

CNG/LPLI Bi-Fuel 자동차에서 주행시험 모드와 점화진각에 따른 배출가스 특성

조승완[†] · 김성훈* · 권석주** · 박성욱*** · 전충환**** · 서영호**

Exhaust Emissions Characteristics on Driving Cycle Mode and Ignition Advance Condition Change of CNG/LPLI Bi-Fuel Vehicle

Cho Seungwan, Seonghoon Kim, Seokjoo Kwon, Sungwook Park,
Chunghwan Jeon and Youngho Seo

Key Words: CNG(압축천연가스), LPG(액화석유가스), Spark Advance(점화진각), NOx(질소산화물), CO(일산화탄소), CH4(메탄), Bi-Fuel(겸용)

Abstract

Recently rise in oil prices feet the burden on not only diesel vehicle driver but also LPG vehicle driver, and get interested in various way to reduce fuel costs. In this study discuss on exhaust emissions characteristics on driving cycle mode and ignition advance condition change of CNG/LPLI Bi-Fuel vehicle. Experimental test was performed by changing the conditions of fuel (LPG/CNG), spark advance (Base, 10°CA, 15°CA), and driving mode (FTP-75, HWFET, and NEDC). In case of CO emission, in the order of CNG Base, CNG S/A10, S/A15 condition are average reduced -21%, -35%, -29% respectively compared to LPG fuel. The active emission reduction from the initial engine start, spark retard is likely to be beneficial in catalyst warm-up and improve combustion stability rather than spark advance.

1. 서 론

최근의 유가상승은 연료비가 비교적 저렴한 경유자동차뿐만 아니라 LPG 자동차 운전자들에게도 연료비에 부담을 가중시켰고, 운전자들로 하여금 연료비 절감을 위한 다양한 방법들에 관심을 갖게 하였다. 그 중에서 압축천연가스(CNG)와 가솔린 또는 LPG를 동시에 자동

차에 저장하고 그 중 한 가지 연료를 선택하여 연료로 사용하는 방식인 겸용(Bi-Fuel : LPG/가솔린, CNG/가솔린, CNG/LPG) 시스템이 장착된 차량에 대한 관심이증가하고 있다⁽¹⁾.

하지만 이러한 겸용(Bi-Fuel) 차량에 사용되는 CNG 연료의 주성분인 메탄(CH₄)의 경우 연소속도는 0.34 m/s로 가솔린(C₈H₁₇)은 옥탄가 130일 경우 1.825 m/s, LPG 연료의 주성분인 프로판(C₂H₆)은 0.39 m/s 그리고 노말부탄(C₄H₁₀)은 0.41 m/s로 이들 자동차용 연료에 비해 상대적 연소속도가 느림을 알 수 있다⁽²⁾.

이러한 특성은 압축비, 점화시기 등이 가솔린 또는 LPG 연료의 연소 특성에 맞게 설계된 엔진에 CNG 연료 사용하므로 약 10% 이상의 엔진 출력저하를 초래하게 되며 이는 결국 차량 성능의 저하로 연결된다. 이러한 Bi-Fuel 시스템의 단점을 극복하기 위한 방법으로 점

(Received: 06 March 2014, Recieved in revised form: 18 March 2014, Accepted: 19 March 2014)

*THE SYSTEM

**자동차부품연구원

***한양대학교 기계공학부

****부산대학교 기계공학부

†책임저자, 회원, THE SYSTEM 기업부설연구소

E-mail : chosw12@daum.net

TEL : (051)974-9683 FAX : (051)974-9684

화시기 진각을 통한 연소속도 지연보상으로 출력 및 연소효율을 향상시킬 수가 있다³⁾.

Bang 등⁴⁾은 점화 각은 압축비에 의해서도 조절이 되는데 이것은 기관의 압축비가 증가함에 따라 혼합기의 초기온도가 증가하여 화염 전파속도가 빨라져서 초기 연소시간이 더 짧아지기 때문이며, 가솔린과 같은 9:1의 경우에는 최대 30° 정도의 진각을 시켜 주어야 하지만 CNG 연료의 경우 최적 압축비인 12:1 내외에서는 약 25° 정도의 진각을 시켜주면 최적의 효율을 얻을 수 있다. 따라서 가솔린 기관에서 MBT(maximum Brake Torque) 상태에서 진각이 약 13° 정도임을 감안 할 때 CNG 기관의 경우 이보다 약 12~17° 정도 더 진각을 시켜야 한다고 주장하였다.

