



13L급 LNG-디젤 혼소엔진의 기초 성능 특성 연구

†이석환 · 이진욱 · 허성준* · 윤성식* · 노윤현*

한국기계연구원, *(주)템스

(2007년 10월 29일 접수, 2007년 11월 30일 채택)

Characteristics of Electronically Controlled 13L LNG-Diesel Dual Fuel Engine

†Seokhwan Lee · Jinwook Lee · Seongjoon Heo* · Sungshik Yoon* · Yunhyun Roh*

Korea Institute of Machinery and Materials, 171, Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-338, Korea

*TEMS Co. Ltd., 4-27, Doryong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-340, Korea

(Received October 29 2007, Accepted November 30 2007)

요 약

본 연구에서는 13L급 전자제어식 디젤 엔진을 혼소 엔진으로 개조하여 얻은 결과를 다루고 있다. 혼소 엔진 개조 후 차량의 출력, 연료경제성, 운전성 등을 파악하기 위하여 일정한 경로의 고속도로를 주행하였다. 개조된 차량은 최대 85%의 대체율을 가지며 500km의 거리를 혼소 모드로 주행하였다. 차량의 주행성능은 디젤 모드의 경우와 거의 동일하였으나, 추월 가속성능이 약간 떨어지는 경향이 있었다. 엔진의 최대출력, 열효율, 배기가스 측정을 위하여 차량 시험과는 별도로 엔진 시험도 동시에 수행하였다. ND-13 모드에서 배출가스 배출량 측정 실험을 수행한 결과, 산화촉매를 장착한 혼소모드에서의 배출가스 배출량은 디젤모드에서와 출력은 동일하게 유지하면서 K2006 규제를 만족함을 알 수 있었다.

Abstract – The trailers with electronically controlled diesel engine was converted to dual fuel engine system. To estimate economical efficiency, test vehicles have been operated on a certain driving route repeatedly. Fuel economy, maximum driving distance per refueling and driveability are examined on the road including a free way. Developed vehicle can be operated over 500 km with dual fuel and shows 85% of diesel substitution ratio. Driveability is similar with but passing acceleration. It will be improved by calibration process. Test engine was set up for investigating power output, thermal efficiency and emission. ND 13-mode tests were performed for the test cycle. The emission result of dual fuel meets K2006 regulation and the engine performance of dual fuel engine was equivalent to the performance of diesel engine.

Key words : Dual fuel, MPI injection, electronic control unit, fuel economy, emission, substitution ratio

I. 서 론

자동차 연료로서의 천연가스는 풍부한 매장량 및 청정성으로 경제성과 저공해성을 모두 갖춘 연료이며, 특히 고옥탄가와 넓은 연소한계 그리고 낮은 미연탄화수소 배출특성, 지구 온난화 물질인 이산화탄소 배출 저감 등의 특성을 가지고 있다. 또한, 디젤엔진과 가솔린 엔진 모두에 적용이 가능한 우수한 연소 및 배출특성을 가지므로 세계적으로 강화되는 자동차 배출가스규제에 능동적으로 대처 할 수 있는 가장 현실적인 대체 연료라 할 수 있다[1,2]. 2000년대 들어서면서 선진국

에서는 자동차 배출가스 규제를 점차 강화하고 있는 추세이며, 국내에서는 수도권 대기환경개선에 관한 특별법이 제정되면서 국내 배출가스 규제는 더욱더 엄격해지고 있다. 이에 따라 저공해자동차에 대한 욕구 증대와 대기오염의 증가, 그리고 수송에너지의 다원화 정책으로 천연가스자동차의 수요가 최근 더욱 높아지고 있다. 따라서 현재 국내에서 운행 중인 경유자동차에 대해서 매연저감장치의 장착 또는 저공해 자동차로의 개조를 요구하고 있다. 대형 경유자동차의 저공해 자동차로의 전환방법 중 대표적인 것이 천연가스자동차이다. 경유자동차를 천연가스자동차로 개조하기 위한 방법으로는 전소방식과 혼소방식으로 나뉜다. 대형 경유자동차의 개조시장을 고려할 때 전소방식에서의 개조는 엔

