

자동차용 엔진의 연구동향

李 成 烈

成均館大學校 機械工學科 教授



●1927년생
●내연기관을 전공하였으며 알코올 연료의 엔진이용 기술 및 수소엔진 개발에 많은 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

자동차 사회의 성숙과 더불어 자동차에 대한 요청은 점차 고도화, 다양화의 경향으로 되며, 자동차 성능의 원천인 엔진에 대하여는 고성능, 저연비, 내구성 등 많은 과제가 부과되고 있다.

금세기 말까지는 스파크 점화 기관이 계속 승용차 부문에서 주도 역할을 할 것으로 생각하며, 바기가스 정화가 일단락됨에 따라 엔진 연구의 방향도 본래의 기관성능의 향상을 추구하는 방향인 출력향상, 연료경제성, 진동, 소음의 저감을 균형있게 향상 개선시키는 방향으로 진행되고 있다.

또한, 최근 대체연료에 대한 요청이 강하게 부각되고 있으며, 따라서 자동차용 엔진의 연구는 기관성능의 향상을 추구하는 문제와 부가해서 대체연료의 엔진 이용기술의 확립에 초점이 맞추어지고 있는 것으로 본다.

대체연료의 엔진 이용 기술⁽¹⁾에 관해서는 별도로 발표한 것이 있으므로 이것은 제외하고, 출력향상의 수법, 연료경제성에 관하여 중점적으로 거론하기로 한다.

2. 출력향상 수법

출력증대의 기본은 흡입공기량의 증대와 기관회전수 증대의 2가지로 요약되며, 이것을 기

본으로 한 출력향상의 수법은 다음 3가지로 생각된다.

- (1) 배기량의 증대
- (2) DOHC, 4밸브 방식
- (3) 터보과급

배기량증대는 가장 확실한 출력증가의 수법이지만 엔진치수, 중량의 증대, 연료 경제성의 악화 등의 역효과가 있다. 따라서 비교적 널리 채용되고 있는 (2), (3)의 방법에 대하여 기술하기로 한다.

2.1 DOHC, 4밸브 방식

출력을 증대시키기 위해서는 흡입공기량 증대와 기관회전수 증대의 두 가지가 기본인데 이것에 부합되는 것이 DOHC, 4밸브 방식이라 할 수 있다.

먼저 DOHC의 특징으로는 2개의 캠축을 사용함으로써 흡기밸브와 배기밸브를 상대적인 위치에 둘 수가 있기 때문에 이상적인 흡·배기의 크로스(cross) 흐름이 실현되며 흡·배기 효율을 높일 수 있다. 또한, 캠축이 직접 밸브를 구동하여 개폐를 행하기 때문에 푸시로드, 로커암이 불필요하게 되어, 밸브 구동계의 관성중량을 대폭 경감시킬 수 있는 점과 밸브 구동계의 강성이 높아진다. 이 때문에 고속회전에 있어서 캠축에 대한 밸브의 추종성이 향상되고, 엔진의 고속회전이 가능하게 된다.

그 밖에 2개의 캠축을 사용하기 때문에 1실린더 당 4밸브의 개폐가 용이하게 된다. 따라

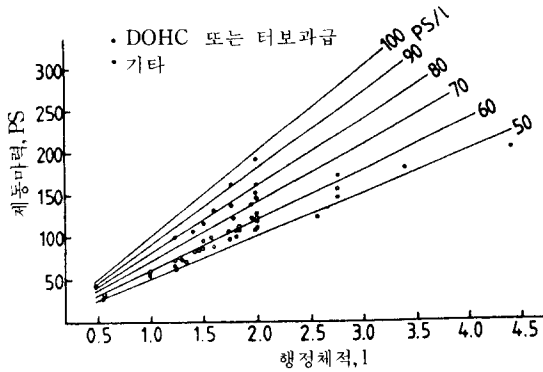


그림 1 행정체적과 제동마력과의 관계

서 흡입 및 배출가스량을 증대시키는 것이 가능하게 되어 흡·배기 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

그림 1은 승용차 엔진의 최고 출력을 나타낸다⁽²⁾. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 DOHC, 4밸브 및 터보과급기관이 우수하다는 것을 알 수 있다.

