

# 수소-천연가스를 이용한 중대형 동력시스템 이용기술 개발에 관한 연구

김종우  
(주) 엔지브이텍

## 요 약

천연가스차량이 배출하는 미연 탄화수소 중 약 80%이상이 메탄으로 구성 되어 있다. 메탄은 그 자체로 유독성 물질은 아니지만 이산화탄소와 더불어 지구온난화를 유발하는 온실가스로 향후 강력한 규제가 예상되는 물질로 이를 저감하는 기술 개발이 이루어져야하나 연료 특성상 이를 줄이는데 어려움이 있다. 최근 연구에 의하면 천연가스엔진에 수소를 일정량(15%이상) 첨가할 경우 배출가스 및 성능이 상당량 개선되는 결과를 보이고 있다. 이는 종래 천연가스 연소의 문제점인 지연된 화염 전파 속도를 수소 연료를 첨가함에 따라 화염 전파속도를 촉진시켜 적정한 연소를 야기시켜 미연탄화수소 배출이 줄어들고 열효율도 향상되는 결과를 보이고 있다. 이와 같이 수소와 천연가스연료의 각각의 장점을 활용한 Hy-thane 엔진을 개발할 경우 무공해엔진에 근접한 초 저공해 동력장치 개발이 가능하며 이에 대한 상용화 측면에서 산업용 발전기, GEHP, 차량용 엔진 등 활용도가 크기 때문에 그 개발이 절실히 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 과제에서는 이중연료를 사용하는 수소-천연가스 기관을 개발하고 이를 효과적으로 제어할 수 있는 제어시스템을 개발하여, 기관효율 향상과 배기가스저감을 이루었다.

## 1. 서 론

세계 각국에서 화석연료 사용에 의한 대기오염 저감 및 지구온난화 방지를 위해 배기규제치가 크게 강화되고 기후변화협약에 의한 탄소세 부과도 확산될 추세이다. 주요 선진국과 개발도상국에서는 석유계 연료의 고갈과 사용량 증가로 향후 20년 이내에 에너지 수급 불안정 문제가 야기될 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 천연가스, 수소, 에탄올, DME(De-Methyl Ether) 등의 환경친화적인 대체 연료를 사용하는 새로운 동력시스템에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.(6,8,14,15,16,28,29,30) 이들 중 천연가스(CH<sub>4</sub>)는 탄화수소계 연료 중 탄소성분이 가장 적은 청정연료로 기존의 가솔린 및 디젤연료에 비해서 HC와 CO는 30~50%, CO<sub>2</sub>는 20~30%정도 적게 배출된다. 또한 높은 옥탄가에 의한 고압축비화로

고출력과 고효율이 가능하고, 풍부한 매장량을 바탕으로 한 저공해 연료로서 국내는 물론 전 세계적으로 보급이 활성화되고 있다.(2~5,9~16,20,26) 메탄은 그 자체로 유독성 물질은 아니지만 97년 기후변화협약에서 채택된 교토의정서에 따라 6종의 규제대상 가스(CO<sub>2</sub>(이산화탄소), CH<sub>4</sub>(메탄), N<sub>2</sub>O(아산화질소), PFC(불화탄소), HFC(수소화불화탄소), SF<sub>6</sub>(불화유황)) 중 하나로 향후 강력한 규제가 예상되는 물질이다. 따라서 유해배기가스를 저감할 수 있는 희박연소 시스템 도입이 요구되고 있다. 그러나 천연가스는 연료 특성상 희박연소시 연소불안정에 의한 사이클 변동의 증가로 유해배출가스가 증가되기 때문에 이를 실현하기 위한 기술개발에 어려움이 있다.(21) 한편, 수소는 물의 전기 분해를 통해 제조되므로 풍부한 자원을 바탕으로 한 무공해 청정연료이다. 연료 성분에 탄소를 함유하지 않아 연소시 H<sub>2</sub>O와 공기 중 질소와 반응하여 생성되는 NO<sub>x</sub> 만이 배출되어 CO<sub>2</sub> 배출문제를 근본적으로 해결할 수 있는 미래의 청정 순환에너지원으로 유력시되고 있다. 탄화수소계 연료와는 달리 넓은 가연한계, 빠른 연소속도, 짧은 소염거리, 높은 단열화염온도 등 독특한 연소특성을 갖고 있다. 이러한 특성은 희박영역에서 안정된 연소를 가능하게 하여 저부하 영역에서의 고효율 및 저배기를 실현시킬 수 있기 때문에 차세대 대체연료로 각광받고 있다.(17~19)

최근 수소에너지 이용기술로 높은 에너지 변환효율과 환경 친화적인 장치인 연료전지가 부각되고 있으나 고가격 및 시스템의 복잡성 때문에 기존 기술보다 취약하여 경제성에 민감한 산업용 중대형 발전시스템을 대체하는데 어려움이 많다. 더욱이 정격출력 이상의 고부하 영역 운전시 효율이 감소하며 충전소와 같은 인프라 구축도 미비된 상태이다.(28,29) 또한 수소 이용에 대한 대중적 불안심리 요소, 즉 위험한 연료라는 일반적인 인식 등을 종합적으로 고려하면 단기적으로 연료전지의 실용화 시기는 예측하기 어려운 상태이다.(1)

수소-천연가스 동력시스템은 전술한 수소연료의 특성(빠른 연소속도, 넓은 가연한계, 탄소를 함유하지 않은 연료)과 천연가스 연료의 특성(느린 연소속도, 좁은 가연한계)들의 장점을 이용하여 연소 초기 점화성을 향상시키고 희박연소를 가능케 하여 동력 시스템의 연소 및 배기특성 개선을 기대할 수 있다.(22) 또한 수소-천연가스 동력시스템의 경우, 천연가스 연료에 수소를 첨가시키는 방식으로 천연가스 동력시스템 개발시 확립된 기존의 엔진개발 기술과 연료 공급체계를 활용할 수 있으므로 차세대 동력시스템의 보급을 위한 사회경제적 인프라 구축이 용이하다. 따라서 비교적 단기간내 기술개발이 추진될 수 있으며 시장규모도 급성장할 것으로 예상된다.(1)