S. Maji 등⁵⁾은 CNG/가솔린 Bi-Fuel 차량에서 점화시기에 따른 연료소모율과 배기가스에 대해 연구하였다. 최적의 연비는 가솔린의 경우 BTDC 10°에서, CNG의 경우 BTDC 24~26°에서 얻었다고 하였다.

H. H. Geok 등⁶⁾은 가솔린과 CNG 연료에 대한 열 발생율과 점화지연에 대한 차이에 대해 연구를 통해 CNG 연료의 경우 가솔린에 비해 열 발생율 피크(Peak) 지연과 점화지연($\Delta\theta_{10}$)이 발생하므로 점화지연발생 크랭크각도 만큼 점화진각이 반드시 필요함을 주장하였다. 또한 CNG 연료를 사용했을 경우 UHC는 40~87%, CO와 CO₂는 20~98%와 8~20% 각각 감소했음을 확인하였다.

현재 국내·외 개조(Retrofit) 시장의 CNG Bi-Fuel 시스템을 장착한 차량들의 경우 ECU와 연료시스템(Injector, Regulator)의 최적화를 통한 배출가스, 연비, 출력 등에 대한 공인시험 수행 부재로 제품의 성능 검증이 제대로 되지 않아 출력부족, 연비성능저하, 엔진 부조 등의 문제점을 나타내고 있는 것이 현실이다.

또한 국내·외적으로 CNG/LPG(LPLI) 차량에 대한 연구는 거의 확인할 수가 없었다. 물론 우리나라는 세계에서 가장 차량용 LPG를 많이 소비하는 나라이다. 대한 LPG 협회에 따르면 2012년 국내 차량용 LPG 소비량은 425만톤으로 세계 소비량(2,372만톤)의 17.9%로 세계 최다 소비량을 기록했으며, 전체 자동차 등록에서 LPG 차량이 차지하는 비율도 12.8%(2012년 12월 기준) 이라고 했다.

따라서 본 연구에서는 CNG/LPLI Bi-Fuel 시스템이 적용된 차량을 대상으로 LPG 연료와 CNG 연료를 각각 사용했을 때 점화진각(Base, Spark Advance 10°C, Spark Advance 15°C)과 주행시험모드(FTP-75, HWFET 및 NEDC)에 따른 배출가스 배출 특성에 대한 조사·분

석을 통해 CNG/LPLI Bi-Fuel 차량의 배출가스에 대한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 시험 장치 및 시험 방법

2.1 시험 장치

시험 장치는 크게 CNG/LPLI 개조 차량과 실차 연비·배출가스 측정 장치로 나뉜다. 개조된 차량을 설치하여 각 조건별 시험을 수행하였다.

2.1.1 시험 차량

시험차량은 2.0 Nu LPLI 엔진의 YF 쏘나타(2013년식, 주행거리 약 30,000 km)를 CNG Bi-Fuel 시스템(CNG 탱크, CNG 인젝터, 압력조절기)을 추가 장착 개조하여 시험에 사용하였다. CNG Base 조건의 점화시기는 기존의 LPG Base 조건과 동일하게 설정하였고, 점화진각(10°, 15°)은 엔진회전수(rpm)와 부하를 기준으로 한 별도의 12 × 10 점화진각 맵(Map)을 사용하여 점화시기를 제어하였다. Fig. 1은 차대동력계를 이용한 배출가스 시험 모습을 나타내고 있다.

2.1.2 실차 연비·배출가스 측정 장치

실차 연비·배출가스 측정 장치는 차대 동력계와 배출가스 분석계로 구성된다. 차대동력계는 4WD 및 차량의 길이에 맞추어 조절이 가능하다. 그리고 배출가스 측정 장치는 모드 주행에서 발생하는 모든 배출가스를 포집하여 분석 후 각 배출가스별 g/km로 분석이 가능하다. Fig. 2는 실차 연비·배출가스 측정 장치의 개략도이며,



