

2. 특집기사

디젤기관의 신기술 개발동향

Trend of New Technologies for Diesel Engines



최재성

Jae-Sung Choi

- 한국해양대학교 기관시스템공학부
- e-mail : jschoi@mail.hhu.ac.kr

1. 머리말

디젤기관과 가솔린기관이 열효율면에서나 성능면에서 다른 열기관에 비하여 유리한 것은 재론의 여지가 없을 것이나, 환경문제의 대두와 함께 해결되어야 할 과제 또한 적지 않다. 자동차로부터 배출되는 대기오염물질이 대기환경오염의 주범으로 인식되면서 이에 대한 규제가 한층 강화됨과 동시에 한편으로는 대체에너지와 전기자동차와 같은 ZEV(Zero Emission Vehicle)에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있는 것 또한 현실이다.

그러나 이러한 가혹한 요구조건에도 불구하고 디젤기관은 새로운 기술을 개발도입함으로써 지금까지의 독보적인 위치를 계속 유지시켜나갈 수 있을 것으로 전망된다. 즉, 강화되어 가고 있는 배기규제를 만족시키기에는 넘어야 할 어려움이 산적해 있는 것은 사실이나, 아직도 저공해엔진의 개발을 새로운 연소개념의 도입 등의 기술로 해결하고자

하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이들의 기본 방향은 가솔린기관과 디젤기관의 단점을 보완하고 장점을 극대화 시키는 방법으로 설명될 수 있으며, 두 기관의 특징적 구분이 모호해지고 있다 할 수 있다.

여기에서는 최근 배출가스의 저감과 연비향상을 위하여 연구되고 있는 디젤기관의 새로운 기술들을 분야별로 살펴보고, 그 특징과 해결해야 할 과제들에 관하여 언급하고자 한다.

2. 새로운 연소기술

2.1 희박연소 엔진 (Lean Burn Engine)

가솔린기관의 경우 배출가스의 저감과 연비개선을 동시에 만족시킬 수 있는 방법으로 희박연소기술이 주목을 받게 되었다. 희박한 혼합기의 연소는 혼합기 형성시 펌핑손실이 감소하고 정상연소

시 보다 비열비가 증가함으로 열효율이 향상되는 이점이 있다. 또한 연소최고온도가 낮아지기 때문에 질소산화물(NOx)의 발생이 감소되고 완전연소로 인하여 일산화탄소(CO)의 발생이 감소하기 때문에 유해가스의 배출이 감소하는 이점이 있다. 그러나 희박연소는 연소가 불안정해지기 쉽고 그 결과 토오크 변동을 야기할 수 있으며, 초기 점화 에너지가 증가하는 등 점화장치의 개선과 연소안정성에 관한 기반기술의 확립이 요구된다.

희박연소의 방법으로는 균질급기(Homogeneous charge)와 성층급기(Stratified charge)로 분류할 수 있다. 성층급기방식은 전체적으로는 혼합기가 희박하나 점화플러그 근처에서는 농후한 혼합기를 형성하도록하여 실린더내의 혼합기를 성층화시키는 방법이며, 별도의 부연소실을 이용하는 방법이 주로 사용되고 있으며, 혼다의 CVCC(Compound vortex controlled combustion)와 도요다의 TGP(Turbulence generating port)가 초기기술의 대표적인 예로 알려져 있다. 균질급기방식은 균일한 공연비의 혼합기를 연소실 전체에 공급되도록하는 방식으로 점화장치의 개선과 함께 연소실 내부의 유동개선을 위하여 흡기포트의 형상설계, 스웰콘트롤밸브(SCV)의 채용 등이 주요핵심기술로 적용되고 있다.

희박연소엔진의 요구는 직접분사식 가솔린엔진(GDI : Gasoline direct injection)의 등장을 가져오게 되었다.

2.2 직접분사식 가솔린엔진(GDI : Gasoline direct injection)

GDI 엔진은 기존의 가솔린엔진이 사용하던 흡기포트 연료공급방식(PFI : Port fuel injection)에서 진전하여 디젤엔진과 같이 연소실내에 연료를 직접공급하는 방식으로 지금까지 디젤엔진에 비하여 취약점으로 지적되어 오던 높은 연료소비를 문제를 획기적으로 개선할 수 있는 기술로 평가되고 있다.

연소실내 직접분사식 엔진기술은 DISC(Direct Injection stratified charge)엔진으로 연구되어 왔으며 이는 가솔린기관과 디젤엔진의 장점을

결합한 하이브리드 엔진개념이다. DISC엔진의 최대 목적은 희박연소를 실현하기 위한 방법으로도 사용되었다. 즉 전체 혼합기는 희박하지만 점화플러그 근처는 농후한 혼합기를 공급함으로써 실화를 방지하며, 연소초기의 연소속도를 증가시켜주는 효과가 있다. DISC엔진으로는 연료를 예연소실에 직접분사하는 Porsche의 KS, 피스톤보울에 분사하는 Ford의 PROC0, 실린더 내부에 직접분사하여 스웰유동에 의하여 성층화를 유도하는 Texaco의 TCCS, 피스톤면에 충돌시켜 성층화를 유도하는 일본의 OSKA 방식 등이 있다.

PFI(Port Fuel Injection)의 희박연소엔진은 GDI엔진으로 바뀌고 있으며 향후 가솔린 엔진의 핵심기술이 될 것으로 예측되고 있다. GDI엔진기술은 초기단계이기는 하나 연비의 개선이 뚜렷하고 공연비 50:1 까지의 희박연소가 가능한 것으로 발표되고 있다. 그러나 실화 문제와 배기배출물의 저감 등의 기술개발들이 더욱 요구된다.

