

## 수소첨가 가솔린기관의 희박한계 및 희박연소특성에 관한 연구

조태희, 김창현, 이종태  
성균관대학교 기계공학과  
수원시 장안구 천천동 300, 440-746

A Study on Lean Limit and Combustion Characteristics of  
Hydrogen Supplemented Gasoline Engine

Tae Hee Cho, Chang Hyun Kim, Jong Tai Lee

Department of Mechanical Engineering  
300, chunchun-dong Suwon, 440-740, Korea

Abstract : In order to realize the ultra lean burn, the method of hydrogen supplement in gasoline engine has been examined and analyzed. A small quantity of hydrogen gas was supplied and mixed with gasoline fuel in the intake manifold. As the results, lean limit was extended to fuel-air equivalence ratio 0.35 which normal combustion was impossible by gasoline fuel. The NO and CO were remarkably decreased, and thermal efficiency and torque were increased. It was also found that by considering cycle variation, emission characteristics, torque and thermal efficiency, suitable operate region of hydrogen supplemented gasoline engine was equivalence ratio 0.5.

### 1. 서 론

내연기관에서 배출되는 유해배기가스를 저감시키기 위하여 저공해 및 고효율을 동시에 만족시킬 수 있는 희박연소기관의 개발에 관심이 집중되고 있다.<sup>1-4)</sup>

그러나 주지의 사실과 같이 희박혼합기를 사용하는 경우 점화성 및 연소속도가 현저히 저하됨에 따른 연소의 불안정으로 사이클변동이 극심해지는 문제가 있다.<sup>5-6)</sup> 이를 해결하기 위해 점화계통 및 연소실 형상 개선과 실린더내의 유동강화 등이 검토되고 있지만 아직 만족할만한

수준이라고 할 수 없다. 특히 최근 강화된 배기 가스 규제치를 만족시키자면 공기연료비 25 : 1 이상의 영역까지 희박한계를 확장시켜야 한다. 그렇지만 현재의 방법으로는 이와같은 초희박한 영역에서 정상운전시키기는 거의 불가능한 실정이다<sup>7-9)</sup>.

이런데 반하여 연구중에 있는 수소기관에서는 수소연료의 빠른 연소속도와 점화하기 쉬운 성질이 오히려 문제가 되고 있다<sup>10)</sup>. 이와같은 수소가스의 특성을 이용하여 희박한 공기-가솔린 혼합기에 소량의 수소가스를 첨가하면 희박연소시 발생되는 착화성 및 연소속도 저하의 문제를 해결할 수 있다. 또한 이 경우에는 수소에 탄소 성분이 없으므로 일산화탄소 CO 및 미연소탄화수소 HC 와 같은 유해 배기성분 뿐만 아니라 온실효과의 원인이 되고 있는 이산화탄소 CO<sub>2</sub>의 배출까지도 저감시킬 수 있는 장점도 있다<sup>11-14)</sup>.

이러한 관점으로부터 수소가스를 첨가하여 희박연소를 실현시키려는 연구가 일부 진행되고 있으나<sup>15-21)</sup>, 수소첨가에 의한 기관성능향상효과와 안정된 운전을 할 수 있는 적정공기연료비 및 수소첨가율등에 대해서는 아직 명확히 밝혀지지 않은 것이 많다.

따라서 본 연구에서는 수소가스를 공기-가솔린 혼합기에 첨가하는 방식으로 초희박연소의 실현가능성을 검토하고자 수소첨가 스파크점화기관의 연소촉진효과, 희박한계의 확장범위, 유해배기성분 저감효과와 희박연소를 시키기위한 적정의 수소첨가량을 파악하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 전체적인 개략을 나타낸

것이다. 실험장치는 동력계에 직결된 실험기관, 흡배기계통, 가솔린 및 수소연료 공급계통, 각부의 온도와 압력 측정장치 및 해석장치로 구성된다.

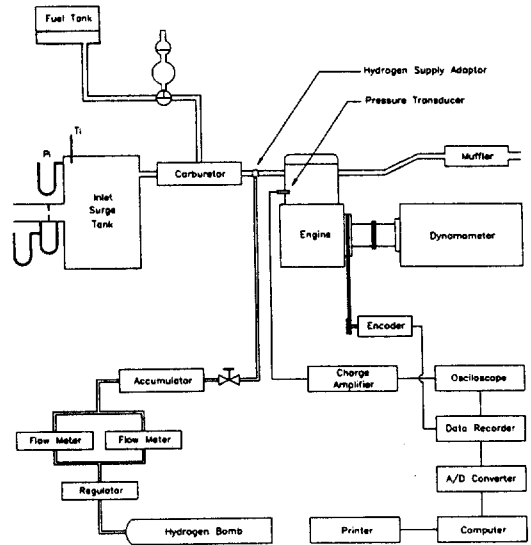


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험에 사용한 기관은 4 사이클 공랭식 단기통기관으로 주요 제원을 Table 1에 나타낸다.

Table 1. Specification of test engine

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| Engine type         | 4 Stroke, L-Hesad, S. I. Engine |
| Cooling             | Air cooling                     |
| Compression ratio   | 5                               |
| Bore × Stroke       | 90mm × 68mm                     |
| Displacement volume | 433cc                           |

수소연료는 고압으로 펌베에 충전되어 있는 수소연료를 사용하였다. 이를 압력조절기에서 90

kPa로 감압하여 Accumulator에 저장한후 내경 3.5mm의 수소연료공급관을 통하여 연속적으로 공급하였다. 수소연료공급관의 삽입위치는 기화기와 흡입밸브사이로 흡입밸브전방 43mm인 지점이다. 첨가되는 수소가스의 유량을 측정하기 위하여 압력조절기와 Accumulator 사이에 수소유량계를 병렬로 2개 설치하였으며, 첨가되는 수소연료량은 유량계의 유량조절밸브로 조절하였다.

