



CNG 승용 자동차의 배출가스 특성에 관한 실험적 연구

†김현준·이호길

자동차부품연구원 가스엔진기술연구센터

(2015년 11월 24일 접수, 2015년 12월 23일 수정, 2015년 12월 24일 채택)

Experimental Study of Emission Characteristics for CNG Passenger Car

Hyun-jun Kim · Ho-kil Lee

Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-ri, Pungse-Myun, Chunan, Chungnam,
330-912, Korea

(Received November 24, 2015; Revised December 23, 2015; Accepted December 24, 2015)

요약

최근 차량용 에너지의 소비는 대부분 화석연료로부터 사용된다. 기존 화석 연료를 사용하는 자동차보다 친환경적이며 저렴하고 재생이 가능한 연료의 요구증대로 대체연료 자동차산업이 강조되고 있다. 오늘날 고옥탄가와 높은 자기발화온도 특징을 가지고 있는 천연가스는 저렴한 비용, 기존 화석연료보다 풍부한 매장으로 기존 스파크 점화엔진인 가솔린엔진의 대체에너지로 간주되고 있다. 본 연구는 기존 2리터 가솔린 엔진에 CNG 가스 분사시스템을 장착하여 전소 및 혼소 연료분사시스템을 설치하였다. 또한 CNG전소 및 가솔린/CNG 혼소차량의 ECU 제어전략을 최적화 하였다. 혼소차량에 대하여 NEDC모드 주행결과 가솔린 차량 대비 혼소차량의 CO₂ 저감율을 16% 확인하였다. 또한 CO와 HC의 배기가스 배출량은 가솔린 차량과 동등한 수준을 확보하였다. 하지만 NO_x의 배기가스 배출수준은 증가된 현상을 확인할 수 있었다.

Abstract - Recently, most of the energy consumed in vehicle is derived from fossil fuels. For this reason, the demand for clean, renewable and affordable alternative energy is forcing the automotive industry to look beyond the conventional fossil fuels. Natural gas represents today a promising alternative to conventional fuels for vehicles propulsion, because it is characterized by a relatively low cost, better geopolitical distribution than oil, lower environmental impact, higher octane number and a higher self ignition temperature. Above all, CNG is an environmentally clean alternative to the existing spark ignition engines with the advantages of minimum change. In this study was installed bi-fuel system that a conventional 2 liters gasoline engine was modified to run on natural gas by a gas injection system. Experiments were mainly carried on the optimization of an ECU control strategy affecting the emission characteristics of CNG/Gasoline bi-fuel vehicle. The test results shown that CO₂ emission in bi-fuel mode was reduced 16% compared to gasoline fuel in the NEDC mode. Also the amount of CO and HC emissions in bi-fuel and gasoline modes were found to equality. But Compared to gasoline, the bi-fuel mode resulted in higher NO_x emissions.

Key words : CNG, Bi-fuel vehicle, mono-fuel vehicle, emission, electronic control unit(ECU), NEDC mode

†Corresponding author:kimhj@katech.re.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

석유대체 연료로서 천연가스는 풍부한 매장량 및 청정성으로 경제성과 저공해성을 모두 갖춘 연료이며, 특히 안정성이 뛰어나고, 고옥탄가와 넓은 연소 한계 등으로 연소특성이 매우 좋으며, CO₂배출량 측면에서 매우 우수한 연료로 평가 되고 있다¹⁾. 그러나 국내의 경우 천연가스자동차는 인프라구축 등의 어려움과 관련 부품 기술개발의 미흡등으로 인하여, 현재까지 시내버스와 청소트럭 등을 위주로 보급이 이루어져 왔으며, CNG충전소의 부족 등으로 인하여 이중연료를 이용하여 운전조건 및 차량 운행 상태에 따라 선택적으로 연료를 지칭하여 사용하는 Bi-fuel 시스템과 이중연료를 동시에 사용하여 차량운행을 하는 Dual fuel 시스템 등을 대상으로 연구개발이 진행되어 오고 있다.