†주저자:shlee@kimm.re.kr

진에 대한 개조 범위가 넓을 뿐만 아니라 충전시설이 열악한 상황을 가지고 있기 때문에 대형 경유자동차의 저공해 자동차로의 개조는 혼소엔진 시스템을 적용하는 것이 현실적이다[3,4]. 혼소엔진 시스템의 경우 디젤 엔진의 모든 시스템을 유지한 상태에서 천연가스 시스템만을 추가함으로써 개조범위가 좁다. 또한 천연가스가 소진되었을 때 경유만을 이용하여 운행이 가능하므로 충전시설의 열악한 환경을 극복할 수 있다. 장거리 운행을 주로 하는 대형경유자동차의 경우 운행거리를 고려했을 때 CNG 보다는 LNG를 적용하는 것이 바람직하다[5].

본 연구에서는 기존 전자제어식 디젤엔진을 기본으로 하여 dual-fuel 연료제어시스템을 구성하고 엔진구동을 위한 인젝터 드라이버, ECU 등의 하드웨어를 제작하였으며 이를 구동하기 위한 알고리즘 및 소프트웨어를 개발하였다[6]. 이와 같이 개조한 혼소엔진의 실제 차량 주행성능과 ND-13 모드에서의 배출가스 배출특성을 살펴보았다.

II. 실험장치 및 구성

2.1. 실험엔진

본 실험에서는 국내 H사에서 개발한 13L급 POWERTEC 디젤엔진을 사용하였다. 이 엔진은 터보차처가 부착된 대형엔진으로 전자적으로 시스템이 제어된다. 전자제어식 유닛인젝터 (EUI) 시스템을 장착하고 있으므로 엔진회전수와 상관없이 디젤 분사량과 분사시기를 전자제어적으로 제어할 수 있다[7]. 엔진의 주요 제원은 Table 1과 같다.

2.2. 혼소엔진 개조

대형디젤엔진을 혼소엔진으로 개조한 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 천연가스는 LNG 저장용기에서 공급되는데 대형트럭에서는 단위체적당 연료저장량을 고려하면 LNG 상태의 연료를 사용하는 것이 적합하다. 연료 구성 장치는 연료공급 포트, 천연가스 인젝터, 인젝터 블록, 연료 이송라인, 고압 레귤레이터, 센서 등으

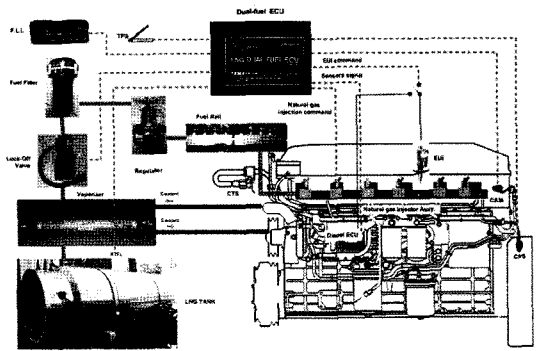


Fig. 1. Schematic diagram of LNG-diesel dual fuel engine system.