연소실내의 압력은 Piezo type의 압력변환기를 연소실내에 삽입하여 측정하며, 측정된 압력데이터는 Amp. 를 거쳐 데이터레코더에 저장한후 A/D 변환기를 통하여 컴퓨터에서 해석하였다.

배기가스중의 NO, CO 및 HC 농도의 측정은 비분산형 적외선 배기가스 측정장치(Non Dispersive Infrared RayDetection Gas Analyzer)를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

실험은 크게 가솔린연료만으로 운전하는 경우와 수소를 첨가하여 운전하는 경우로 구별된다.

가솔린연료만을 사용하는 경우 공기연료비 9 : 1 로 부터 실화되기 직전의 희박한계까지 단계적으로 가솔린연료의 양을 줄여 공기연료비를 희박하게 하였다. 수소가스를 첨가하여 운전하는 경우는 상기의 가솔린 희박한계 공기연료비에서 수소기관이 정상운전하는데 필요한 수소가스의 최소량으로부터 단계적으로 첨가시켜 역화가 발생하기 직전까지 수소첨가량을 증가시켰다.

공기연료비는 전개운전(Wide open throttle)상태에서, 기관에 공급되는 가솔린연료와 수소 공급량을 조절하여 변화시켰다. 가솔린연료의 유량

은 기화기의 니어들 밸브로, 수소가스는 유량계의 유량조절밸브로 조절하였다.

각각의 경우에 있어서 기관회전속도는 1800 rpm 으로 하였으며, 점화시기는 최대 토크발생 시기로 하였다

## 2.3 수소첨가율 및 공기연료비

수소첨가율 수소첨가율 HMF는 단위시간당 기관에 공급된 가솔린연료 및 수소연료의 질량에 대한 수소연료 질량의 비로 정의하였으며 식 (1) 과 같다.

$$HMF = \frac{m_h}{m_g + m_h} \times 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $m_g$  및  $m_h$  는 각각 가솔린 및 수소연료의 질량이다.

공기연료비 공기-가솔린 혼합기에 수소를 첨가하는 경우, 공기연료비는 흡입공기질량에 대한 가솔린연료 및 수소가스 질량의 비로서 식 (2) 와 같이 표시된다.

$$A/F = \frac{m_a}{m_g + m_h} \times \frac{m_a \times HMF}{m_h \times 100} \dots \dots \dots (2)$$

여기서  $m_a$ 는 흡입공기의 질량이다. 통상 사용되고 있는 가솔린연료만을 고려한 공기연료비 ( $= \frac{m_a}{m_g}$ )는 A/F' 로 표시하여 구별하였다.

연료-공기 당량비 가솔린 및 수소연료의 이론공기연료비가 다르므로 수소연료를 첨가한 경우 구한 공기연료비의 값으로는 희박한 정도를 정확히 파악하기 힘들다. 따라 수소연료가 포함된 공기연료비를 식 (3)과 같은 당량비로 나타내

었다.

$$\phi = \frac{(A/F)_{\text{stoich}}}{(A/F)} = \frac{1505.3 + 19.3 \times \text{HMF}}{A/F' \times (100 - \text{HMF})} \dots(3)$$

여기서  $(A/F)_{\text{stoich}}$ 는 가솔린 및 수소연료가 완전연소한 경우의 이론공기연료비로서 연소반응식으로 부터 구하였다.

Fig. 2에 수소첨가율변화에 따른 공기연료비와 당량비의 관계를 나타낸다.

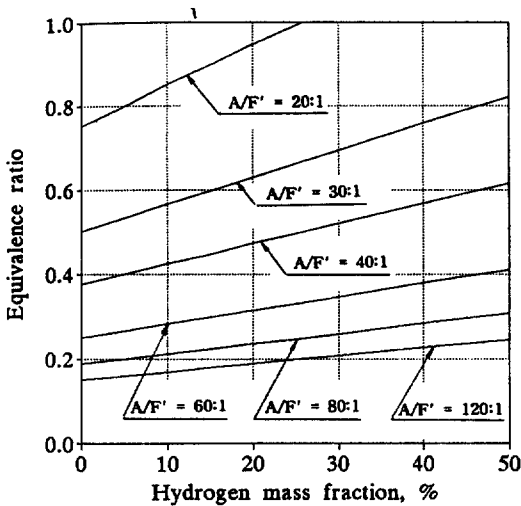


Fig. 2 Equivalence ratio as a function of hydrogen mass fraction at each air fuel ratio

### 3. 수소첨가에 의한 기관성능 향상효과

#### 3.1 연소속진효과

Fig. 3은 수소첨가율을 변화시킨 경우의 지압선도를 가솔린연료만으로 운전하는 경우와 비교한 일례이다. 이 경우 기관회전속도는 1800 rpm이며, 점화시기는 최적점화시기이다. 그리고 표

시된 공기연료비는 가솔린연료만을 고려한 공기연료비  $A/F'$ 이며,  $A/F'$ 를 동일하게 조절한 후 수소가스를 단계적으로 첨가하여 수소첨가율을 변화시켰다.

가솔린연료만을 사용한 경우의 압력선도는 완만한 상승을 나타내는데 비하여 수소가스가 첨가된 경우는 이보다 급격한 상승을 보이며 압력도 전체적으로 높은 것을 나타낸다. 또한 수소가스의 첨가량을 증가시킬수록 실린더내 최고압력은 높아지며 최고압력 발생시기는 빨라진다. 이러한 결과는 수소가스의 첨가에 의해 연소속진의 효과가 있음을 의미하는 것이다.