2.3 예혼합 압축착화 엔진 (HCCI : Homogeneous Charge Compression Ignition Engine)

가솔린기관은 점화플러그에 의하여 혼합기를 점화시키면 국부적인 고온이 생성되므로 다량의 NOx를 발생시킨다. 디젤기관의 경우는 고온 고압상태의 연소실내로 연료가 분사되어 착화지연기간을 거친후 연소가 시작되기 때문에 예혼합 연소구간에서 급격한 온도상승에 의하여 NOx가 생성되고, 확산연소구간에서는 불균일한 혼합기 분포에 기인하여 PM(Particulate Matter)을 배출하게 된다. 또한 PM과 NOx는 서로 상반된 생성관계를 가짐으로서 동시저감이 어려운 문제점을 가지고 있다.

예혼합압축착화 연소기술은 연료와 공기의 균일 혼합기를 형성하고 이를 압축착화하는 방식으로 기존 디젤엔진에 비하여 PM과 NOx를 동시에 크게 저감할 수 있는 가능성을 가진 기술로 인식되고 있다. 이 기술은 연료를 흡기포트에 분사하거나 혹은 이른 시기에 실린더내에 직접분사하는 방법등으로 균질(Homogeneous) 혼합기가 형성되게 함으로서 PM발생이 없고 연소실전체에서 다점

점화됨으로 인하여 연소온도가 낮아 NO_x 발생이 크게 저감되는 장점을 가진다. 즉 기존의 디젤기관의 장점을 유지하면서도 PM과 NO_x의 동시 저감이 가능하며, 점화 방법의 구분이 없으므로 가솔린, 디젤, DME, 천연가스, LPG 등 가용연료의 범위가 넓다는 장점도 가지게 된다. 따라서 기존 기관의 구분과 관련하여 기술구분이 모호하여 기술명에 있어서도 HCCI, HCDC (Homogeneous Charge Diesel Combustion), PCCI(Premixed Charge Compression Ignition), CAI(Controlled Auto-ignition), PREDIC(Premixed Diesel Combustion), UNIBUS(Uniform Bulky Combustion System), MK(Modulated Kinetics), ATAC와 같은 다양한 이름으로 제시되고 있다.

그림1은 HCCI연소방식의 기본개념을 나타낸 것이다. 이 연소방식은 연소초기의 연소속도를 조절하여 연소최고온도를 낮춤으로서 NO_x의 저감을 피함과 동시에 후연소시간을 짧게 함으로서 PM의 생성을 억제하는 방식이다.

예혼합압축착화 연소기술의 핵심은 예혼합기를 형성하는 방법에 있기 때문에 다음과 같이 세가지의 기술로 분류할 수 있다.[1,2]

- Premixed HCCI : 연료를 흡기포트에서 분사하여 공기와 연료의 혼합기가 흡기행정동안 실린더내로 공급되도록 하는 방식.
- Early Direct-Injection HCCI : 압축행정의 이른 시기에 연료를 실린더내에 분사하여 예혼합기를 형성시키는 방식.

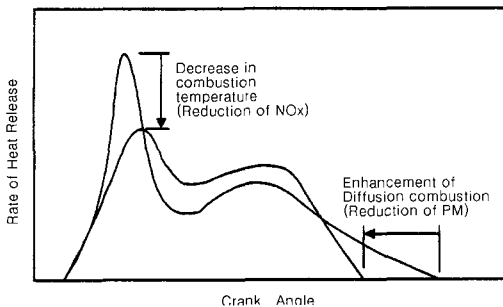


그림 1. HCCI 연소방식의 기본개념

- Late Direct-Injection HCCI : 기존의 디젤기관에 비해 늦은 시기에 연료를 실린더내에 분사하되, 높은 EGR율로 점화지연기간을 길게하여 예혼합기 형성시간을 확보하고 높은 스월비를 구현하여 예혼합을 촉진시키는 방법.

이들 각 방식들은 각각의 장단점을 가지고 있기 때문에 그 효과를 극대화 하기 위하여는 아직도 많은 해결과제가 남아 있으나, 공통적인 주요 문제점들을 열거하면 다음과 같다.

첫째로 디젤연료의 점도가 높고 기화에 필요한 온도가 높아 예혼합기 형성이 어렵다는 점이다. 이 때문에 흡기관을 가열하여 높은 온도의 공기를 공급하는 것이 필요하다.

둘째로 연료분사계통의 변경이다. 즉, 예혼합을 위하여는 공기밀도가 낮은 실린더내 상태에 연료를 분사하게 되므로 분무도달거리는 짧고 미립화는 촉진되는 다공노즐을 사용하여야 하고, 분무의 충돌을 피하기 위하여 분사각을 좁게할 필요가 있다.

셋째로 고부하 또는 고속운전시 예혼합에 필요한 시간이 짧아짐으로 인해 출력과 효율의 저하로 운전범위가 제한된다.

이들을 종합하면 저부하 영역에서는 예혼합압축착화 연소를 이용하고, 고부하 영역에서는 기존의 직접분사디젤엔진의 운전을 병용하는 방법으로 문제점의 극복이 가능하다고 판단되고 있다. 따라서 다가오는 친환경 엔진에 대한 강도 높은 요구에 부응하기 위한 기술중 예혼합압축착화 연소기술은 적절한 대안의 하나로 받아들여지고 있다.

