위체적당 발열량과 연비사이에는  $ND-FE = 9.7345 \times ND-LHV - 8.7369$ 의 관계가 있었다.
- 2) 시험천연가스 6종에 대한 최소 및 최대 연비 차이는 3대의 시험차량에 대해 약 25%이었다. 따라서, 천연가스충전소에 공급되는 연료는 발열량의 변화폭이 적은 것이 요망된다.
- 3) 엔진의 압축비를 크게 높이거나 노크한계부근으로 운전하도록 점화시기를 설정한 천연가스 엔진이 아닌, 통상의 천연가스엔진의 경우에는, 시장의 천연가스의 조성변화에 따른 운전성의 악화는 없을 것으로 생각된다.
- 4) 연료의 조성변화에 따라서 CO, NOx, CH<sub>4</sub>, THC 등의 배출농도가 크게 변화하고, 각각의 배출가스에 미치는 영향은 상반되어 나타나기 때문에, 시장 연료조성의 변화가 큰 경우에는, 설계시의 배출가스목표치 내지는 규제치를 부분적으로 벗어나는 경우가 예상된다. 따라서, 엔진개발시 또는 연료규격의 설정시에는 이에 대응할 것이 요망된다.

5) 시험차량 3종에 대해 미국 캘리포니아주의 CO, NOx, NMHC에 대한 ULEV Standard를 모두 만족하는 시험연료는 국내도입 천연가스로서, 이는 이들 시험차량이 이 연료를 사용하여 최적화되었음에 기인하는 것으로 생각된다.

6) 배출가스에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 공연비의 변화로서, 이는 조성변화에 기인하여 공기연료혼합기가 농후 또는 희박측으로 쉬프트되기 때문인 것으로 생각된다. 국내도입 천연가스에 최적화된 3종의 시험차량에 있어서, 이보다 이론공연비가 큰 연료인 경우에는 공연비가 농후혼합기측으로 쉬프트하기 때문에 CO와 NMHC가 증가하고 NOx가 감소하며, 이론공연비가 작은 연료인 경우에는 반대로 희박혼합기측으로 쉬프트하여 CO와 NMHC가 감소하고 NOx가 증가하는 경향을 보여 주었다.

7) 연료조성변화에 따른 연비 및 배출가스의화는 차량 사용자 측면에서 대응할 수 있는 사항이 아니기 때문에, 엔진차원에서 대응하거나(엔진설계시, EMS Logic에 연료조성에 따른 대응기능을 추가) 또는 연료공급자측에서 대응할 것(천연가스충전소에 공급되는 연료의 조성을 제한)이 요망된다.

## 참고 문헌

1. NGVs Becoming a Global Reality, International Conference and Exhibition for Natural Gas Vehicles, Cologne, Germany, 26~28 May, 1998.
2. 이영재 외, "조성변화에 따른 천연가스 차량의 성능특성," 한국자동차공학회 춘계/추계 학술대회, pp.359~364/pp.39~45, 1998.
3. S.R.King, "The impact of natural gas composition on fuel metering and engine operational characteristics," SAE 920593.



4. J.Kubesh, et al., "Effect of gas composition on Octane number of natural gas fuels," SAE 922359.
5. T.Sakonji, et al., "The effect of gas composition on gas engine rating," JSME 72th Symposium, Paper No. 940-30, pp.359~361, 1995.
6. 酒井孝之 外, "天然가스組成가엔진의性能および排出ガスに及ぼす影響," 自動車研究, 第18巻 第1號, pp.23~26, 1996.
7. 黒田英二 外, "燃料組成가3元觸媒方式天然가스自動車の排出ガスに及ぼす影響," 自動車研究, 第18 巻 第4號, pp.14~17, 1996.
8. 黒田英二 外, "燃料組成가天然가스エンジンの性能に及ぼす影響," 自動車研究, 第19 巻 第5號, pp. 17~20, 1997.
9. M.Ishii, et al., "Effects of natural gas fuel composition on exhaust emission characteristics," IPC 8 Paper 9530625, 1995.
10. CFR40, EPA, USA.
11. 이영재 외, CNG차량 개발연구, 한국에너지기술연구소 연구보고서, 1990.
12. Ron Matthews, et al., "CNG Compositions in Texas and the Effects of Composition on Emissions, Fuel Economy, and Driveability of NGVs," SAE Paper No. 962097.