로 구성되며 실차 탑재를 고려하여 주변 장치와의 간섭 없도록 하였으며 디젤연료시스템의 변경 없이 독립적으로 장착되도록 하였다. 천연가스 인젝터 및 인젝터 블록은 어셈블리로 구성되어 6개의 인젝터가 직렬로 고정브라켓에 장착되며 고정브라켓은 엔진 측면에 천연가스 공급레일과 함께 장착되도록 하였다. 천연가스는 레귤레이터를 통해 약 8 bar로 감압되어 연료레일에 공급되어 각 인젝터로 천연가스를 공급하게 된다. 탱크로부터 연료를 공급받는 레일에는 연료온도센서와 연료압력센서를 장착하여 연료의 온도 및 압력에 따른 밀도 변화를 감지할 수 있도록 하였다. 천연가스공급포트는 엔진의 흡입매니폴드 형상을 고려하여 천연가스 인젝터와 별개의 분사노즐을 설계·제작하여 흡입 매니폴드내에 각 실린더별로 장착하였으며 흡기밸브 전단까지 삽입되도록 하였다. 천연가스분사노즐은 8.2 bar의 연료압력, 듀티 100%조건에서 천연가스 인젝터가 분사하는 연료량을 간섭 없이 분사될 수 있도록 노즐을 설계하였다. 각 연료포트와 인젝터간의 연료 이동거리를 동일하게 하여 실린더별 연료 공급 시간 편차를 제거하였고 연료 이송거리를 최소화 하도록 하였다. 각 실린더별 K-type 온도센서와 람다(Lambda) 센서를 장착하여 배기온도와 공연비 확인을 통해 분배특성을 확인할 수 있도록 하였다.

III. 실험결과

3.1. 차량 운전 시험

혼소모드 운전시 LNG 일회 충전으로 주행가능거리, 연료경제성, 주행성능, 개조 엔진의 안정성 등을 측정하기 위하여 실제 필드에서 차량 운전 시험을 실시하였다. 모든 시험결과는 디젤 운전에서의 결과와 비교하였다.

Table 1. Base diesel engine specifications

Specifications	Resources
Displacement	12,340 cc
Max. Power	440 ps@1800 rpm
Max. Torque	200 kgf·m@1200 rpm
Bore×Stroke	130×155 mm
Compression ratio	17:1

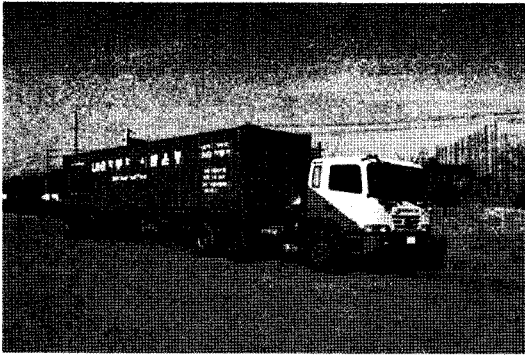


Fig. 2. POWERTEC 410 ps test truck.

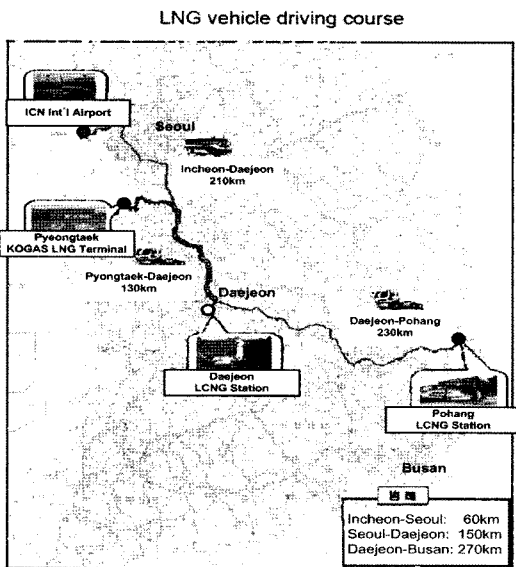


Fig. 3. Test route of POWERTEC 410 ps truck.