예혼합압축착화엔진을 상용화하는데 있어서 가장 큰 난점은 넓은 부하범위에서 사이클을 안정시킬 수 있는 확실한 자기착화원의 확보와 자기착화시기의 제어이다. 이를 위한 방법으로 활성라디칼 유도분사(Active Radicals Induced Injection)라는 새로운 개념의 연소방법도 연구되고 있다.[3] 이는 주연소실 외에 부연소실(전체 체적의 1%내외)을 두어 부연소실에서 점화에 의해 생성된 활성라디칼을 연락공을 통해 주연소실로 분출시켜 주연소실내 예혼합기의 동시다점착화를 유발시키는 것이다. 즉 스파크점화시기는 자기착화시

기를 결정지을 것이며 활성라디칼은 자기착화원이 된다.

3. 새로운 연료공급시스템

디젤기관은 열효율이 높음에도 불구하고 가솔린 기관에 비하여 비출력과 진동소음 등의 열세로 인하여 적용범위가 산업용 등으로 국한되어 사용되어 왔다. 최근에는 디젤기관을 승용차에 적용하기 위하여 소형화 및 고속화를 달성하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이 과정에서 요구되는 핵심기술은 연료와 공기의 혼합기형성 기술이며, 이는 연료분사계의 고압화와 전자제어화 기술로 어느정도 가능하게 되었다. 또한, 이 기술의 도입은 앞에서 언급한 연소기술들과의 결합으로 저공해 디젤기관의 개발도 가능하게 하였다. 주요 핵심기술에 관하여 언급하고자 한다.[4,5,6]

3.1 연료분사압력의 고압화

디젤기관의 역사는 연료분사장치의 고압화를 위한 기술개발의 역사라고 할 수 있을 만큼 분사압력은 계속하여 증가되어 왔으며, 현재 기관의 용도에 따라 연료분사압력이 50, 130, 150 MPa 정도의 높은 분사압력이 적용되고 있다. 또한, 200-250 MPa의 초고압분사까지도 연구되고 있다.

분사압력이 증가되는 이유는 분무의 미립화 등을 통한 연소시간의 단축이며, 연료의 고압화기술의 발전에 의존하여 왔다. 연료의 고압화는 기존 연료펌프의 성능개선에 의한 방법과 새로운 개념의 분사시스템에 의한 방법으로 분류하여 생각할 수 있다.

(1) 기존 연료펌프의 성능개선에 의한 방법 (기계식 분사시스템)

기존의 연료분사펌프를 기반으로 하여 시스템을 개선하는 것으로 플린저의 지름, 캠리프트, 캠 프로파일 등 압송능력에 관한 설계변수를 변경시키고 동시에 하우징의 강도, 캠면압, 기밀성 등에 대하여 시스템의 고압화에 따른 신뢰성의 확보가 기술개발의 주된 요점이라 할 수 있다. 그림2는 한 예

로서 연료캠의 캠프로필을 변화시켜 분사율을 개선한 결과를 나타낸 것이다. 그러나 이 방법은 분사압력과 분사율이 기관회전속도에 영향을 받는 단점이 있다. 그림3은 기관회전속도에 따른 분사압력을 다음에 언급하는 common-rail system 과 비교하여 나타낸 것이며, 그림4는 기관성능의 차이를 나타낸 것이다.

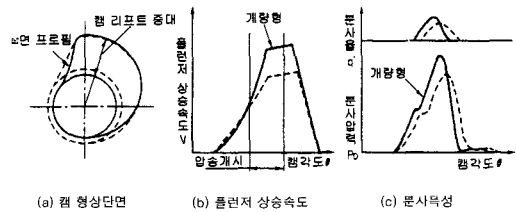


그림 2. 기계식 분사펌프의 고압화

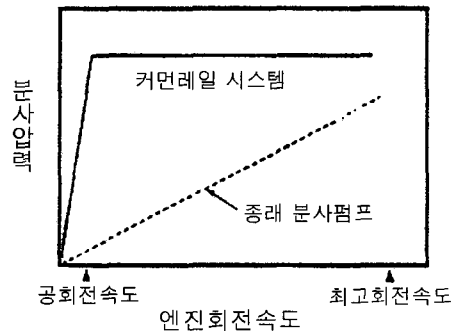


그림 3. 엔진회전속도에 따른 분사압력의 비교

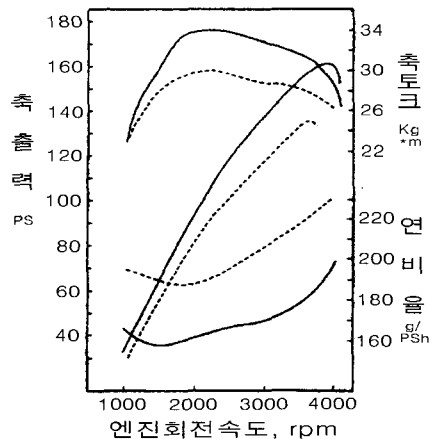


그림 4. 기관의 출력성능비교 (점선은 기존의 기계식분사시스템의 경우)

연료분사의 고압화에 따르는 문제점으로는 밀봉 등 구조상의 문제뿐 아니라 분사특성과 관련하여 이상분사, 2차분사 등 여러 가지 해결해야 할 과제들이 있다.

(2) 새로운 개념의 분사시스템

앞에서 언급한 바와 같이 기존시스템의 개선에 의한 분사압력의 고압화는 운전조건에 의하여 영향을 받기 때문에 넓은 운전영역에서 그 효과를 기대하기에는 한계가 있다.