Fig. 1 Test vehicle equipped with CNG/LPLI Bi-Fuel engine

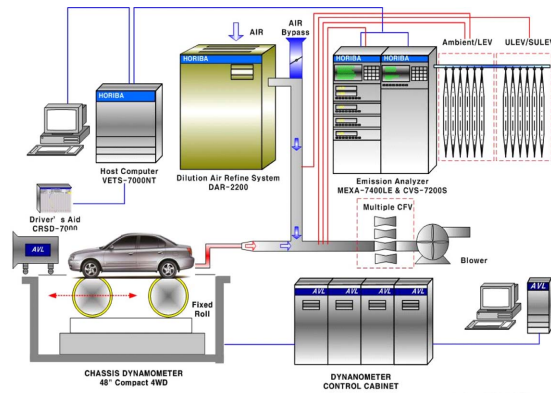


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1은 차대동력계 및 배출가스 측정 장치의 제원을 나타낸다.

2.2 시험 방법

2.2.1 주행시험 모드 및 시험조건

본 연구에서는 상기의 실험 장치를 바탕으로 CNG/LPLI Bi-Fuel 차량에서 주행시험 모드(FTP-75, HWFET 및 NEDC), 그리고 LPG & CNG Base, 점화진각(Spark Advance 10°C, 15°C)에 따른 LPG와 CNG 연료를 각각 사용 시 CO, THC, NO_x, CH₄ 배출가스 특성을 살펴 보았다. 시험조건은 Table 2와 같다.

시험은 환경부 고시 제 2012-122호 “제작자동차 시험 검사 및 절차에 관한 규정”을 기준으로 진행되었으며, 실험이 진행되는 동안 시험실의 온도는 20~30°C(68~86°F)

Table 2 Experimental conditions

Fuel		Driving mode
LPG	Base	FTP-75, HWFET, NEDC
CNG	Base	FTP-75, HWFET, NEDC
	Spark Advance 10°C	FTP-75, HWFET, NEDC
	Spark Advance 15°C	FTP-75, HWFET, NEDC

그리고 습도는 30~70 R.H.%를 유지하였다(7).

주행모드는 총 3개의 대표모드를 사용하였다. FTP-75 Mode는 국내 시가지 주행모드로 사용되고 있으며, 최고 속도 91.25 km/h, 평균속도 34.12 km/h이며, 속도 프로파일의 가감속 패턴이 빈번하게 분포하고 있다. HWFET Mode는 국내 고속도로 주행모드로 사용되고 있으며, 최고 속도 96.4 km/h, 평균속도 77.7 km/h이다. NEDC Mode는 유럽 및 국내 디젤자동차 환경규제를 위하여 사용되는 주행모드이며, 최고속도 120 km/h, 평균속도 33.35 km/h이다. Fig. 3에 자세한 내용을 나타내었다.

2.2.2 점화시기진각 제어 및 분사시간 계측

점화시기 진각은 TR Base 신호제어(점화성능 저하) 대신 점화코일에 1차 전류가 흐르는 시간인 드웰시간(Dwell time)의 제어를 통해 크랭크각 기준으로 기존 점화시기에 비해 일정 각도만큼 점화시기 진각이 이루어지고, 이는 엔진 회전수 상승 및 부하 변동 등에 따른

Table 1 Specification of experimental apparatus

		4WD Chassis Dynamometer (48" Single Roll)				
Max. Generation Power	Permanent : 153 kW × 2SET					
	10s : 258 kW from 92 km/h to 146 km/h					
Inertia Range	2WD : 400 kg ~ 3,500 kg					
	4WD : 800 kg ~ 5,400 kg					
Max. Speed	200 km/h Max.					
Cooling Fan	Variable Speed					
Model : Horiba Mexa-7200 LE						
GAS		CO	CO ₂	CH ₄	THC	NO _x
Analysis Principal		NDIR	NDIR	GC/FID	H. FID	CLD
Application Range (Min.)	LEV	50 ppm	1%	10 ppm	10 ppmC1	10 ppm
	SULEV	10 ppm	1%	1 ppm	1 ppmC1	1 ppm