무엇보다 천연가스 동력시스템은 중대형 차량에 실용화되고 있으므로 수소 첨가시 엔진 성능향상 과 배기 성능 개선 및 향후 수소에너지 시대의 초래에 대비한 수소 연료에 대한 대중들의 불안감의 경감을 기대할 수 있고 동시에 수소의

사용을 점진적으로 증가시키는 효과가 있다. 현재 미국, 캐나다, 유럽 등에서는 수소-천연가스 혼합연료(HCNG or hythane) 동력시스템을 제시하고 실증사업에 주력하고 있다. 반면 국내에서는 최근에 이에 대한 관심을 갖기 시작했기 때문에 향후 선진 기술에 대응하기 위해서는 이에 대한 기술 확립이 절실히 필요한 실정이다.

## 2. 수소-천연가스 동력 시스템 개발

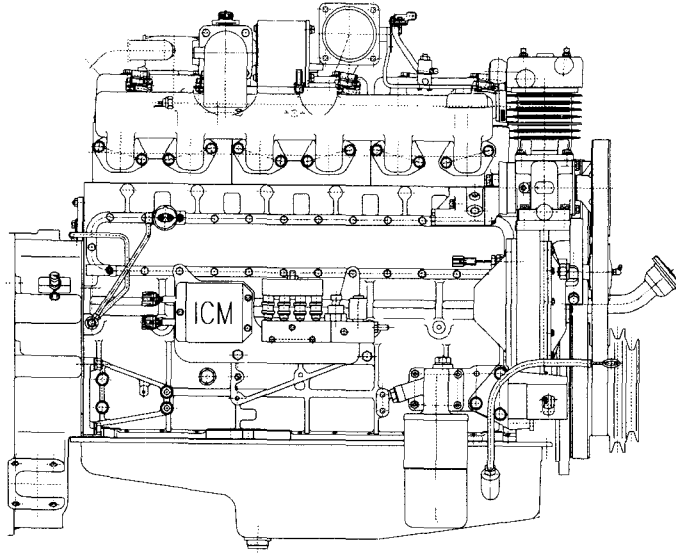
### 가. 수소-천연가스 엔진 제작

수소-천연가스 동력시스템용 대상엔진은 향후 실용성을 높이기 위해 대우종합기계 8 Liter 급 천연가스 엔진으로 선정하였다 엔진 외관 및 사양은 표 1, 그림 1과 같다.

<표 1 : 엔진 Specification>

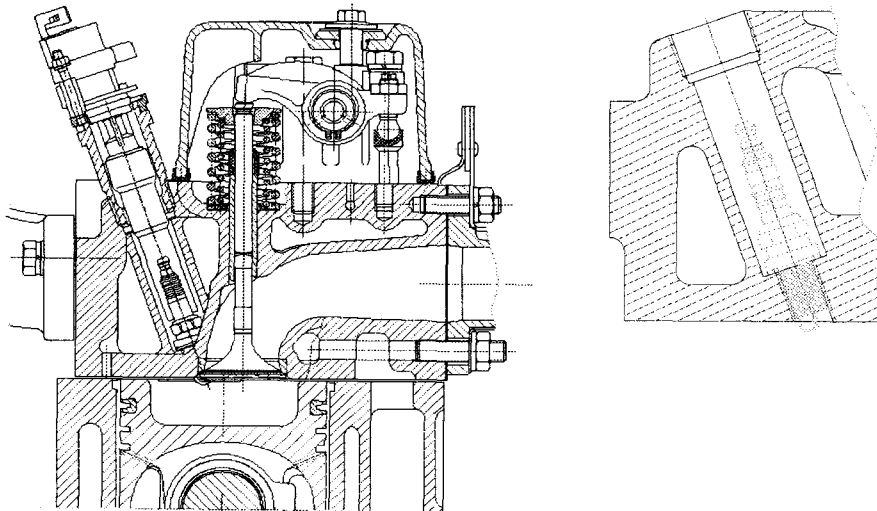
Model number	GE08TI
실린더수, 배기량	6 cylinder, 8.0 L
압축비	10.5
점화순서	1-3-3-6-2-4
외관치수	1259*1141*1006(mm)
중량	745 kg

먼저 디젤엔진의 인젝터를 탈거하고 그 자리에 스파크플러그를 장착 한다 (그림2 참조). 또한 적정 압축비유지를 위해 피스톤 디시볼륨을 조정 하였다(그림 3). 또한 기체연료로 인한 벨브 페이스 마모를 감소 시키기 위해 스텔라이트 코팅을 벨브 페이스와 벨브 시트링에 추가하였다(그림 4). 이는 수소-천연가스 엔진 개조 범위 및 개발 범위를 최소화하기 위함이다. 이에 대우종합기계(주)는 대상엔진을 현물 출자하여 제작하고 길들이기 시험을 완료하였으며, 천연가스엔진의 제반 성능 및 데이터를 취득하였다.