한편, 일반적으로 Bi-fuel용 엔진은 서로 다른 연료특성 및 연소특성으로 인하여 시동, 공연비, 가감속등의 정밀한 제어가 요구되는 초저공해 자동차에 적용하기에는 어려움이 있으며, 배출가스는 EURO 4~5 수준에 머물러 있다.

본 연구에서는 그동안 대형차량 위주로 개발·보급되어 왔던 CNG자동차를 승용자동차에 적용하기 위하여, 2리터급 가솔린자동차를 대상으로 Bi-fuel 연료시스템과 Mono-fuel 연료시스템을 구축하였다.

또한 초저공해 Bi-fuel 및 Mono-fuel CNG 엔진에 적합한 ECU제어 전략 및 최적화 작업을 통하여 유럽의 초저공해 자동차 배기규제인 EURO 6 배기규제를 만족하였으며, 동급의 가솔린자동차 대비 CO₂를 약 16%이상 저감할 수 있었다.

II. 실험장치 및 방법

2.1. CNG/Gasoline Bi-fuel 차량 엔진제어

일반적으로 CNG자동차는 인프라구축 등의 어려움으로 인하여 Bi-fuel 차량이 널리 보급되고 있지만, 서로 다른 연료특성 및 연소특성으로 인하여 시동, 공연비, 가감속등의 정밀한 제어가 요구되는 초저공해 자동차에 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 CNG자동차의 배출가스 특성을 파악하기 위하여 Bi-fuel 시스템과 Mono-fuel 시스템을 각각 구축하고 CNG차량의 엔진제어를 위한 각각의 ECU 시스템을 개발하였다.

Fig. 1은 서로 다른 연료특성 및 연소특성을 가진 CNG/Gasoline Bi-fuel엔진의 시스템 개략도를 나타낸 것으로서, Bi-fuel용 ECU의 제어로직은 가솔린 ECU의 인젝션 구동신호를 토대로 CNG 인젝터를

구동하는 시스템으로, 가솔린 ECU의 분사 시간을 검출하여 CNG에 최적화 되도록 변환하였다.

한편 CNG 인젝터의 운전조건은 가스온도 및 압력, 차량의 rpm, 냉각수 온도센서의 신호를 취득하여 조건값을 만족할 경우 CNG 인젝터를 구동하고 그렇지 않을 경우 가솔린 인젝터를 구동하는 방식으로 되어 있다.

본 연구에 사용된 차량은 배기매니폴드 일체형 삼원촉매를 장착하고 있으며, NEDC모드에서 촉매의 활성화 온도가 시작되는 시점이 일반적인 엔진의 윗업온도(80°C)에 도달하는 시간보다 빠른 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 차량 엔진 예열시간 및 촉매의 활성화온도를 고려하여, CO₂저감에 유리한 CNG연료의 변환시점을 냉각수 온도 40°C를 기준으로 냉간 시동시에는 가솔린, 온간안정화 구간에서는 CNG로 운전되는 전략을 구사하였다.

2.2. CNG Mono-fuel 차량 엔진제어

CNG Mono-fuel방식은 압축천연가스만을 저장하여 엔진연소에 사용하는 방식으로 Bi-fuel방식에 비하여 천연가스 전소엔진으로 그 성능을 최적화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

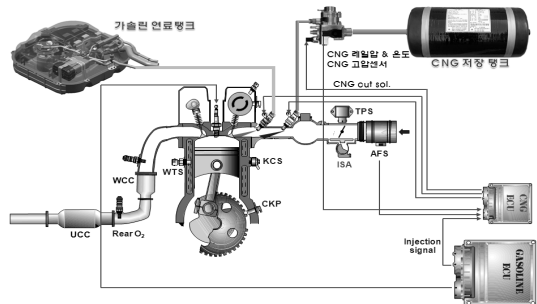


Fig. 1. Schematic diagram of CNG/Gasoline bi-fuel system.