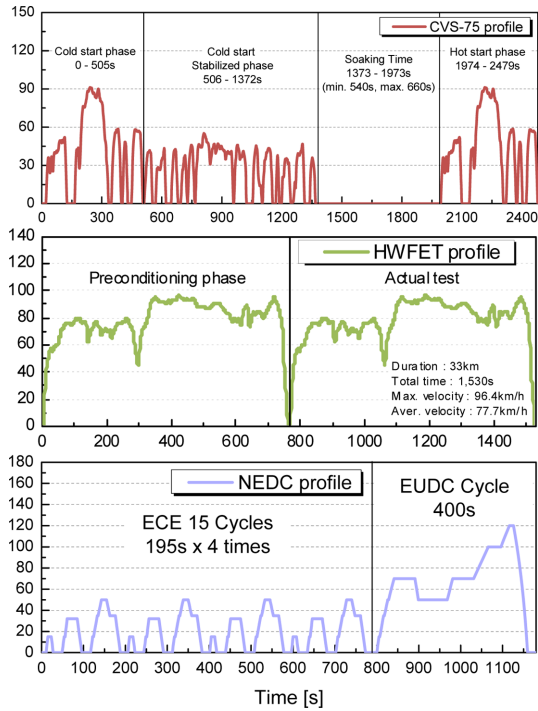


Fig. 3 Experimental driving conditions

진각량이 많아도 드웰시간이 항상 일정하여 점화에너지가 안정적이어서 시스템이 매우 안정적이다. 따라서 이를 기준으로 정확한 점화진각을 구현하였다.

분사시간은 LPLI 인젝터의 신호 차단 시 발생하는 역기전력을 계측하여 차단시간을 판단하여 정확한 분사기간 계측이 가능하며, 이를 통해 점화진각에 따른 정확한 연료 분사량을 제어 하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 CO 배출특성

Figure 4는 각 주행시험모드와 점화진각에 따른 CO 배출량을 나타낸 그래프이다.

LPG 연료대비 CNG Base, CNG S/A10, S/A15에서 평균 -21%, -35%, -29% 각각 저감되었음을 알 수 있다. 이는 CNG 연료 사용 시 공연비가 보다 희박한 조건에서 운전되고 있기 때문인 것으로 판단된다. 한편 점화진각에 따른 영향은 거의 미미한 것을 볼 수 있다. 따라서 향후 CO 배출량 저감을 위해서는 점화시기 제어 보다는 운전영역별 정밀 공연비 제어가 보다 효과적인 것이다.

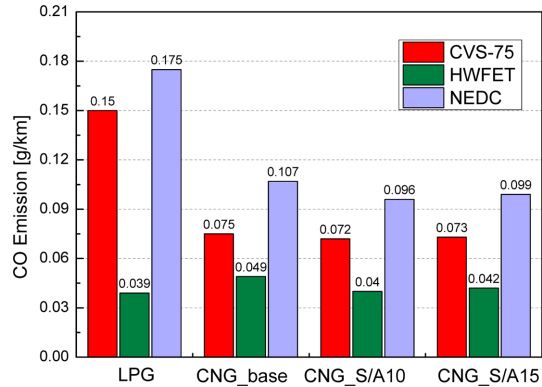


Fig. 4 CO Emission on each driving mode

3.2 CH₄ 배출특성

Figure 5는 CH₄ 배출 결과이다. 모든 조건에서 CNG 연료 사용 시 CH₄ 배출량의 증가가 뚜렷한 것을 볼 수 있다. 이것은 CNG 연료의 주성분이 CH₄인 것과 삼원

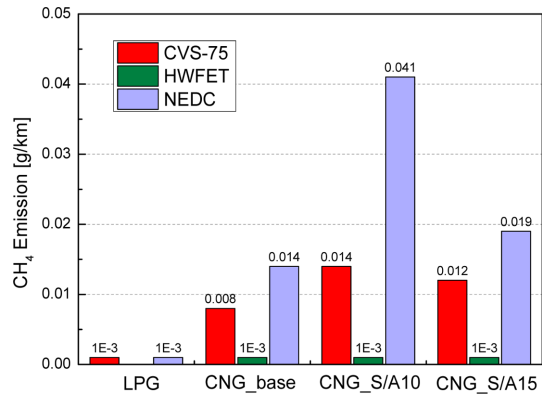


Fig. 5 CH₄ Emission on each driving mode

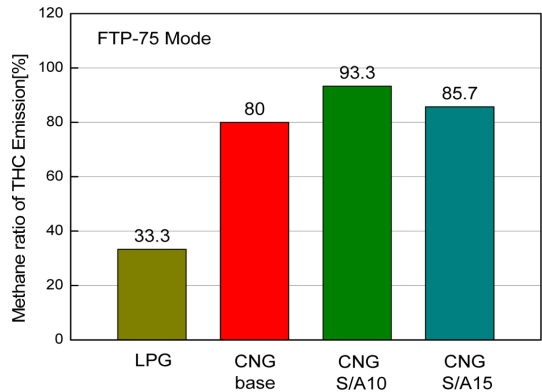


Fig. 6 CH₄ Emission ratio of THC Emission

촉매의 CH₄에 대한 낮은 정화율에 기인한 것으로 판단된다.