또한, 최근 강화되고 있는 유해배기가스의 배출에 대한 규제를 만족시키기 위하여는 기존의 분사시스템으로는 한계가 있다고 판단된다. 미래에 강화될 규제치를 고려할 때 이를 만족시키기 위한 고압분사시스템은 분사기간, 분사율패턴 등의 분사성능에 대한 높은 제어의 자유도가 요구된다.

따라서, 연료분사를 직접제어하는 기능을 갖도록 하는 방법의 개발이 필요하며, 이 방법에는 unit injector와 common rail 시스템이 적용되고 있다. unit injector 는 과거에도 이용되어 온 방식이나 여기에 전자밸브를 이용하여 연료유량을 제어할 수 있도록 개선된 것이다.

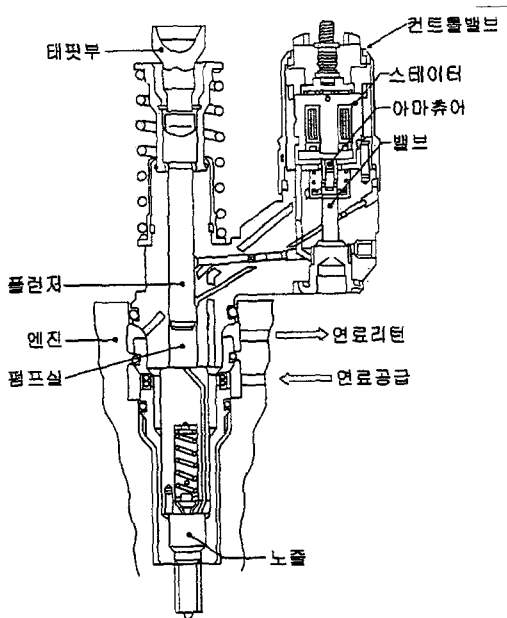


그림 5. 전자제어 unit-injector

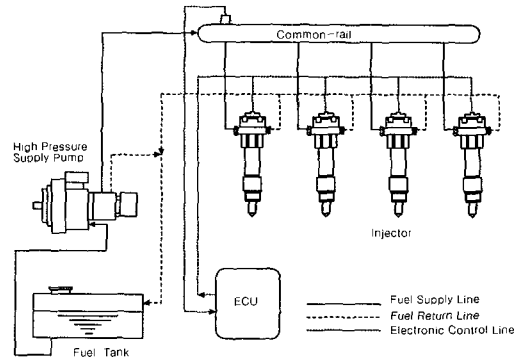


그림 6. Common-rail system

그림5와 6은 전자제어 unit injector와 common-rail system의 구성도를 보여주고 있다. common-rail system에 관하여는 다음과 같이 분리하여 언급하고자 한다.

3.2 Common-rail system의 기능과 전자제어화

기관의 열효율 향상과 저공해 성능과 관련하여 연료분사에 요구되는 주요 기능은 운전조건에 따라 분사량제어, 분사시기제어, 분사압제어, 분사율제어 등의 기능이 요구된다.

기존의 연료분사시스템방식으로는 이러한 복잡한 기능을 모두 만족시킬 수는 없다. 또한, 기존의 기계식 분사시스템은 이상분사, 이차분사, 고압연료분사펌프의 토출특성 및 cavitation erosion 등에 의한 문제를 피하기가 어렵다. 실질적으로는 이러한 기능중 기관에 따라 일부 주요 기능만을 고려한 연료분사 시스템이 이용되어 왔으나, common-rail 방식과 여기에 전자제어 시스템을 결합함으로써 다양한 요구의 기능을 갖춘 연료분사시스템이 가능하게 되었고, 기존의 기계식 분사시스템의 고압화에 의하여 발생하는 문제점도 해결할 수 있게 되었다.

(1) common-rail의 기능

그림3에서 보인바와 같이 기존의 기계식 인젝터에 비하여 저속측에서의 승압성이 크게 개선되고, 분사량은 common-rail의 압력과 인젝터 솔레노이드밸브에의 통전펄스 폭에 의하여 결정된다. 따

표 1. Common-rail system의 특징

분사계에 대한 요구		고압 common-rail system 의 장점
분사압력	최고분사압력	* 이차분사등의 제약이 없는 고압화 가능 * 압송과 분사를 별개로 실행함으로 분사압력의 임의제어 가능 (회전속도에 독립하여 제어)
	분사압력제어	
분사율제어		* 니들리프트를 직접제어함으로 유리. (델타형, 파일럿형)
분사량 및 타이밍 제어		* 솔레노이드 밸브의 통전시기 및 통전시간의 임의제어 가능. (제약이 없음)
시스템구축의 측면 (생산성, 합리성 등)		* 노즐제원, 분사압력, 분사량, 분사시기 등 특성의 결정이 자유롭고, 독립적임. * 상관인자에 영향을 받지 않는 자유도가 높은 임의제어 가능.

라서, 솔레노이드밸브의 전자제어 가능으로 다중 분사제어가 가능하게 됨에 따라 연소제어가 가능하게 되었다. 표1은 common-rail system의 특징을 요약한 것이다.

(2) 연료분사의 전자제어화

그림1은 저공해연소의 기본원리를 나타낸 것이기도 하다. 이를 실현하기 위하여 전자제어에 의한 다중분사제어 및 분사율제어의 구체적인 한 예를 그림7과 8에 보인다.

pilot 분사(2단분사)를 적용함으로써, 초기의 급격한 연소를 완화시켜 질소산화물과 연소소음의 발생을 저감시킬 수 있으며, 실린더내의 온도를 상승시켜 실화를 방지함으로써 저온시 발생하는 백연을 저감시킬 수 있다.