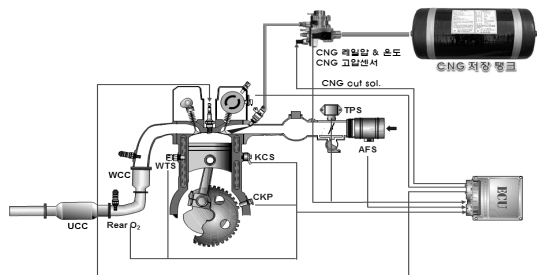


Fig. 2. Schematic diagram of CNG Mono-fuel system

Fig. 2는 CNG Mono-fuel 엔진의 시스템 개략도를 나타낸 것으로서 CNG 전소 ECU의 제어로직은 엔진의 성능과 배출가스에 영향을 미치는 흡입공기 유량 및 냉각수 온도, 스로틀포지션 개도량 등 각종 센서의 신호를 취득하여 그에 적절한 연료분사량과 점화시기를 제어하는 것을 기본로 하고 있다.

2.3. 차량 배출가스 시험

CNG 자동차의 배기특성을 최적화하기 위하여, 2리터급 가솔린자동차를 이용, 최소한의 엔진 개조를 통하여 CNG 전소 차량을 위한 연료시스템을 구축하였고, Table 1은 본 실험에 사용된 차량의 간략한 제원을 나타낸 것이다.

한편, CNG 차량의 배기특성과 CO₂ 배출특성을 분석하기 위하여 차대동력계와 배출가스 분석계를 이용하였다. CNG 차량의 시장성이 확보된 유럽과 CNG 차량의 시장성을 확보하기 위해 노력하는 개발도상국의 연비 및 배출가스 규제인 NEDC(New European Driving Cycle) 모드를 고려하여 실험을 실시하였으며, NEDC 모드상에서 각각의 제어전략에 따른 배출가스 특성 및 CO₂ 저감 효과를 비교 분석하였다.

NEDC모드는 현재의 유럽의 승용차량 및 소형화물차량의 연비 및 배출가스를 측정하기 위한 차량의 시험모드로서 Fig. 3 과 같이 Part 1의 도시 주행모드인 ECE-15모드와 Part 2의 고속주행모드인 EUDC (Extra Urban Driving Cycle)로 구성 되어 있으며, 총 주행시간은 1,180초이며, 차량의 평균속도는 Part 1과 Part 2가 각각 18.7km/h, 62.6km/h이다²⁾.

Fig. 4는 차량의 배출가스 시험을 위한 개략도를 나타낸 것으로서, 차량의 도로부하조건을 모사하기 위해 사용된 차대동력계는 AVL社의 48인치 싱글롤 타입이고, 배출가스 측정은 HORIBA社의 MEXA-7200을 사용하여 실험 중 실시간으로 배출가스 농도와 배출가스의 총량을 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 배출가스 시험결과

일반적으로 Bi-fuel차량은 서로 다른 연료특성과 연소특성으로 인하여 초저공해 자동차의 엔진제어에 적용하기에 부적합한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 가솔린과 CNG 운전 상태에서 공연비 학습 차이와 가속 시의 최적 연료량이 다른 것이 가장 중요한 변수로 작용할 것으로 판단하여, 각 연료에 대해 동일한 학습치가 되도록 하였으며 그 결과는 Table2 와 같다.

Table 1. Specification of Test vehicle

Test vehicle	NF SONATA
Model year	2006
Engine family	G4KA
Displacement	1,998cc
Fuel	Gasoline
T/M	MT 5speed
Odometer	20,000km
Tire	215/60R 16

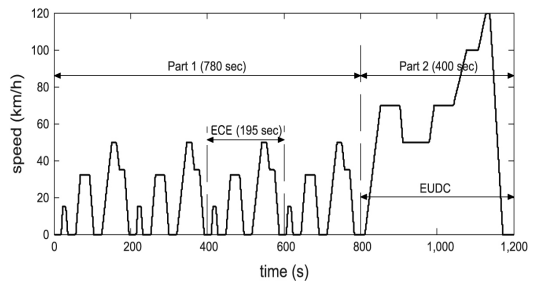


Fig. 3. NEDC mode driving patten.

