

## 선박용 가솔린/CNG Bi-fuel 엔진개조 기술 개발

박 명 호†

(원고접수일 : 2010년 4월 1일, 원고수정일 : 2010년 5월 3일, 심사완료일 : 2010년 6월 25일)

### A Development of Converting Technology for the Marine Gasoline/CNG Bi-fuel Engine

Myung-Ho Park†

**요 약 :** 천연가스는 메탄을 주성분으로 하는 청정한 대체연료로 자동차나 트럭 등에 압축천연가스와 액화천연가스 형태로 사용할 수 있다. 그리고, 천연가스만을 사용하는 전소엔진과 가솔린 및 천연가스를 동시에 사용할 수 있는 겸용엔진이 있으며, 특히, 겸용엔진의 경우 두가지 연료를 동시에 사용할 수 있는 것으로 정의할 수 있다.

본 연구에서는 선박용 가솔린 시스템을 인젝터, 레귤레이터, 연료탱크 및 전자제어장치로 구성된 압축 천연가스 겸용시스템으로 전환시켜 연료시스템과 동력값을 비교하였다. 그 결과, 천연가스엔진의 경우 적은 배출가스를 나타내었으며 최대동력은 가솔린엔진과 비교 약 7%정도 감소함을 확인할 수 있었다.

**주제어 :** 압축천연가스, 겸용엔진, 인젝터, 전자제어장치

**Abstract:** Natural gas, a fossil fuel contained mostly of methane, is one of the cleanest alternative fuels. It can be used in the form of compressed gas(CNG) or liquefied natural gas(LNG) to cars and trucks. And, dedicated natural gas vehicles are designed to run on natural gas only, while Bi-fuel vehicles can also run on gasoline or CNG, especially, bi-fuel can be defined as the simultaneous combustion of two fuels.

In this study, converted gasoline marine system to CNG Bi-fuel system which is made up of injector, regulator, tank and ECU is converted. And estimated the fuel system and engine power compared the result with gasoline engine is estimated. As a result, CNG engine shows low exhaust emissions but maximum power is 7% reduced compared to gasoline engine.

**Key words:** CNG, Bi-fuel Engine, Injector, ECU

### 1. 서 론

석유자원의 고갈로 인해 에너지의 안정적이며 효율적인 공급체계를 더욱 공고히 함과 동시에 지구 온난화의 영향으로 운송수단인 내연기관의 저공해화, 고효율화가 추후되고 있다. 최근 부각되고 있는 내연기관용 대체에너지원으로 천연가스, 수소 등을 예로 들 수 있는데 이중 천연가스는 세계 각지에 분포되어 있고, 그 매장량도 약124조 m<sup>3</sup>(원

유 매장량의 79%에 해당)로 풍부하며 동시에 에너지의 청정성으로 인해 많은 주목을 받고 있다. 원유의 경우 매장량의 약67%가 정치정체가 불안정한 중동지역에 집중되어 있는 반면 천연가스는 러시아, 북미, 남미 및 동남아시아 등 여러 지역에 분산되어 있고 중동지역은 전체의 약 30%에 불과하기 때문에 에너지 안전(energy security)면에서 유리한 에너지원이라고 볼 수 있다[1-3].

† 교신저자(강원대학교 기계공학과, E-mail: parkmh@kangwon.ac.kr, Tel: 033-570-6326)

특히, 천연가스의 주성분인 메탄은 0℃, 1기압하에서 가스상태로 1m<sup>3</sup>의 메탄을 -162℃까지 냉각하게 되면 액화되어 체적의 0.0017m<sup>3</sup>로 원래 체적의 1/600이라는 소용량이 된다. 이와 같이 천연가스는 연료로서의 많은 장점을 갖고 있으며 현재, 천연가스를 이용한 차량 기술은 연소방식에 따라 천연가스만 사용하는 전소(Dedicated)방식, 가솔린과 천연가스 두가지 연료를 동시에 사용할 수 있는 겸용(Bi-fuel)방식 및 디젤과 천연가스를 혼합하여 사용하는 혼소(Dual-fuel)방식으로 분류할 수 있으며 이 방식 또한 대부분 지상용 차량에 국한되어 있다[4-6].