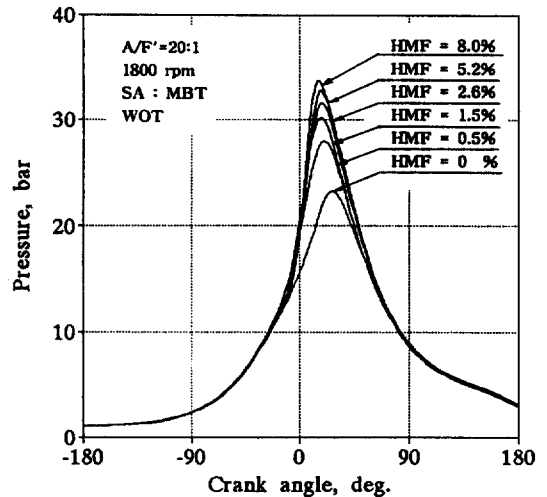


Fig. 3 Comparison of pressure curve at each hydrogen mass fraction

Fig. 4에 수소 첨가량변화에 대한 착화지연기간 및 연소기간의 변화를 나타낸다. 여기서 착화지연기간은 점화로부터 압력이 상승하는데 걸리는 시간이며, 연소기간은 질량연소율 0%에서 100%까지의 기간이다.

점화지연기간 및 연소기간 모두 수소첨가율 2.6%까지는 현저히 감소하나 그 이상 첨가한 경

우에는 완만한 감소를 나타내고 있다. 수소첨가율이 2.6%인 경우 가솔린연료만으로 운전하는 경우보다 점화지연기간은 약 53%, 연소기간은 약 33% 감소하여 미량의 수소 첨가에 의해서도 회박한 혼합기를 사용함에 따른 점화성 및 연소속도의 저하문제를 해결하는데 큰 효과가 있음을 보여주고 있다.

수소 첨가에 의한 연소기간의 감소 효과가 연소의 어느 기간에 가장 큰 영향을 미치는가 파악하고자 연소기간을 초기연소기간, 주연소기간,

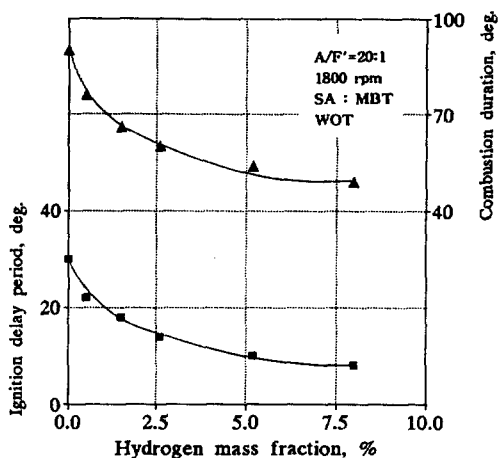


Fig. 4 Ignition delay period and combustion duration as a function of hydrogen mass fraction

후연소기간으로 구분하여 나타낸 것이 Fig. 5이다.

여기서, 초기연소기간은 질량연소율 0%에서 10%, 주연소기간은 10%에서 90%, 후연소기간은 90%에서 100%까지의 기간으로 각각 정의한다.

초기연소기간, 주연소기간 및 후연소기간 모두 수소첨가율은 증가시킴에 따라 감소하며, 주연소기간 및 후연소기간의 감소가 현저하다. 이것은 수소 첨가에 의해 주연소기간 및 후연소기간을

단축시키는데 큰 효과가 있음을 나타내는 것이다.

### 3.2 회박한계의 확장

수소 첨가에 의하여 확장되는 회박한계의 범위를 파악하기 위하여 가솔린연료만을 사용한 경우와 수소를 첨가하여 운전하는 경우의 토크를 연료-공기 당량비에 대해 Fig. 6에 나타낸다. 이 경우 기관회전속도는 1800rpm, 점화시기는 최적점화시기이다.

그림에 나타난 바와 같이 가솔린연료만으로 운전하는 경우 토크는 당량비 1.1 정도에서 최

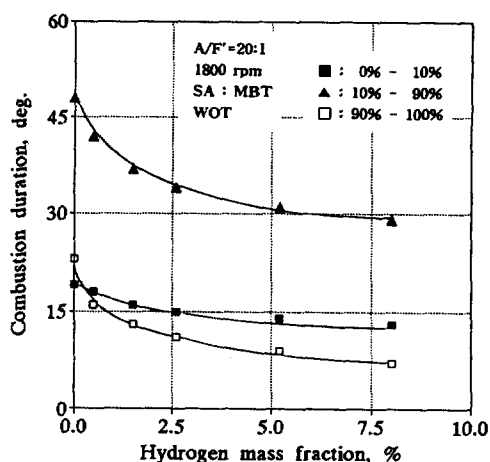


Fig. 5 Combustion duration as a function of hydrogen mass fraction

대치를 나타내고 회박영역으로 갈수록 급격히 감소하여 당량비 약 0.8 이하에서의 영역에서는 정상적인 운전이 어렵다. 그러나 수소를 첨가한 경우는 전술한 바와 같은 연소촉진의 효과로 가솔린연료만으로 운전이 불가능한 당량비 0.35의 초회박영역에서도 운전이 가능하여 수소 첨가에 의해 회박한계가 대폭적으로 확장되는 것을 알 수 있다. 가솔린연료만을 사용하여 당량

비 약 0.8 정도에서 얻어진 출력과 동일한 출력은 수소 첨가시에는 당량비 약 0.5 정도에서 얻어진다.

