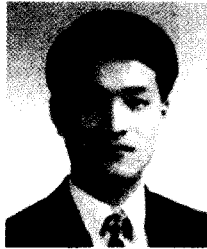


# 미국의 수소이용 내연기관

## Hydrogen Internal Combustion Engine in USA



최 대 / 미국샌디아 국립 연구소  
Dae Choi / Sandia National Laboratories, U.S.A.

### 대체기관으로서의 Hydrogen ICE

일반적으로 Hydrogen Fueled 혹은 Hydrogen Powered Vehicle을 에너지 전환 방식으로 구분할 때, 수소연료전지와 수소를 주연료로 하는 내연기관으로 나누는 것이 보통이다. 지난 호에서는 탄화수소계 연료를 주연료로 하는 자동차용 왕복동식 내연기관을 대신할 차세대 수소연료전지 차량에 대해 미국 메이저 3사의 개발 현황을 중심으로 소개한 한편, 이번에는 Hydrogen Powered Vehicle 가운데 또 하나의 선택 수단으로 알려지고 있는 수소이용 내연기관을 소개하기로 한다.

최근, 미국내 첨단 차세대 차량에 관한 연구개발 현황을 중심으로 하여 각종 대체 에너지 이용 차량에 대한 개발단계상의 의미와 그 위상을 평가하는데 있어, 공기-수소 직접 연소방식에 의해 운전되는 Hydrogen Internal Combustion Engine (이하 Hydrogen ICE)의 경우, 여느 대체 에너지 이용 동력 시스템과 달리 그 평가가 다소 애매하여 명확하지 않았다고 할

수 있다. 이는 결코 용이하지 않았던 취급 방법상의 문제가 수소이용에 관한 연구개발이 소규모 연구개발 그룹으로까지 확산할 수 있었던 기회를 크게 제한했다는 점으로부터도 실제적 이유를 찾을 수 있겠으나, 이와 더불어 수소엔진이 차세대 내연기관의 대표 주자로서 채 인식되기 이전, 일반의 관심이 각종 연료전지로 신속하게 전환되었던 까닭에도 그 원인이 있었다고 사료된다.

이러한 분위기 가운데, 2003년 9월 25일부터 9월 27일, 3일간에 걸쳐 미국 캘리포니아 Sonoma와 San Francisco에서 열린 Michelin Challenge Bibendum<sup>\*)</sup> 2003 Event에서 Ford사에 의해 선보인 Hydrogen ICE H2ICE <그림 1>와 '00/'02 Hannovera Expo에서 등장한 바 있었던 BMW Hydrogen 7 Series IC Engine은 최근의 대표적인 Hydrogen ICE Prototype 모델이라 할 수 있다.

Ford Motor Co.에 의해 발표된 H2ICE 모델은 기존의 내연기관으로부터 연료전지차량으로 이어지는 개발과정중의 중간 매개체로서 그 가치가 일반에 인

주1) Michelin Challenge Bibendum EVENT

미쉐린 타이어를 상징하는 캐릭터 Bibendum 탄생 100주년을 기념하여 1998년에 기획. 첨단 기술 차량 개발 촉진의 일환으로 매년 유럽, 미국, 아시아 대륙을 순회하며 출품되어지는 차량 및 동력시스템의 Pollution, Noise, Performance, Safety and Design 항목을 실시간 Road Test 등을 통해 평가, 발표.

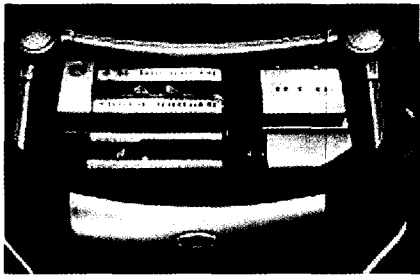
주2) Ford Focus H2ICE

주요 제원 : 2.3L, 4-cyl, Supercharged, Intercooled Hydrogen ICE, 5-Speed Manual Transmission

성능요약 : 0 to 100 km : 12 sec, Fuel Economy : 60 km/kg, Driving Range : 300 km, Power : 120 HP@5000 rpm



(a) Ford Hydrogen w/H2ICE



(b) Ford Hydrogen ICE, H2ICE

〈그림 1〉 Hydrogen ICE(H2ICE(b))를 장착한 Ford Focus

식될 수 있었다는 점에서 주목할 만 하다.