따라서 국제유가 상승으로 어업용 면세유 가격이 급등하면서 어려움을 겪고 있는 선박사업자 및 어민들의 조업비용을 조금이라도 절감시키고자 대부분 지상용 차량에 집중되어 있는 가솔린/CNG 겸용 시스템을 해상용 가솔린 선박으로 초점을 맞추어 선박용 가솔린/CNG 겸용 개조 시스템을 개발하고자 하였다.

특히, 본 연구에서는 선박의 연비 및 배출가스 특성을 살펴보기 위하여 레저용 보트로 널리 사용되고 있는 선외기(Outboard Type) 소형 6인승 가솔린보트를 사용하여 가솔린/CNG Bi-fuel 엔진으로 개조하여 개조전 및 개조후의 연비 및 배기가스 배출특성에 관하여 살펴보았다.

## 2. 선박, 엔진 및 CNG 탱크위치 선정

### 2.1 선박 및 엔진

Figure 1은 본 실험에 사용된 Mercury(사)의 모델 New 90HP EFI 4기통 엔진을 보여주고 있으며 Table 1에 엔진제원을 나타내었다.



Figure 1: Photograph of test engine

### 2.2 선박의 선정

Figure 2는 실험용 보트의 실물사진을 나타내고 있으며 선박의 선체는 레저용 보트로 널리 사용되고 있는 6인승 수상스키 보트를 선택하였고 Table 2에 보트의 제원을 나타내었다.



Figure 2: Photograph of test boat

Table 1: Test engine specification

Model	NEW 90EFI
Power	90HP
Max.rpm	5,000~6,000
Cylinders	4 (in-line)
Displacement	1,732cc
Gear Ratio	2.33:1
Steering	Remote
Alternator System	Fully regulated Belt-Driven 50amp
Trim Positions	Power trim standard
Weight	181kg
Recommended Boat Transom Height	635mm
Induction System	4-valve dual overhead cam design

Table 2: Test boat specification

Length	5.76m
Width	2.01m
Thickness	0.73m
Weight	450kg
Engine type	85~200HP
Persons	6
Speed	40~45knot

### 2.3 CNG 탱크위치의 선정

Figure 3은 실험용 탱크위치를 나타내고 있으며 CNG탱크(60ℓ)는 무게중심을 고려 앞면에 1개, 뒷면에 2개 설치하였고, 보트의 경우 상부와 하부로 나누어 건조가 이루어지기 때문에 상, 하부를 조립한 경우 탱크부착의 어려움이 있으므로 조립전 CNG 탱크를 장착하였다.



Figure 3: Photograph of CNG tank

### 2.4 개조후의 무게 및 최대 RPM

Table 3은 실험용 선박의 개조전 선박의 무게 및 최대 rpm을 나타내었다. 개조후 선박의 무게는 3개의 용기 무게 170kg이 추가되어 801kg으로 되었고 반대로 최대 rpm은 가솔린과 비교하여 낮

은 값을 나타내었다.

Table 3: Weight and maximum rpm of gasoline/CNG

Weight	
631kg(Gasoline)	801kg(CNG)
Max. rpm	
6,000rpm(Gasoline)	5,600rpm(CNG)

## 3. 개조 시스템

### 3.1 엔진키트 장착

본 키트의 구성은 가솔린 제어장치(ECU)와 스로틀 밸브위치센서(TPS), 연료분사(Injector) 장치, 각종 센서류 등으로 구성되어 있으며 센서류는 흡기압력센서(MAP Sensor), 온도조절센서(Regulator Temperature Sensor), 분사기 신호(Injector Signal), 점화신호(Ignition Signal) 등이 사용되었다. 또한, 베이스로 사용된 Bi-fuel Kit는 이탈리아 Lendi-Renzo(社)의 OMEGAS/GI을 활용하였고 시스템의 특성에 맞춘 개조 기법을 이용하여 가스믹서, 가스압력조절기, 가스공급기 및 고압용기 등을 연결하였다. Table 4에 각 부품의 기능에 대해서 기술하였다.