전자의 경우 Fig. 6의 결과에서 보듯이 CNG 연료 사용 시 THC 중 CH₄가 차지하는 비율이 평균 86%인 것을 알 수 있다. Fig. 6은 THC 중 CH₄ 성분을 분석한 결과로 CH₄/THC×100으로 메탄의 비율을 구하였다. 후자의 경우 일반적으로 불포화탄화수소와 고가탄화수소는 촉매에 의해 쉽게 흡착되고 제어되나, CH₄와 그 밖의 포화저가탄화수소는 매우 안정된 분자구조로 이루어져 있어 촉매에 쉽게 흡착되지 않고, 따라서 촉매시스템으로 제어하기가 아주 어렵기 때문이다⁽⁴⁾.

한편 CNG Base에 비해 CNG S/A10, CNG S/A15의 경우 CH₄의 배출량이 각각 75%, 50% 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 과도한 진각으로 인한 불완전 연소에 기인한 것으로 판단된다.

3.3 THC 배출특성

Figure 7은 THC 배출 결과이다. Fig. 6의 결과에서 알 수 있듯이 CH₄의 배출량에 비례해서 THC의 배출량이 증가된 것을 확인 할 수 있다. 하지만 THC 중 CH₄가 차지비율을 제외하고도 LPG에 비해 배출량이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 근본적인 THC의 저감을 위해서는 보다 정밀한 공연비 제어와 점화시기 선정이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 NOx 배출특성

Figure 8은 NOx 배출 결과이다. NOx Emission 또한 LPG 연료에 비해 배출량이 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 다음과 같은 2가지 이유 때문인 것으로 판단된다. 첫 번째 이유는 앞선 CO Emission 결과에서 언급한바

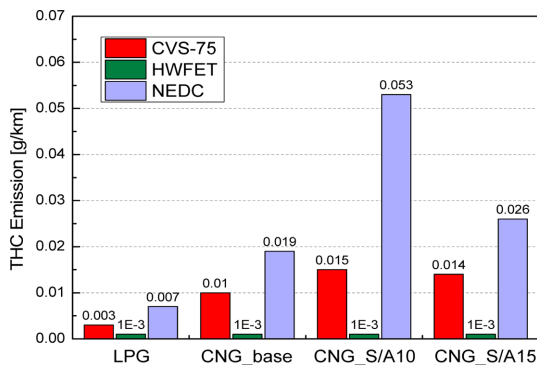


Fig. 7 THC Emission on each driving mode

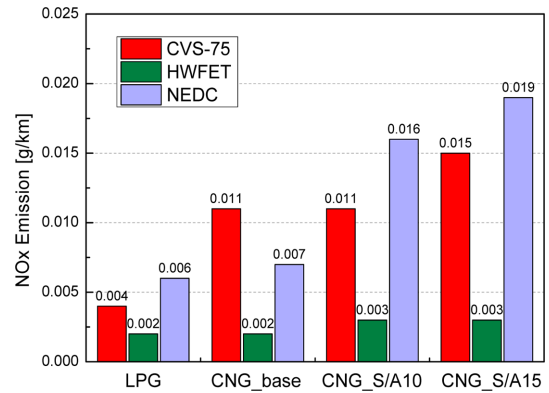


Fig. 8 NOx Emission on each driving mode

와 같이 CNG 연료 사용 시 상대적으로 희박조건에서의 운전으로 인한 연소온도 상승에 기인한 것으로 판단된다. 두 번째 이유로 일반적으로 삼원촉매에서 NOx를 환원 시키는데 사용되는 환원제로는 HC, H₂, CO를 들 수 있다. 이 중 HC의 대부분이 CH₄이기 때문에 환원제로써 기여도가 크지 못하며⁽⁸⁾, CO의 배출량은 상대적으로 적게 배출되기 때문에 환원 기여도가 낮아 NOx 배출량 저감 기여도가 낮아지게 될 것이다. 따라서 NOx 배출량 저감을 위해서는 이론공연비보다 약간 농후한 영역에서의 운전을 통한 CO Emission을 보다 적극적으로 이용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.5 Emission 누적량 비율 특성

