



천연가스-경유 혼소엔진의 특성연구

†김창업 · 오승묵

한국기계연구원

(2013년 11월 4일 접수, 2013년 12월 11일 수정, 2013년 12월 11일 채택)

A Study on the Characteristics of Dual Fuel Engine Fueled by Natural Gas and Diesel

†Changup Kim · Seungmook Oh

Korea Institute of Machinery and Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu,
Daejeon 305-343, Korea

(Received November 4, 2013; Revised December 11, 2013; Accepted December 11, 2013)

요약

본 연구에서는 기존 상용 12리터급 경유엔진을 베이스로, 천연가스 연료공급시스템을 추가함으로써 천연가스-경유연료를 동시에 사용하는 혼소엔진을 개발하였다. 전체적인 제어는 기존의 경유엔진 ECU를 이용하고, 추가적인 혼소 ECU를 제작하여 경유와 천연가스 연료가 최적으로 공급되도록 시스템을 구성하였다. 천연가스 연료는 MPI 방식으로 흡기메니홀드에 어댑터를 이용하여 설치하였다. 혼소엔진의 실험결과, 경유엔진과 동등한 토크와 출력성능을 얻었으며, 배출가스 기준 또한 만족하였다. 전체적인 천연가스 연료 대체율은 70%이고, 주 사용영역에서는 약 76%의 대체율을 보였으며, 이로 인한 연료비용 절감효과는 전체 37% 및 주 사용영역에서는 40%를 얻었다.

Abstract - In this study, based on a 12L class diesel engine, a natural gas-diesel dual fuel engine was developed by adding natural gas fuel supply system. For optimal control of dual fuel engine, a conventional diesel engine ECU and a dual fuel ECU were utilized. To convert the dual fuel engine, MPI natural gas injectors were installed on the new modified intake manifold adapter. As a results, the dual fuel engine showed same level of torque, power performance and exhaust gas emissions as those of a diesel base engine.. Furthermore, overall fuel replacement rate was 70~76 % and total fuel cost saving was 37~40%.

Key words : Dual fuel, Natural Gas, replacement rate

1. 서론

세계적인 고유가 및 석유자원고갈 등으로 대체연료의 확보가 시급한 상황이다. 대체연료 중에 가장 생산량과 매장량이 많은 천연가스는 자동차에 사용되고 있는 연료 중에 연료비가 가장 저렴한 편이기 때문에 천연가스를 자동차에 적용하는 세계 각국의

많은 노력이 계속되고 있다.

Fig.1에서 나타난 바와 같이, 세계 천연가스차량 협회(INGV)의 보고에 의하면, 2011년 기준으로 전세계의 천연가스자동차 보급대수는 약 1,500여만대로, 전년대비 33.7% 증가하고 있다. 또 각국의 천연가스차량의 보급목표를 근거하여 전세계 NGV 보급대수를 전망해 보면, 약 5,000만대 이상을 2020년까지 천연가스자동차로 보급한다는 보급 전략이 구체적으로 수립되어 이행되고 있다[1].