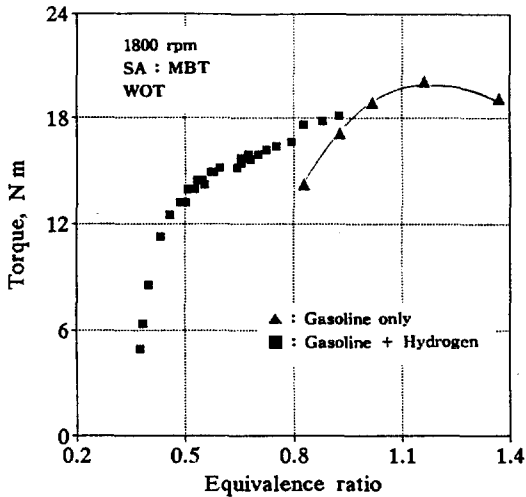


Fig. 6 Torque as a function of equivalence ratio

### 3.3 열효율 및 토크

Fig. 7은 확장되는 희박영역에서의 열효율을

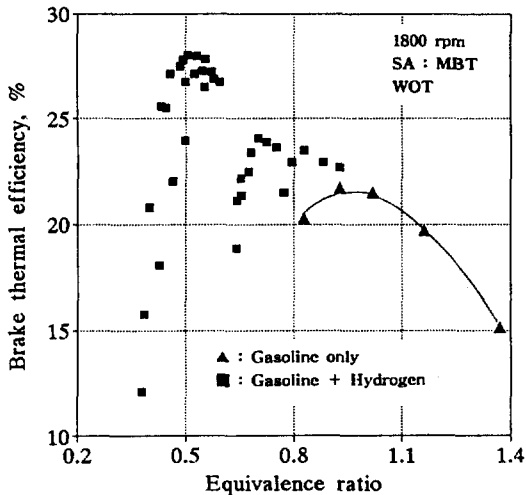


Fig. 7 Brake thermal efficiency as a function of equivalence ratio

각각의 당량비에 대하여 나타낸 것이다.

가솔린연료만으로 운전하는 경우의 열효율은 희박혼합기 사용에 따른 연소온도 저하에 기인하는 가스로부터 벽면으로의 열손실 감소로 인하여 이른 공기연료비보다 약간 희박한 영역에서 최대치를 나타내며 그 이상의 희박 영역에서는 급격히 감소한다. 그러나 수소를 첨가시킨 경우의 열효율은 이보다 더욱 희박한 당량비 0.5 근방까지 증가하며, 그 이상의 영역에서는 희박혼합기 사용에 따른 연료의 불균일성과 점화성의 저하 및 연소속도의 감소로 기인하여 급격히 감소하는 경향을 나타낸다. 이때 열효율은 약 28% 정도로 가솔린연료만을 사용하는 경우보다 약 6%정도 향상되는 것을 나타낸다.

Fig. 8에 수소첨가율변화에 대한 토크 및 공급열량을 나타낸다.

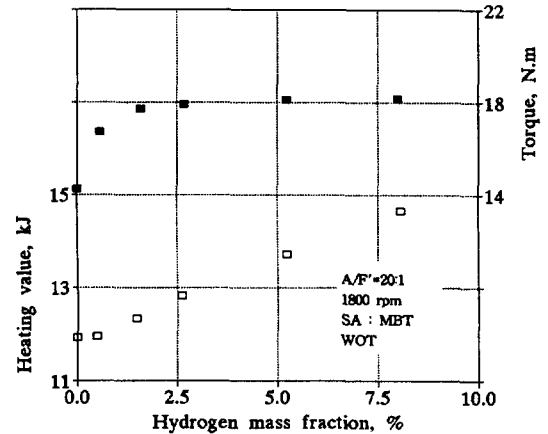


Fig. 8 Torque and heating value as a function of hydrogen mass fraction

토크는 수소첨가율을 증가시키에 따라 현저히 증가한다. 완만하게 증가하는 경향이다. 수소첨가율의 증가에 따라 토크가 증가하는 것은 발열량이 큰 수소가스의 첨가로 인해 가솔린연료가

감소되더라도 공급되는 전체연료의 발열량이 증가하는데 의한 것이다.

그러나, 공급열량이 지속적으로 증가하는데도 불구하고 토크의 증가율이 완만해지는 것을 보면 연소촉진효과에 적절한 수소첨가량이 존재한다는 것을 알 수 있다.

수소가스첨가에 의한 토크의 증가는 일례로 공기연료비  $A/F' = 20 : 1$ 에서 수소가스를 2.5% 첨가하면 가솔린 연료만으로 운전하는 경우보다 약 25%정도 증가함을 나타낸다.

### 3.4 유해 배기가스성분의 저감 효과

Fig. 9는 수소를 첨가하여 운전하는 경우 배출되는 NO를 당량비 변화에 대해 나타낸 것이다.

