

자동차용 SI엔진의 개발 동향

한 봉 훈
현대자동차(주) 마북리연구소



● 1959년생
● 열유체공학을 전공하였으며, 엔진의 연소성능과 배기가스에 관심을 가지고 있다.

박 찬 준
서울산업대학 기계공학과



● 1955년생
● 열유체공학을 전공하였으며, 자동차용 엔진 관련 유체유동 및 연소성능에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

1970年代의 石油危機와 세계 각국의 排氣規制強化로 자동차용 가솔린 기관에 관한 연구는 燃費改善, 排氣가스 低減등에 중점을 두어 왔다.

특히 1975년 이후 미국과 일본의 엄격한 배기규제조치로 燃燒改善, 觸媒의 裝着, 전자제어시스템의 적용등 많은 研究開發이 이루어져 왔다. 또한 미국과 일본에서 燃費規制를 실시하게 되면서 燃費改善 對策으로서 소형輕量化, FF(front engine, front drive)化, 可變機構의 채용, 高壓縮比化, 희박연소 시스템의 개발등 새로운 技術들이 검토되어 지금은 여러 부문에서 實用化가 되고 있다.

1980년대에 들어서면서 미국과 일본에서의 에너지 정책으로 석유수요의 감퇴와 非 OPEC 국가들의 原油生産能力的 증대로 석유의 안정공급이 계속되면서 自動車産業이 국내외적으로 크게 伸長되었다.

그리고 이러한 自動車産業의 성장과 더불어 자동차에 대한 사회적 要求가 다양한 형태로 나타나면서 기관의 技術開發도 멀티벨브

(multi-valve)化, 과급기, 可變機構, 전자제어시스템등의 採用이 증가하는 傾向이 있어 이에 관한 최근의 기관개발기술과 미래의 기관개발 동향에 대해서 기술하기로 한다.

2. 新技術 研究開發의 背景

2.1 排氣規制

미국의 CARB는 1994년 부터 HC規制値를 0.41gpm에서 0.25gpm(NMHC)으로 조정하고 또한 1994MY 부터는 종래의 5만 mile 保障에서 10만 mile 保障으로 하는 엄격한 規制方針을 검토하고 있다. 또한 유럽지역에서도 산성비 문제를 계기로 최근 排氣規制의 움직임이 활발하여 지면서 표1과 같이 그 規制値를 발표하고 있다.

일본은 NO_x規制強化를 발표하면서 排氣가스底減對策으로 3원 촉매에 이어 副室式的 複合渦流調速燃燒方式(Honda의 CVCC), 大量 EGR+急速燃燒方式(Nissan), TGP燃燒方式(Toyota), High Swirl安定燃燒方式(Mazda), 噴流制御 희박燃燒方式(MMC의 MCA-JET) 등 燃燒改善을 위한 많은 努力을 기울여 왔고, 觸媒技術과 기관제어기술의 발전과 더불어 현

표 1 유럽의 배기구제

배기량	적용시기		배기가스 (g/test)		
	新 모델	준 모델	CO	HC+NO _x	NO _x
유럽 경제 공동체					
1.4리터 이하	1990년 10월	1991년 10월	30	8	—
1.4~2.0리터	1991년 10월	1993년 10월	30	8	—
2.0리터 이상	1988년 10월	1989년 10월	25	6.5	3.5
노르웨이, 스웨덴 준 차종	—	1988년 1월	미국의 1983년 규제치		
오스트리아					
1.5리터 이상	—	1987년 1월	미국의 1983년 규제치		
1.5리터 이하	—	1988년 1월	미국의 1983년 규제치		
스위스					
준 차종	—	1987년 10월	미국의 1983년 규제치		
輕 트럭	—	1988년 10월	미국의 1983년 규제치		

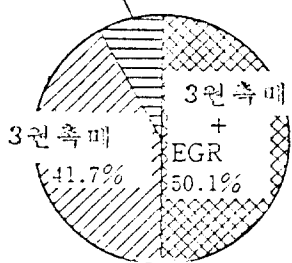
재는 3원 촉매방식이 주류를 이루고 있다(그림 1). 미국도 승용차 및 輕量트럭은 3원 촉매를 장착(그림 2)하고 있으며 유럽에 있어서도 앞에서 언급한 排氣規制強化 움직임으로 촉매장착차가 나타나고 있다. 또한 촉매에 대해서는 최근 금속담체촉매를 사용하여 背壓低減에 의한 기관성능향상, 소형화에 의한 탑재성의 향상, 耐熱性 및 強度向上을 겨냥 한 것도 있다.