[그림 1 : Base 엔진]

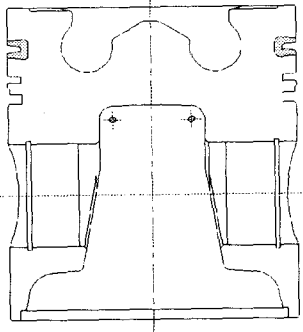
▶ Spark Plug Hole



[그림 2 : Spark plug hole]

▶ Piston Type

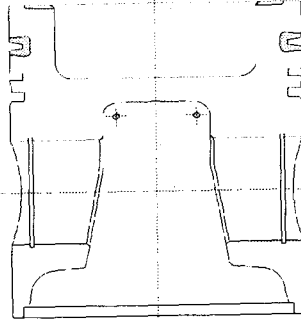
**DE08TIS  
(Diesel)**



**Re-entrant Type**



**GE08TI  
(CNG)**

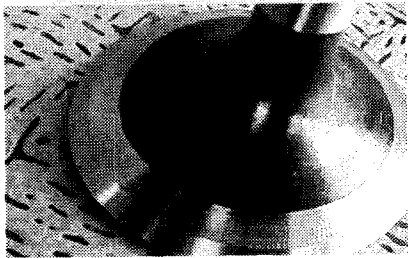
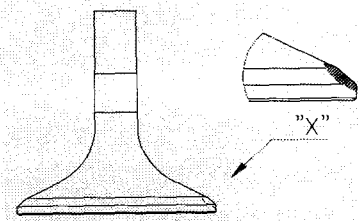


**Open Dish Type**



[그림 3 : 수소-천연가스 엔진 피스톤]

▶ Valve & Seat Ring



**Stellite Armoring**

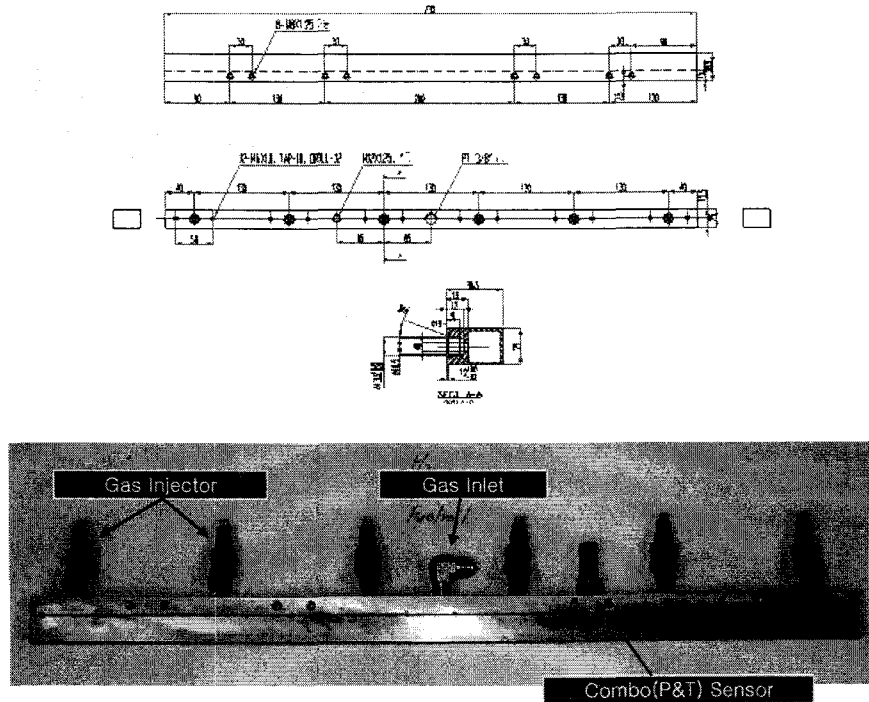
**Improvement of heat resistance**

**Low wear rate material with iron-based powder metal**

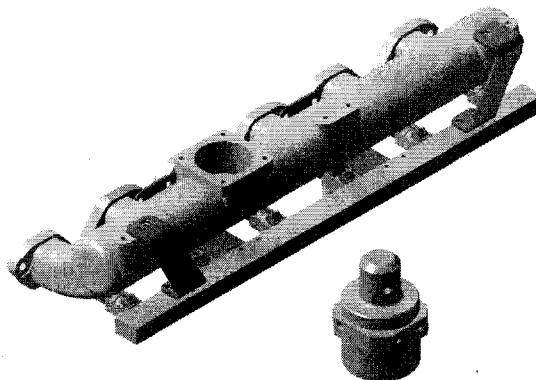
[그림 4 : Valve and seat ring]

## 나. 연료공급시스템

수소 연료 공급을 위해 Intake manifold를 개조하여 수소 MPI시스템을 제작(그림 5) 장착하여 수소-천연가스엔진을 제작하였다. 수소 천연가스 연료시스템은 그림 6과 같다. 120 bar로 저장된 수소를 압력조절기를 통해 5bar로 감압하여 mpi 메니폴드에 장착된 퓨얼레일에 공급하면 ecu에 조정을 받는 전자제어 인젝터가 엔진 운전 조건에 따라 연료량을 분사하는 형식이다.