특히, 미국내 차세대 차량 개발의 중추적 역할을 담당하는 Ford사가 Concept- Prototype 단계의 H2ICE<sup>\*)</sup> 를, 향후 연료전지가 기존의 내연기관을 대체할 시점까지의 보완 완충적 대안으로 제시하고 있는 점으로부터 향후 Hydrogen ICE의 개발이 보다 촉진될 가능성을 엿볼 수 있다.

### 수소의 연소특성을 이용한 Hydrogen ICE

잘 알려진 바와 같이 수소의 연소특성은 다음으로 요약할 수 있다.

- 넓은 가연한계 및 저착화에너지
- Small Quenching Distance
- High Autoignition Temperature
- High Diffusivity and Flame Speed
- Very Low Density

이 가운데 수소가 갖는 가연한계는 다른 어느 내연기관용 연료가 갖는 그것보다 범위가 넓고, 이론공연비가 Mass Fraction 기준 34:1에서 약 180:1에 달한다. 또한, 점화에 필요한 에너지가 가솔린의 1/10 정도에 지나지 않으며, 이는 즉, 보다 넓은 공연비 범위 내에서 엔진운전이 가능함을 의미하며, 통상의 탄화수소계 연료의 경우 불가능했던 초희박연소가 가능하다는 장점을 갖고 있다.

아울러, High Autoignition Temperature로 인하여 엔진 디자인시의 압축비 설정에 보다 높은 자유도를 갖는다는 점이 또 다른 장점이라 할 수 있다.

단, 희박연소시, Volumetric Heating Value의 감소로 인한 출력감소가 문제가 되고 있으나, Ford사의 H2ICE의 경우, 동일 출력대비 가솔린 엔진의 열효율: 25%보다 약 13% 상회하고 있다는 점이 흥미롭다.

아울러, 최종 연소온도가 일반적으로 낮고, 따라서 수소엔진연소에서 문제가 되는 다량의 질소산화물의 발생마저 억제할 수 있으며, 고온 온도 의존성을 갖는 질소산화물 생성을 엔진운전조건 최적화를 통하여 Zero Emission이 달성 가능하다고 알려져 있다.

한편, 이와는 달리 Low Ignition Energy로 인하여 실린더 내에 고온 Hot Spot이 발생하고 이로 인한 연소 불안정, Small Quenching Distance로 인한 Backfire 현상이 불가피하다는 점이 단점으로 지적되었으나, 실린더 내 유동의 최적화 설계, 수소가 갖는 High Diffusivity로 인한 실린더내 연료의 공간적 균일 혼합기 배치, Valve Motion 및 흡기관 압력 조절, 배기가스 재순환을 통한 온도제어, 그리고 Engine Management System 개선 등을 통하여 이러한 문제점이 점차 개선되어 가는 추세에 있다.

### Hydrogen ICE 운전시의 문제점

〈그림 2〉에 Hydrogen ICE에 있어서 이용 가능한 연료공급 방식 대비 기존 가솔린 엔진과의 비교를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Gaseot's

Fuel 공급 방식 기준으로 볼 때, 수소엔진의 경우가 가솔린 엔진과 비교하여 가스 상태의 연료만이 차지하는 실린더 내 용적이 현격히 커짐으로 인해, 결과적으로 동일 형식 대비 혼합기가 갖는 Energy Content 가 15% 감소하며, 이는 수소엔진이 갖는 주된 문제점 즉, Low Power 의 주된 원인이 된다. 반면, 대략 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이, 실린더내 직접분사방식이 통상의 가스연료 공급 방식보다 유리함을 알 수 있다.