2.2 에너지 問題

1985년 12월 OPEC이 增産計劃을 발표함으

로써 1986년 여름에는 原油價格이 일시에 10달러/배럴로 떨어졌다. 그후 OPEC이 가격회복을 위해 감산에 합의하여 石油市場은 회복세에 접어들게 되었고 1987년에는 OPEC은 18달러/

산화촉매 + EGR; 8.2%



승용차 (일본, 1987년)

그림 1 배기가스 제어시스템의 동향⁽¹⁾

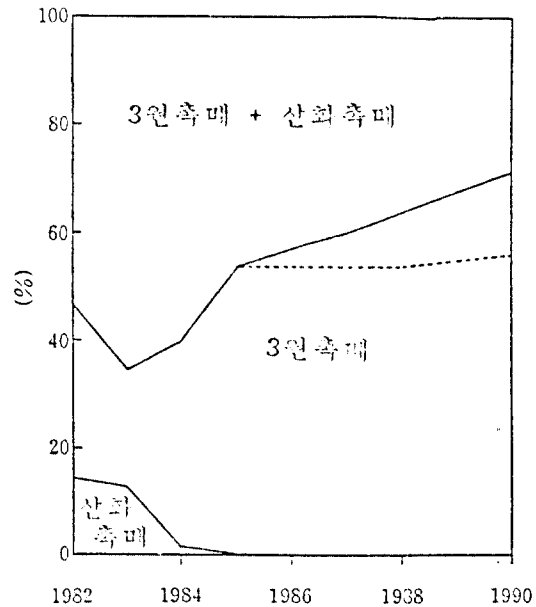


그림 2 촉매 시스템의 동향(미국)

배럴의 固定價格制를 도입하여 1년간은 안정가격을 유지하였다. 또한 1970년대의 에너지위기로 미국, 일본등 여러 국가들이 국가적 차원의 에너지정책을 실시하게 되면서 그리고 非 OPEC 產油國들의 原油生産能力의 증대로 1988년에는 유가가 하락하지만 1989년에는 안정세를 유지하여 왔다.

그러나 현재 미국, 영국등 非 OPEC產油國들의 생산력이 거의 최고에 달하여 앞으로는 OPEC 產油國에 대한 依存度가 높아질 것으로 전망되며 최근에 이라크가 쿠웨이트를 침공하면서 국내외적으로 油價는 급등세를 나타내고 있다. 따라서 장기적으로 석유공급의 불안정을 招來할 가능성도 배제할 수 없다.

3. 가솔린기관의 最近 開發 方向

최근의 유가안정과 자동차에 대한 다양한 사회적 요구를 반영하여 세계적으로 高出力化, 燃費低減, 그리고 騒音低減의 방향으로 나아가고 있다.

3.1 멀티밸브(Multi Valve)化

高出力化를 위하여 최근의 기관들은 DOHC化 되는 경향이 있다.

또한 연료실을 최적설계함으로써 화염전과거리의 단축으로 연소개선이 이루어지고 耐 노크성이 향상되기 때문에 高壓縮比化가 가능하게 되었다.

이러한 高壓縮比化는 高出力과 底燃費를 양립시키는 기술로서 전자제어기술의 발달과 더불어 최근 급격히 그 채용이 확대되고 있다.

특히 DOHC 4밸브 기관의 設計技術은 급속히 발달하여, 최근에 개발되고 있는 기관들은 모두 DOHC 4밸브라고 하여도 과언이 아니다. 일본의 MMC는 세계 최초의 3-spray hole injector를 창작한 미니카용 5밸브 기관(548cc)을 개발하였고, 그림 3과 같이 저중속 영역에서 4밸브 기관에 비해서 體積效率이 상당히 양호한 것으로 나타나고 있다.

