

# HCCI 가솔린연소 엔진과 자발화 기술

## Gasoline HCCI and Controlled Auto-ignition Technology



정 동 수 / 한국기계연구원 책임연구원  
Dong-Soo Jeong / Korea Inst. of Machinery & Materials

### 1. HCCI 가솔린연소 엔진

가솔린 엔진보다도 깨끗하고 디젤과 같은 연소효율을 실현할 수 있는 엔진이 직접분사 가솔린엔진(GDI)에 이어 제 4의 엔진으로 기대를 모으고 있다.

약20년 이전에 승용차나 트럭, 이륜차 등을 운전한 적이 있는 사람이라면 최근에는 거의 없지만 시동키를 켜 후에도 엔진이 수초간 연소를 계속하는 현상인 「After Run」이라고 하는 현상을 경험했을 것이고 이 현상은 운전자들에게 고민거리였을 것이다. 그러나 그때의 고민거리 현상이었던 이 「After Run」의 연소원리가 지금 자동차 메이커의 관심을 받고 있다.

이 원리는 예혼합 압축 자기착화연소(HCCI)로 불리고 종래의 엔진보다도 우수한 연비성과 배기성능을 실현할 수 있는 연소방식이다. HCCI 연소방식의 엔진이라면 질소산화물(NOx)나 Soot를 배출하지 않고 디젤 엔진에 필적하는 고효율을 달성할 수 있다고

많은 연구자들은 생각하고 있다.

전 세계적으로 자동차의 유해배출가스 규제가 점점 엄격해 지고 있고, 한편으로 연료전지 자동차의 실용화에는 아직 많은 시간이 걸릴 것으로 보여지고 있으므로 세계의 주요 자동차 메이커나 디젤 엔진 메이커는 기술과 경제의 양면에서 HCCI 기술의 실현 가능성을 확인해 보고 있다. 만약 이 기술이 도입되면 이 신연소방식에 의한 동력원은 현재의 디젤엔진이나 가솔린엔진에서 장래에 도입될 깨끗한 연료전지로의 교량적인 존재일 것이다. <sup>(1)</sup>

HCCI는 우수한 연료경제성과 배출가스의 대폭적인 저공해화를 실현할 수 있으며 LPG, CNG, Alcohol 등 대체 연료의 활용이 가능한 기술이다. 종래의 가솔린엔진과 디젤엔진의 양쪽의 장점을 모은 첨단 엔진기술로 볼 수 있다.

그러나 HCCI엔진의 연소는 부분 부하 시로 제한된다. 이는 고부하시 Combustion Nate가 너무 빨라지

며, 연소 압력의 상승이 너무 커지며, 엔진의 소음이 커지기 때문이다. 반면에 저부하 시는 연소 온도가 낮아 CO와 HC의 배출물이 증가하게 된다. 따라서 HCCI엔진은 저부하용으로만 사용되고 고부하용으로는 기존엔진을 사용하는 Dual Mode로 운전하는 것이 바람직하다고 지금까지는 알려져 있다.

그리고 또 다른 문제점으로는 연소 타이밍과 연소율의 제어가 어려우며, 추가부품이 늘어나 생산단가가 상승되고, Power Density 가 낮아 상대적으로 마찰손실이 크게 되며, 그리고 흡기 가열장치가 없을 경우 가스 혼합의 조건에 따라 연소불가 가능성이 높다는 점 등이 있다.

**2. 능동연소(Active Combustion) 엔진과 Auto-ignition 기술**

HCCI엔진의 연소에 있어서 자발화 특성은 매우 중요하다. HCCI 엔진의 자발화 특성은 온도, 압력, 압축 행정중의 연료 분포, 혼합기의 Reaction에 의해 결정되므로 HCCI엔진의 연소를 위해 공기와 연료의 희석, 밸브 타이밍, 연료 분사와 같은 방법을 사용하여야 한다.

이 HCCI엔진의 연소에서와 같이 자발화, 밸브 타이밍과 같은 유사한 방법을 이용하는 신형식 연소로는 Active Valve Train을 이용한 능동연소(Active Combustion) 엔진 기술이 있다.

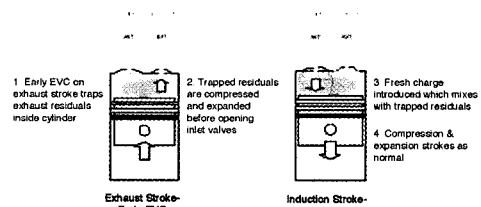
영국의 Lotus Engineering사에서 처음으로 개발을 시도하고 있는 능동제어연소 기술은 공기/연료 혼합기를 점화하는 기술로 전기나 압축에 의한 점화가 아니라, 앞 사이클기간 동안 발생한 고온의 배기가스를 실린더 내에 잔류시킴으로서 자동으로 점화시키는 것이다. 이 자동점화 기술을 사용함으로써 Lotus Engineering사는 연소안정성을 지속적으로 개선하고 연료소비율과 배출공해가스를 획기적으로 감소시킬 수 있다고 주장하고 있다.

이 기술의 원리는 가변 밸브계에 기초를 한 것으로 캠이 없는 "Fully Adaptive Hydraulic System"을 개발하여 밸브 개폐시기와 밸브 리프트의 조절이 가능하도록 하는 AVT(Active Valve Train) Project 결과를 활용한 것이라고 한다. 이 능동 가변 밸브계를 능동 연소에 적용하기 위해 Lotus Engineering사에서는 특허로 등록된 두 가지 방법을 사용해서 밸브제어를 정밀하게 하여 실린더를 최적화하고 있다.