Figure 9는 FTP-75 Mode 주행 시 구간별 Emission 배출특성 분석을 통한 배출가스 저감방안 마련을 위해 나타낸 그래프로, 배출가스 총 배출량에 대한 각 측정점까지의 경과시간에 대한 배출가스의 누적량의 비율을 나타내고 있다. 누적량 비율 계산식은 아래와 같다.

$$Cumulative\ ratio = \frac{Q_i}{Q_t} \times 100$$

여기서, Q_i 는 각 측정점까지의 경과시간에 대한 배출가스의 누적량 이며, Q_t 는 배출가스의 배출총량 이다.

CO Emission의 경우 LPG, CNG Base, CNG S/A10, CNG S/A15에서 시동 후 300 sec 동안에 총배출량의 71%, 87%, 85%, 99%, NOx Emission의 경우 19%, 65%, 40%, 52%, THC Emission의 경우 61%, 61%, 66%, 60%, CH₄ Emission의 경우 56%, 65%, 71%, 69%에 각각 도달하였음을 볼 수 있다. 상기 결과를 통해 보

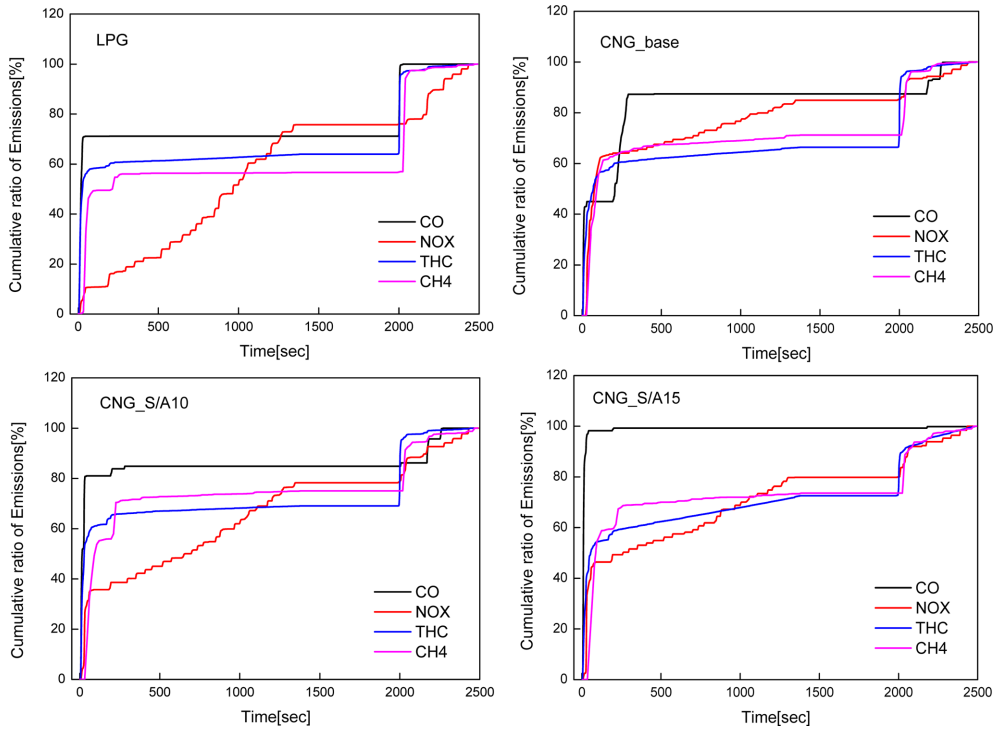


Fig. 9 Cumulative ratio of emissions on FTP-75 driving mode

다 능동적인 Emission 저감을 위해 시동 초기에는 점화 시기의 진각보다는 점화시기 지각을 통해 촉매 예열성 상승 및 연소 안정성 개선을 도모하는 것이 배출가스 저감에 유리할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 CNG/LPLI Bi-Fuel 자동차에서 주행시험 모드와 점화진각에 따른 CO, NOx, THC, CH₄ 배출특성에 대하여 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) CO Emission의 경우 LPG 연료대비 CNG Base, CNG S/A10, S/A15에서 평균 -21%, -35%, -29% 각각 저감되었다.