특히, 2011년부터 이슈화되기 시작한 미국의 셰일

†Corresponding author:cukim@kimm.re.kr

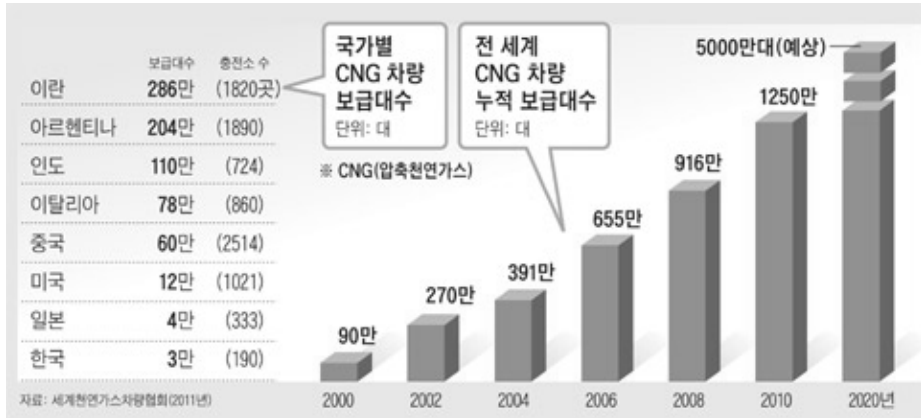
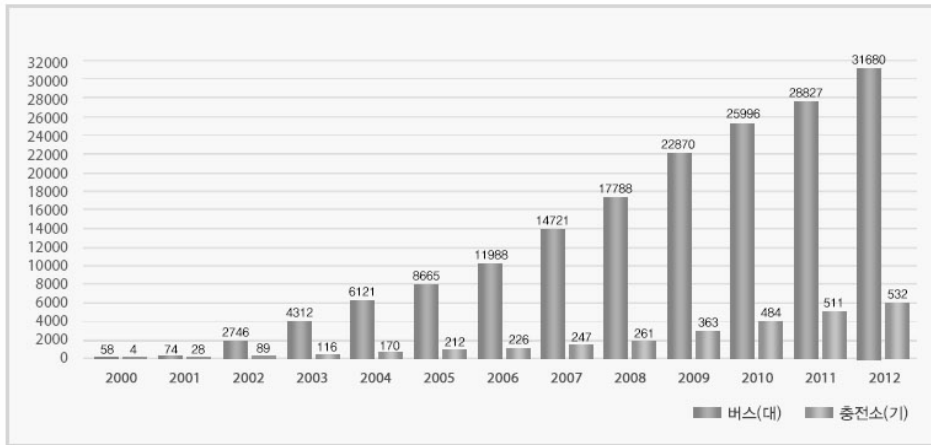


Fig. 1. Status and Prospects of natural gas vehicles in the world.



〈 국내의 천연가스자동차 보급현황 〉

	2000~2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
버 스(대)	8,665	11,988	14,721	17,788	22,870	25,996	28,827	31,680
충전소(기)	212	226	247	261	363	484	511	532

Fig. 2. Status of natural gas vehicles in KOREA.

가스 개발발표는 이러한 천연가스 붐에 강력한 일조를 하고 있으며, 우리나라 또한 이러한 셰일가스 관련 산업기술 및 자동차 기술개발에 박차를 가하고 있다.

2010년 기준으로 셰일가스 확인 매장량은 187.5조 m^3 으로 전통가스 확인 매장량 187.1조 m^3 와 비슷한 수준이며, 잠재 매장량은 635조 m^3 으로 추정된다. 현재 확인 매장량은 전 세계가 약 59년 동안 사

용할 수 있는 수준이며, 잠재 매장량은 약 200년간 사용 가능한 규모이다. 상기 내용이 러시아, 중동, 동남아, 중앙아프리카를 제외한 32개국만을 대상으로 했다는 점을 감안하면 향후 매장량은 더욱 확대 가능하다[2].

국내의 경우, Fig.2에서 처럼 2012년 12월 기준으로 약 31,680대의 천연가스자동차의 보급이 이루어지고 있고 천연가스버스는 약 28,000여대가 운행 중

이지만, 천연가스 연료를 단독으로 사용하기 때문에 단거리를 운행하는 시내버스에 국한되어 사용되고 있다. 그로 인해 장거리를 운행하는 트럭, 관광버스 및 고속버스에는 운행거리 문제로 적용이 안 되고 있는 실정이다[3].

이러한 천연가스 연료와 차량에 대한 개발수요가 많아짐에도 불구하고, 기존 전소 천연가스 차량만을 생산하는 우리나라의 경우, 경유엔진에 비교적 간단하게 천연가스 연료공급시스템을 부착하고, 전용 ECU를 설치함으로써 완성되는 천연가스-경유 혼소 엔진의 개발 및 이의 차량 적용연구는 매우 시의적절한 연구라 할 수 있다.

본 연구에서는 2012년부터 양산되고 있는 최신의 경유엔진을 대상으로 각 기통별로 인젝터로 정밀제어 하는 MPI 방식의 천연가스-경유혼소엔진의 특성을 파악하고자 하였다.

II. 실험장치 및 실험방법

2.1. 혼소 엔진 (dual fuel engine)

천연가스 경유 혼소(dual fuel) 기술은 기존 경유 엔진에 경유와 천연가스를 서로 혼합하여 연소시키는 기술이다. 이 기술은 기존 경유엔진 연료시스템에 천연가스 연료제어장치를 추가하여 경유와 천연가스를 혼합하여 연소하는 기술로서, 경유차량의 출력 및 배기성능을 동등으로 유지하면서 천연가스연료의 경유 대체율을 높이는 것이 핵심기술이다[4-6].

