

디젤엔진에서 전환된 LNG혼소 엔진의 연료경제성

A Comparison of Fuel Economy of LNG Dual Fuel Engine Converted from Diesel Engine

한정옥, 채정민, 이중성, 홍성호
한국가스공사 연구개발원

1. 서론

국토해양부는 '08년에 LNG 화물차 시범보급을 추진하였으며 시범보급 결과를 토대로 향후 본격적으로 보급될 예정이다. LNG 혼소기술은 기술적 난이도가 높은 기술로 초기 LNG 충전 인프라가 부족한 상태에서 기존 CNG 자동차의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다. 현재 국내 LNG혼소의 경우 상용화 시작단계이며 LNG차량 보급을 위한 인프라 구축이 아직 미흡한 실정이다.

본 과제는 시범보급중인 LNG혼소 화물자동차의 성능을 평가하고 정부의 지원 사업 시행시 필요한 성능기준을 제시하여 본사업이 추진될 수 있는 기반을 조성하고자 하였다. 또한 실제 운행중인 LNG 혼소 화물자동차에 대해 경제성 및 환경성 등 종합적인 자료를 확보하여 향후 본격적인 보급을 위한 정책에 활용될 수 있는 자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험대상 엔진 및 실험장치

1) 실험대상 엔진

LNG혼소자동차의 구성부품으로는 LNG 연료탱크, LNG 기화기, LNG 레귤레이터, LNG 인젝터, 혼소 ECU 등이 있으며 운행중인 경우 자동차에 저온의 LNG를 저장하고 이를 기화시켜 엔진에 필요한 압력으로 공급해주는 장치가 추가되며 운전모드에 따라 경유와 LNG의 적절한 분사량과 분사시기가 중요한 제어변수가 된다. 표1은 실험에 사용된 엔진 제원이다.

표 1 실험대상 엔진 개조전후 비교

구 분	개조전	개조후
엔진형식	D6CB	←
배기량 (cc)	12,344	←
사용연료	디젤	LNG 혼소
배출가스 수준	Euro-3	←

2) 실험장치 및 방법

LNG 혼소엔진의 성능을 평가하기 위해 그림1과 같이 실험장치와 데이터 수집장치를 통해 성능 데이터를 수집하였다. 성능시험은 교통안전공단 성능연구소에서 수행하였으며 D6CB엔진에 대해 이루어졌다. 연료소비율 측정은 ND-13모드 방법으로 이루어졌다.

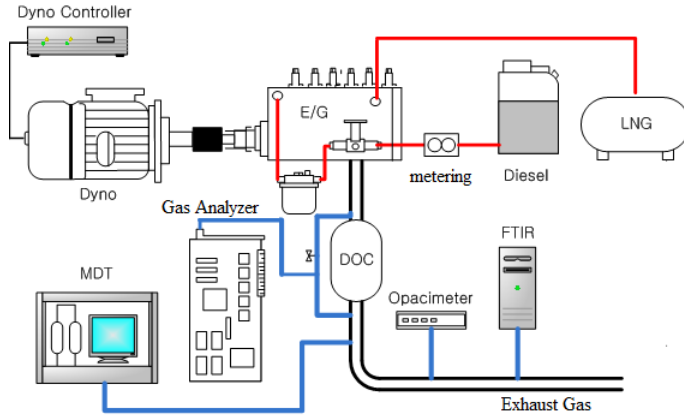


그림1 엔진 성능평가를 위한 실험장치 구성

3. 성능측정 결과

1) 엔진출력시험 결과

그림2에 보는바와 같이 개조전과 개조후의 경유조건과 개조후 LNG혼소 조건을 비교하였으며 모두 개조전 경유 원동기 출력에 비해 5%이내의 출력범위를 보였다. 최대토크의 경우도 5%이내의 차이를 나타냈다.

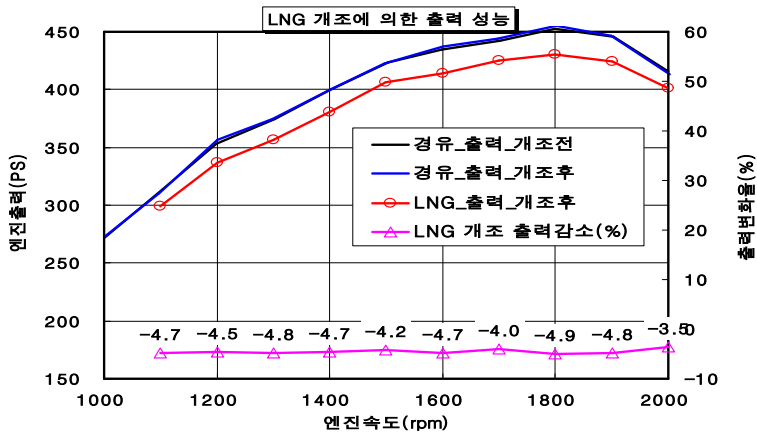


그림 2 엔진출력성능 비교

2) 연료소비율 및 엔진효율

실험엔진에 대한 연료소비율 시험결과를 표2에 정리하였다. 경유엔진과 LNG혼소엔진에 대한 연료소비율로부터 각 연료의 저위발열량을 적용하여 열량 소비율을 계산하였으며 열량기준으로 약 4%의 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 단위동력(1kWh)당 소비열량¹⁾을 비교 하여 엔진효율을 구하였으며, 경유엔진의 경우는 37.4%, LNG혼소엔진의 경우는 35.9%의 효율로 운전됨을 알 수 있다.