기관성능면에서 보면 그림 4와 같이 4밸브

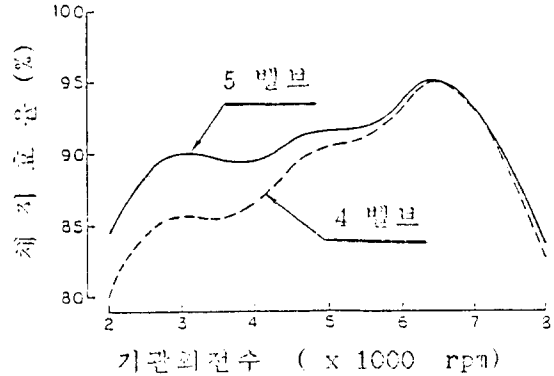


그림 3 체적효율의 비교⁽³⁾

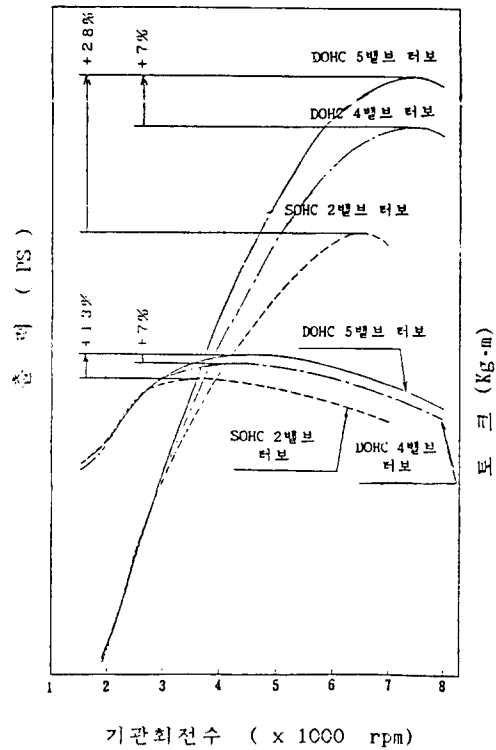


그림 4 기관성능의 비교⁽³⁾

기관에 비해서 출력과 토크에서 7%정도 향상되고 있다.

또한 기관의 高出力化에 따라 排氣效率의 向上策도 검토되고 있으며 Mazda의 JE형 기관의 듀얼 배기시스템과 Nissan의 VG 30

DETT형 기관의 트윈 배기시스템이 그 예이다.

3.2 可變機構

高性能化 지향에 대해서 기관이 실용적으로 사용되는 저중속영역에서의 토크향상 및 燃費改善을 목적으로 可變制御시스템을 장착하는 경향이 있다. 즉, 高出力化와 저중속영역에서의 出力向上 및 燃費低減을 위하여 가변흡기시스템, 가변와류시스템, 가변밸브 타이밍 시스템 등 각종 可變機構가 채용되고 있다.

體積效率向上的 수단으로서 관성 및 공명과 급효과를 얻기 위하여 Mazda의 JE형 기관에는 그림 5와 같은 가변흡기시스템을 적용하고 있다.

이 시스템은 진공식 제어밸브를 마이크로컴퓨터로 제어하여 흡기관의 길이를 변화시키는 것이다.

또한 Honda는 1988년 4월에 Integra用 B16A(1.6L DOHC 16밸브)를 발표하였는데 이 기관은 가변밸브 타이밍과 가변밸브양정을 채용하고 있는 것이 특징이고 밸브 타이밍도 흡기측만이 아니고 흡배기 모두에 적용하고 있는 획기적인 시스템이다(그림 6).

가변 터보 시스템은 메이커에 따라 Variable Geometry, Jet-Turbo, Twin Scroll, Wing-Turbo 등으로 불리고 있지만 저속에서 고속까지의 넓은 運轉領域에서 높은 토크특성을 얻고

자 하는 것이 그 목적이다.

대표적인 것으로 Honda의 Legend에는 可變機構를 갖춘 과급기(variable wing-turbo)를 장착하였는데, 이것은 과급기관의 최대 과제인 Turbo lag을 적게하여 저속에서 고속까지 광범위한 영역에서 높은 토크를 발휘하고 있다. 그림 7은 가변 왕의 작동을 나타내는 것으로 4매의 고정 왕과 4매의 가변 왕으로 구성되어 있고 가변 왕을 기관의 운전 상태에 따라 제어하며 터빈에 공급되는 배기가스의 속도를 변화시켜 過給壓을 제어하는 것이다.