시험차량은 410마력 POWERTEC 엔진을 장착한 6×4형 트레일러 차량으로 지난 5년간 디젤 모드로서 해안 부근을 200,000 km 주행하였다. 430l 용량의 HLNG 119 탱크를 장착하였으며 20톤의 모래를 컨테이너에 적재하여 차량의 총 중량을 30톤으로 맞추었다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 시험차량을 나타내고 있다. 현재 국내에서는 평택, 대전, 포항의 3군데에 LNG 충전소가 있다. 본 연구를 수행하는 연구기관이 대전에 위치하고 있으므로 충전 편의를 위하여 Fig. 3과 같이 대전-평택간 국도를 주행하면서 시험을 수행하였다. 시험 차량은 매일 250 km의 거리로 2006년 5월부터 총 22,000 km를 주행하였다. 차량 시험 주행에서 먼저 혼소운전 모드와 디젤 운전 모드시 연료경제성을 측정하였다. Table 2에서의 결과를 살펴보면 85%의 대체율 조건에서는 혼소 운전시 디젤에 비해 37% 정도

Table 2. Fuel economy results.

		Diesel	Dual-fuel
Fuel economy (km/l)	LNG	-	1.58
	Diesel	2.54	16.9
Sub. ratio (%)		-	85

Table 3. Driveability test results.

	Diesel	Dual-fuel
Departure (0→400 m)	34.6s	34.6s
Passing (60→70 KPH)	10.5s	15.5s
Slope (10%, 0→400 m)	42.5s	45.1s
Tip in-out	Good	Good
Surge	No	No
Switching shock	-	No

의 비용 절감이 가능하다.

대전 대덕특구단지 부근의 도로에서 차량 주행 성능 시험을 수행하였다. 시험의 정확도를 위하여 세 번 이상 시험을 수행하였다. 디젤모드와 혼소모드에서의 결과값을 Table 3에 나타내었다. 혼소 모드에서의 차량은 추월 가속 성능을 제외하고는 디젤 모드에서와 거의 동일한 성능을 나타내었다. 혼소 모드시 노킹방지를 위하여 디젤 파일럿 분사 시기를 지각한 것이 1600-1800 rpm에서의 출력저하를 가져온 것이라 판단된다.

3.2. 엔진 시험

특정한 운전 조건에서 엔진 성능, 배출가스 배출특성, 열효율 등을 파악하기 위하여 엔진 벤치 시험을 수행하였다. 엔진시험은 4가지 엔진회전수(idle, 1280, 1495, 1795 rpm)와 4가지 엔진부하(24, 50, 75, 100%)의 조건을 가지는 ND-13 모드에서 수행되었다. 먼저 디젤 모드에서 엔진 시험이 수행되었고 이 결과를 혼소모드에서 수행된 결과값과 비교하였다. THC, NOx, CO 등의 배출가스 및 배출가스 온도, 흡입공기량, 연료소모율, 토크값, 공연비, 디젤 분사시기 및 분사량, 천연가스 분사시기 및 분사량 등을 측정하였다. 저부하에서 THC가 다량 배출되므로 산화촉매를 설치하여 배출량을 저감하고자 하였다. Fig. 4는 디젤엔진은 베이스로 개조한 혼소엔진을 나타낸 그림이다.

Fig. 5는 전부하 조건에서 디젤모드와 혼소모드 운전시 출력과 토크값을 비교한 것이다. 혼소모드로 운전할 때 노킹발생 억제를 위하여 디젤 파일럿 분사시기를 10° CA 정도 지각하게 되므로 최대출력이 디젤모드에 비해서 약간 낮게 나오는데, 이는 최대 차이가 5% 이

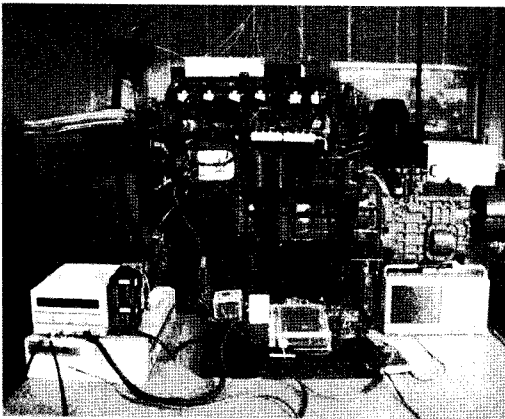


Fig. 4. LNG-diesel dual fuel engine.