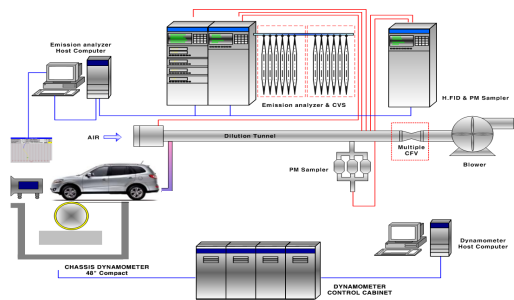


Fig. 4. Schematic diagram of vehicle emission test.



Photo. 1. Test vehicle.

Table 2. Vehicle emission test results(단위 :g/km)

	THC	CO	NOx	NMHC
Gasoline	0.024	0.428	0.008	0.021
CNG/Gasoline bi-fuel	0.039	0.348	0.015	0.022
CNG mono fuel	0.035	0.129	0.016	0.006
EURO6	0.100	1.000	0.060	0.068

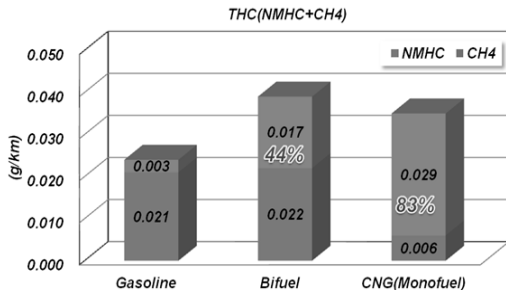


Fig. 5. Percentage of CH4 in the THC.

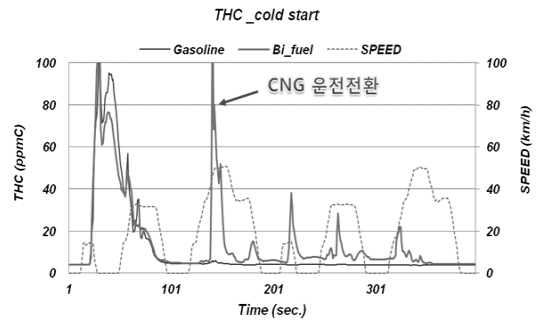
CNG 차량의 경우 Bi-fuel이나 Mono-fuel 차량 모두 개조전의 가솔린 차량 대비 THC 배출가스는 조금증가하지만, CH₄성분을 제거한 NMHC의 배출량은 Bi-fuel 차량의 경우 가솔린 차량과 대등한 수준이며, Mono-fuel 차량의 경우 현저히 저감되는 것을 볼 수 있다.

이는 CNG연료의 주성분이 CH₄(메탄)인 것에서 기인한 것임을 Fig. 5의 결과에서 알 수 있으며, CNG 전소 모드에서 CH₄(메탄)는 전체 THC배출량의 약 83%정도를 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 CO 배출가스의 경우 기존의 가솔린 차량에 비하여 현저히 개선된 것을 볼 수 있으며 EURO 6 규제를 충분히 만족하는 것을 볼 수 있다.

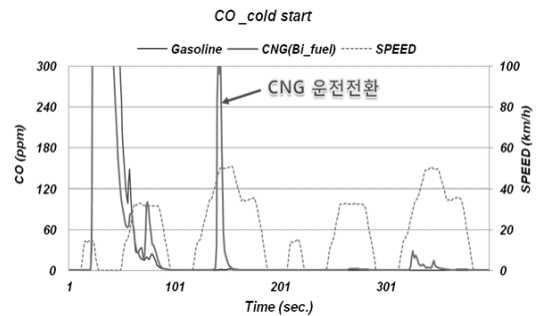
한편, NO_x의 경우는 가솔린 차량 대비 증가한 것을 알 수 있는데, 이는 가솔린 연료에 비하여 상대적으로 희박연소가 가능한 CNG연료의 특성 때문으로 판단되며, NO_x 배출량을 제어하기 위하여 λ를 농후하게 제어할 경우 연비성능을 저해하는 요인이 되기 때문에 본 연구에서는 NO_x 배출량을 EURO 6규제에 대응하는 수준에서 CO₂배출량을 최대로 개선할 수 있는 제어전략을 구사하였다.