또한 split 분사를 적용함으로써 냉염반응을 촉진시켜 저온시의 시동성을 향상시킬 수 있다.

후분사(2차분사)를 적용하여 배압의 상승에 의한 터보랙을 해소하여 가속성을 향상시키고 동시에 NOx 촉매에 환원제를 공급하는 역할과 배기온도를 제어하는 역할도 할 수 있으므로 lean NOx 촉매 및 산화촉매의 적용자유도가 향상된다.

이상에서 언급한 바와 같이 디젤기관의 연료분사계통에 있어서는 common-rail system의 채택과 전자제어화에 의하여 기관의 출력 및 토크의 증가는 물론 배기가스의 저공해성능을 향상시킬 수 있는 가능성이 높기 때문에 앞으로도 더욱 발전될 것이다.

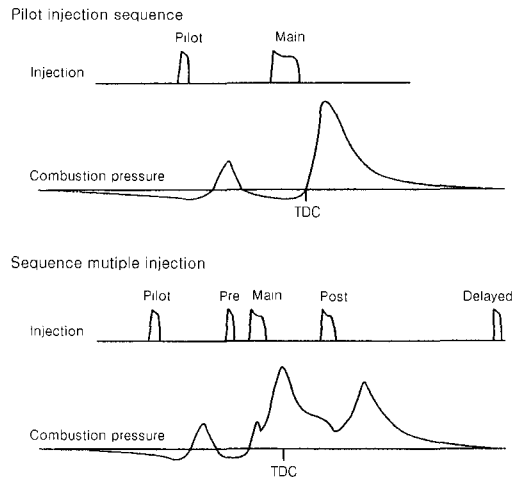


그림 7. 다중분사제어의 예

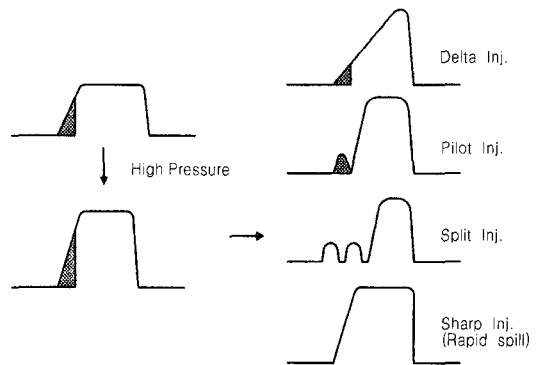


그림 8. 분사율 제어형태

4. 새로운 공기공급시스템

일반적으로 엔진에 요구되는 주요성능을 운전영역별로 요약하면 고속영역에서의 출력성능, 저속영역에서의 토크성능, 무부하운전영역에서의 안정성능이 요구되며, 여기에 부가하여 폭넓은 영역에서의 낮은 연료소비율 등이 요구된다. 그리고 이러한 디젤기관의 성능을 좌우하는 중요한 인자중의 하나는 공기의 공급이다. 공기공급시스템의 개선은 과급기를 포함하는 흡배기계의 최적화 문제로 생각할 수 있으며, 그 특징은 각종 가변기구(variable mechanism)의 채택이다. 공기의 공급시스템은 그 특징상 최적의 운전 영역이 존재하게 되기 때문에 넓은 운전 조건에서 양호한 성능을 얻기 위하여는 운전조건에 따라서 흡배기계의 영향인자를 최적화할 필요가 있으며, 그 방법으로 각종 가변기구가 이용되게 된다. 가변기구의 개발은 오래전부터 시도되어 왔으나 구조적인 문제로 실용화가 어려웠다. 최근들어 각종 가변기구가 개발되고 실용화가 진행됨에 따라 이들의 채용으로 기관의 출력성능, 연비성능 및 배기성능이 개선되고 있다. 특히, 각종 밸브의 전자제어화는 이 분야의 성능개선에 획기적인 진기를 가져올 것으로 기대된다.

4.1 흡배기계의 가변화 (Variable mechanism of intake and exhaust system)[7,8,9]

흡배기밸브를 통과하는 공급공기의 유량특성은 밸브의 크기, 개폐시기 및 양정에 따라 다르기 때문에 엔진의 성능특성을 좌우하는 중요한 인자 중의 하나이다. 그림9는 발전기용 기관의 부하에 따른 열효율의 변화를 나타낸 것으로 저부하에서 펌프손실의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 펌프손실은 가스교환과정에서 발생하기 때문에 흡배기계의 최적화에 의하여 저감시키는 것이 가능하므로 가변기구의 필요성과 그 효과를 파악할 수 있다. 또한, 운전영역에 따른 최적의 밸브타이밍은 각각 다르기 때문에 이들을 모두 만족시키기 위하여는 밸브타이밍을 운전조건에 따라 변화시킬 수 있는 가변기구의 채택은 필수불가결이다. 예를 들면, 고속

출력을 위하여는 밸브리프트와 밸브기간을 크게 할 필요가 있으나, 무부하시의 안정도를 확보하기 위하여는 밸브오버랩기간이 작게 되어야 하기 때문에 그 결과 밸브단힘시기가 늦게된다. 그러나 밸브단힘시기가 늦게 되면 저속토크가 작아지게 되는 결과를 초래하는 것이다. 그림10은 흡기계의 가변기구이용에 의한 성능개선의 한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 저속속에서의 토크가 크게 향상되었음을 알 수 있으며, 저속에서의 운전안정성 또한 향상되었다고 보고되었다.