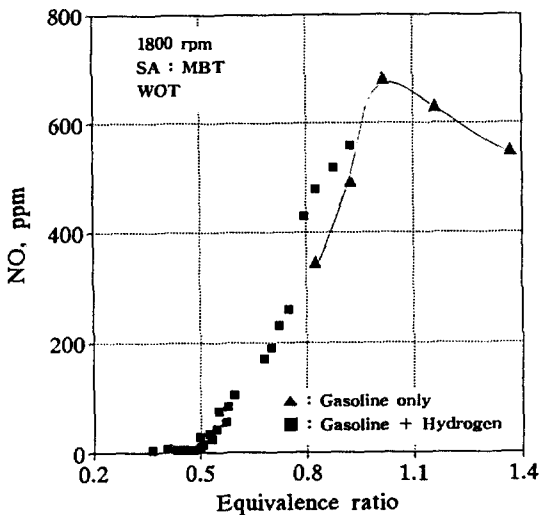


Fig. 9 Nitric oxide emissions as a function of equivalence ratio

NO의 배출은 가솔린연료만으로 운전하는 경우 주지의 사실과 마찬가지로 이론공기연료비보다 약간 희박한 부근에서 최대치를 보이며 그

이상의 희박영역에서는 연소가스온도의 저하에 기인하여 감소한다. 그리고 수소를 첨가하여 희박영역을 확장시키면 NO의 배출은 지속적으로 감소하여 당량비 0.5 이하의 영역에서는 거의 발생하지 않는 것을 나타낸다.

가솔린연료만으로 운전이 가능한 당량비 0.8 이상의 영역에서 수소를 첨가하여 운전하는 경우가 가솔린연료만으로 운전하는 경우에 비해 NO의 배출이 약간 증가하는 것은 가솔린연료보다 2.7배 큰 발열량을 갖는 수소가스의 첨가에 따른 공급열량의 증가와 수소의 높은 단열화염온도에 의한 연소온도 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

가솔린연료만으로 운전이 가능한 희박계당량비 0.8에서 NO의 생성량은 배출량에 비하여 수소를 첨가하여 희박한계를 당량비 0.5 이하의 영역까지 확장시켰을 경우 NO의 배출량은 약 1/15 정도로 현저히 저감된다. 전술한 바와 같이 연료-공기당량비 0.5는 가솔린연료만으로 운전하는 경우의 희박한계당량비인 0.8에서 얻어지는 출력과 동일한 출력이 얻어지는 영역이다. 따라서 수소 첨가에 의해 희박연소를 실현시키면 출력의 저감없이 NO를 현저히 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

지금까지의 수소기관 연구결과로 수소기관의 출력은 점화시기의 변화에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.<sup>10)</sup> 이것은 수소연료의 빠른 연소속도에 기인하는 것으로 상기와 같은 결과가 수소첨가 스파크점화기관에도 나타난다면 점화시기를 지각시킴으로서 출력의 큰 저감없이 NO의 생성을 더욱 억제할 수 있으리라 판단된다. 이를 파악하기 위해 점화시기 변화에 대한 토크 및 NO의 배출 경향을 해석하였다.

Fig. 10은 점화시기 변화에 대한 토크 및 NO

의 변화 경향을 나타낸 것이다. 이 경우의 실험 조건은 기관회전속도 1,800rpm, 연료-공기당량비 0.7, 수소첨가율은 7%이다.

점화시기를 최적 점화시기보다 15° 지각시키면 NO 뿐만아니라 토크도 감소한다. 그러나 그 감소율은 토크가 약 4%인데 비하여 NO의 배출은 약 16%정도로 현저하다.

가솔린연료만으로 운전하는 경우 점화시기를 최적 점화시기에서 15° 지각시키면 약 13%정도의 출력이 감소된다는 것을 고려하면 수소 첨가 스파크점화기관에서 점화시기 지각에 의한 출력 감소는 그리 크지 않다고 판단된다.

점화시기를 15° 지각시킨 경우와 동일한 NO의 배출치를 희박혼합기를 사용하여 얻고자 하면 희박영역을 당량비로 약 0.65까지 확장시켜야 한다. 그러나 이 경우 출력은 약 11%정도 감소하게 된다. 따라서 요구되는 NO 배출치를 만족시키기 위해서는 최적 점화시기하의 희박혼합기를 사용하는 것보다 약간 농후한 혼합기에서 점화시기를 지각시키는 것이 유리함을 알 수 있다.

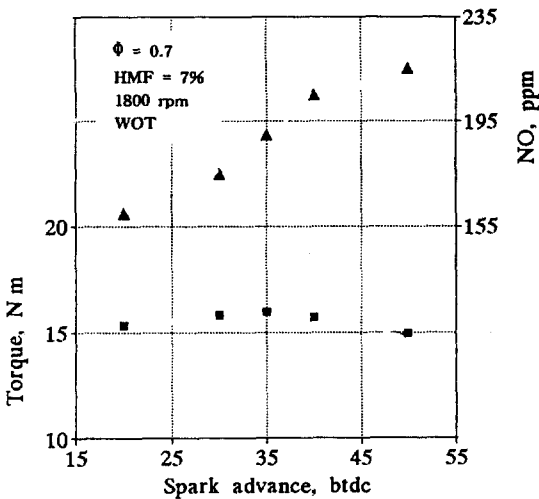


Fig. 10 Torque and nitric oxide emissions as a function of spark advance

수소첨가 가솔린기관의 CO 및 HC의 배출을 당량비 변화에 대해 Fig. 11에 나타낸다.

CO의 배출은 가솔린연료만으로 운전하는 경우와 수소를 첨가하는 경우 모두 당량비가 희박해질수록 감소하는 영향이다. 그러나 수소가 첨가된 경우가 가솔린연료만으로 운전하는 경우보다 전체적으로 낮으며, 당량비 0.6 이하에서는 거의 배출되지 않고 있다.