2.2 터보과급

터보과급은 배기가스를 동력원으로 한 터빈을 구동하여 같은 축으로 된 압축기를 구동함으로써 혼합기(또는 공기)를 압축하여 그것을 연소실에 충전하는 것이다. 따라서 예를 들면 2리터 엔진의 실린더에 2.5리터 또는 3리터분의 혼합가스를 기계적 손실의 증가 없이 충전할 수 있으므로 2리터 용량의 엔진으로부터 2.5~3리터 용량의 출력이 얻어진다.

그림 2⁽³⁾은 국산 소형 승용차에 탑재되어 있는 압축비 9.0, 1238cc 가솔린 엔진에 터보과급기(사용 범위 1.2~2.1리터)를 부착하여 압축비를 8.5로부터 단계적으로 7.0까지 변화시킨 경우의 제동 동력을 나타낸다. 기관회전수의 증가에 따라 제동 동력이 크게 향상되고 있음을 볼 수 있으며 그림 3⁽³⁾에 제동동력의 개선효과를 나타낸다. 저속운전에 있어서는 개선효과가 그다지 없지만, 압축비 8의 경우, 2000 rpm에서 NA엔진에 비하여 30% 정도의 개선

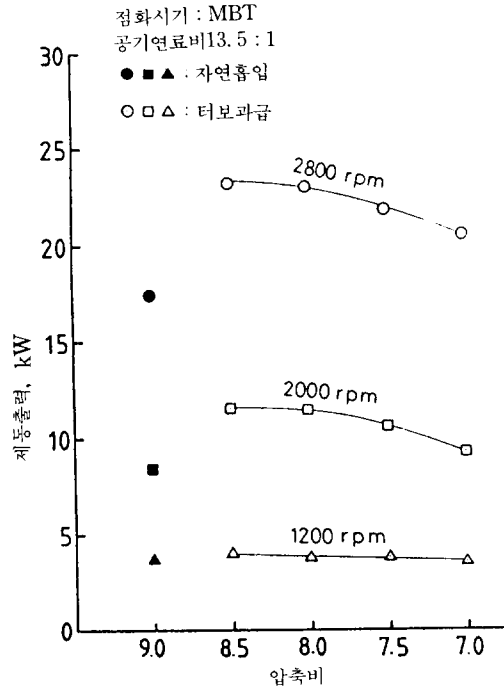


그림 2 터보과급기관의 압축비 및 회전수에 대한 제동마력

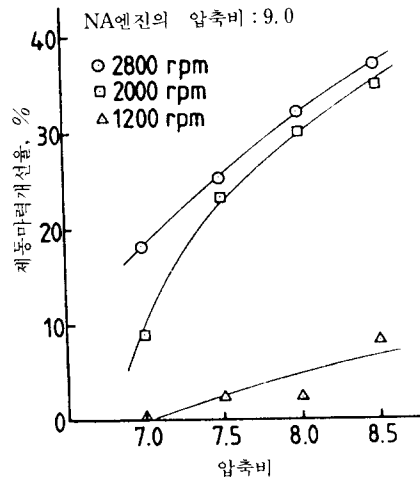


그림 3 터보과급기관의 제동마력 개선율

효과가 있다. 그러나 고부하 운전이 됨에 따라 쉽게 노크가 발생할 것이며 다음과 같은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

- (1) 엔진회전수에 따른 과급압력의 선택
- (2) 노크 센서의 신호에 따른 과급압력 제어 방식
- (3) 과급압력과 노크 한계의 규명

이상과 같은 것은 근본적으로 노크 발생원인을 세밀하게 규명하여 과급압력에 대한 연소특성을 확립하는 데 있다고 본다.