다양한 구조의 가변기구가 개발되어 이용되고 있으나 주로 흡기측에 적용된다. 실제 기관에 이용되고 있는 방법들을 열거하면 다음과 같다.

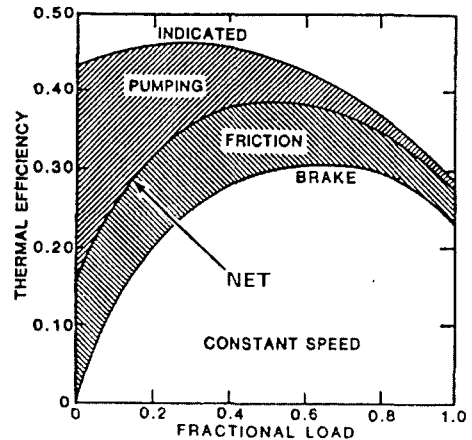


그림 9. 디젤기관의 부하에 따른 열효율의 변화

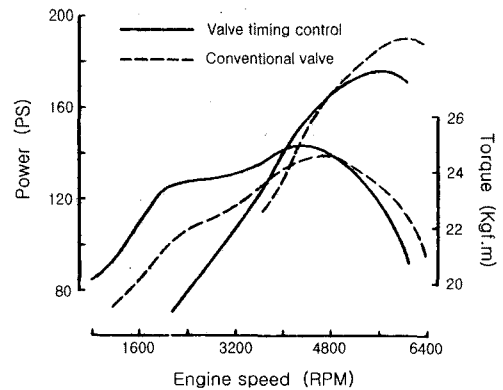


그림 10. 밸브가변기구에 의한 성능특성

(1) 밸브 가변기구의 효과 [10]

그림11은 valve timing control system 의 한 예로서 Fiat사의 시스템을 보인다. 이 시스템은 개발초기에 일반적인 방법으로 herical spline을 이용하여 운전조건에 따라 cam shaft를 이동시키는 방법으로 valve timing을 제어하는 시스템이다. 흡기와 배기의 밸브 타이밍을 독립적으로 선택할 수 있는 twin cam mechanism 이 이용되기도 한다.

각종 기계식 밸브의 전자제어화가 가능해지면서 흡배기계통에서는 기계식 가변기구 없이도 간편하면서 더욱 넓은 운전범위에서의 최적성능을 얻을 수 있게 될 것으로 예상된다.

(2) 공기공급유로의 가변기구

공기유동, 연료분사계 및 연소실형상의 최적화는 디젤기관에 있어서 기본적인면서도 중요한 문제이다. 그러나 연소에 바람직한 공기의 유동도 운전조건에 따라 다르기 때문에 공기의 유동 즉 swirl의 강도를 가변으로 할 필요가 있다. 그림12는 swirl 강도를 가변으로하기 위한 흡입와류 가변기구(swirl control valve mechanism)의 한 예를 보인다.

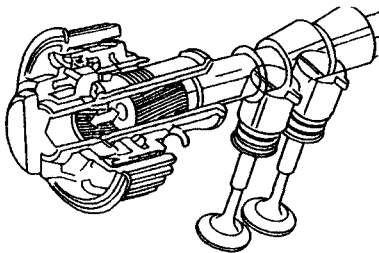


그림 11. Fiat사의 Valve timing control system

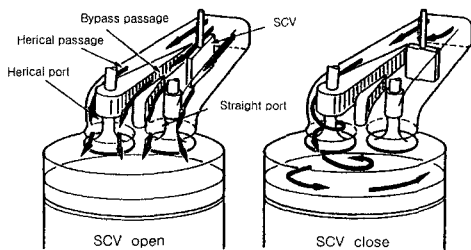


그림 12. SCV를 가진 herical port의 개념도

4.2 배기가스터빈과급기의 용량가변화 [11,12]

배기가스터빈과급(이하 터보과급이라 한다.)에 의한 엔진의 비약적인 출력향상과 고효율화는 배기저압과 저연비화를 가능하게 하였다. 그러나 터보과급기술을 향상시키기 위하여는 엔진의 특성에 대하여 과급기의 특성을 최적화하는 것이 중요하다. 일반적으로 터빈은 scroll 등의 크기에 의하여 용량이 결정되며, 엔진은 크기와 종류에 따라 그 특성이 다양하기 때문에 과급기도 넓은 작동범위에서 높은 효율과 신속한 응답성이 요구된다.

종래의 기관은 주로 최대출력을 중요시하여 설계되고 최적화 되었으나, 최근에는 그 요구가 다양해지고 또한 가혹해지고 있다. 예를들면, 저부하 저속의 운전영역에서는 희박연소가 요구되고, 고부하 고속에서는 이론공연비에서의 연소가 가능하면서 과도응답특성이 뛰어나고 고온에도 견딜 수 있는 과급기가 요구된다. 과급압력은 회전수에 의존하기 때문에 회전수가 높을수록 높은 과급압력이 얻어지게 된다. 따라서 종래의 고정된 과급기 구조로는 넓은 운전영역에서 높은 효율을 얻는 것이 불가능하였다. 그러므로 종래의 과급기를 이용한 과급엔진은 저부하 저속시에 과급효과를 높이기 위하여 고부하 고유량영역에서는 배기가스를 바이패스시키는 방식이 이용되었다.