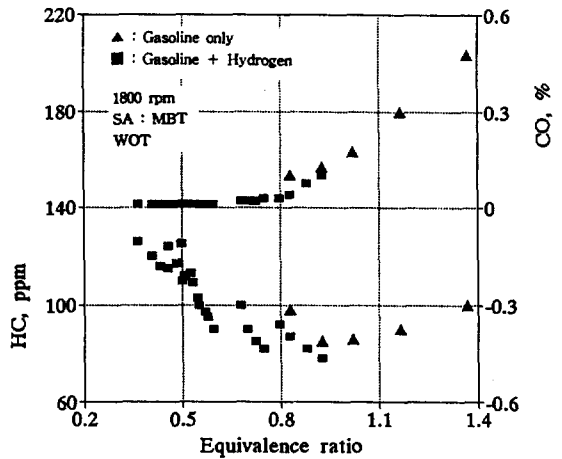


Fig. 11 Carbon monoxide and unburned hydrocarbon emissions as a function of equivalence ratio

당량비 0.8에서 두 경우의 CO 배출을 비교하면 수소를 첨가하는 경우가 가솔린연료만으로 운전하는 경우에 비하여 약 60%정도 감소하여 CO 저감에 수소 첨가의 효과가 현저함을 알 수 있다. 이것은 수소가스가 첨가됨에 따라 연료중의 탄소성분이 감소하는데 기인하는 것으로 생각된다.

수소가스를 첨가하여 희박한계를 당량비 0.5 이하의 영역까지 확장시켰을 경우 CO의 생성은 가솔린연료만으로 운전한 경우에 비하여 약 1/10이하까지 저감되는 것을 나타낸다.



수소를 첨가한 경우의 HC 생성은 당량비 0.6 부근까지는 가솔린연료만으로 운전하는 경우의 희박한계 당량비인 0.8에서 배출되는 것보다 적은 양이다. 그러나 그 이상의 희박영역에서는 희박한 혼합기를 사용함에 따른 연소의 불안정에 의해 HC가 급격히 증가하는 경향이다. 당량비 0.8에서 HC의 배출을 비교해 보면 수소를 첨가하여 운전하는 경우가 가솔린연료만으로 운전하는 경우보다 약 10%정도 감소하므로 수소 첨가량을 증가시킴에 의해 HC를 감소시킬 수 있으리라 생각된다.

#### 4. 적정 운전조건의 파악

##### 4.1 안정된 운전이 가능한 희박영역

전술한 바와 같이 수소를 첨가함에 따라 희박한계를 당량비 약 0.35까지 확장시킬 수 있었으나 실용화 할 수 있는 기관을 개발하기 위해서는 안정된 운전을 할 수 있는 희박한계가 밝혀져야 한다. 기관의 연소와 운전의 안전성을 종합적으로 판단할 수 있으며, 사이클 변동의 크기는 연소 및 출력의 안정성을 종합적으로 판단할 수 있는 도시평균유효압력변동율(COV in Imep)로 해석하였다.

Fig. 12는 수소첨가량 변화에 대한 도시평균유효압력변동율을 각각의 당량비 대해 나타낸다. 여기서 도시평균유효압력변동율 COV in Imep는 다수 사이클의 도시평균유효압력의 평균치와 임의 사이클의 도시평균유효압력과의 차에 대한 표준편차로 정의된다.

가솔린연료만으로 운전하는 경우의 COV in Imep는 최대토크가 발생되는 당량비 부근에서 최소치를 나타내며 그보다 희박한 영역에서는 급격히 증가한다. 그러나 수소를 첨가하면 사이

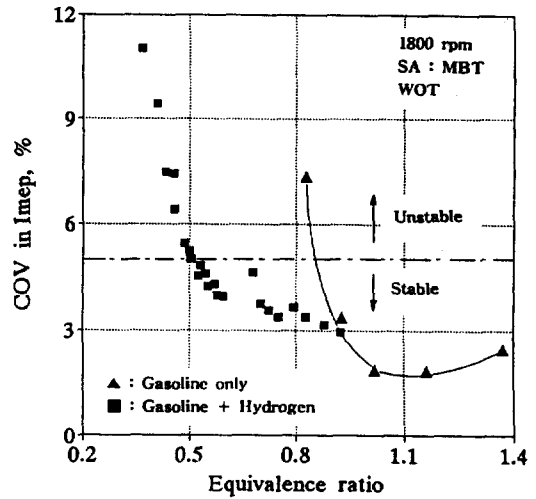


Fig. 12 Coefficient of variation in indicated mean effective pressure as a function of equivalence ratio

클변동이 현저히 감소하는 경향이다. 수소를 첨가한 경우 COV in Imep는 당량비 0.6의 영역까지 거의 일정하다가 그보다 희박한 영역에서는 급격히 증가하는 경향이다.

가솔린연료만을 사용하는 경우 안정된 운전이 가능한 COV in Imep는 약 5%정도라 볼 수 있다. 수소를 첨가한 경우에 있어서도 위와 같은 사이클변동치르 적용하면 당량비 약 0.5까지는 안정된 운전이 가능한 것으로 추정된다. 따라서 수소 첨가에 의해 가솔린 연료만을 사용한 경우보다 당량비로 0.3정도 희박한계가 확장되는 효과가 있는 것을 알 수 있다.

이 당량비는 전술한 바와 같이 열효율이 최고치를 나타내고 가솔린 연료만의 희박한계시 얻어지는 출력과 동일한 출력을 나타내는 당량비이다. 그리고 이 당량비에서 유해 배기성분은 가솔린연료만의 희박한계에서 운전하는 경우보다 HC만이 약간 증가할뿐 NO 및 CO는 1/10 이상 대폭적으로 감소하므로 수소 첨가 스파크 점화

기관은 연료-공기 당량비 0.5의 영역까지가 적정 운전 영역이라 판단한다.