이탈리아의 Lancia社도 Variable Geometry Turbo 개발중인 것으로 알려지고 있다.

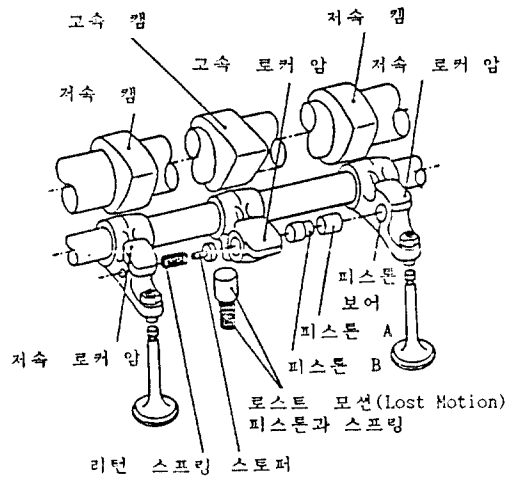


그림 6 가변 밸브 타이밍 시스템⁽⁴⁾

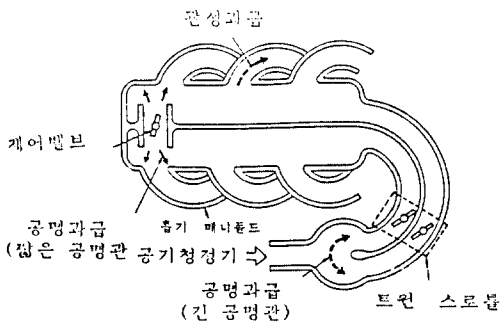


그림 5 관성 및 공명 과급 시스템⁽¹⁾

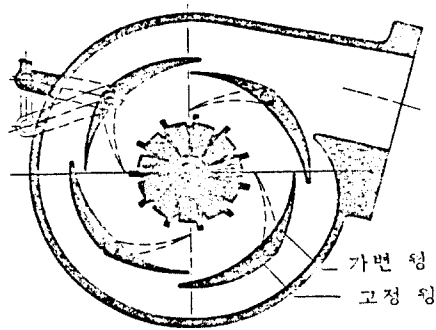


그림 7 윙 터보 시스템⁽⁴⁾

3.3 電子制御化

排氣가스정화와 燃費에 관한 法規制와 사회 적 요청에 대한 해결책으로 등장한 마이크로컴 퓨터에 의한 기관의 전자제어는 착실히 진보와 발전을 이루어 왔고 특히 기관의 전자제어중에서 전자제어 연료분사(EFI: electronic fuel injection)는 大氣汚染, 燃費低減, 高出力化에 따라 최근에 급격히 그 보급이 확대되고 있다.

