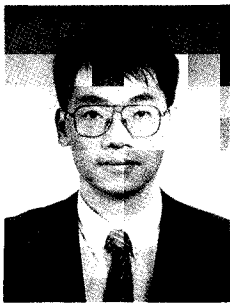


하이브리드 자동차 엔진용 소형가스 터빈의 개발 현황



조 수 용

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '77-'81 부산대학교 기계공학과(학사)
- '81-'83 서울대학교 기계공학과(석사)
- '88-'93 Gase Western Reserve Univ.(박사)
- '83-'87 대우중공업 중기본부
- '94-현재 한국기계연구원 선임연구원



오 군 섭

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '75 한양대학교 기계공학과(학사)
- '83 해양대학교 기계공학과(석사)
- '74-'76 금호석유화학
- '76-'80 한국선박연구원 연구원
- '81-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 머릿말

세계적인 환경문제는 그린 라운드(GR)가 말해 주듯이 환경문제의 심각성에 따라 대기공해의 감소를 위하여 현재 운행중인 자동차의 배기가스를 최소한으로 줄이기 위하여 세계각국은 한층 강화된 배기가스 규제법안을 운용하고 있으며 매년 이에 대한 규제는 강화되고 있는 실정이며 한국도 예외는 아니다. 더구나 캘리포니아주는 대기정화법(Clean Air Act)를 제정하여 1998년부터 35,000대 이상을 판매하는 자동차 메이커에 대하여 2%의 무공해자동차를 의무적으로 판매하도록 규제하여 놓았으며 2001년과 2003년에는 5%와 10%씩 판매량을 증가하도록 규정하여 놓았다. 이러한 법안은 미국의 워싱턴 D.C를 포함한 14개주도 시행할 움직임을 보이고 있다. 이에따라 세계각국의 자동차 메이커들은 환경규제의 벽을 넘기 위하여 무공해 자동차의 개발에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 왔으며 이에따라 각 메이커들은 태양열자동차나 전기자동차의 새로운 모델들을 계속 개발하고 있다. 하지만 태양열자동차는 아직 상용화하기에는 기술적인면에서 상당한 연구를 필요로하고, 전기자동차의 경우는 최근에는 초기의 성능에 비하여 상당히 향상된 모델들이 발표되어지고 있으나 아직까지도 전기자동차의 실용화에는 거리가 있다[1]. 그중 가장 큰 어려움이 주행거리의 문제점으로써 현재 사용중인 왕복기관 자동차에 비하여 상당한 차이가 있다. 주행

거리의 증가를 위하여 구동모터의 용량을 적게하면 주행성능의 저하 요인이 되고, 반대로 배터리를 많이 적제할 경우에는, 일반적으로 전기자동차의 배터리 중량이 차량중량의 30% 이상이 되므로 오히려 차량 중량을 더욱더 증가하게되어 전체성능 저하의 요인이되므로 효과가 없게된다. 뿐만 아니라 난방이나 에어컨의 작동을 위한 추가동력이 필요한 경우에는 더욱더 주행거리는 짧아지게된다. 주행거리외에도 전기자동차의 실용화를 저해하는 요인으로서는 장시간 충전하여야 하는 문제점과 에너지 저장장치로써 배터리의 많은 사용에 따른 차량가격의 상승과 중량의 증가에 의한 전체성능의 저하 등이 있으며, 환경적인 관점에서 보면 전기자동차의 에너지원인 전기의 생산을 위한 발전소에서 유발하는 원초적인 공해문제를 배제하지 않을 수 없으며 또한 폐배터리의 공해문제도 염두에 두어야한다. 이러한 무공해 자동차의 문제점에 따라 자동차메이커는 기술적으로 실용화가 가능하고 필요에 따라서 무공해 자동차나 저공해 자동차로 사용가능한 하이브리드 자동차의 개발에 눈을 돌리게 되었다.

2. 하이브리드 자동차의 작동원리

하이브리드 자동차는 무공해 자동차인 전기자동차의 단점을 해소하고 왕복기관 자동차의 탁월한 주행특성의 장점을 혼합한것으로써 시스템의 구성에 따라 직렬방식과 병렬방식으로 분류하며 사용되는 동력원으로써 소형왕복기관이나 소형가스터빈이 사용되어진다. 하이브리드 자동차용 동력원으로 사용되어지는 소형가스터빈을 터보제너레이터라고 하는데 이는 소형가스터빈과 고속 제너레이터가 하나의 동력시스템을 구성하는것이다. 초기에 왕복기관을 중심으로 시작한 하이브리드 자동차[2]에서는 시스템 구성을 그림1과 같은 직렬방식과 그림2와 같은 병렬방식으로 분류한다. 직렬방식에서는 시스템에 발전기가 있어서 왕복기관에 의하여 발전기를 작동하여 배터리를 충전