첫째 방법은 <그림 1>에서와 같이 배기행정에서 배기밸브를 일찍 닫아 실린더 내에 배기가스 일부를 잔류시켜 조금 압축시키고 그 다음 흡입과정에서 잔류 배기가스와 신기가 혼합되어, 압축과정에서 신기가 연소실 내 여러 곳에서 동시 점화되는 방법이며, 둘째 방법은 흡입과정에서 흡기밸브가 닫힌 후 닫혀있던 배기 밸브가 다시 열려 잔류배기가스가 실린더 내로 역류시키는 것으로 Lotus Engineering사에서는 첫째 방법을 선호하고 있다.

이러한 방법에 의한 연소의 안정성은 매우 안정적이다. 실린더 내 전역에서 동시 다발 연소가 가능하게 되어 전기나 압축에 의한 점화와는 완전히 다른 새로운 연소과정이 이루어진다는 것이다. 이 결과는 진정한 "Unthrottled Load Control"로서, 실린더 내부에서 가스혼합기를 변화시킴으로서 펌핑손실을 없앨 수 있으므로 연비절감이 15 내지 20%까지 가능하게 된다는 것이다.

- Method 1 : Trap a quantity of exhaust gas and pull fresh charge into cylinder



<그림 1> 능동연소(Active Combustion) 엔진 기술의 원리

또한 기존 엔진에서는 엔진을 최적화 할 경우, HC와 NOx사이에 Trade-off 관계가 있지만 이 신형식 연소는 HC와 NOx를 동시에 저감할 수 있는 놀라운 특성을 지니고 있다. 배기가스를 잔류시키는 것이 바로 EGR효과이고 전기점화기관에서는 EGR율이 약 24%정도가 거의 한계이고 이 이상을 넘으면 연소 불안정을 가져오는데 비해 이 연소시스템에서는 70%이상도 가능하다고 한다.

### 3. 한국기계연구원의 연구동향

한국기계연구원은 신형식 연소 엔진 기술로서 Active Valve Train을 이용한 능동연소(Active Combustion) 엔진 기술을 개발하기 위하여 2003년 초부터 3년간 계획으로 연구에 착수하였다.

이 기술은 배기밸브를 얼마나 일찍 닫느냐에 따라

실린더 내의 배기가스 잔류량이 결정되고, 혼합기의 점화시기가 결정된다. 즉, 배기가스 잔류량의 조절로 점화진각을 결정하게 된다.

따라서 현재 정적연소기에서 배기가스 잔류량의 조절과 자발화가 가능한 점화진각을 결정 등을 연구하고 있으며, 2단계에서는 급속흡입압축팽창기(RICEM)에서는 정적연소기 조건을 기초로 하여 능동 자발화연소 현상을 연구할 계획이며, 3단계에서는 단기통 Research 엔진에서 시제품을 제작하여 실험을 할 예정이다.

능동 연소 엔진은 HCCI와 마찬가지로 우수한 연료 경제성과 배출가스의 대폭적인 저공해화를 실현할 수 있으며, 또한 대체 연료의 활용도 가능할 뿐 아니라, 부분 부하 시로 운전이 제한되고 있는 HCCI엔진과는 달리 최고 8,000rpm 까지도 운전이 가능하다고 하므로 차세대 엔진기술로 연구결과를 크게 기대가 된다.

(정동수 편집위원 : dsjeong@mailgw.kimm.re.kr)

#### 참고문헌

1. 월간 일본 사이언스 2001년9월 호
2. 정동수, "능동밸브계에 의한 능동연소 엔진의 등장", 자동차공학회지 제24권 제4호, 2002년 8월 호

#### 開発進む低公害HCCIエンジン (月刊日経サイエンス 2001年9月号)

S.アシュレー (SCIENTIFIC AMERICAN編集部)  
 가솔린엔진よりもクリーンで、ディーゼル並みの燃焼効率を実現できる“異種交配”エンジンが、直接噴射ガソリンエンジン(GDI)に続く“第4のエンジン”として期待を集めている  
 20年以上昔の乗用車やトラック、オートバイなどを運転したことのある人なら、「アフターラン」という現象を経験したことがあるだろう。キーを外してもエンジンが数秒間回り続ける現象のことだ。最近ではめったにないが、昔のドライバーはこの現象に悩まされたものだ。いま、この「アフターラン」の燃焼原理が自動車メーカーの関心を引きつけている。  
 この原理は予混合圧縮自己着火燃焼(Homogeneous-Charge Compression-Ignition combustion, HCCI燃焼)と呼ばれ、従来のエンジンよりもすぐれた燃費性能と排気性能を実現できる燃焼方式だ。HCCI燃焼方式のエンジンなら、窒素酸化物(NOx)やすすを排出せずに、ディーゼルエンジンに匹敵する高効率を達成できると多くの研究者は考えている。  
 HCCIは優れた燃料経済性と排出ガスの大幅な低公害化を実現できる技術だ。従来のガソリンエンジンとディーゼルエンジンの双方の優れた特徴を生かした「異種交配の技術」とみなすことができる。  
 各国政府による有害排出物規制がますます厳しくなる一方、燃料電池自動車の実用化にはまだかなりの年月がかかるとみられている。世界の主な自動車メーカーやディーゼルエンジンメーカーは、技術と経済の両面から、HCCI技術の実現可能性を見極めようとしている。もしこの技術が導入されれば、この新燃焼方式による動力源は、現在のディーゼルエンジンやガソリンエンジンから、将来導入されるはずのよりクリーンな燃料電池への橋渡的存在となるだろう。