

12리터급 경유엔진을 개조한 LNG혼소 화물자동차의 경제성 분석

한정옥[†] · 채정민 · 이종성 · 홍성호

한국가스공사 연구개발원

(2010년 6월 8일 접수, 2010년 11월 18일 수정, 2010년 11월 21일 채택)

Economical Evaluation of a LNG Dual Fuel Vehicle Converted from 12L Class Diesel Engine

Jeong Ok Han[†], Jung Min Chae, Jung Sung Lee, and Sung Ho Hong

R&D Division, Korea Gas Corporation

(Received 8 June 2010, Revised 18 November 2010, Accepted 21 November 2010)

요 약

12 리터급 경유엔진을 개조한 LNG 혼소엔진에 대해 출력, 연비 및 배출가스등의 성능을 평가하였으며 이를 바탕으로 LNG혼소 화물 자동차의 경제성을 분석하였다. 출력은 경유엔진에 비해 5% 정도 낮은 수준으로 평가되었으며 엔진효율은 경유의 경우 37.4%, LNG혼소의 경우 35.9%로 경유엔진의 경우가 다소 높게 나타났다. 배출가스는 탄화수소를 제외하고 PM, NO_x, CO 및 CO₂는 LNG 혼소의 경우가 낮은 특성을 보였다. 경제성 비교를 위해 연료비용과 환경비용 관점에서 각각 분석하였으며 유가보조금 및 할인을 고려할 경우에도 LNG 혼소 화물차의 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

주요어 : LNG 혼소엔진, 연비, 연료경제성, 배출가스, 출력

Abstract— It was measured engine power, specific fuel consumption and exhaust emissions to analyze fuel economy between LNG dual fuel vehicle and base diesel one. The tested LNG dual fuel engine is converted from diesel engine having 12 liter heavy duty class. The power of LNG dual fuel engine is 5% lower than diesel one and the engine efficiency is also lower than diesel case. However the exhaust emission of diesel engine such as PM, NO_x, CO and CO₂ showed higher than that of LNG dual fuel case except NMHC component. And economical analysis were carried out two cases for an aspect of fuel economy and environmental benefit. As a result, LNG dual fuel vehicle gives some economic benefit to whom both business party and public side respectively though considering the subsidy and price discount for diesel.

Key words : LNG dual fuel engine, specific fuel consumption, fuel economy, emission, power

1. 서 론

자동차는 국내 교통수단 분담율의 60%를 차지하고 국내총생산의 약 5%를 차지하며 전체 에너지소비

량의 21%를 차지하는 등 단일 용도로 매우 큰 시장을 형성하고 있다. 다가올 수소경제 시대에는 화석연료의 의존도를 줄이고 친환경을 추구하지 않으면 에너지 안보 문제는 물론 국가경제에 큰 타격을 줄 것으로 예상된다. 친환경 교통수단으로의 전환을 위해 기존의 탄소배출비율이 높은 석유계 연료에서 LNG(액화천연가스)와 같은 저탄소 연료로의 전환을 유도하여 저탄소 녹색성장에 일조하며 에너지 소비 및 온

[†]To whom corresponding should be addressed.
Korea Gas Corporation, 638-1 Il-dong, Sangnok-gu, Ansan-si,
Gyeonggi-do
Tel : 031-400-7531; E-mail : johan@kogas.or.kr

실가스 배출을 최소화할 필요가 있다.

LNG혼소 화물자동차는 현재 국내에 보급되어있는 CNG(압축천연가스) 자동차와는 달리 1회 충전으로 600 km(450리터 용기 1개 기준) 이상 운행이 가능하다. 그리고 기존 CNG자동차와 마찬가지로 천연가스를 연료로 사용하기 때문에 대기오염물질의 배출이 적고 미세먼지 배출은 거의 없다. 또한, 연료비가 기존 경유의 70%정도 수준으로 경제적이다. 본 논문에서는 경유엔진을 개조한 LNG혼소 엔진의 성능을 평가하고 LNG 혼소 화물자동차에 대해 경제성 및 환경성 등 효과를 분석하여 보급정책에 활용될 수 있는 자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험 엔진 및 성능평가 장치

2-1. 실험대상 엔진

LNG혼소 화물차는 LNG를 주 연료로 사용하며 경유는 점화원의 기능 및 저 부하 조건에서 연료로 사용된다. 실험엔진은 12리터급 대형엔진으로 운행중인 경유엔진을 개조하여 LNG 혼소로 운전되는 엔진과 개조전 상태의 경유엔진을 대상으로 하였다.