2) CH₄ Emission은 모든 조건에서 CNG 연료 사용 시 CH₄ 배출량의 증가가 뚜렷한 것을 볼 수 있다. 이것은 CNG 연료의 주성분이 CH₄인 것과 삼원촉매의 CH₄에 대한 낮은 정화율에 기인한 것으로 판단된다.

3) THC Emission의 경우 CH₄의 배출량에 비례해서 배출량이 증가된 것을 확인 할 수 있다. 하지만 THC 중 CH₄가 차지비율을 제외하고도 LPG 연료에 비해 배출

량이 높았다. 따라서 근본적인 THC의 저감을 위해서는 보다 정밀한 공연비 제어와 점화시기 선정이 필요할 것으로 판단된다.

4) NOx Emission 또한 LPG 연료에 비해 배출량 증가가 뚜렷하게 나타났다. 따라서 NOx 배출량 저감을 위해서는 이론공연비보다 약간 농후한 영역에서의 운전을 통한 CO Emission을 보다 적극적으로 이용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

5) FTP-75 Mode 주행 시 구간별 Emission 배출특성 분석을 통한 배출가스 저감방안 마련을 위해 배출가스 총 배출량에 대한 각 측정점까지의 경과시간에 대한 배출가스의 누적량의 비율을 조사한 결과 보다 능동적인 Emission 저감을 위해 시동 초기에는 점화시기의 진각보다는 점화시기 지각을 통해 촉매 예열성 상승 및 연소 안정성 개선을 도모하는 것이 배출가스 저감에 유리할 것으로 판단된다.

6) CNG 연료사용과 점화진각 시 LPG 연료 대비 CO Emission을 제외한 나머지 배출가스(CH₄, THC, NOx)의 배출량은 오히려 증가하였다. 따라서 이 연구결과를 바탕으로 향후 연구에서는 엔진회전수와 부하에 따른 각 운전 구간별 점화시기 제어 및 공연비 정밀 제어를 통

해 보다 높은 배출가스 저감을 실현하고자 한다.

후 기

본 논문은 중소기업청의 기술혁신개발사업에서 지원되는 “접화진각제어기능이 내장된 2L급 CNG-LPLI Bi-Fuel 시스템용 고성능 엔진제어장치(ECU) 개발” 과제의 연구비로 수행되었으며, 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Chongpyo cho, Youngjae Lee, Gangchul Kim, Ohseuk Kwon, “Exhaust emission characteristics of Bi-Fuel CNG/LPG passenger cars”, KSAE Vol. 19, No. 2, 2011, pp.142-147.
- (2) W. M. Cha, S. Park, H. S. Cheon, “A feasibility study on the development of CNG Engine”, Research report, 1998.
- (3) S. J. Heo, Y. H. Roh, S. S. Yoon, B. C. Choi, “CNG/GSL Bi-Fuel System”, KSAE 2004 Spring conference proceeding, KSAE04-S0094, 2004, pp. 592-597.
- (4) H. S. Bang, “Establishment of D/B of combustion characteristics with varied natural gas compositions for NGV”, Research report, 1998.
- (5) S. Maji, Rakesh Ranjan, P. B. Sharma, “Comparison of emissions and fuel consumption from CNG and Gasoline Fueled vehicles effect of ignition timing”, SAE 2000-01-1432, 2000.
- (6) How Heoy Geok, Taib Iskandar Mohamad, Shahrir Abdullah, Yusoff Ali and Azhari Shamsudeen, “Experimental investigation of performance and emissions of a sequential port injection compressed natural gas converted engine”, SAE 20097026, 2009.
- (7) 환경부 고시 제 2012-122호 “제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정”, 2012.
- (8) B. C. Choi, G. Y. Lee, G. S. Son, K. Y. Lee, “Emission characteristics of Natural gas fueled vehicle and its purification technologies”, Vol. 5, No. 2, 1997, pp.127-135.