3. 연료경제성

엔진 기술자의 관심은 엔진의 연료경제성에 있는데 그 지표로 되는 정미열효율은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\eta_b = \eta_i \left(1 - \frac{P_f}{P_i} \right)$$

η_b : 정미열효율

η_i : 도시열효율

P_i : 도시평균유효압력

P_f : 마찰평균유효압력

이 식으로부터 η_b 를 향상시키기 위해서는 P_i 를 높이거나, P_f 를 감소시키면 되며, 각 엔진메이커에서 이 방침으로 진행하고 있는 것으로 생각한다. η_i 를 높이기 위해서는 압축비를 높여야 한다. 그러나 각 나라마다 가솔린 무연화의 방향으로 진행하고 있기 때문에 4에틸납을 첨가하여 옥탄가를 높여 압축비를 높인다는 방법은 채용될 수 없다.

다른 방법에 의존해야 하는데 그 하나가 급속연소이다. 연소실 형상의 개량으로 화염 전파 속도를 높여 미연혼합기 내부에서 화학반응이 진행하여 노킹에 이르는 일련의 과정이 종료하기 전에 그 부분을 화염면이 통과하여 정상연소가 되도록 하는 것을 목표로 하고 있는 것이다.

또한, 노크센서를 부착하여 점화시기를 조정함으로써 노크발생을 방지하면서 고압축비화하는 방법도 있다.

3.1 회박연소

도시열효율을 높이는데 있어서는 회박연소도

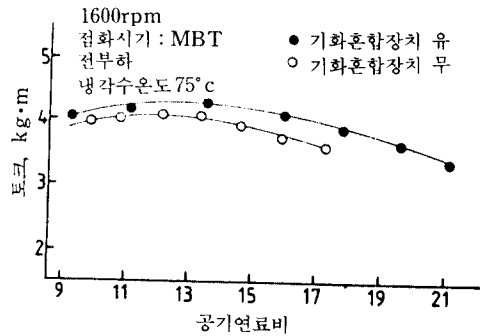


그림 4 기화혼합장치를 사용한 경우의 토크 향상 및 회박연소한계의 확장

유효한 수단으로 본다.

회박연소라 하면 혼합기를 공기로 희석하는 것을 보통 생각하지만, EGR에 의하여 희석하여도 같은 결과가 얻어진다.

회박연소는 도시열효율의 향상만이 아니라 NO_x 농도를 저감시킬 수 있다.

회박연소에서는 화염속도의 저하가 문제로 되며 급속연소를 채용하면 고압축비 회박연소가 가능하므로 엔진의 연료경제성에 크게 공헌하리라 생각한다.

그러면 공기연료비 20 : 1 또는 그 이상의 회박연소를 어떻게 실현시키느냐 하는 것이 문제가 되는데 종래 층상급기, 완전혼합(흡기관에서의 균질혼합기 형성) 등이 생각되어 왔다.

저자가 실현시킨 회박연소는 다음과 같다.