#### 4.2 적정 수소첨가율

수소첨가량을 증가시키에 따라 회박한계는 확장되지만 수소첨가량이 너무 작으면 실화가 일어나고 너무 많으면 수소연료의 특이한 연소특성에 의하여 역화가 발생한다. 따라서 각각의 당량비에 적정 수소첨가율의 범위가 존재하게 된다.

Fig. 13은 각각의 당량비에서 첨가되는 수소의 최소량과 최대량의 한계를 나타낸 것이다.

그림에서 선 A는 실화되지 않는 최소의 수소첨가율, 선 B는 역화가 발생하지 않는 최대의 수소첨가율을 나타낸다. 그러므로 선 A 미만은 실화되는 영역이고, 선 B 이상은 역화가 발생하여 정상적인 운전이 불가능한 영역이다. 당량비가 회박해질수록 실화와 역화가 일어나지 않는 수소첨가율은 모두 증가하는 경향이지만 역화가

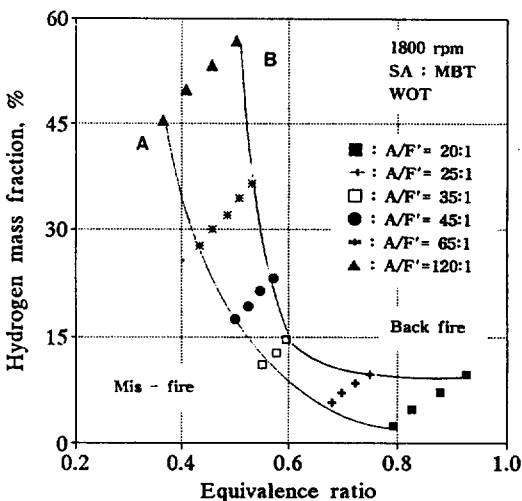


Fig. 13 Hydrogen mass fraction versus equivalence ratio

발생되지 않는 최소의 수소첨가율은 완만히 증가하다가 급격히 증가하므로 정상적인 운전이 가능한 수소첨가율의 범위는 당량비 0.6까지 감소하다가 그 후의 다시 증가한다.

역화는 연소실내의 열점에 의해 혼합기가 조기착화되어 연소속도에 의해 흡기관쪽으로 화염이 역류하는데 기인한다. 따라서 상기와 같은 경향은 수소첨가량의 증가에 따른 수소-가솔린 혼합기의 연소속도 증가와 회박 혼합기 사용에 따른 열발생량의 감소가 복합적으로 영향을 미치는데 의한 것으로 볼 수 있다.

수소 첨가시 열효율이 최대인 당량비 0.5에서 수소첨가율은 최소 약 19% 정도가 필요하다.

Fig. 14는 수소를 첨가하여 운전하는 경우 각각의 공기연료비에서 적정의 수소첨가율을 나타낸 그림이다. 그림에서 선 A는 운전에 필요한

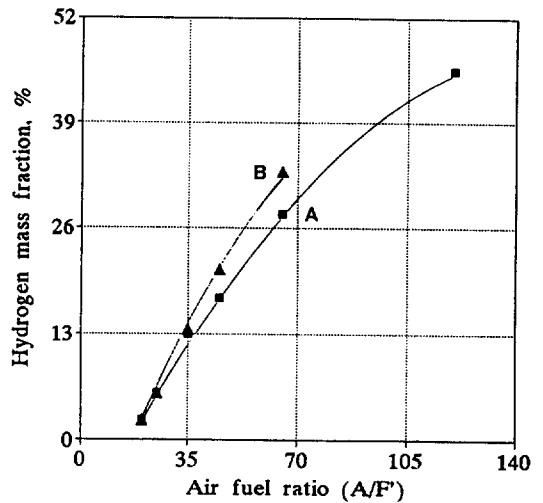


Fig. 14 Hydrogen mass fraction versus air fuel ratio (A/F')

Fig. 14는 수소를 첨가하여 운전하는 경우 각각의 공기연료비에서 적정의 수소첨가율을 나타낸 그림이다. 그림에서 선 A는 운전에 필요한

최소의 수소첨가율이며, 선 B는 사이클 안정에 필요한 수소첨가율을 나타낸다. 공기연료비 35 : 1의 영역까지는 기관의 운전이 필요한 최소의 수소량으로도 안정된 운전이 가능하나 그 이상의 영역에서는 보다 많은 양의 수소가 필요함을 나타낸다. 그러나 공기연료비 65 : 1 이상의 영역에서는 50%이상의 수소를 첨가하여도 사이클이 안정되지 않으며, 역화를 고려하면 그 이상의 첨가도 곤란하다.

회박혼합기를 사용하는 경우 공급열량의 감소로 인하여 출력은 감소하지만 동일 당량비라도 수소첨가율을 증가시키면 수소의 발열량이 큰 것에 기인하여 출력은 어느 정도 보상이 가능하게 된다. 따라서 임의 출력을 얻기 위하여 필요한 수소첨가율을 파악하기 위하여 Fig. 15에서

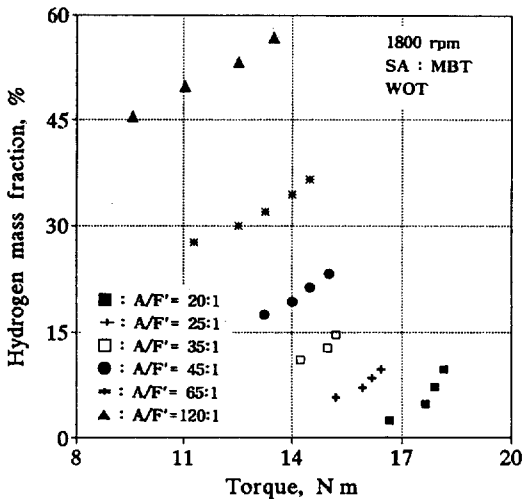


Fig. 15 Hydrogen mass fraction versus torque

각각의 공기연료비에 있어서 수소첨가율과 토크와의 관계를 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 임의 출력을 얻기 위해서는 수소첨가량이 적은 회박공기혼합기를 사용하는 방법과 이보다 더욱 회박한 공기연료