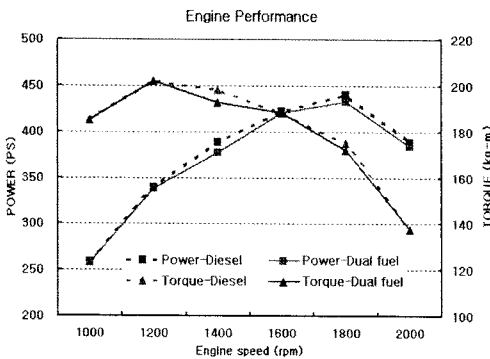


Fig. 5. Results of engine performance.

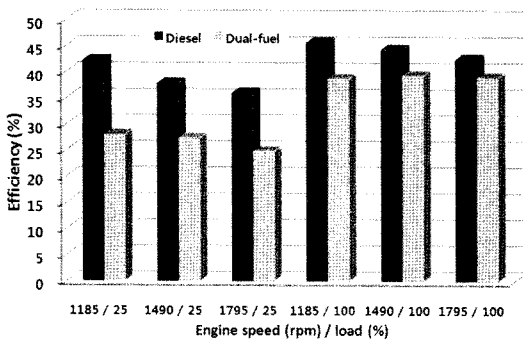


Fig. 6. Result of thermal efficiency.

내로 목표 수준 내에 있다.

Fig. 6은 여러 엔진회전수, 부하조건에서의 열효율을 비교한 것이다. 고부하조건에서는 디젤모드와 혼소모드에서 열효율이 큰 차이가 없지만 저부하조건에서는 혼소모드에서의 열효율이 매우 낮다. 이것은 저부하 조건에서 혼소모드로 연소시 불완전연소가 일어날 수 있으며 밸브오버랩이나 과도한 가스 분사로 인한 연료손실이 원인이 될 수 있다.

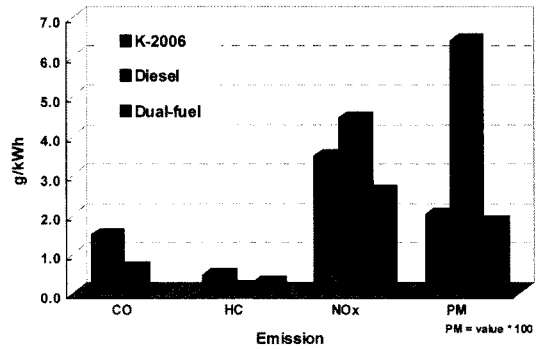


Fig. 7. Result of emission result.

Table 4. ND-13 mode emission test results.

	THC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
K-2006	0.48	1.50	3.50	0.020
Diesel Base	0.14	0.66	4.46	0.084
LNG Dual-fuel	0.28	0.08	2.57	0.018

ND-13모드는 경유 및 가스(NG, LPG)를 연료로 사용하는 대형자동차의 배출가스를 측정하는 방법으로 자동차의 기관만을 동력계에 설치하여 시험한다. 본 연구에 사용되는 베이스 엔진이 디젤 엔진이므로 ND-13 모드에서 배출가스 배출량을 측정하였다. 현재 국내에서 적용되는 배출가스 규제는 K-2006으로 유럽의 Euro-4 규제와 동일하다. 본 시험에 사용된 베이스 디젤 엔진은 Euro-3 규제를 만족시키는 엔진으로써 혼소 엔진으로 개조한 엔진이 K-2006 규제를 만족시킨다면 엔진 개조로 인하여 친환경성을 확보하였다고 할 수 있다.