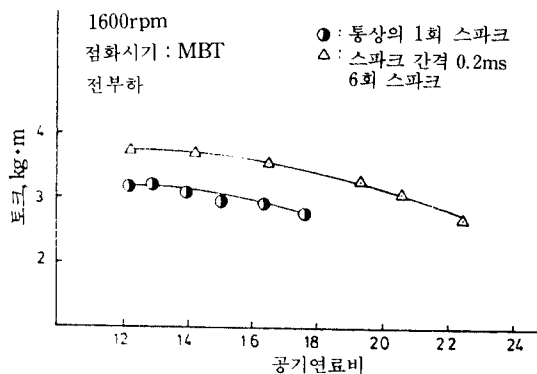


그림 5 다회수 스파크 점화장치를 사용한 경우의 토크 향상 및 회박연소한계의 확장

완전혼합에 의한 방법으로는 기화기하류에 기화혼합 장치를 부착하여 흡입 혼합기를 균질화함으로써 그림 4⁽⁴⁾와 같이 공기연료비 21:1 정도의 희박연소가 가능하다. 또한, 토크에 있어서도 통상의 엔진에 비하여 향상되고 있으며 이것은 연소개선효과에 기인하는 것이다. 저자가 실현시킨 또 하나의 방법은 복식 스파크(multiple spark)에 의한 것이다. 그림 5⁽⁵⁾는 통상의 단식 스파크(single spark)와 복식 스파크에 의한 기관토크의 비교이다. 복식 스파크의 경우가 20% 정도의 토크 향상이 있었으며 또한, 공기연료비 22:1 정도의 희박연소가 가능하다. 이 경우의 복식 스파크는 6회 연속 스파크이고 스파크 간격은 0.2ms이다. 이상과 같이 복식 스파크에 의한 토크 증대의 원인은 스파크에 의한 초기화염은 스파크 시작 직후에 발생하여 스파크 방전 계속중에 점화플러그 전극에 신기가 도입되어 화염의 증식이 연속적으로 이루어지므로 초기화염이 증대되기 때문에 압력상승 시작을 빠르게 하여(즉 점화지연시간을 단축시켜) 연소가 촉진되기 때문이다.

또한, 희박혼합기에 있어서는 점화로부터 열 발생시작까지의 열발생지연시간이 길고 변동도 크지만, 복식 스파크와 같이 방전시간을 길게 하면 열발생지연시간을 단축시킬 수 있고, 변동의 감소를 기할 수 있으므로 안전연소영역의 확장을 얻을 수 있다⁽⁶⁾.

3.2 고압축비화

(1) 고압축비화의 효과

이론열효율은 압축비와 비열비의 함수로 되며 압축비의 상승에 따라 이론열효율은 향상된다. 그러나 실제기관의 연료소비율과 압축비와의 관계는 압축비를 높게 할수록 연료소비율은 향상되지만, 행정체적이 적을수록 향상율은 적게 된다. 그 원인으로서는 연소실이 편평하게 되어 S/V비가 증가하므로 냉각손실이 증가하기 때문이다.