LNG혼소엔진의 구성부품으로는 LNG 연료탱크, LNG 기화기, LNG 레귤레이터, LNG 인젝터, 혼소 ECU 등이 있다. 액화상태인 LNG는 엔진냉각수로 기화시켜 가스 상태로 되고 연료필터에서 각종 이물질이 걸러지며 레귤레이터를 거치면서 엔진에서 요구하는 압력으로 조절된다. 조절된 천연가스는 연료레일을 거쳐 각 기통별로 인젝터를 이용하여 흡기매니폴드의 런너 상으로 분사하게 되며, 분사시기와 분사시간 등은 혼소 제어장치를 이용하여 제어한다. 운전모드에 따라 경유와 LNG의 적절한 분사량과 분사시기가 중요한 제어변수가 된다. Table 1은 실험에 사용된 엔진 제원이다.

2-2. 성능평가 장치

LNG 혼소엔진의 성능자료는 교통안전공단 자동차 성능연구소의 실험 장치에서 수집하였으며 Fig. 1에 실험장치 개요를 도시하였다. Table 2에 주요 성능측정 장비 및 분석기 제원을 정리하였다.

2-3. 성능평가 방법

엔진 출력 성능 측정은 국토해양부 고시 『자동차안

Table 1. 시험대상 엔진 주요제원

구 분	제 원
엔진형식(제작사)	D6CB(현대)
배기량(cc)	12,344
최대 출력(ps/rpm)	440/1,800
압축비	17.2:1
사용연료	경유 vs LNG 혼소
배출가스 수준	Euro-3

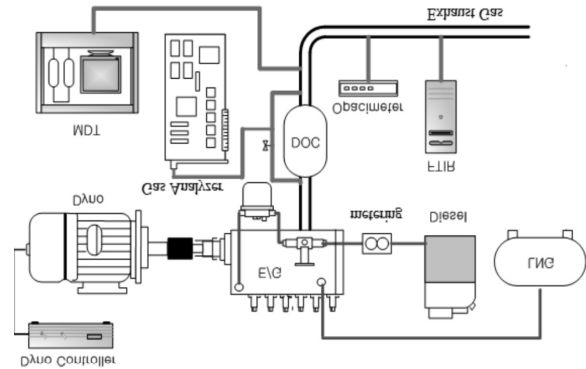


Fig. 1. 엔진 성능평가를 위한 실험장치

Table 2. 주요 엔진성능 측정장비 제원

분석기명	규격(모델)	제작사
엔진동력계	모델 : HD460	호리바에이티에스(독일)
배출가스 분석장비	MEXA 7500D EGR : CO, CO ₂ (NDIR), HC(FID), CH ₄ (FID), NOx(CLD)	호리바(일본)
입자상물질 측정장비	SPC 472	AVL(오스트리아)
연료 및 공기 유량	경유: Radial Piston Flowmeter LNG: 5863E 공기: Laminar Flow Meter	Max Machinery Brooks Instrument Meriam

전기준 시행세칙』 별표 1의 23 “원동기출력 시험방법”에 따라 수행되었다. 또한 엔진 배출가스 측정은 환경부 고시 『제작자동차 배출허용기준·소음허용기준의 검사방법 및 절차에 관한 규정』 별표 3의 2 “ND-13모드 측정방법”에 따라 측정되었다.

3. 성능측정 결과

개조된 LNG 혼소엔진과 기존의 경유엔진에 대해 출력, 연비 및 배출가스 성능을 비교하였다.

3-1. 엔진출력

Fig. 2에 비교한 바와 같이 개조후 LNG 혼소 조건이 경유 엔진의 출력에 비해 5%이내의 출력차이를 보였다. 여기서 출력이 경유조건보다 5% 이내로 낮게 나타난 이유는 현행 자동차의 구조변경검사 기준이 ± 5% 이내로 제한되어있고 개조에 따른 엔진 내구성을 확보하기위해 제작사에서 이 범위 이내로 튜닝하였기 때문이다.