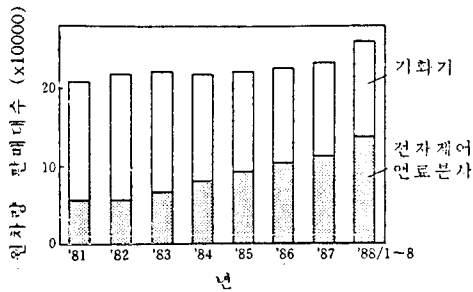


그림 8 일본의 가솔린 승용차에 있어서 전자제어 연료분사시스템의 동향⁽¹⁾

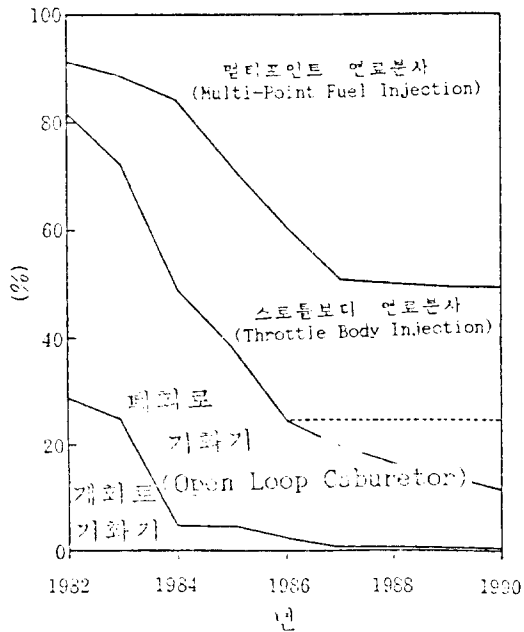


그림 9 미국의 연료공급시스템 동향⁽²⁾

일본의 경우 가솔린 승용차의 거의 절반이 전자제어 연료분사방식을 채용하고 있고, 미국 도 약 90%가 전자제어 연료분사방식을 사용하고 있다(그림 8, 그림 9). 또한 전자제어기술에 대해서 약간 보수적인 유럽에서도 촉매장치에 이어 전자제어 연료분사, 노크 제어의 적용 등 엔진의 전자제어화가 급속히 이루어지고 있다.

연료분사방식에 있어서, 흡입공기량의 계량에는 가변 Vane式, Karman Vortex式, Hot Wire式등과 같은 직접계량방식과 기관회전수와 반도체압력 센서로 측정된 흡기관압력으로 부터 공기량을 구하는 간접 계량방식이 있다. 대체로 1500cc이하의 소형기관에는 speed density方式이 비교적 많이 채용되고 있고, 간접 계량방식의 하나로서 흡기관압력 대신에 스톨개도를 사용하는 방식도 있다. 이 방식은 2系統(0~90도와 0~22度)의 포텐셜 미터를 사용하는 것으로서, 스톨개도의 精度가 문제되는 0~22度영역에서는 센서의 分解能을 4배로 하고 있다.

노크 제어방식에 있어서, 일본의 경우 프리미엄 가솔린을 사용하는 기관, 과급기관 및 6기통, 2000cc이상의 새로운 기관에는 거의가 채용하고 있고, 미국의 89년형차에는 45%정도 적용하는 것으로 알려지고 있다.

최근에는 高壓縮比化, 과급기채용과 더불어 프리미엄 가솔린을 사용하는 자동차가 증가하여 제어내용의 高度化和 多機能化가 진행되면서 미국, 일본에서는 전자제어에 16비트 마이크로 컴퓨터를 사용하기 시작하였다.

3.4 輕量 Compact化

차량의 거주공간을 확보하거나 차량의 空氣抵抗係數를 낮추기 위하여, 기관을 보다 compact化시킴과 동시에 각기 차량의 구성에 적합한 형상이 요구되고 있다. 補機類를 소형으로 하거나, DLI(distributorless ignition)시스템, 高效率의 알터네이터, 補機類와 기관과의 一體化등이 고려되고 있다. 또한 기관의 탑재

방법의 대폭적인 변경과 그에 따른 技術開發이 활발히 진행되고 있다.

기관의 輕量化에는 새로운 材料의 應用과 기관의 구조변경에 의한 방법이 있으며, 新材料 應用의 例로서 板金製 배기 매니폴드를 들 수 있고 또한 실린더 블록과 방열기의 알루미늄화, 밸브계의 알루미늄합금, 燒結合金의 사용, 피스톤과 커넥팅 로드의 FRM(纖維強化金屬) 등이 이미 일부기관에 채용되고 있다.

3.5 騒音低減

騒音解析의 발전에 따라, 기관으로 부터 發生하는 騒音의 레벨은 현저히 低下시킬 수 있게 되었다.

구체적으로 실린더 블록과 크랭크 축의 剛性을 향상시키고 밸런스를 改善하기 위하여, 그림 10과 같이 크랭크 축의 웨브部를 補強하고 카운터 밸런스 추를 追加함으로써 기관소음을 低減시키고 있다.

또한 메인 베어링 캡을 서로 연결시켜, 실린더 블록의 스커트部の 騒音發生源이 되는 振動을 제어시키는 방법도 양산차에 적용되고 있다.

크랭크 풀리(crank pulley)를 크랭크 축의 비틀림진동제어용 댐퍼로 사용하는 경우도 있다.