이를 위해 본 연구에서는 천연가스 연료공급모듈과 연료분사 제어장치를 개발하여 경유연료 시스템과 연동시키며, 혼합연소에서 안정적인 천연가스 대체율을 유지하는 연소기술을 연구하였다. 혼소 전자 제어장치(Dual Fuel ECU : Electronic Control Unit)의 개발 및 최적화를 통하여 혼소연료의 분사 최적화 및 안정된 엔진구동을 할 수 있도록 하며, 연료공급은 혼소연료를 엔진의 각 기통별로 분사하는 MPI (Multi Point Injection)방식을 적용하였다. MPI방식은 경유엔진의 각 센서 신호를 모두 연산하여 경유 인젝터와 천연가스 인젝터를 동시 제어를 하는 방식으로 경유 인젝터와 동시에 제어가 가능함에 따라 SPI(single point injection) 방식에 비해 상대적으로 연료 대체율, 연료소비량, 엔진출력 등 많은 부분에서 장점을 가지고 있는 방식이기에 활용되었다.

2.2. 실험 장치

개발된 혼소엔진은 기존의 경유 연료시스템, 엔진 및 부품 등을 그대로 이용하며, 여기에 추가적으로 천연가스 연료시스템을 적용하였다. 약 200기압으로

Table 1. Specification of base diesel engine

engine type	D6CD (L6)
displacement vol. (cc)	12,742
Max Power (ps/rpm)	425/1800
Max. Torque (kg·m/rpm)	192/1200
BoreXStroke	130X160
# of Cylinder	6
Compression ratio	17
Air Charge	Turbo+Intercooler
Emission level	EURO-5
Fuel injection timing	BTDC16 ° ~ATDC6 °

충전된 압축천연가스 용기로부터 연료라인을 연결하여, 압력조절기를 거쳐 약 6.2기압 정도의 압력을 형성한 후, 이를 천연가스 인젝터에 연결하였다. 천연가스 인젝터는 각 기통 당 한 개가 적용되며, 엔진 출력과 목표 대체율에 적합한 유량이 나오는 인젝터를 선정하였고, 이를 어댑터를 이용하여 기존의 흡기매니폴드에 설치하였다. 자세한 실험장치는 Fig.3에, 실험에 사용된 베이스 경유엔진의 제원은 Table 1에 나타나 있다.

천연가스-경유 혼소차량 기술은 아직까지 보편화되지 않은 기술이기 때문에 천연가스와 경유, 2가지 연료를 동시에 정밀제어 하기 위한 천연가스 혼소차량의 전자제어장치(ECU)의 설계 및 제어알고리즘의 개발도 진행하였다.

본 연구에서는 Fig.3과 같이 이러한 제어를 위하여 기존의 경유엔진의 ECU를 그대로 이용하고, 여기에 추가적인 부가 서브-ECU를 설치하여, 혼소 시에는 디젤 ECU와 혼소 ECU를 같이 사용하며, 천연가스 연료가 부족할 시에는 경유 ECU만 단독 사용되도록 시스템을 구성하였다.

Fig.4에는 베이스 경유엔진이 동력계에 연결되어 실험을 하는 모습을 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 베이스 경유엔진과 이를 개조한 혼소엔진을 동력계에 연결하여 출력, 토크, 및 배출가스 등을 측정하였으며, 이를 비교 분석하여 혼소엔진에서의 천연가스연료 대체율 및 연료비 절감율 등의 결과를 얻었다.