비에서 수소첨가량을 늘리는 방법이 있다. 전자의 경우는 HC, 후자의 경우는 NO 및 CO가 적게 배출되므로 요구되는 기관성능 및 유해 배기성분의 규제치에 따라 공기연료비 및 수소첨가율이 결정되어야 한다.

### 5. 결 론

스파크 점화기관에 수소가스를 첨가한 경우 기관성능의 향상효과와 적정의 수소첨가량 및 운전영역을 파악하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 회박한 혼합기에 미량의 수소가스를 첨가하면 수소연료의 빠른 연소속도와 좋은 점화성에 의한 연소촉진효과로 점화지연기관 및 연소기관이 현저히 감소하고 열효율 및 토크가 향상되므로, 수소첨가가 회박연소시 야기되는 점화성 및 연소속도저하의 해결에 큰 효과가 있음을 알았다.
2. 수소첨가에 의해 가솔린연료만으로 운전이 불가능한 당량비 0.35까지 운전가능하지만 사이클변동을 고려하면 가솔린연료만을 사용한 경우보다 당량비로 약 0.3정도 회박한 계가 확정됨을 나타낸다.
3. 수소첨가에 의해 초회박연소를 실현시키면 가솔린연료만을 사용하는 경우에 비해 출력의 저감없이 NO 및 CO의 배출량을 약 1/10 이하 수준으로 감소시키는 것이 가능하다.
4. 각각의 당량비에서 실화 및 역화가 발생하지 않는 적정의 수소첨가율 및 공기연료비가 존재하며, 토크, 열효율, 사이클 변동 및 유해 배기성분등을 종합적으로 고려하면 수소첨가 스파크점화기관은 연료-공기 당량비 0.5의 영역까지가 적정 운전 영역이라 판단한다.

References

1. F. J. Marsee, R. M. Olree, J. L. Hill, A. I. tEMBY, "Lean Burn-A. Rational Approach to Emission Control" , SAE 820312.
2. Hiroshi Okano, "Development of Lean Burn Engines in Toyota". Lean Burn Gosoline Engine Symposium, 1992.
3. Kazutoshi Nishizawa, "Honda VTEC-E Lean Engine". Lean Burn Gosoline Engine Symposium, 1992.
4. Colin R. Ferguson, "Internal combustion engines" , pp. 371-431, Wiley.
5. Frederic A. Matekunas, "Modes and Measures of Cyclin Combustion Variability" , SAE 830337.
6. Ole Bjorn Nielsen, Bjorn Qvale, Spencer Sorenson, "Ignition Delay in the Duel Fuel Engine" , SAE 870589.
7. David R. Lancaster, Roger B. Krieger, "Effects of Turbulence on Spark-Ignition Combustion" , SAE 760160.
8. K.Nakanishi, S Iguchi, H Okano, S. Furuno, "Development of a new intake system for a 4-valve lean burn engine" , XXIV FISITA CONGRESS, 1992.
9. Hiroyuki Yamamoto, "Surrounding Combustion Process-New Comcept for Lean Burn Engine" , SAE 920058.
10. 김용태, 김지문, 이종태, 이성렬, "직접분사식 스파크점화 수소기관의 연소 및 성능 특성에 관한 연구" , 한국수소에너지학회지 Vol. 3, No. 1, pp. 1~16, 1992.
11. 水素エネルギー-システム研究會, "水素エネルギー-讀本" , オ-ム社, 1982.
12. CaH A. Kukkonen, "Hydrogen as an Alternative Automotive Fuel" , SAE 810349.
13. Abdel Moneim Ibrahim, Mohamed M. El Fawel, "Thermo dynamic properties of the Combustion Gases of Hydrogen" , SAE 841401.
14. Shoichi furuhama, "Trend of Social Requirements and Techological Development of Hydrogen-Fueled Automobiles" , JSAE Review Vol. 13, No.1, 1991.
15. James G. Hansel, "Lean Automotive Engine Operation-Hydrocarbon Exhaust Emissions and Combustion Characteristics" , SAE 710164.
16. R. F. Stebar, F. B. Parks, "Emission Control with lean Operating Using Hydrogen-Supplemented Fuel" , SAE 740187.
17. 是松孝治, 尾崎貞一, "水素添加によるガソリンエンジンからの有害排氣成分の抑制に関する研究" , 内燃機關 15卷 13號 山海堂, pp.9~14, 1976.
18. W. Jordan, "The Influence of Hydrogen Addition to the Air-Fuel Mixture on Otto Engine Combustion" , SAE 790678.
19. Robert R. Adt, William J. D. Escher, "Hydrogen-Fueled Automotive Engine Experimental Testing to Provide an Initial Design-Data Base" , SAE 810350.
20. K. S. Varde, "Combustion Characteristics of Spark Ignition Engines Using Hydrogen Supplemented Fuel Mixtures" , SAE 810921.
21. James S. Wallace, Liviu Segal, James F. Keffer, "Lean Mixture Operation Hydrogen-Fueled SPARK Ignitio Engines" , SAE 852119.