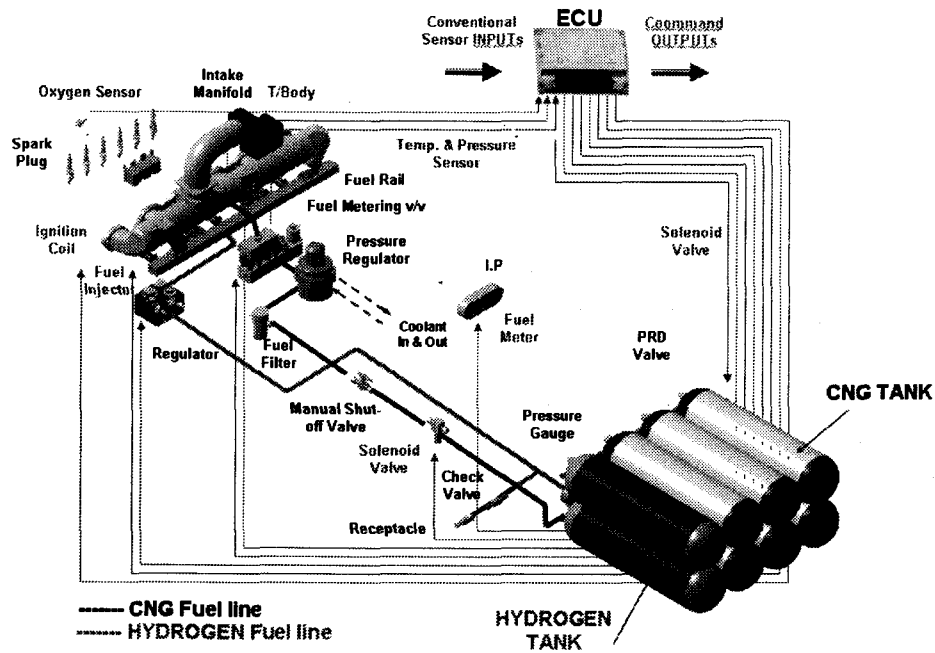


(a) Fuel rail 도면 및 시제품 사진



(b) Intake manifold assemble 3D drawing

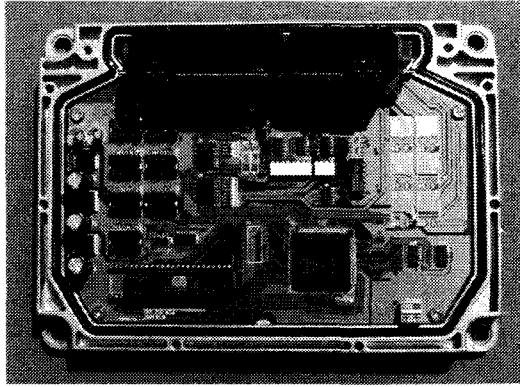
[그림 5 : 수소-천연가스 연료 공급 장치(Fuel rail 및 Intake manifold)]



[그림 6 : 수소-천연가스 동력시스템 연료장치]

#### 다. 수소-천연가스 엔진용 ECU 장치 개발

ECU 프로세서로(CPU)는 엔진제어 환경에 널리 사용되는 C167CR(지멘스 소스) 16비트 프로세서를 사용하였고 각종 입력 및 출력 대상의 환경에 적합하도록 회로를 설계하였다. 대상엔진에서 사용되는 각종 입력 센서의 특성을 반영하여, ECU 입력 측의 회로를 설계하였다. 즉, 엔진 참조각 신호는 엔진 캠축에 있는 24 Tooth target wheel 에 장착된 참조신호센서(VR type)를 기준으로, 압력 계통의 센서로 대기압, 흡기압, 연료분사압 센서 등을 반영하였으며, 트로틀 궤도(TPS) 센서 및 트로틀 궤도 피드백 센서 등을 반영하였고, 온도분야는 각 서미스터(Thermistor) 사양에 맞추어 냉각수온, 흡기온, 연료온도 등을 반영하였다. 또한 이론공연비 외에 희박연소 공연비 제어가 가능하도록 광대역산소센서(UEGO)를 제어할 수 있는 정밀 회로를 설계하였다. 한편, ECU 출력 측 구동장치를 구동하기 위한 즉, 점화시기제어를 위한 6개의 독립 드라이버(IGBT) 및 고압 가스인젝터를 구동할 수 있는 인젝터 드라이버(12A Peak) 6개를 독립적으로 적용하였다. 또한, 트로틀 궤도 구동용 DC Motor 드라이버 및 산소센서 히터 구동 및 각종 솔레노이드 밸브를 듀티 제어할 수 있는 회로를 적용하였다. 이렇게 설정된 입력 및 출력 신호의 정의를 기준으로 ECU 입출력 구성도를 작성하고, 본 구성도에 대응하여 회로설계를 완료한 후 PCB를 제작하여 CPU 및 각 소요 부품을 조립하여 대상엔진의 구동이 가능한 ECU 시작품(그림7) 제작하였다.

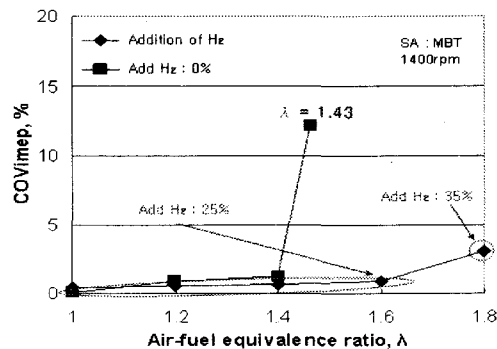


[그림 7 : ECU 시제품]

### 라. 수소-천연가스 단기통 엔진 시험결과

#### 1) 수소첨가에 따른 희박한계 확장효과

수소 첨가에 따른 연소속진으로 희박영역이 확장되나 안정된 운전을 하기 위한 영역은 통상 이보다 제한된다. 이를 파악하기 위해 수소를 첨가하여 확장되는 희박영역에서의 안정된 운전성을 나타내는 사이클 변동치를 해석하였으며 그 결과를 그림 8에 나타낸다. 천연가스만으로 운전한 경우의 사이클변동치는 공기과잉율  $\lambda$ 가 약 1.4 정도까지 완만히 증가하다가 이보다 약간 희박한 공기과잉율  $\lambda = 1.43$  근방에서 약 12% 정도로 현저히 증가하여 불안정한 운전을 하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 수소가스를 첨가하여 확장되는 희박영역에서는 사이클 변동치가 모두 5%미만인 것을 보이고 있다. 통상 사이클변동치가 5%미만인 경우가 안정된 운전성의 판단기준이 되므로 수소첨가에 의해 확장되는 희박영역은 모두 안정된 운전성을 갖고 정상운전이 가능한 영역으로 볼 수 있다. 따라서 상기의 사이클변동의 측면에서도 수소첨가에 의한 희박영역의 확장은 수소첨가율이 증가할수록 넓어지는 것을 확인할 수 있었다. 천연가스에 수소가스를 첨가하여 안정된 운전을 할 수 있는 희박한계는 수소첨가율  $RdH_2 = 25\%$ 일 경우는 공기과잉율  $\lambda = 1.6$  구간까지이며,  $RdH_2 = 35\%$ 인 경우는  $\lambda=1.8$ 까지 가능한 것으로 나타났다.