고압축비화의 또 하나의 연료소비율 향상 요인으로서는 연소개선 효과가 있다. 압축비와

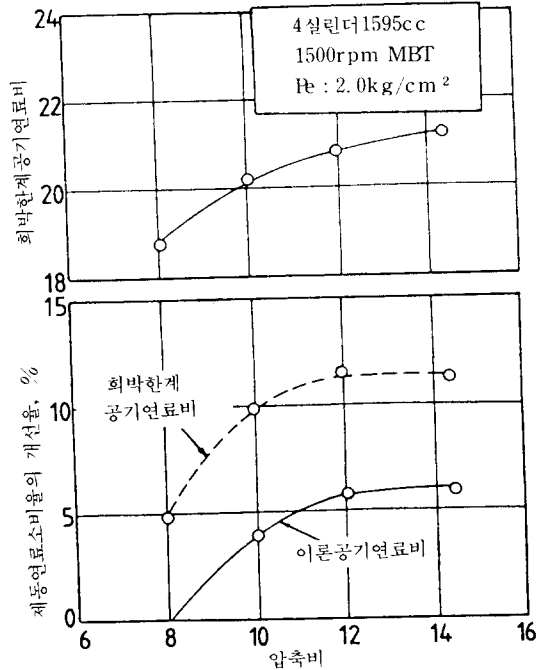


그림 6 압축비에 대한 희박연소 한계의 확장 및 연료소비율의 개선

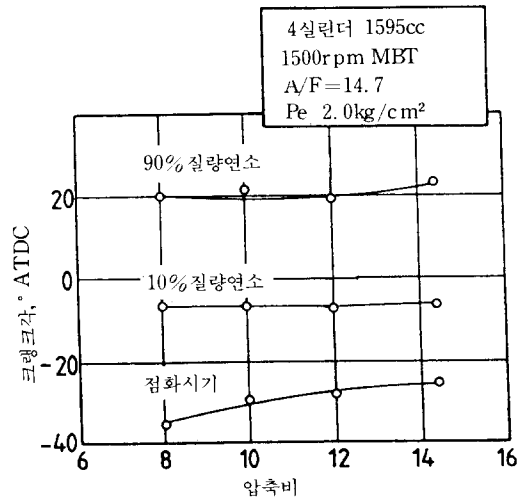


그림 7 압축비에 대한 최적점화 시기의 변화 및 주연소기간

희박한계 공기연료비의 실험 결과를 나타낸 것이 그림 6이다⁽⁷⁾. 고압축비화 할수록 희박한계 공기연료비는 희박쪽으로 확대된다.

고압축비화함에 따라 희박한계 공기연료비가 확장되는 이유는 그림 7⁽⁷⁾과 같이 고압축비화함에 의하여 초기 연소기간이 단축되기 때문이다.

초기 연소기간이 단축되는 것은 점화시의 혼합기 온도가 고압축비화에 의하여 높게 되어, 착화성이나 초기화염핵의 성장을 돕기 때문으로 해석된다.

(2) 고압축비화 기술

엔진을 고압축비화 함에 따라 필연적으로 제기되는 문제는 노크 발생의 문제이다. 그러므로 노크억제에 유효한 연소패턴이 확립되어야 고압축비화가 가능할 것이다. 노크에 영향을 주는 요인으로서 연소실형상, 점화플러그의 위치, 흡기 스웰강도 등이 있다. 이들은 연소실내 혼합기의 연소패턴 특성을 변화시켜, 이 연소패턴에 의하여 노크특성이 다르게 되는 것으로 생각한다. 연소패턴과 노크발생과의 관계는 노크예측 계산모델에 의하여 구하고 있다.

이 예측계산 모델은 압축 및 연소과정에 있어서 단일압축으로 미연혼합기의 온도, 압력이 상승하고, 미연혼합기의 탄화수소의 저온 산화반응이 진행하여 어느 반응 생성물의 농도가 한계농도에 도달하면 미연혼합기는 자발적 점화를 하는 것으로 하고 있다. 계산은 먼저 열 발생 패턴을 주고, 수학적 연소모델로 미연혼합기의 온도, 압력을 계산하여 이 온도, 압력에 의하여 미연혼합기내의 반응생성물의 농도를 계산한다. 노크의 발생은 이 농도가 한계농도에 도달할 때까지 혼합기가 완전히 연소하는지의 여부로 판정하고 있다.

이상은 노크발생 원인을 세밀하게 규명하고자 하는 방법의 하나가 되겠는데, 이것이 구체화 되어야만 노크억제 대책도 확립될 것이다.

노크억제 수단으로는 연소실 주위의 냉각을 강하게 하면 노크 억제효과가 있다. 냉각수 온도의 저하는 노크를 억제하지만, 마찰이 증가하여 출력 및 연료소비율에 영향을 주게 된다. 연소실과 실린더 블록을 분리하여 생각할 때, 노크에 대해서는 실린더 헤드의 냉각효과가 크

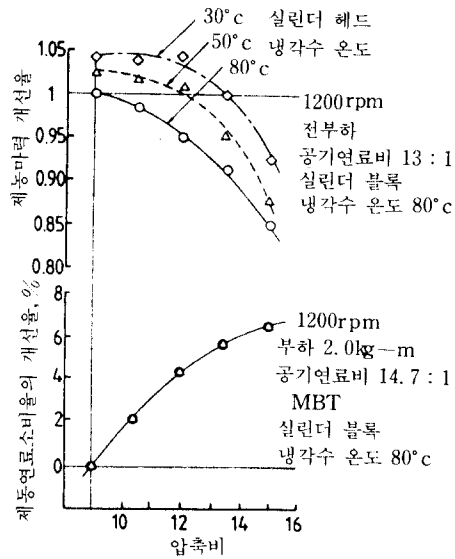


그림 8 2계통 냉각에 있어서 압축비 및 실린더헤드 냉각수온도에 대한 연료소비율의 개선 효과

고, 마찰에 대해서는 실린더 블록이 주요인이 된다. 그래서 실린더 헤드와 실린더 블록을 분리하여 냉각하는 2계통냉각을 생각할 수 있으며 이것에 대한 실험결과가 보고되고 있다.