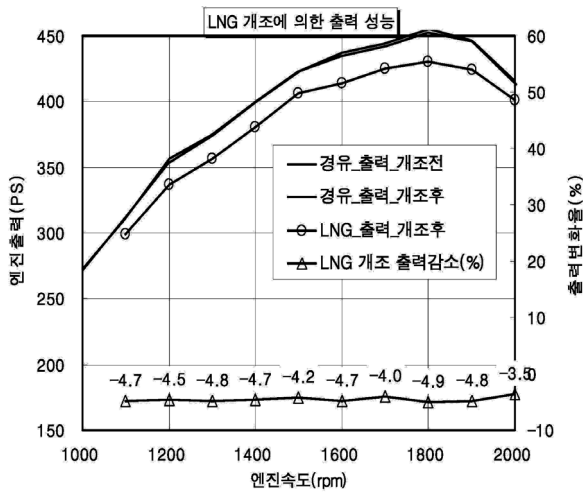


Fig. 2. 엔진출력성능 비교

3-2. 연료소비량

연료소비량은 배출가스 측정과 동일한 ND-13모드 시험조건에서 단위 동력당 사용된 연료를 측정하였다. 경유엔진과 LNG혼소 엔진의 연료소비량 결과를 Table 3에 비교하였다. 에너지사용량 비교를 위해 연료소비량에 연료원별 발열량을 적용하여 열량소비량을 계산하였으며 이 결과로부터 엔진효율을 각각 구하였다. 즉, 1 kWh의 동력(860 kcal)을 얻기 위해 경유엔진의 경우 2,304 kcal를 소비하였으므로 경유엔진의 효율은 37.4%이며 LNG 혼소의 경우 35.9%로 평가되었다. 일반적으로 경유엔진의 효율이 35~40%, 가솔린 엔진이 30~35% 임을 고려하면 혼소엔진의 경우 가솔린 엔진보다 높은 효율을 갖는 것을 알 수 있다.

3-3. 연비

연비는 자동차의 연료 경제성을 분석하기위해 필요한 자료로 동급엔진의 실차주행연비를 화물운송업체의 실적자료를 이용하였다. 즉, 실제 40톤 경유 트레일러는 1리터로 2.4 km를 주행하는 것으로 조사되었으며 이를 기준으로 Table 3의 연료소비량 자료로부터 LNG 혼소자동차의 연료별 연비를 구하였다. Table 4에서 보는바와 같이 LNG 혼소의 경우 경유 1리터로 8.49 km를 주행하고 LNG는 1 Nm³에 3.52 km를 주

Table 3. 연료소비량 및 엔진효율 비교

구 분	연료소비량(g/kWh)		열량소비량(kcal/kWh)			효율 (%)
	경유	LNG	경유	LNG	합계	
경유엔진	223.6	-	2,304	-	2,304	37.4
LNG혼소	63.2	148.7	651	1,747	2,398	35.9

*연료원별 발열량(저위기준): 경유(10,305 kcal/kg), LNG(11,750 kcal/kg)

Table 4. 연비 결과 비교

구 분	경유	LNG
	km/L	km/Nm ³
경유화물차	2.4*	-
LNG혼소자동차	8.49	3.52

*자료: 40톤 트레일러(25톤 적재중량)의 평균 주행연비(국내 A사)

Table 5. 실험엔진 배출가스 시험결과(g/kWh)

구 분	경유엔진	LNG혼소엔진	EURO3 허용기준	저감률(%)
CO ₂	719.4	633.9	-	12
NMHC	0.200	0.343	0.660	-71
CO	0.800	0.345	2.100	57
NOx	5.03	4.50	5.00	11
PM	0.090	0.056	0.100	38

행하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 연료 경제성 분석을 위해 일정거리를 기준으로 설정할 경우 각각의 연료사용량을 산출할 수 있다.

3-4. 배출가스

엔진 배출가스 측정은 동일 제원의 엔진에서 개조전 경유조건과 개조후 LNG혼소 조건에 대해 각각 결과를 도출하였기 때문에 엔진 개조에 따른 영향을 비교하는데 적합한 자료이다. 성분별 배출가스 결과를 Table 5에 비교하였다. 저감률은 경유엔진의 배출가스를 기준으로 LNG혼소엔진의 저감비율을 나타낸 것이다.

경유와 LNG혼소화물자동차의 배출가스 저감률을 분석한 결과 NMHC는 약 71% 증가하는 특성을 보이고 있으나 CO₂는 12%, CO는 57%, NO_x는 11%, PM은 38% 감소하는 것으로 나타나고 있다.

4. LNG혼소화물자동차의 경제성분석

4-1. 산출기준

LNG혼소화물자동차의 경제성을 분석하기 위해 연료비용 측면과 환경비용 측면으로 구분하고 Table 6

의 산출기준을 적용하였다. 연간 배출가스 배출량을 계산하기위해 연간 사용동력을 산출할 필요가 있다.

연간사용동력은 연간주행거리인 120,000 km 주행시 사용된 동력으로 ND-13모드를 기준으로 측정된 연료소비량을 이용하였다. 즉, 25톤 경유화물자동차(적재중량 기준)의 평균연비인 2.4 km/L를 기준으로 연간 연료사용량(50,000 L)을 구하고 경유밀도(0.82 kg/L)를 적용하여 연간 경유사용량(41,000 kg)을 구하고 이를 경유엔진의 연료소비량(223.6 g/kWh)로 나누어 줌으로서 연간사용동력을 산출하였다. 이 결과는 엔진의 효율이 고려된 것이며 배출가스 연간 배출량 계산에 이용될 수 있다.

한편 환경비용 산출은 배출가스 배출량에 환경비용을 곱하여 산출하였으며 환경비용은 UNEP와 KAIST 및 IPCC에서 제시한 Table 7의 자료를 적용하였다. 즉, 배출가스의 환경비용 = 배출량 × 성분별 환경비용이며 배출가스는 NO_x, PM, CO, HC와 CO₂를 고려하였다.