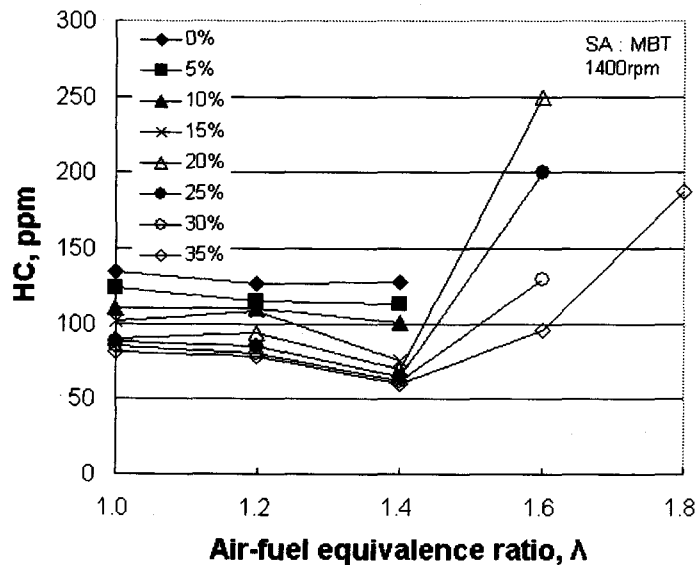


[그림 8 : 수소 첨가율에 따른 연소 안전성 ]



## 2) 수소 첨가에 따른 배출가스 특성

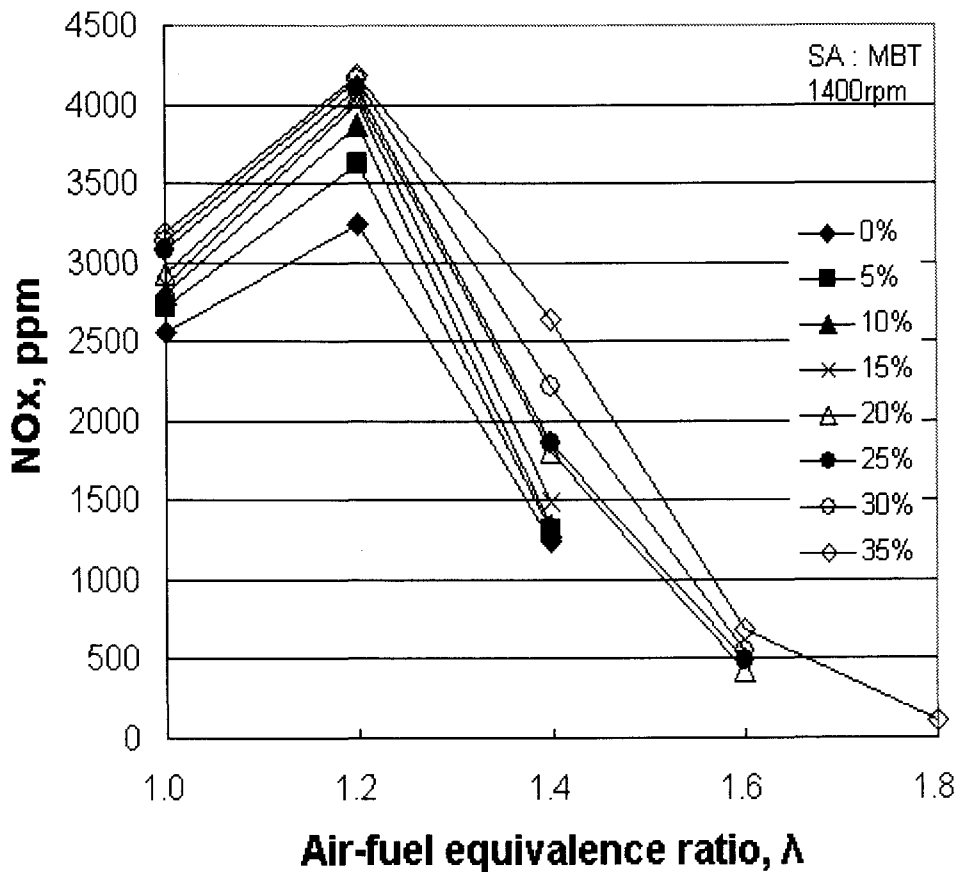
그림9는 HC 배출특성을 각 공기과잉율 조건에서 수소 첨가율 변화에 대해 나타낸 것이다. 수소첨가율을 증가시킬수록 HC의 배출량은 전반적으로 감소하는 경향을 나타내며 공기과잉율이  $\lambda=1.4(\phi=0.7)$ 까지 증가할 때 HC 배출량은 감소하다가  $\lambda=1.4$ 보다 희박영역으로 갈수록 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 공기과잉율  $\lambda=1.4$  구간에서, 수소첨가율  $RdH_2 = 35\%$ 인 경우가  $RdH_2 = 0\%$ 인 경우에 비해서 HC 배출량이 약 54% 정도 감소하여 가장 낮은 값을 보이고 있다. 수소 첨가율  $RdH_2 = 10\%$ 정도까지는 완만한 경향이지만 수소 첨가율  $RdH_2 = 15\%$ 인 경우 감소율이 크게 나타났다. 이와 같이 수소 첨가율이 증가할수록 HC의 배출량이 감소하는 것은 수소가 탄소를 함유하지 않아 혼합연료 중의 탄소량이 감소하고, 수소를 첨가함에 따른 소염거리의 감소 및 연소촉진효과와 단열화염온도가 높은 수소첨가량의 증가로 배기가스온도가 증가하는데 기인하는 것으로 생각된다. 공기과잉율  $\lambda=1.0-1.4$ 의 영역에서 수소첨가율  $RdH_2 = 5-35\%$ 의 모든 조건하에서 배기규제치를 만족하는 것으로 나타났다.