그러나, 가변용량터빈의 경우는 엔진의 저속저부하에서는 배기가스유량이 소량이지만, 노즐면적을 작게 하는 등의 방법으로 가스유량을 스로틀링함으로써 저유량에서도 높은 터빈팽창비를 가능하게하여 회전수를 높이고 그 결과로 높은 과급압력을 얻을 수 있다. 또한, 고부하 고속에서는 가스유량이 증가하지만 스로틀링을 확대조정하여 터빈용량을 증가시키는 방법으로 배기가스를 바이패스시키지 않고 터빈팽창비를 조절할 수 있기 때문에 터빈회전수와 과급압력을 조절하는 것이 가능하게 된다. 따라서 넓은 작동범위에서 높은 효율을 얻을 수 있다.

가변방법으로는 구조적인 특징상 variable geometry nozzle (swing type)과 variable geometry stator (slide type, flow control type 등)로 구별할 수 있다. 그림13과 그림14에 이들 구조의 한 예를 각각 보인다.

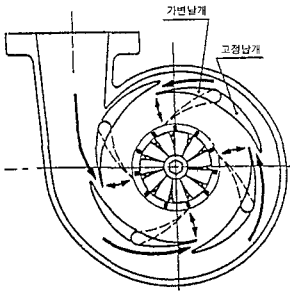


그림 13. Variable geometry nozzle

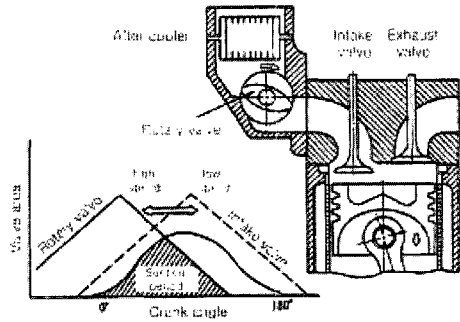
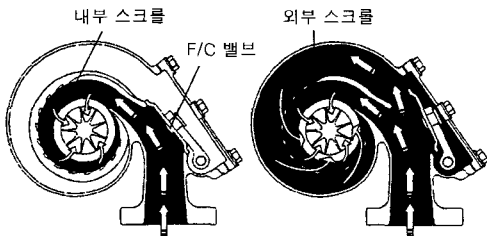


그림 16. Miller cycle 기관의 구조



저회전시(F/C밸브단침) 중고속회전시(F/C밸브제어)
그림 14. Variable geometry flow control

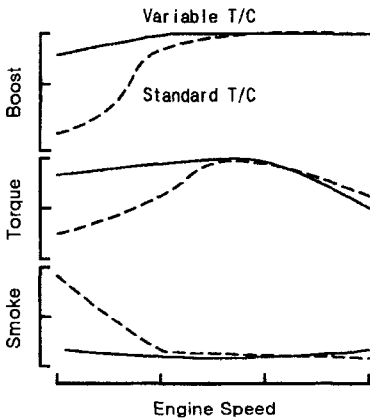


그림 15. 가변용량 T/C의 성능특성

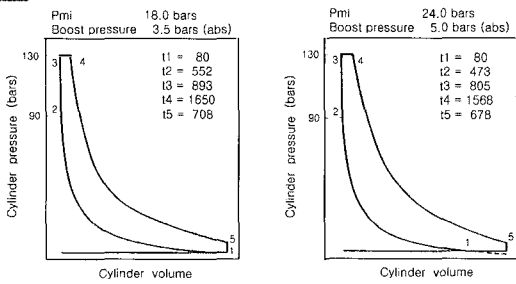
그림15에는 가변용량 T/C를 이용한 경우 각 회전수에 대한 엔진의 과급압력, 토크, 및 smoke 배출특성을 나타낸다. 가장 큰 차이는 가변용량 T/C의 효과에 의한 엔진의 저회전영역에서의 성능개선이다. 즉, 저회전영역에서 토오크가 크게 향상되었음을 알 수 있으며, 최대토크의 향상도 기대할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 중고속영역에서는 유량의 조절에 의하여 과급압이 제어되고 있

으며, 과급압이 동일하게 유지되면서도 배기압이 낮아져서 연료소비율의 저감도 꾀할 수 있다.

4.3 Miller-cycle 기관의 실용화 [13,14,15]

가솔린기관의 출력조정은 흡기메니폴드내의 트로틀밸브로 하기 때문에 부분부하운전에 있어서 펌프손실이 증가하고 연료소비율이 악화한다. Miller cycle 기관은 부분부하시의 펌프손실을 저감시키기 위하여 드로틀밸브를 항상 전개하여 두고 흡기밸브의 닫힘시기를 변화시킴으로서 유효 흡기행정을 변화시켜 부하를 제어하고자 하는 기관이다. 이 과정에서 유효압축비가 감소하기 때문에 흡기냉각과 함께 이용하면 열부하의 증가 없이 평균유효압력을 높일 수 있는 방법으로 Miller에 의하여 1947년에 제안되었으나 실용화가 되지 못하였다. Miller cycle 이 실용화가 어려웠던 것은 흡기밸브의 제어와 고과급압력의 과급기 이용이 곤란했기 때문이다. 최근에는 흡기밸브의 가변기구가 개발되고 고효율 과급기가 등장함으로써 재조명을 받고 있으며, 그 특성상 연비성능 및 배기 성능의 면에서 적극적인 활용이 기대된다. 가솔린기관, 디젤기관에 관계없이 이미 이 기술을 적극적으로 활용하기 위한 연구보고가 국내외에서 늘어나고 있는 실정이다.