표2 시험 엔진의 연료소비율 및 엔진효율 비교

항목	연료소비율(g/kW·h)			열량소비율(kcal/kW·h)			엔진효율(%)	비고
	경유	LNG	합계	경유	LNG	합계		
경유	223.6	0	223.6	2304.6	0	2304.6	37.4	기준
LNG혼소	63.2	148.7	211.9	651.6	1747.2	2398.8	35.9	
차이(%)	-71.7	-	-5.2	-71.7	-	4.1	1.5	

주: ND-13모드 실험

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

이론적인 혼소엔진 사이클의 경우 엔진효율은 압축비가 동일한 경우 혼소사이클이 디젤사이클 보다 큰 것으로 분석되고 있으나 실제 엔진의 경우 연소압력 상승에 따른 엔진의 내구성과 내 노킹성능 확보를 위한 분사시기 조절 등으로 성능이 떨어질 수 있다. 특히, 개조엔진의 경우 주어진 엔진 설계 강도이내에서 매칭 시켜야 하는 한계로 성능을 최적화하기가 어려운 측면이 있다.

표 3은 연간 연료사용량 결과로부터 경유엔진과 LNG혼소엔진에 대한 연비를 각각 구한 것이다. LNG혼소 엔진의 경우 LNG를 열량환산을 통해 경유로 환산하여 경유등가 연비를 구하면 2.31km/ℓ로 개조전 연비에 비해 다소 떨어지는 것으로 나타난다.

표 3 엔진시험 연비 분석결과

구 분	연간 연료사용량				연비		
	경유		LNG		경유	LNG	
	kg	ℓ	kg	Nm ³	km/ℓ	km/Nm ³	
경유엔진 (개조전)	41,000	50,000	0	0	2.4	-	
LNG혼소 엔진	연료별	11,589	14,133	27,266	34,083	8.49	3.52
	경유 등가	42,678	52,048	0	0	2.31	-

주) 적용자동차: 40톤 트레일러(25톤 적재중량), 주행거리 120,000km/년 기준

단위환산: 경유밀도(1ℓ=0.82kg), 천연가스 밀도(1kg = 1.25 Nm³)

1)1kWh의 열량 = 860kcal

3) 연료비용 분석

사업자측면(부가세포함)에서 LNG혼소화물자동차의 연료비용 효과분석은 표 4와 같다. 유가보조금을 고려할 경우 연간 8,145천원의 비용절감효과가 있는 것으로 분석되고 있다. 한편 경유연료 사용량 감소에 따른 유가보조금 절감효과는 연간 12,124천원으로 나타나고 있다.

표 4 LNG혼소화물자동차의 연료비용 효과 분석(VAT 포함)

구 분	경유 화물차 (기준)	LNG혼소화물차			차액
		경유	LNG	계	
연간연료비(천원), 유가보조 고려	50,600	14,303	28,152	42,455	8,145
유가보조금(천원)	16,900	4,776			12,124
유류비 (원/ℓ, 원/Nm³)	연료단가	1,450	1,450	826	
	유가보조+할인	438	438	0	

4. 결 론

LNG화물자동차 시범보급 효과분석 차원에서 수행된 본 연구에서는 LNG 혼소엔진의 효율, 연비 및 연료 경제성을 분석하였으며, 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) LNG 혼소화물자동차의 연료비 경제성은 자동차성능 시험기관에서의 엔진성능 평가 자료를 분석한 결과 ND-13모드 시험조건에서 LNG 혼소화물자동차의 엔진 효율은 경유엔진에 비해 1.5% 감소한 35.9%를 나타냈으며 등가연비는 2.31km/ℓ로 경유엔진의 연비인 2.4km/ℓ와 비교시 약 3.8% 낮은 수준을 보이는 것으로 분석되었다.

2) LNG혼소화물자동차의 연료경제성은 LNG혼소화물차가 연간 120,000km를 운행함에 따라 발생하는 연료비 절감에 따른 사업자측면의 효과와 유가보조금 절감에 따른 정부측면의 효과를 분석한 결과 사업자의 경우는 8,145천원/년의 수익 효과가 예상된다. 한편 정부 측면에서도 약 12,124천원의 편익이 발생하는 것으로 나타난다. 이러한 결과는 LNG화물차 보급 사업이 사업자 측면과 정부측면에서 모두 상당한 효과가 있음을 보여주는 것이다.

참고자료

1. 보고서, LNG혼소화물자동차 성능기준 및 효과분석 연구, 한국가스공사, 2009
2. 가스학회 춘계학술대회 논문집, LNG 혼소엔진의 연소사이클 분석, 2009