[그림 9 : 수소 첨가율에 따른 HC 배출특성]

그림10은 수소-천연가스 기관의  $NO_x$  배출 특성을 각 공기과잉율 조건에서의 수소 첨가율 변화에 대해 나타낸 것이다. 먼저 각각의 공기과잉율에 대하여 수소 첨가율을 증가시킴에 따라 전반적으로  $NO_x$  배출량은 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 전술한 바와 같이 높은 단열화염온도를 갖는 수소가스의 첨가량이 증가함에 따른 연소가스온도의 상승에 기인하는 것이라 볼 수 있다.  $NO_x$  배출은 공기과잉율  $\lambda=1.2$ 에서 최대치를 나타내며, 이보다 희박해지면 주지의 사실과 마찬가지로

로 공급열량의 감소에 기인하여 현저히 감소하는 것을 나타낸다. 전술한 바와 같이 수소첨가량이 증가하면 NOx 배출량이 증가하나 수소첨가에 따른 희박한계의 확장으로 NOx 배출이 감소하게 되어 공기과잉율  $\lambda = 1.0$ 에서 천연가스만을 사용한 경우의 NOx 배출량과 동일한 NOx 배출량은  $\lambda = 1.4$ 에서 수소첨가율 RdH2 = 35%에서 보여진다. 이보다 희박하면 NOx의 감소량이 현저하여 공기과잉율  $\lambda = 1.6$ 에서 수소가스를 RdH2=20-35%정도 첨가하면 천연가스만을 사용한 경우에 비하여 NOx 배출이 약 1/5정도로 현저히 감소하는 것을 나타낸다.



[그림 10 : 수소 첨가율에 따른 NOx배출 특성]

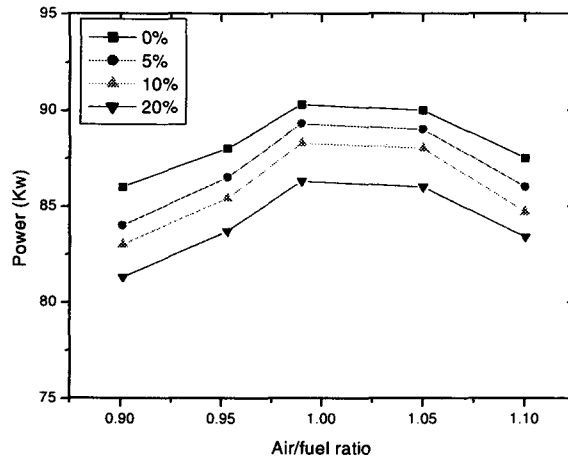
#### 마. 수소-천연가스 대기통엔진 시험결과

##### 1) 수소첨가에 따른 희박한계 확장효과

그림11은 공연비에 따른 정격 출력 특성을 비교한 것이다. 시험조건은 1,800 rpm, MBT 조건이다. 그림에서 보는 바와 같이 수소 함량이 증가할수록 출력이 감소함을 알 수 있다. 이는 수소의 큰 비체적으로 인하여 흡입공기량이 감소하는

것이 주요한 원인으로 판단된다.

출력 감소 대책으로는 체적효율 향상을 위해 수소 연료를 실린더내 직접 분사하는 방식을 생각할 수 있으나 이것은 엔진헤드 전체를 다시 설계해야 하는 부분으로 엔진 제작업체와 충분히 검토할 대상이다. 수소 첨가율 10%를 기준으로 이룬 공연비 부분에서 88 kw 출력을 발생하여 당과제의 목표치인 정격 출력 50kw를 만족함으로써 실용화엔 큰문제가 없다.



[그림 11 : 수소 첨가율에 따른 엔진 출력 특성]

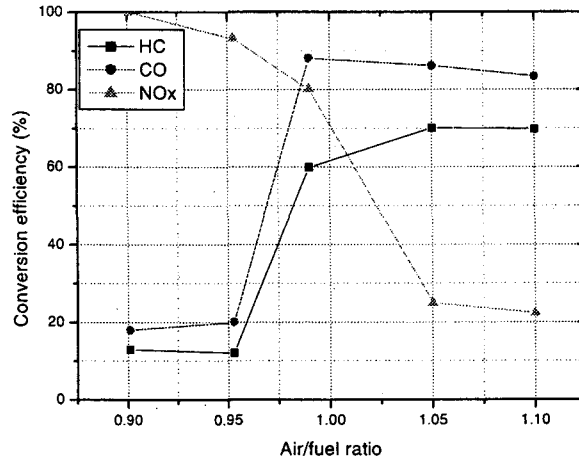
2) 배기후처리장치 성능평가 및 Tail-out emission 특성

본 실험에 사용한 촉매는 대형 가스엔진에서 사용하는 NELSON사의 삼원매장치로 자세한 사양은 아래 표 2와 같다.

<표 2 : 촉매장치 사양>

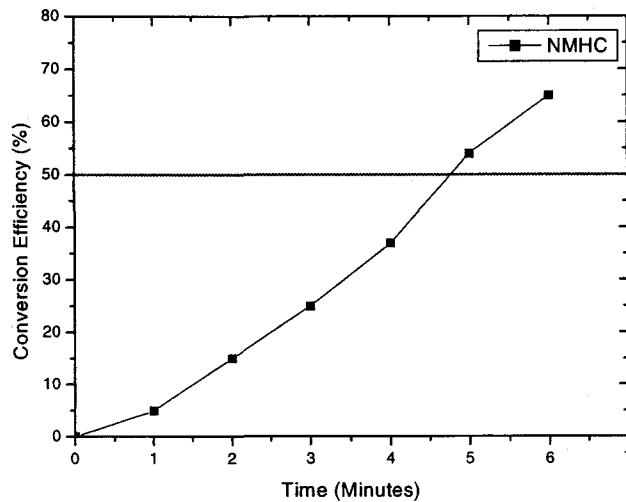
제조사	NELSON 28680A	
Dimension	Diameter	6.45"
	Length	19.6"
	Inlet Dia	3.525"
Catalyst Spec.	Configuration	Dual
	Precious metal	Pd/Rh=5:1 with 150g/cu.ft
	Cell density	200 cpsi

촉매성능을 평가하기위해 공연비에 따른 정화효율을 특성을 비교한 시험결과는 그림 12와 같다. 공연비 1근처에서 HC, CO, NOx가 65-90%의 정화효율을 특성을 보이고 있다.