3.2. Bi-fuel 차량의 운전전환시 배출경향

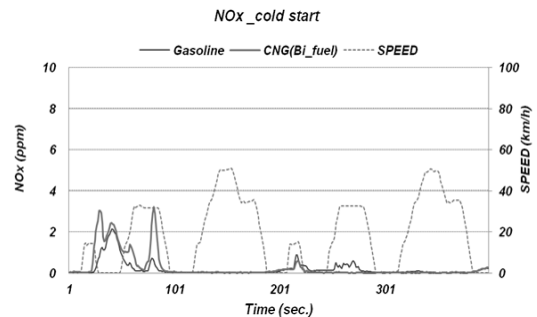
한편, Bi-fuel 차량의 경우, 엔진 냉각수 온도 40℃를 기준으로 냉간 시동시에는 가솔린, 온간안정화 구간에서는 CNG로 운전되는 전략을 구사하였다. 따



a) emission characteristics of THC



b) emission characteristics of CO



c) emission characteristics of NOx

Fig. 6. Vehicle emission characteristics of each fuel vehicles on the cold start condition.

라서 NEDC모드의 냉간시동 및 냉간 운전구간에서 발생하는 배출가스의 경향을 분석하고 이를 엔진제어전략에 반영하기 위하여 실시간 배출가스의 경향을 살펴보았으며, 그 경향은 Fig. 6과 같다.

Bi-fuel 차량의 경우 냉간시동후 냉각수 온도가 40℃에 도달하는 135초 동안은 가솔린으로 주행이 되고, 냉간시동후 135초부터 CNG로 전환이 되며, 이때 운전전환에 따른 인젝터 제어 및 연소의 불안정

으로 인하여, 다량의 CO와 THC 배출가스가 발생되는 것을 볼 수 있다. 연료분사량 제어불량으로 인한 불완전연소는 NOx의 배출보다는 CO와 THC 배출을 가중시키게 되며, 따라서 이 구간에서의 최적제어가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

한편 CNG로 전환한 후에는 안정적인 연소제어가 이루어지고 있는 것을 볼 수 있으며, 다만 THC의 경우, CNG 전환후에도 계속해서 가솔린 운전에 비해 높게 배출되는 것을 볼 수 있는데, 이는 CNG연료의 주성분인 CH₄에서 기인한 것으로 판단된다.

3.3. CO₂ 배출 시험결과

일반적으로 천연가스는 가솔린에 비하여 연료중에 탄소의 양이 매우 적으며, 특히 희박연소가 가능한 천연가스는 연소후 CO₂배출 측면에서 가솔린에 비하여 매우 유리한 것으로 알려져 있다. 이는 본 연구에서도 동일하게 나타났으며, Bi-fuel 차량의 경우 냉간 시동후 135초 동안 가솔린으로 주행을 하고, 냉간시동후 135초부터 CNG로 전환이 되어 NEDC 모드를 주행하였으며, mono-fuel 차량의 경우 시동을 비롯한 NEDC 전구간을 CNG로 주행하였다.

Fig. 7과 8은 NEDC 시험에 따른 CO₂ 배출가스의 총량과 실시간 CO₂ 배출경향을 나타낸 그래프로서

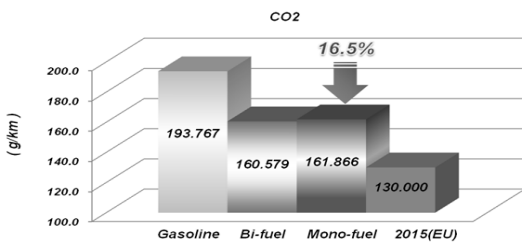


Fig. 7. CO₂ emission test results (NEDC mode).