그림 8⁽⁸⁾은 2계통냉각에 있어서 실린더 블록의 냉각수 온도를 80°C로 하고, 실린더 헤드의

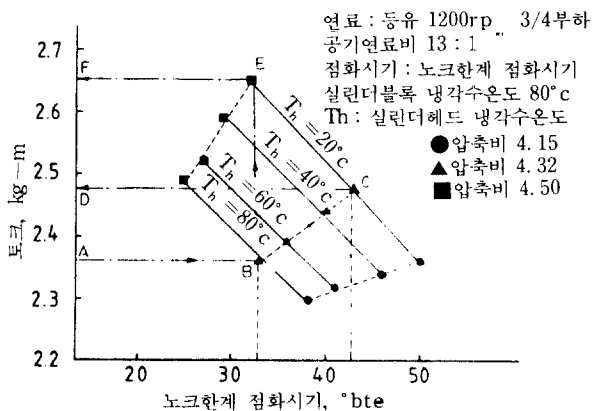


그림 9 2계통 냉각에 있어서 기관 토크에 대한 노크한계, 점화진각, 실린더헤드 냉각수 온도 및 압축비와의 상호 관계

냉각수 온도를 30°C, 50°C로 변화시켜 압축비에 대하여 부분부하 조건에서의 연료소비율의 향상율과 전개출력의 향상율을 나타내고 있다. 실린더 헤드의 냉각수 온도를 50°C로 하면 압축비를 12까지 높여도 압축비 9와 동일 출력에서 연료소비율의 4.5% 향상됨을 알 수 있다.

그림 9⁽⁹⁾는 실린더 헤드 냉각수 온도를 매개 변수로 하여 저압축비 기관에 등유를 사용한 경우이지만 2계통냉각에 의한 실린더 헤드 냉각수 온도, 노크한계 점화진각 및 기관토크와의 관계를 정성적으로 파악할 수 있는 결과이다.

실린더 헤드 냉각수 온도를 저하시킬수록 토크 향상효과(B-C)가 있으며, 이 경우 노크한계 점화진각은 전진된다. 또한, 압축비 증가와 더불어 실린더 헤드 냉각수 온도를 낮추면 토크향상효과(B-E)는 매우 크며, 일반적으로는 노크한계 점화진각은 지각(retard)되고 있다.

이상과 같이 2계통냉각은 고압축비화할 수 있는 수단이 되지만, 현실적으로는 실린더 헤드의 냉각수 온도를 50°C 또는 40°C로 유지하기 위해서는 대형 방열기가 필요하게 되며, 소형이고 실용적인 새로운 방법의 방열기 개발이 이루어져야만 실현이 가능하다.

(3) 금후의 과제

장기적 과제로서는 노크현상의 해명에 따른 새로운 노크억제 기술의 확립을 들 수 있다. 노크현상의 고속촬영이나 미연혼합기의 온도측정이 레이저 응용에 의하여 측정이 가능하게 될 것이고, 상세한 관찰이 행하여지게 되었다. 또한 수학적 모델에 의한 노크 예측계산도 진행되고 있다. 그러나 현단계로서는 종래의 지식의 확인이며 새로운 지식은 아직 미약하다. 따라서 이 분야의 연구가 깊이있게 진행되어야 할 것이다.

2계통냉각에 있어서 현재의 냉각법으로는 방열기가 크게 되어, 탑재성의 문제로부터 거의 불가능하다. 이것을 타파하기 위한 새로운 냉각법이 개발되면 2계통냉각이 가능하게 될 것이다.