따라서, 수소엔진에 있어서 이론공연비로 엔진을 운전하는 경우, 연료를 공급하는 방식에 따라 가솔린 엔진 출력의 최저 85% 수준으로부터 최대 120% 정도까지의 출력성능을 얻을 수 있다고 알려졌다. 그러나, 실제 Hydrogen ICE의 이론공연비 상에서의 운전은 상기 수소 연소특성에서 밝힌 것과는 달리, 최고 연소온도의 급격한 증가를 피할 수 없고, 이것이 다량의 질소산화물 생성의 주된 원인이 된다. 이것이 바로 이론공연비 부근에서의 운전을 회피할 수 밖에 없는 근본적 이유가 되며, 완전연소를 위해 요구되는 공기량의 대략 두배 정도를 사용하도록 디자인하고 있는 추세이다. 이렇게 함으로써 질소산화물은 거의 Zero 에 가까워지게 되나, 불행히도 같은 용량의 가솔린 엔진에 비하여 출력성능이 50%에 지나지 않게 되는 문제점에 당면하게 된다. 따라서 이를 회복하기 위해 과급장치 등의 부가가 불가피하고, Hydrogen ICE의 부피가 커지게 된다. 결과적으로 현 시점에선

Hydrogen ICE의 경우에 있어서 동력성능 확보가 무엇보다 시급한 과제라 지적되고 있다.

### A Fuel Cell Future Still In Doubt

미국내 자동차 3사, GM, 다임러크라이슬러, 그리고 Ford의 Hydrogen Fuel Cell에 대한 향후 전망이 서로 유사한 반면, Hydrogen ICE에 대한 대외적 관점은 서로 상이함을 보인다.

3사 공히 대·내외적으로, 기존의 가솔린 및 디젤기관, 이를 기본으로 한 대체 차량, 즉 Platform은 공유하나 새로운 연소 시스템의 적용, 이후 Fuel Cell로의 전환이라는 비교적 알기 쉬운 전략을 택하고 있다.

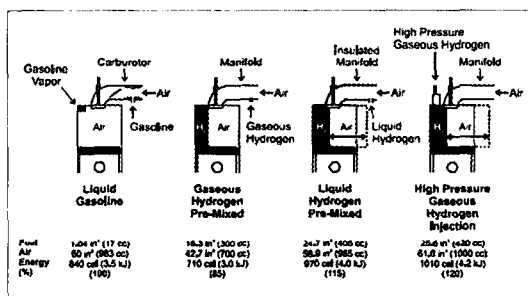
그러나 한편, Ford의 경우 Fuel Cell의 미래가 현재로서는 불투명하고 이 시스템을 적용하는데 필요한 관련 산업저변에 변혁에 가까운 변화가 수반되어야 한다는 점을 주시하여 BMW와 함께 Hydrogen ICE가 Fuel Cell 시스템으로의 전환과정에 중간 가교로서 유용하리라는 관점을 추가하고 있다.

### 첨단 차량 개발에 있어서의 다양성 확보

미국내 미래 첨단 대체 차량 개발 및 이를 위해 전략을 결정해 나가는 일련의 과정에 있어 중심 판단 기준이 될 Keyword는 기존의 내연기관의 배기성능을 대폭 개선할 수 있는 새로운 연소 시스템이 향후 수년 내에 양산의 모습으로 시장에 등장할 수 있을지의 여부, 관련 에너지 정책, 현재의 기술적 한계와 사회적 요구와의 조화가 고려된 배기 규제 정책에 있다고 일컬어지고 있다.

따라서, Ford와 BMW의 Hydrogen ICE 프로그램은 현재 사용하고 있는 엔진 시스템으로부터 최첨단 시스템으로까지 관련된 연구개발 프로그램에 있어 다양성 확보의 전형이라 사료되고 이로부터 그 동기에 대한 이해가 가능하리라 여겨진다.

(최대 편집위원 : dchoi@ca.sandia.gov)



(그림 2) 가솔린 엔진과 Hydrogen ICE 엔진의 요구체적 및 에너지 비교 (DOE Report)