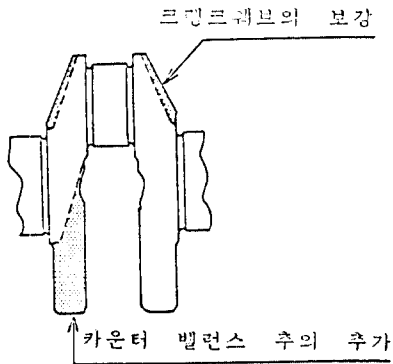


그림 10 기관소음의 개선방법⁽⁶⁾

4. 未來의 가솔린기관

4.1 2행정 기관(2 Stroke Engine)

일본의 Toyota는 新기관 기술로서 Toyota S-2(supercharged 2행정 기관)형 기관이 研究開發중에 있는 것으로 알려지고 있는데 Toyota는 次世代 기관 중에서도 2행정 기관을 가장 實用性이 높은 것으로 보고 實用化를 서두르고 있다.

S-2형 기관은 DOHC 4밸브 기관과 기본적으로 같은 그림 11의 構造로 되어 있다. 종래의 2행정 기관의 掃氣作用을 과급기를 이용하여 강제적으로 행하는 것이 특징이고 그 결과를 따르면 최고출력 80 PS/L, 최대토크 17.0kg m/L의 성능이 얻어지고 있다.

또한 미국의 GM, Ford도 Orbital側과 技術契約를 체결하여 피스톤에 의해 조작되는 포트를 갖는 2행정 기관을 開發中에 있다⁹⁾.

표 2는 2행정 기관의 개발동향을 나타낸다.

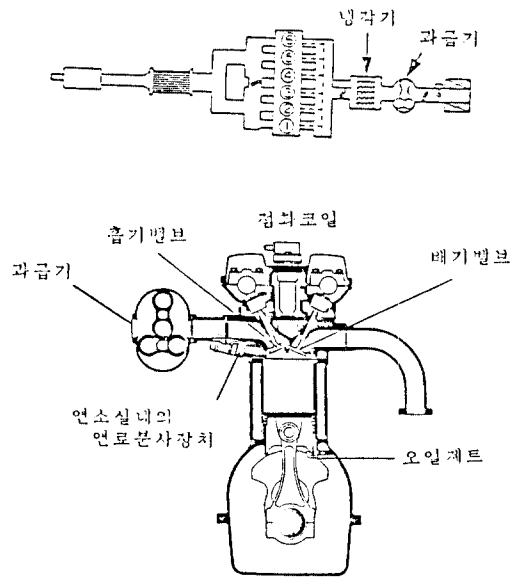


그림 11 Toyota 2행정기관의 개략도⁽⁷⁻⁸⁾

표 2 자동차용 2행정기관의 연구⁽¹⁰⁾

연구기관	소기 시스템	소기 제어	연료분사 시스템	
			형식	압력
Orbital	크랭크 실	피스톤 포트	공기+연료	低
IFP/PSA	크랭크 실	피스톤 포트	공기+연료	低
Toyota	외부(External)	포핏 밸브	연료	高
AVL-LIST	크랭크 실	피스톤 포트	증발연료	低
Ford	크랭크 실	피스톤 포트	공기+연료	低
Ricardo	외부(External)	피스톤 포트	연료	高
	외부(External)	포핏 밸브	연료	高

4.2 희박연소기관(Lean Burn Engine)

燃費의 改善 및 排氣가스의 저감을 위해 가솔린기관의 희박연소 시스템에 관한 研究開發은 오래전부터 국내의 현대자동차를 비롯하여 국외 여러 自動車메이커에 의해서 進行되고 있다. 특히 최근 전자제어 시스템의 발달로 MPI(multi point injection)를 적용하게 되면서 精밀한 空燃比의 제어가 가능하게 되었고, 연료분사 타이밍제어에 의한 成層化와 過渡應答性 改善이 이루어 지고 있다.

그림 12는 유럽시장에 도입되고 있는 Toyota의 희박연소 기관의 흡기포트형상을 나타내는 것으로 이 기관은 약 10~15%의 燃費 改善이 이루어 지는 것으로 알려지고 있다.