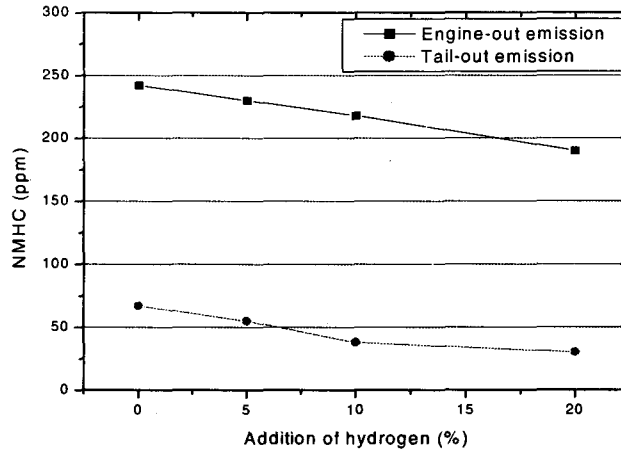
[그림 12 : 삼원 촉매장치 전화효율특성곡선]

그림13은 초기 촉매 활성화시간을 나타낸다. 정화효율 50%이르는데 4분30초 정도가 소요된다. 이것은 촉매의 크기와 장착 위치에 따른 문제로 생각된다. 배기가스 열손실이 큰 대형엔진에서는 불가피한사항으로 추후 이를 개선하기위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.



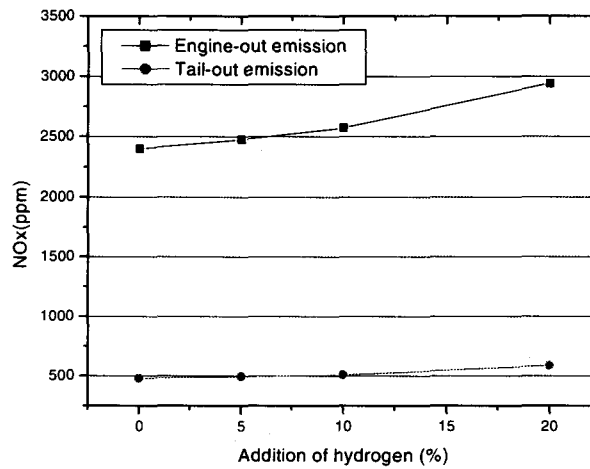
[그림 13 : 삼원촉매장치의 활성화시간 특성]

그림14는 수소함량 증가에 따른 촉매전후단의 NMHC 배출가스 특성을 보여준다. 수소함량을 증가시킬수록 배출가스가 저감함을 알 수 있다. 이는 수소를 첨가량이 증가할수록 연소가 원활히 됨으로써 미연탄화수소배출이 감소한다고 볼 수 있다.



[그림 14 : Tail-out NMHC 특성]

그림15는 수소함량 증가에 따른 촉매전후단의 NOx 배출가스 특성을 보여준다. 수소함량을 증가시킬수록 연소 온도 증가에 따라 배출가스가 증가함을 알 수 있다. 그러나 후처리 장치를 거친 후에는 수소를 첨가하지 않은 경우와 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.



[그림 15 : Tail-out NOx 특성]

#### 4. 결 론

“중대형 수소-천연가스 동력시스템의 개발” 연구를 수행하여 얻은 기술개발에 대한 결론은 다음과 같다.

1. Base엔진을 향후 실용성을 높이기 위해 대우종합기계 8,000cc급 천연가스

엔진으로 선정하고 수소 연료의 정밀 제어와 기관 성능 향상을 위해 MPI 형태의 엔진으로 개발하였다. 이를 위해 흡기다기관과 퓨얼레일을 새롭게 개발하였다.

2. 엔진의 정밀 제어를 위해 연료량제어, 점화시기제어 및 공기량제어가 가능한 ECU를 설계하여 산소센서를 통한 공연비 closed loop control이 가능하게 제어로직을 구성하였으며, 수소 연료의 온도와 공급압력을 보정하는 연료량 제어로직을 추가하여 정밀한 공연비제어를 할 수 있었다. 또한 향후 확장성을 고려해 최대 12기통까지 제어할수 있는 시스템으로 개발하였다.

3. 단기통 엔진을 이용하여 수소-천연가스 엔진의 열효율 및 출력특성을 측정 한 결과 압축비  $\epsilon=10.9$ 에서는  $RdH_2 = 35\%$ 까지 증가할 때 기관의 열효율은 증가하며, 공기 과잉율이 증가할수록 즉 희박영역으로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다.  $RdH_2 = 35\%$ 의 경우  $RdH_2 = 0\%$ 의 경우에 비해서 열효율이 8.4% 정도 증가하였다. 또한 공기과잉율  $\lambda=1.2(\phi=0.83)$ 에서 최대 열효율을 나타냈다.

4. 8,000 cc급 수소-천연가스 다기통엔진을 제작하여 기관의 성능 및 배출 가스특성을 알아보았다. 기관의 압축비는 Base엔진의 내구성 확보 및 질소산화물증가를 고려해 10.5:1로 선정했다. 수소 첨가율은 단기통 엔진의 실험결과를 반영하여 최대 20%까지로 정했다. 기관의 열효율은 공연비가 희박해질수록 수소 첨가율이 증가할수록 증가 하는 경향을 보인다. 이는 수소연료의 빠른 연소 속도와 넓은 가연한계로 연소가 원활히 이루어진 것으로 판단된다. 미연탄화수소의 경우 수소 첨가율이 증가할수록 연소가 촉진되어 감소하는 특성을 보이며, 질소 산화물의 경우 수소 첨가율이 증가할수록 연소 온도와 압력 상승으로 인해 급격히 증가하는 특성을 보인다.