4-2. 경제성 분석결과

LNG혼소화물자동차 보급시 해당 사업자와 정부가 얻을 수 있는 편익을 분석하면 Table 8에 정리한 바

Table 6. 경제성 산출을 위한 기준

항 목	적용기준	비고
연료비	경유(1,450원/L), LNG(826원/Nm ³)	2009.10월 소비자 가격
유가보조금 및 연료비 할인	경유 유가보조금(338원/L), 대량소비자 할인(100원/L)	경유연료에 적용
연간 주행거리	120,000 km	
연간 사용동력	183,363 kWh	

Table 7. 각종 배출가스의 환경비용

배출가스	대기오염의 사회적 한계비용(원/kg)	위해도 지수(SO ₂ 기준)	자료
먼지(PM)	33,628	2.91	UNEP
NO _x	11,567	0.89	UNEP
HC(NMHC)	9,949	0.86	KAIST
CO(COL)	8,932	0.74	KAIST
CO ₂	32,942원/ton	-	IPCC

환율: 미국 달러 1,187.50원/USD, 유로 1,743.84원/EUR (2009,9월)

Table 8. LNG혼소화물자동차의 보급 효과(VAT 포함)

(단위: 천원/대,년)

구 분		경유화물차	LNG혼소차	차액
사업자	유가보조+할인 제외	72,500	48,654	23,846
	유가보조+할인 적용	50,600	42,463	8,137
정부	환경 비용	17,248	14,903	2,345
	유가보조금	16,900	4,776	12,124
	소 계	34,148	19,679	14,469

와 같이 유가보조와 할인을 받지 못하는 사업자의 경우는 연간 23,846천원의 절감효과가 기대되고 유가보조와 할인을 받는 사업자의 경우 8,137천원의 절감효과가 기대된다.

한편 정부가 얻을 수 있는 효과로는 유가보조금 절감효과와 환경비용에 의한 효과를 고려할 수 있으며 그 규모는 연간 14,469천원으로 분석된다.

5. 결 론

LNG화물자동차 보급시 기대되는 효과를 운송사업자 측면에서의 연료비의 경제성뿐만 아니라 정부측면의 편익으로 환경비용과 유가보조금 측면에서 분석하였으며 주요내용은 다음과 같다.

- (1) LNG 혼소화물차의 연료비 경제성은 자동차 성능 시험기관에서의 엔진성능 평가 자료를 분석한 결과 ND-13모드 시험조건에서 LNG 혼소화물차의 엔진 효율은 경유엔진에 비해 1.5% 감소한 35.9%를 나타냈으며 전체 엔진회전수 영역에서 최대 출력은 5% 이내로 유지되었다. 이러한 결과는 LNG 혼소엔진의 내구성을 고려한 것이며 중 저부하의 사용조건인 경우 경유엔진과 동등한 출력을 얻을 수 있다.
- (2) LNG 혼소화물자동차의 보급에 따른 환경성 분석결과 경유화물자동차에 비해 대기오염 물질이 NMHC를 제외하고 모두 감소하였으며 연간 배출량 감소율은 PM -38%, NOx -10%,

CO -56%, CO₂는 -12% 감소되고, NMHC의 경우는 71%증가하였지만, 모두 자동차 등록당시의 허용기준인 EURO3기준에 부합하는 것으로 분석되었다.

- (3) LNG 혼소화물자동차의 보급효과는 연료비 절감에 따른 사업자측면의 효과와 유가보조금과 환경 비용등 정부측면의 효과로 구분할 수 있으며 분석 결과 유가보조를 받지 않는 운송사업자는 연간 23,846천원의 수익성이 개선되는 효과가 있으며 유가보조를 받는 사업자의 경우는 8,137천원의 수익 효과가 예상된다. 한편 정부 측면에서도 약 14,469천원의 편익이 발생하는 것으로 나타난다. 이러한 결과는 LNG화물차 보급 사업이 사업자 측면과 정부측면에서 모두 상당한 효과가 있음을 보여주는 것이다.

참고문헌

1. 보고서, LNG 혼소화물차 성능기준 및 효과분석 연구, 한국가스공사, 2009.
2. KAIST, “청정연료 사용지역내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한 연구”, 1998.
3. A. Markandya, “Economics of Greenhouse Gas Limitations: The Indirect Costs and Benefits of Greenhouse Gas Limitations”, UNEP, 1998.
4. 한정옥, 국내외 수송에너지 현황 및 천연가스자동차의 비전, 가스연맹, 2009 겨울호, 22-28.
5. 한정옥, 채정민, 이중성, 홍성호, 디젤엔진에서 전환된 LNG혼소 엔진의 연료경제성, 한국에너지공학회 춘계학술발표회, 2010, 54-58.