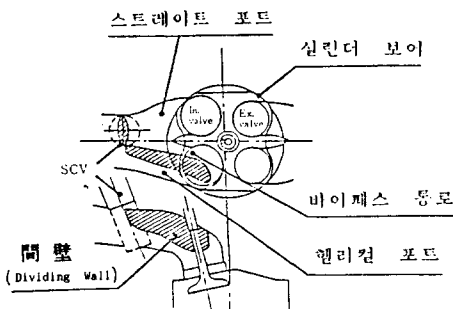


그림 12 와류조절 밸브가 정착된 헬리컬포트의 형상

4.3 메탄올기관(Methanol Engine)

최근에 들어 이라크가 쿠웨이트를 침공하면서 代替 에너지에 대한 관심이 더욱 커지고 있다. 또한 미국 상·하원을 통과하여 부시 대통령의 인준만을 남겨 놓고 미국의 Clean Air act로 이 分野에 대한 研究는 더욱 활발히 進行되고 있다.

특히 代替燃料로서 가장 큰 期待를 모으고 있는 메탄올 기관의 實用化를 위한 研究開發은 國內外에서 꾸준히 進行되고 있다⁽¹¹⁻¹²⁾.

메탄올연료는 RON(research octane number)이 높기 때문에 燃燒速度가 빠르고 可燃範圍가 넓다는 特性을 갖고 있다. 이러한 메탄올연료의 特性을 이용하여 희박연소화에 의한 燃費改善도 시도되고 있다⁽¹³⁾.

그러나 메탄올연료는 氣化潛熱이 가솔린의 3배 정도이고, 單一成分으로 底沸點 成分이 없기 때문에 低溫始動性에 문제가 있으며 흡기가 열, 燃料의 氣化 및 霧化 등 低溫始動性 改善에 대한 研究開發이 필요하다. 그리고 메탄올연료는 부식작용이 강하기 때문에 燃料供給系部品の 耐久性 및 信賴性向上이 요구된다.

또한 메탄올연료의 燃燒生成物에 의한 運轉유의 희석, 劣化를 유발시키기 때문에 실린더보어, 밸브밸브 시트 등의 材料에 대한 耐摩減性向上이 요구되고 있으며 今後 耐摩減性材料

에 대한 많은 研究開發이 있어야 할 것이다.

5. 맺음말

最近의 기관은 DOHC 또는 SOHC로 4밸브나 5밸브를 채용하여 흡기계의 효율향상을 시도하고 있다. 그러나 高速性能에 중점을 두고 기관제원을 설정하게 되면서 低速 實用域에서 토크의 저하를 초래하는 경우가 많아지고 있으며 금후 이러한 문제의 해결에 많은 努力이 계속될 것으로 전망된다.

또한 전자기술의 발전과 자동차에 대한 적용 기술이 향상됨에 따라 앞으로 가변흡기 시스템, 가변밸브 타이밍, 가변 터보, 가변 氣筒數, 가변 壓縮比 등 가변기술에 대한 연구개발이 더욱 활발히 이루어질 것이다.

참고 문헌

- (1) Akio Tamano, Jiro Onishi., "Present and Future of Emission Control and Fuel Economy of Engine", 自動車技術, Vol. 43, No. 4, 1989.
- (2) Masaki Funabiki., "Technical Trend of Automotive Catalysts", 自動車技術, Vol. 43, No. 4, 1989.
- (3) Car & Maintenance, Vol. 43, No. 4, 1989.
- (4) Ward's Engine Update, Vol. 15, No. 8, 1989.
- (5) Car & Maintenance, Vol. 43, No. 1, 1989.
- (6) 자동차공학, Vol. 38, No. 3, 1989.
- (7) Ward's Engine Update, Vol. 15, No. 17, 1989.
- (8) Automotive Engineering, Vol. 97, No. 8, 1989.
- (9) Ward's Engine Update, Vol. 15, No. 16, 1989.
- (10) Ricardo, Two-Stroke Review, Issu No. 1, August 1989.
- (11) Yukihiro Tsukasaki., "Review on Methanol-fueled Vehicle Technology for Otto-type Engines", 自動車技術, Vol. 43, No. 4, 1989.
- (12) Shin, Y.G. and Lee. K.H. "Comparison of Characteristics between Gasoline and Methanol in a SI Engine", SAE 891315
- (13) Kato, K. et al., Development of Methanol Lean Burn System, SAE Paper 860247