5. 배기가스 규제에 능동적인 대처와 유해배기가스의 저감을 위해 배기후처리 장치를 엔진 배기관에 부착하여 실험하였다. 질소산화물의 경우 공연비 0.95에서 95%이상 정화효율을 보이다가 공연비1을 기준으로 급격히 저하하는 특징을 보인다. 질소 산화물 저감을 위해선 0.95이하로 다소 농후하게 연료량을 조절할 필요가 있다. 특히, 발전기 엔진의 경우 질소산 화물에 대한 규제만 있으므로 이 경우 효과적인 질소 산화물 저감을 위해 다소 농후하게 연료를 제어할 필요가 있다. 한편 수송용 기관으로 사용될 경우 미연탄화수소와 일산화탄소 규제가첨가됨으로 이 경우에는 이론공연비를 연료를 제어함으로써 HC, CO, NOx 공히 저감할 수 있는 제어로직을 선정해야 된다. 이론 공연비 부근에서 본 촉매는 60%의 정화효율을 보이고 있다. 따라서 기관의 용도에 따라 공연비 제어 영역을 달리해야한다.

## 참 고 문 헌

1. 이종태, 이재영, "수소이용기술분야의 개요 및 TRM", 한국 수소 및 신에너지학회, 춘계학술대회, 2002. 5, pp. 39-47
2. W. Wang, X. Sun, R. Bata, M. Gautam. N. Clark, G. Palmer, D. Lyons : "A Study of Emissions from CNG and Diesel Fueled Heavy-duty Vehicles", SAE 932826
3. A. Unich, R. Beta, D. Lyons : "National Gas : A Promsing Fuel for I.C. engines", SAE 930929
4. P. Hupperrich, M. Durnholz : "Exhaust Emissions of Diesel, Gasoline and Natural Gas Fulled Vehicles", SAE 960857
5. P. Hupperrich, M. Durnholz : "Exhaust Emissions of Diesel, Gasoline and Natural Gas Fulled Vehicles", SAE 960857
6. shouichi furuhama, "Trend of social requirement and technological develoment of hydogen-fueled automobiles", JSME Review, vol.13, no.1, 1991, pp.4-13
7. Joseph G. Finegold et al. "The UCLA Hydrogen Car : Design, Construction, and Performance." SAE730507, pp.1626-1637, 1973
8. 이종태, "수소-천연가스 엔진 개발 현황", 한국천연가스 차량협회 춘계학술 대회, 신기술 개발 동향, 2003
9. Michael R. Swain, Mirza J Yusuf, Zafer Dulger, Mattew N. Swain : "The Effects of Hydrogen Addition on Natural Gas Engine Operation", SAE 932775
10. 권태윤, 김진호, 최경호, 정연중, "LPG엔진에서 수소첨가가 배기성능과 열효율에 미치는 영향", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, pp 297-303, 2002.12
11. 조태희, 김창현, 이종태, 김문현, 이성열 "수소첨가에 의한 스파점화기관의 희박한계 확장에 관한 연구", 한국자동차공학회, 추계학술대회 논문집, pp.108-113, 1992.11
12. Nagalingam B, Duebel F, Schmillen K. "Performance study using natural gas, hydrogen supplemented natural gas and hydrogen in AVL research engine" Int J Hydrogen Energy, 715-720, 1983.
13. Karim GA, Wierzba I, Al-Alousi Y. "Methane-hydrogen mixtures as fuels" Int J Hydrogen Energy pp 625-631, 1996
14. 이종태, "수소-천연가스 엔진 개발 현황", 한국천연가스 차량협회 춘계학술 대회, 신기술 개발 동향, 2003
15. shouichi furuhama, "Trend of social requirement and technological

- development of hydrogen-fueled automobiles", JSME Review, vol.13, no.1, 1991, pp.4-13
16. Michael R. Swain, Mirza J Yusuf, Zafer Dulger, Matthew N. Swain : "The Effects of Hydrogen Addition on Natural Gas Engine Operation", SAE 932775
  17. 백성호, 이내현, 김지문, 이종태, 이성열, "수소 자동차 성균 1호 개발", 한국자동차공학회, 춘계 학술대회 논문집, pp 493-501, 1993.6
  18. 백성호, 이종태, "수소자동차 성균 2호의 제작 및 특성", 한국수소 및 신에너지학회 정기학술대회 초록집, pp 23-25, 1993.11
  19. 강정호, 2000, "직접분사식 CNG 기관의 연소 및 출력 특성에 관한 연구", 성균관대학교
  20. Per Tunestal, Magnus Christensen, Patrik Einewall, Tobias Andersson, Bengt Johansson, Owe Jonsson : "Hydrogen Addition For Improved Lean Burn Capability of Slow and Fast Burning Natural Gas Combustion Chambers", SAE 2002-01-2686
  21. 김윤영, 강정호, 이종태, "고출력 저배기 CNG기관의 개발을 위한 실린더내 직접분사방식의 검토", 한국자동차공학회, 추계학술대회 논문집, 2001. 11, pp. 196-202
  22. 이종태, "수소기관의 개발현황 및 특성", 한국자동차 공학회지 Vol.18, No.2, pp.29-52, 1996
  23. W. J. Keese et al., "California Clean Fuels Market Assessment", California Energy Commission Consultant Report, 2001
  24. "A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy-to 2033 and Beyond", U.S. DOE, 2002
  25. "National Hydrogen Energy Road map", U.S. DOE, 2002
  26. M. Goretz and L. Peng, "Free Piston Engine Its Application and Optimization", SAE 2000-01-0996
  27. "Concerns About 2020 Hydrogen Cars", H2CARBIZ article, American Physical Society Panel Discussion Report, 2004
  28. H. Moghbelli, et al., "A Comparative Review of Fuel Cell Vehicles and Hybrid Electric Vehicles", SAE 2003-01-2299
  29. H. J. S. Jan, et al., "Cost Competitiveness of Fuel Cell Vehicles Through Novel Hybridization Approaches", SAE 2003-01-0809
  - 30 김윤영, 이종태, "수소용 엔진 현황과 전망", 한국화학공학회 춘계학술대회 특별심포지움, 2004. 4