### 3.2 센서류 장착

#### 3.2.1 냉각수 온도센서(WTS: Coolant Temperature Sensor)

냉각수 온도센서는 엔진 냉각수 출구(thermostat

Table 4: Test sensor specification

Name	Functions
ECU(Engine Control Unit)	Engine Control Unit
Injector	It receives ECU signals and jets CNG fuels
Regulator	CNG from Fuel Tank it decompresses with 110psi
Lockoff	High Lockoff and Low Lockoff Two Types
MPU(Magnetic Pickup)	RPM Measurement
ATS(Intake Air Temperature Sensor)	Intake Air Temperature Sensor
MPS(Manifold Pressure Sensor)	Intake Manifold Pressure Sensor
WTS(Coolant Temperature Sensor)	Coolant Temperature Sensor
GPS(Gas Pressure Sensor)	CNG Pressure Sensor
TPS(Throttle Position Sensor)	It delivers a Pedal Signal in ECU

前)에 장착하며 초기 CNG 전환시 엔진의 워밍업이 가장 중요한 역할을 하고, 냉각수 온도가 52℃를 지나면 CNG 전환이 가능하도록 설치하였다. 따라서 엔진 출구쪽에 장착하며 정확한 수온이 측정되도록 설정되어 있다.

### 3.2.2 흡기 온도센서(ATS : Intake Air Temperature Sensor)

부스터 서미스터로 흡입되는 공기의 온도를 감지하여 ECU로 송출하는 센서로 ECU는 ATS에서 보내오는 흡입공기 온도의 정보에 따라 흡입공기에 알맞은 연료 량을 보정한다.

즉 CNG의 사용중단을 결정하게 되며 흡기공기의 온도가 48℃이상 올라가면 CNG가 차단이 되며 가솔린 모드로 전환된다. 센서의 장착위치는 인티쿨러 후단(매니폴드 전단)에 장착되어 있다.

### 3.2.3 흡기 압력센서(MAP : Manifold Absolute Pressure Sensor)

흡입공기량 검출센서로 흡기관의 압력을 측정하여 간접적으로 흡입공기량을 산출하는 방식으로 공기의 질량을 직접적으로 측정하는 방식인 질량유량계(Mass Air Flow meter)와 다르게 드로틀 밸브 후단에 설치되어 있으며 시스템이 간단하여 국내에서 많이 사용하고 있다.

### 3.2.4 배기 온도센서(ETS : Exhaust Temperature Sensor)

ATS센서와 같이 CNG 연료차단 및 사용에 따라 CNG 모드 전환을 결정하는 역할을 하며 배기온도가 600℃이상 올라갈 경우 CNG 연료를 차단하게 되며 초기 기동시 배기온도를 기준으로 CNG 전환시기를 결정할 수 있다. ETS 센서 위치는 터보차저 배기쪽에서 100mm에서 150mm 사이에 1/4" 드릴로 가공하여 열전대 온도계(Thermocouple)를 그 위치에 장착하였다.

## 3.3 스로틀 밸브위치 보정(TPS Calibration)

냉각수 TPS는 장착위치와 형태에 따라 페달신호에 따라 TPS신호량이 다르기 때문에 반드시 보정(Calibration)을 실시하여야 하며, 보정 순서를 정리하면 다음과 같다.

1. 엔진을 충분히 운전한 후 무부하 운전상태로 유지한다.
2. 프로그램상에서 Calibration의 선택 후, Start TPS Calibration을 선택한다.
3. 페달을 천천히 누르면서 100%까지 진행시킨 후 잠시 대기상태를 유지하면서, 대기상태에서 Finish TPS Calibration을 선택한다.
4. TPS Map을 체크 한 후 저장한다.