Table 4에서는 국내 배출가스 규제인 K2006과 ND-13 모드 시험에서 디젤모드, 혼소모드 운전시 배출되는 배출량을 나타내었으며, 이 결과치를 Fig. 7에 그래프로 표현하여 비교해 보았다. 본 연구에서는 NMHC와 CO의 저감을 위하여 산화촉매를 장착하였는데, NMHC는 기준치의 98% 수준으로 규제를 만족하였는데 혼소모드 연소시 희박한 연소 환경으로 인한 연소 효율의 저하가 NMHC 발생의 주원인이다. CO는 촉매의 정화효율이 99%에 이를 정도로 매우 높아서 거의 배출이 되지 않았다. 혼소엔진은 NOx 배출량의 저감이 큰 장점으로 알려져 있으며 본 연구에서도 46%에 이르는 저감율을 보여주었다.

VI. 결 론

본 연구에서 13L급 전자제어식 혼소 엔진 시스템이

가지는 경제성과 출력성능, 배출가스 배출특성을 살펴 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 차량 주행 시험 결과, 혼소모드로 운전시 일반 디젤 모드 운전에 비해 37%의 비용 절감이 가능함을 알 수 있었다.

2) 이때, 일반 주행성능은 디젤 모드 운전시와 유사하였으며 추월 가속 성능이 저하되었다. 이는 향후 천연가스 분사량을 증가하여 향상시킬 수 있을 것이다.

3) ND-13 모드에서 배출가스 배출량 측정 실험을 수행한 결과, 산화촉매를 장착한 혼소모드에서의 배출가스 배출량은 디젤모드에서의 출력은 동일하게 유지하면서 K2006 규제를 만족함을 알 수 있었다.

4) 혼소모드에서의 열효율은 고부하 운전시 디젤엔진과 비슷할 정도로 고효율을 보이지만 저부하 조건에서는 열효율이 상당히 낮다. 이것은 불완전 연소 및 밸브 오버랩 그리고 과다한 가스 분사로 인한 연료손실 등에 기인한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대덕특구지원사업인 “LNG-디젤혼소엔진용 전자제어식 인젝터의 구동성능 평가” 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

[1] Christophe S. Weaver and Sean H. Turner, “Dual

- Fuel Natural Gas/Diesel Engines: Technology, performance, and Emissions”, SAE 940548, (1994)
- [2] Paul Norton, Mike Frailey, Nigel N. Clark, Donald W. Lyons, Mridul Gautam, J. Mckinley Addy, and N. John Beck, “Chassis Dynamometer Emission Measurements form Trucks and Buses using Dual-Fuel Natural Gas Engines”, SAE 1999-01-3525, (1999)
- [3] N. John Beck, Robert L. Barkhimer, William P. Johnson, Hoi C. Wong, and Kresimir Gebert, “Evolution of Heavy Duty Natural Gas Engines-Stoichiometric, Carbureted and Spark Ignited to Lean Burn, Fuel Injected and Micro-Pilot”, SAE 972665, (1997)
- [4] Kresimir Gebert, N. John Beck, Robert L. Barkhimer, and Hoi-Ching Wong, “Strategies to Improve Combustion and Emission Characteristics of Dual-Fuel Pilot Ignited Natural Gas Engines”, SAE 71712, (1997)
- [5] J. Mckinley Addy, Avtar Bining, Paul Norton, Eric Perterson, Kevin Campbell, and Oreste Bevillaqua, “Demonstration of Caterpillar C10 Dual Fuel Natural Gas Engines in Commuter Buses”, SAE 2000-01-1386, (2000)
- [6] Yoon, S.S., S.J. Heo, Y.H. Roh, H.N. Kim, and B.C. Choi, “Control System for LNG Dual-Fuel Natural Gas Engine”, KSAE 06-s0305, pp. 1910-1915, (2006)
- [7] Jeon, Y.J., S.I. Kim, S.I. Park, J.S. Kim, K.H. Choi, and J.H. Jin, “Thermal Load in a Heavy Duty Diesel Engine with EUI System”, SAE 2002-010-0492, (2000)