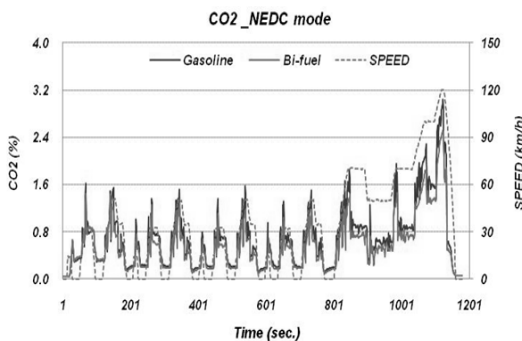


Fig. 8. Characteristics CO₂ emission (NEDC mode).

CNG 차량의 경우 가솔린 대비 약 16%이상의 CO₂ 저감 효과를 얻을 수 있었으며, Bi-fuel 차량의 경우 CNG로 전환후 가솔린 차량에 비하여 전반적으로 CO₂ 배출량이 저감되는 것을 볼 수 있다.

Bi-fuel차량과 Mono-fuel 차량의 CO₂를 비교한 결과 Bi-fuel차량의 CO₂가 약 1.3g/km가 감소되었다. 이는 Mono-fuel차량에 사용된 제어기는 아직 개발단계임에 따라 상용개발과정이 완료된 Bi-fuel 제어기 보다 아이들 시 제어조건이 불안정으로 인하여 Mono-fuel차량의 CO₂가 증가한 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 그동안 대형차량 위주로 개발보급되어 왔던 CNG자동차를 승용자동차에 적용하기 위하여, 2리터급 가솔린자동차를 이용하여 최소한의 엔진 개조를 거쳐, CNG 연료시스템을 구축하였고, 또한 초저공해 CNG엔진에 적합한 ECU제어 전략 및 최적화 작업의 수행을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) CNG 차량의 경우 개조전의 가솔린 차량 대비 THC 배출가스는 증가하지만 CH₄성분을 제거한 NMHC의 배출량은 Bi-fuel 차량의 경우 대등한 수준인 것을 알 수 있었으며, Mono-fuel 차량의 경우 현저히 개선되었다.

(2) CNG/Gasoline Bi-fuel 모드에서 CH₄는 전체 THC배출의 약 44%정도를 차지하며, CNG전소운전 시에는 83%정도를 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

(3) CNG Bi-fuel 차량의 경우 CNG로 운전 전환 시 제어 및 연소의 불안정으로 인하여, 다량의 HC와 CO배출가스가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 극초저공해 자동차의 구현을 위해서는 이 구간에서의 최적제어가 반드시 필요할 것으로 판단되었다.

(4) CNG Bi-fuel과 Mono fuel 차량으로 개조 후, 개조전의 가솔린 차량 대비 약 16%이상의 CO₂ 저감 효과를 얻을 수 있었다.

(5) 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O등의 성분이 있으며, CH₄의 경우 CO₂보다 21배나 온실효과가 강하지만, CNG Bi-fuel, Mono-fuel차량이 가솔린 차량보다 CO₂감소량이 CH₄증가량 보다 월등히 높기 때문에 친환경적인 차량으로 효과적이다.

(6) CNG차량개조를 통하여 Bi-fuel과 Mono fuel 자동차 모두 배기특성 최적화 작업을 통하여 유럽의 초저공해 자동차 배기규제인 EURO 6 배기규제를 만족할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Changgi Kim, Sunyoup Lee, "Technical Trends of Hydrogen-Blended Natural Gas Engine" KSAE, Auto Journal, Vol.32 No.7, (2010)
- [2] Soojin Jeong, Hokil Lee, "An Experimental Study on NO_x Reduction Ratio and NH₃ slip through the Optimum Injection of Urea-SCR Using Engine Map based Control in light Duty Diesel Engine", KSAE, 2009 Annual Conference, (2009)