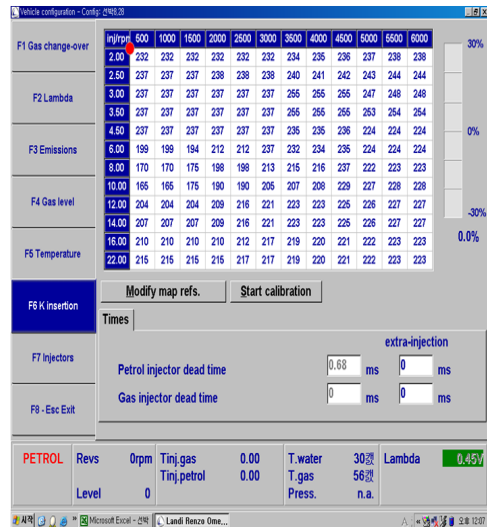
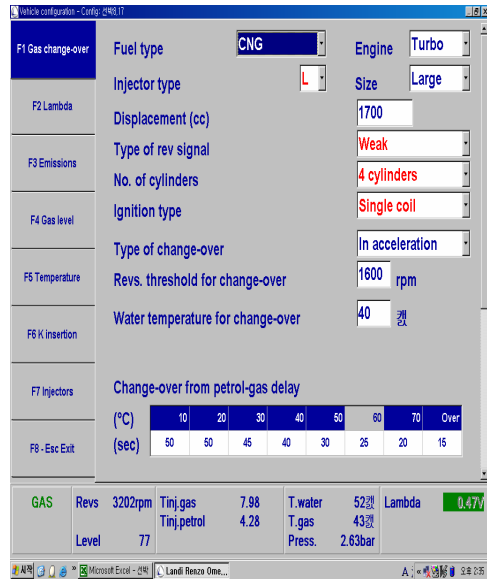


Figure 4: Gas ECU Calibration Chart

위의 순서로 Calibration을 하였으며 종료된 소프트웨어는 Map 파일로 ECU에 저장을 하였다. 저장 파일은 User Map, Adv Map, Gasoline Map, TPS Map 및 Fuel Map 5가지이며 Gas ECU Calibration 차트를 Figure 4에 나타내었다. 또한, CNG 엔진으로 공급되는 연료공급방식은 과급으로 설정하였으며, 냉각수 온도는 가솔린에서 나오는 냉각수 온도가 52℃를 넘게 되면 자동적으로 CNG 모드로 전환되도록 하였고 이때의 당량비(Equivalence Ratio,  $\Phi$ )값은 0.47(rich : 50~900mV, lean : 0.5~0.9mV)이었다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 최대출력 및 배기가스 배출특성

본 실험에 사용된 NEW 90EFI 시스템은 최대회전수 6,000rpm에서 최대출력값이 67kW로 CNG의 최대회전수인 5,600rpm에서의 최대출력값인 63kW와 비교하여 약7%가량 낮은 값을 나타내었으나 운전성은 거의 동일한 결과로 판단되었다.

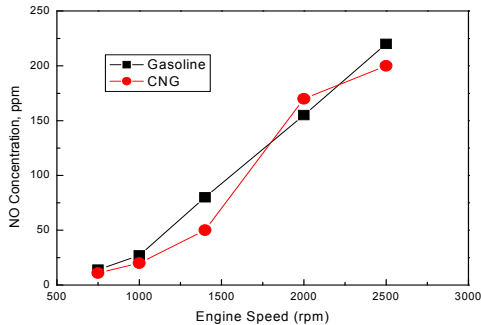


Figure 5: Result of NO Concentration Measurement

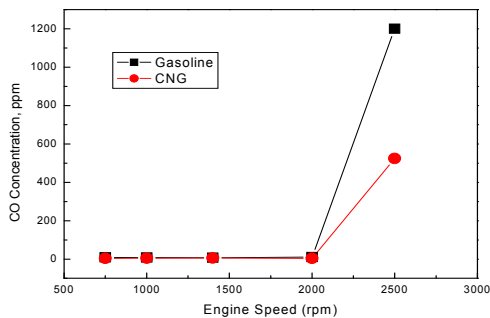


Figure 6: Result of CO Concentration Measurement

또한, Figure 5는 가솔린 및 천연가스를 각각 전도시켰을 경우의 얻어진 NO의 측정결과로 NOx는 일반적으로 NO와 NO<sub>2</sub>를 말하며 그중 NO가 대부분을 차지하며 연료에 포함된 질소성분은 거의 없기 때문에 발생의 주요원인은 공기중의 질소분자로 볼 수 있다. 특히, NO<sub>x</sub>중 N<sub>2</sub>는 안정된 원소로 간단히 산화되지는 않지만, 고온 고압이 존재하는 환경에서는 산화하여 NO<sub>x</sub>가 되며, 실제공연비가 이론공연비(Theoretical Air-Fuel Ratio, A/F)보다 약간 희박한 경우 많이 발생이 된다. 일반적으로 공기과잉률(Excess Air Ratio,  $\lambda$ )이 1.0보다 크고, 당량비( $\Phi=1/\lambda$ )가 1보다 적은 경우 희박혼합기로 반대인 경우 과농혼합기로 취급하게 되며 가솔린의기관의 경우  $\Phi=1.1$ , 천연가스의 경우  $\Phi=1.0$ 정도가 된다.