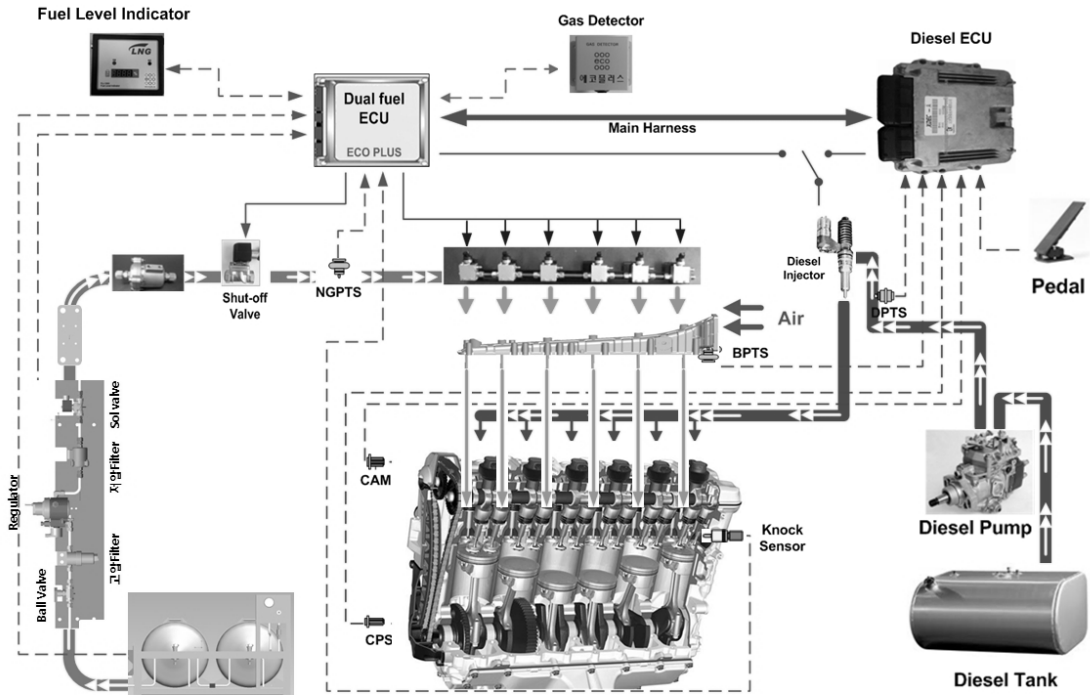


Fig. 3. Schematic diagram of dual fuel system with diesel engine and natural gas fuel supply system.

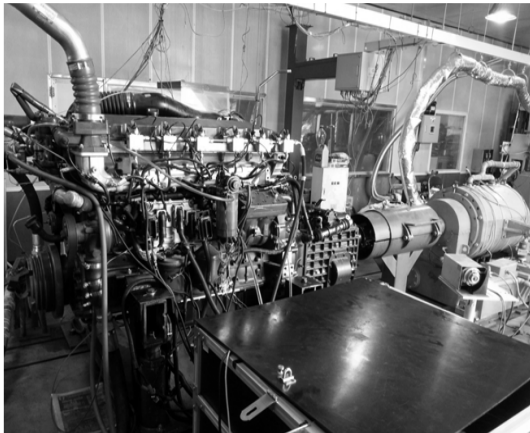


Fig. 4. Installation of test engine and dynamometer.

3.1. 혼소엔진의 출력특성

실험은 전 운전영역에서 베이스 경유엔진으로 운전하여 토크, 출력 및 배출가스 data를 확보한 후,

혼소연소를 적용하여 혼소엔진의 data를 얻었다. 이 과정에서 기본 경유엔진의 터보차저를 비롯한 하드웨어의 변경은 없었다. 베이스 경유엔진과 동등 출력을 얻기 위한 최적의 혼소조건은 천연가스 약 20ms, 경유 1ms, 경유의 파이롯 분사시기 BTDC 9~12.5 도로 나타났으며, 이때의 평균 대체율은 약 70% 였다.

Fig. 5에는 베이스 경유엔진과 이에 혼소시스템을 적용한 혼소엔진의 토크 및 출력 비교를 나타내었다. 개조 전 후의 엔진 토크, 출력 등의 동력성능은 거의 동등함을 확인할 수 있었다.

3.2. 혼소엔진의 대체율

천연가스 연료의 경유 대체율은 다음과 같이 정의한다.

$$\text{대체율(\%)} = \frac{(\text{개조 전 경유소비율} - \text{개조 후 경유소비율})}{\text{개조 전 경유소비율}}$$