그림16은 Miller cycle 기관의 실용화를 위한 연구의 한 예로서 과급시스템과 로타리밸브를 채용하고 있는 시스템을 보인다. 배기바이패스밸브(w/g 밸브)를 사용하는 대신에 흡기밸브의 앞쪽에 로타리밸브를 설치하고 고속측에서 흡기관을



(a) Conventional system (b) Miller system

그림 17. Miller cycle의 열역학적 특징

제어하는 방법이다. 소용량의 터빈을 이용하고 빠른 응답성과 높은 중저속토크를 얻을 수 있으면서 동시에 고속측에서 흡기행정을 짧게하는 방법으로 연비를 악화시키지 않으면서 최고폭발압력의 상승을 억제하고 있다. 또한 연소최고온도를 낮게 할 수가 있기 때문에 배기가스의 저감에도 유리한 성능을 나타낸다. 이 기관을 저압축과 팽창기관이라고도 한다.

그림17은 Miller cycle 기관의 성능특징을 이해하기 위하여 열역학적 사이클을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 기입된 열역학적 수치들로부터도 알 수 있는바 같이 최고압력(130bars)이 같은 조건에서 평균유효압력이 24bars로 높으면서도 연소최고온도는 1650℃에서 1568℃로 낮게 되어 높은 출력을 나타내면서도 NOx 등의 배기성능의 저감을 기대할 수 있는 특징을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, Miller cycle 기관 또한 흡입 밸브의 전자제어화와 고효율 과급기의 채용으로 저연비 및 저배기성능을 동시에 만족시킬 수 있는 새로운 기술로 인정되어 그 실용화가 기대된다.

5. 결 론

최근 엔진의 다양한 성능요구에 부응하여 많은 신기술들이 개발되고 있지만, 여기에서는 연소기술, 연료공급계통 및 공기공급계통들에 관련되어 주목을 받고 있는 주요 신기술들에 관하여 언급하였다.

OHC(Over Head Camshaft) 기구의 채용이 기관의 구조는 물론 성능면에서도 대변혁이라 할

만큼 커다란 변화를 가져왔다. 밸브구동의 전자제어화도 대변혁을 가져올 만한 변화라고 생각된다. 밸브구동의 전자제어화는 다양한 기관의 요구성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 가능성을 열었다는 의미에서 한단계 차원높은 기관성능을 기대할 수 있을 것이다. 이미 이러한 신기술들을 채용한 엔진들은 Intelligent Engine 또는 Camless Engine 등으로 불리워지고 있다.

이상에서 언급한 신기술들은 엔진의 운전특성에 관계없이 즉 차량용, 발전기용 및 선박추진용에 관계없이 활용될 수 있는 기술들이기 때문에 모든 종류의 기관에 있어서 그의 실용화가 급속도로 진전될 것이다. 엔진은 지금까지의 출력을 중시하던 성능에서 넓은 운전범위에서 다양한 요구를 만족시킬 수 있는 기술들이 개발되어 새로운 요구에 부응하고 있다. 선박용 기관에서도 요구가 다양해지고 있으며 여기에서 언급한 기술 등을 중심으로 요구에 부응하여 기관의 성능은 계속 개발 향상될 것이다.

참고문헌

- [1] 배충식, 디젤 및 대체연료 예혼합압축착화 엔진기술, 한국자동차공학회지, 제25권 제5호, 2003.
- [2] 김장현, 윤금중, HCCI 디젤연소의 연구개발 동향, 한국자동차공학회지, 제25권 제5호, 2003.
- [3] 박종상, 정성식, 하중률, 황성라디칼 유도분사를 이용한 정적연소기 및 엔진에서의 연소특성, 한국자동차공학회지, 제25권 제5호, 2003.
- [4] 특허청, 2001 신기술동향보고서-직접분사식 디젤엔진, 특허청 기계/금속분야 제6권, 2001.
- [5] Y. Aoyagi, Diesel Combustion in High Boosted Charged and High Pressure Fuel Injection, JSAE, Vol. 58, NO. 4, 2004.
- [6] Y. Tanaka, K. Nagata, 1800 bar Common Rail System for Diesel Engine, JSAE, Vol. 58, NO. 4, 2004.

- [7] T. Ahmad, et al., A Survey of Variable-Valve-Actuation Technology, SAE Paper No. 891674, 1989
- [8] Y. Mase et al., Development of Valve-Timing Control System, JSAE Vol. 41, No. 9, 1987.
- [9] 구준모, 배충식, 가변밸브개폐시기 기구운전의 엔진성능에의 영향, 한국자동차공학회논문집, 제9권, 제6호, 2001. pp.24
- [10] K. Mizutani, et al., Development of New Concept of 4-Valve Engine, JSAE Vol. 41, No. 9, 1987.
- [11] M. Ishii, et al., Turbocharger with Variable Geometry, JSAE Vol. 58, No. 4, 2004.
- [12] 정용일, 자동차와 환경, AutoEnv.org.
- [13] N.S. Mavinahally, et al., Performance Analysis of Turbocharged Multi-Cylinder Insulated Miller Cycle Diesel Engine, ASME Paper No. 97-ICE-37, 1997.
- [14] 김동훈 외, Miller 사이클을 이용한 중형디젤 기관 성능개선, 한국박용기관학회지 Vol.26, No.2, 2002.
- [15] T. Nakahira, Variable Control System for Diesel Engine, JSAE Vol. 41, No. 9, 1987.