이번 실험결과 천연가스의 NO 농도값이 가솔린과 비교하여 약간 낮은값을 나타내었는데 이번 실험의 경우 천연가스(주성분CH<sub>4</sub>)의 당량비값이  $\Phi = 0.47$ 로 가솔린의 이론당량비  $\Phi=1.1$ 과 비교하여 보다 희박조건으로 그 영향에 의한 것으로 사료된다. 동시에 Figure 6은 Figure 5와 동일조건하에서의 CO의 측정결과로 일반적으로 가스상 물질인 CO의 생성도 거의 공연비에 의해서 결정되며 희박연소( $\lambda \geq 1$ )보다는 과농연소( $\lambda \leq 1$ ) 영역에서 많이 발생이 되며, 과농연소시 국부적인 공기부족으로 인하여 부분적으로 CO가 생성되기도 한다. 실험결과 NO의 측정결과와 마찬가지로 당량비에 의한 영향으로 천연가스(4~524ppmm)의 배출량이 가솔린(1~1200ppm)과 비교 낮은 값을 나타내었다.

## 4. 결 론

레저용 보트로 널리 사용되고 있는 Outboard type의 소형 6인승 가솔린 보트에 청정연료인 CNG를 동시에 사용할 수 있도록 가솔린/CNG bi-fuel 엔진으로 전환하여 개조전 및 개조후의 Calibration, 연비 및 배기가스 배출특성에 관한 비교 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 가솔린 Outboard type의 보트를 가솔린/CNG 겸용 시스템으로 전환후에도 엔진성능에 큰 변화는 없었다.
2. 최대 출력은 가솔린에 비해 약 7%가량 낮았지만 운전성은 거의 동일한 것으로 판단되었다.
3. 1시간 운행시(운행조건-WOT)의 연비는 가솔린 34.09 ℓ/h(가솔린 1ℓ당 1,500원), CNG 19.35 m<sup>3</sup>/h(CNG 1Nm<sup>3</sup> 660원)로 4배 가량의 연료비 절감효과가 나타났다.
4. 엔진 저속영역인 700~2500rpm에서 가솔린보다 CNG 전환모드의 경우가 CO, NO가 약간 작은 값을 나타내었다.

### 후 기

본 연구를 수행하는데 있어 협력하여 주신 (주)NGVI 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- [1] M. H. Park, "Diesel engine combustion characteristics on the natural gas mixing", KIGAS, vol. 11, pp. 9-12, 2007.
- [2] S. S. Yoon and B. C. Choi, "Control system for LNG dual-fuel natural gas engine", Spring Conference Proceeding, KSAE06-S0305, pp. 1910-1915, 2007.
- [3] J. I. Yoon and S. T. Oh, "Effect of two staged inter-cooler on efficiency of LNG liquefaction proces", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 1, pp. 46-52, 2010.
- [4] J. Y. Kim and J. Y. Ha, "The comparison of performance and emission characteristics between CNG engine and gasoline engine", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 11, pp. 16-21, 2003.
- [5] M. Ishii, "Analysis of emission reduction potential and power output of natural gas engine", Japanese Automotive Technology, vol. 47, pp. 60-65, 1993.
- [6] C. G. Chang and C. W. Park, "A Study on performance characteristics for a CNG regulators of automotive vehicle", KIKAS, vol. 11, no. 4, pp. 12-16, 2007.

### 저 자 소 개



#### 박명호(朴明浩)

1987년 강원대학교 기계공학과 졸업(공학사), 1992년 강원대학교 기계공학과 졸업(공학석사), 1996년 九州工大 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 강원대학교 기계공학과 교수