위의 혼소조건은 베이스 경유엔진의 동등 출력의 확보와 배출가스 규제치를 만족하는 가운데, 천연가스 연료의 대체율을 최고로 유지하는 조건으로 실험

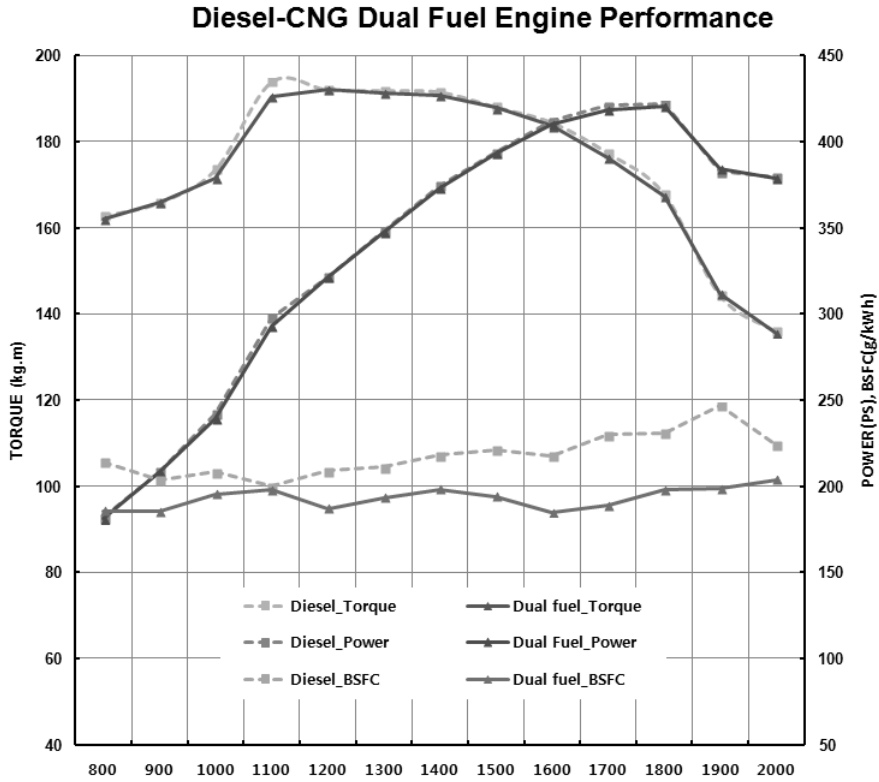


Fig. 5. Comparison results of engine Power and fuel consumption with base diesel engine and modified dual fuel engine.

rpm \ Loadl(%)	rpm										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	
0											
30	37%	34%	55%	46%	37%	32%	28%	30%	23%		
40	49%	57%	65%	57%	57%	49%	50%	42%	44%		
45	61%	63%	70%	65%	65%	56%	59%	55%	56%	55%	60% 이하
50	67%	70%	73%	69%	70%	64%	65%	65%	63%	62%	
55	68%	72%	77%	74%	74%	68%	69%	68%	68%	65%	60% ~ 69%
60	72%	76%	79%	76%	77%	72%	72%	72%	71%	68%	
65	76%	80%	83%	80%	81%	76%	76%	76%	74%	72%	70% ~ 79%
70	78%	81%	84%	82%	83%	78%	78%	78%	76%	74%	
75	78%	83%	86%	83%	84%	80%	80%	79%	79%	75%	80% ~ 84%
80	79%	85%	86%	85%	86%	82%	82%	74%	72%	72%	
85	77%	76%	78%	76%	76%	77%	79%	75%	71%	68%	85% 이상
90	72%	75%	76%	75%	74%	75%	76%	74%	71%	65%	
95	71%	73%	75%	75%	73%	74%	76%	74%	72%	65%	
100	70%	72%	75%	75%	74%	74%	76%	75%	73%	65%	

Fig. 6. Fuel replacement rates in the modified dual fuel engine operation.

rpm \ Load(%)	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	
0											
30	3%	6%	32%	23%	14%	11%	14%	17%	14%		
40	14%	29%	37%	26%	28%	21%	28%	22%	25%		
45	29%	32%	39%	33%	32%	27%	32%	29%	30%	26%	20% 이하
50	33%	38%	38%	34%	35%	30%	34%	37%	34%	30%	
55	34%	38%	41%	38%	39%	34%	37%	37%	38%	31%	20%~ 29%
60	37%	42%	41%	39%	41%	37%	39%	40%	40%	36%	
65	40%	41%	44%	41%	44%	43%	46%	46%	45%	40%	30%~ 34%
70	41%	41%	45%	44%	45%	45%	45%	45%	43%	40%	
75	39%	41%	47%	42%	42%	44%	46%	45%	46%	41%	35% ~ 39%
80	41%	45%	45%	42%	40%	41%	46%	44%	42%	42%	
85	43%	42%	44%	40%	40%	42%	44%	43%	41%	42%	40%이상
90	39%	39%	43%	41%	38%	40%	42%	43%	40%	39%	
95	38%	38%	42%	41%	40%	41%	45%	45%	40%	40%	
100	40%	37%	42%	41%	41%	43%	45%	46%	43%	40%	

Fig. 7. The Reduction of fuel cost with fuel replacement rates of modified dual fuel engine.