다기통기관에 있어서는 각 실린더의 노크특성이 다르며, 점화시기는 가장 나쁜 실린더에 온 실린더의 점화시기를 맞추지 않으면 안되므로 고압축비화의 효과를 감소시키고 있다. 한 해결방법으로는 각 실린더의 노크를 검출하여 각 실린더마다의 점화시기를 제어하는 방법이 된다.

이 실린더마다의 차이외에 사이클 마다의 노크특성의 변동이 있으며, 이것을 균일화시킬 수 있으면 고압축비화를 한결음 더 발전시킬 수 있을 것이다. 변동의 원인은 공기연료비, 잔류가스량, 연소실내의 가스유동, 점화에너지, 점화시기 등의 변동이 생각된다. 이들 변동의 균일화를 기본적으로 진행함과 동시에 운전조건에 의한 균일화의 조건도 다룰 것으로 생각되므로 연소상태를 직접 검출하여 상기 요인을 정밀제어해야 할 필요가 있는 것으로 생각한다.

4. 맺 음 말

연료소비율의 향상은 점차 감소되어가는 경향에 있다. 그 원인은 3원축매변환기 채용에 의한 이론공기연료비의 사용, 기관의 연소개선이 발전하여 고압축비화에 의한 연료소비율 향상이 더 이상 어렵게 되었다는 점을 들 수 있다.

한편, 고압축비화의 역효과로는 연소실내 최고압력이 증가하여 각부의 강도나 기관 소음의 문제가 대두된다. 이들 역효과를 타파하여 충분한 연료소비 향상을 얻을 수 있는 수단이 단기적인 과제가 될 것이다.

전자제어, 희박연소, 마찰저감 등 통상의 엔진의 개량에 대한 노력이 계속될 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 이성열, 1988, "알콜연료의 엔진 이용기술", '88 국내외 한국과학기술자 학술회의

- 준계 워크숍.
- (2) Sato, 1983, "Development and Technical Trend of High-Performance Engine", J. JSAE, Vol. 37, No. 9.
- (3) 권영직, 1987, "터보과급가솔린기관의 압축비 변화에 대한 기관성능에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문.
- (4) 이성열, 김성필, 장종관, 1987, "기화혼합장치를 사용한 스파크점화기관의 기관성능 및 배기성능에 관한 연구", 한국자동차공학회지, 제 9 권, 제 6 호.
- (5) 한병호, 1987, "다회수 스파크점화기관의 기관성능 및 방전효과에 관한 연구", 성균관대학교 박사학위논문.
- (6) Hamai et al., 1985, "Spark Duration and Stability of Engine Combustion", J. JSAE, Vol. 39, No. 4.
- (7) Nakajima, 1985, "Trends in Increasing Compression Ratio and Future Tasks", J. JSAE, Vol. 39, No. 9.
- (8) Kobayashi et al., 1984, "A Study on Dual Circuit Cooling for High Compression Ratio", SAE paper 841284.
- (9) 정연중, 1987, "2계통냉각에 의한 스파크점화기관의 열효율 향상에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문.



■ 국제 학술대회 참가 안내 ■

韓·美 流體工學 세미나 (Korea-USA Joint Fluids Engineering Seminar)

韓國科學財團(KOSEF)과 美國科學財團(NSF)의 共同主催로 最近 急速히 發達하고 있는 流體工學의 學問 및 技術情報를 交換하며, 相互討論의 기회를 마련하기 위하여, 流體工學 세미나를 계획하고 있습니다. 美國側에서는 約 15~20명의 전문가가 참여하여 論文을 發表할 예정입니다.

일 시 : 1989년 9월 3일~8일(예정)

장 소 : 한국과학기술대학(예정)

韓國側 論文選定 및 會議參加의 자세한 내용은 추후 案內해 드리겠으며, 기타 자세한 내용은 韓國科學技術院 機械工學科 玄在民 教授(967-8801 交換 3625)께 문의 바랍니다.