되었다. 즉, 대체율은 동등 출력, 배출가스 성능을 나타내는 조건에서 혼소로 주행할 때의 감소한(대체된) 경유량(%)을 나타내며 경유 대체율이 높다는 것은 주행 시 경유량이 줄어든 만큼 천연가스 연료를 많이 사용했다는 것을 의미한다.

Fig. 6에는 전체 엔진의 운전영역에 대한 경유연료 대체율 그림이 나타나 있다. 계산의 예로, 1100rpm, 전 부하조건에서 경유의 연료소모율은 약 28.6kg/hr 이며, 이를 천연가스 연료로 대체하면 경유는 약 8.5kg/hr 이며, 천연가스는 약 16.2kg/hr 이다. 이를 대체율 계산식에 넣어서 계산하면 약 70%의 대체율 값을 보이게 된다. 전체적인 천연가스 연료의 경유연료 대체율은 평균 70%, 전 부하조건에서는 약 73%, 차량에서 주로 사용하는 영역 (1100~1500rpm, 부하 45~85% 영역) 에서의 평균 대체율은 약 76% 였다.

이 자료를 이용하여, 현재 경유연료의 가격 (약 1700원/L)과 천연가스 연료의 가격 (약 1300원/kg)을 적용하여 연료비 절감비율을 구해보면 그림 7과 같으며, 전체 평균 37%의 연료비 절감율을 얻을 수 있었다. 추가적으로 전 부하 영역에선 42%, 주 사용영역에서는 약 40%의 연료비 절감효과가 나타났다. 전부하영역의 대체율이 73%, 주 사용영역의 대체율이 76%인데 비해서 연료비 절감율은 42%, 40%으로 역전되는 이유는 베이스 경유엔진과 동일출력을 내기 위하여 저부하 영역에서 천연가스 연료의 소모량이 많았기 때문이다.

배출가스 측정은 ND-13 모드로 진행했으며, 촉매 출구부에서의 얻은 결과를 Table 2에 나타내었다. 베이스 경유엔진이 EURO-5를 만족하는 엔진이

Table 2. Emission regulation and test results

	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)
EURO-5	0.46	1.5	2.0
경유엔진	0.001	0.00	1.65
혼소엔진	0.40	0.00	1.95

며, 이를 혼소엔진으로 개조한 결과역시 EURO-5 규제치를 만족하는데 문제가 없었다.

IV. 결론

본 연구에서는 최신의 경유엔진을 베이스로 하여 천연가스 연료시스템을 추가한 혼소엔진에 대한 특성실험을 진행하였으며, ECU 정밀 매핑을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 천연가스-경유 혼소엔진은 평균 전체 연료대체율 70% 조건에서 경유엔진과 동등한 토크 및 출력조건을 얻을 수 있었으며, 배출가스가 EURO-5 규제치를 만족할 수 있었다.

(2) 경유연료의 대체율은 평균 70%, 전 부하 영역에서는 73%, 주 사용영역에서는 약 76%의 대체율을 보였으며, 이로 인한 연료비 절감 효과는 전체 평균 37%, 전 부하 영역 40%, 주 사용영역 42% 였다.

(3) 이러한 천연가스-경유 혼소엔진의 개발로 인

하여 천연가스연료의 보다 광범위한 차량 활용이 가능해 질것으로 예상된다.

후기

본 연구는 한국기계연구원 ACE사업으로 진행된 “425마력급 경유-CNG Dual fuel System 기술개발” 사업의 지원 아래 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] <http://www.iangv.org/> 세계천연가스차량협회 사이트 자료
- [2] US. EIA(Energy Information Administration),

- "Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources", 2013.6.
- [3] <http://www.kangv.org>, 한국천연가스차량협회 사이트 자료.
- [4] Myungho.Park, "Diesel Engine Combustion Characteristics on the Natural Gas Mixing", KIGAS, Vol.11, No.1, March, 2007.
- [5] M.H.Park, "Effects of the Amount of Natural Gas in Fuel Blends in the Exhaust gas of the Diesel Engines", KSAE, 67~72, 1997.
- [6] M.D.Eom, K.R.Cho, Y.S.Oh, Y.C.Han, "The Evaluation on Smoke Reduction by Natural Gas Dual Fuel Engine for City Bus", J.KAPRA, Col13, No.3, pp.215~220, 1997.