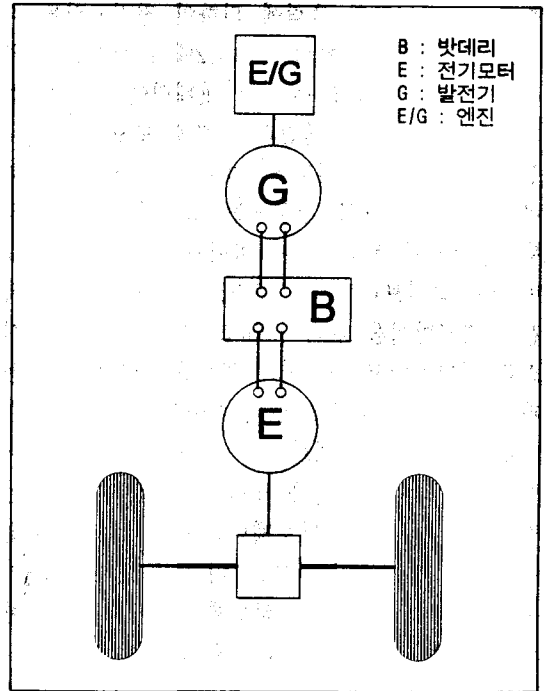


그림 1. 하이브리드 자동차의 직렬연결 방식

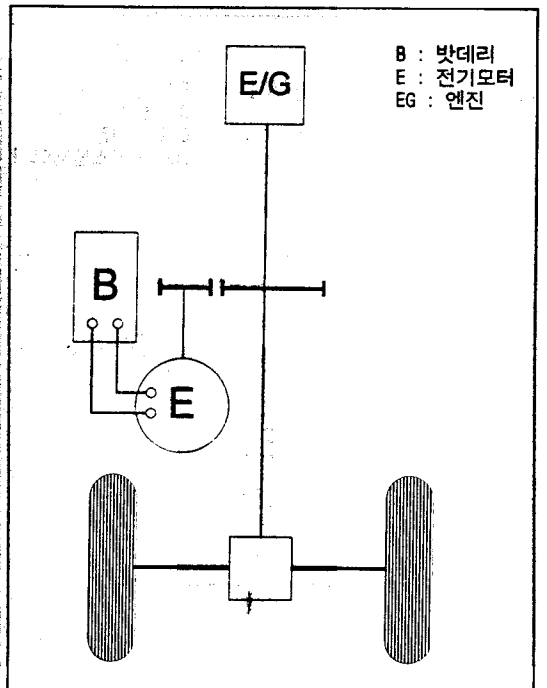


그림 2. 왕복기관을 이용한 하이브리드 자동차의 병렬연결 방식

하고 이 밧데리의 출력에 의하여 전기모터를 작동하는것이며 병렬방식은 그림2에서 보이는 바와 같이 발전기가 없고 충전된 밧데리에 의하여 전기모터를 운행하여 엔진의 동력을 보완하도록 구성되었다. 하지만 터보제너레이터를 사용하는 하이브리드 자동차의 경우에는 왕복기관과는 달리 부분부하시에 운전상태에 차이가 많이 남으로 말미암아 하이브리드 자동차의 시스템을 그림2와 같은 병렬방식을 취하지 않고 그림3에서 처럼 시스템 제어기에서 발전기의 출력을 밧데리의 충전과 전기모터의 운행을 함께 제어하도록 구성된다. 터보제너레이터에 의한 하이브리드 자동차의 직렬방식은 그림1과 같은 구성을 유지한다. 이러한 직렬방식의 장점은 터보제너레이터가 최적효율점에서만 운행이 가능하므로 터보제너레이터의 이용효율이 높으며 또한 터보제너레이터가 일정한 회전속도에서 작동하므로 배기가스의 청정도가 높고, 시스템의 구성이 간단하다. 반면에 에너지의 변환을 두번하므로 시스템의 전체효율이 떨어질

수가 있으므로 고속 동기제어 발전기와 자속 밀도가 높은 모터를 사용하여 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 병렬방식은 에너지 변환이 적으므로 시스템의 전체효율이 높고 연료소비가 적은 장점이 있다. 하지만 부하에 따라서 터보제너레이터의 회전속도가 조금씩 변하게되므로 최적효율점 밖에서의 작동을 하게 된다. 이럴경우 배기가스의 청정도가 낮고 시스템의 구성이 복잡한 단점이 있다. 결국 시스템 설계자에 따라 시스템의 전체효율과 배기가스의 청정도 중 어느것을 선택하느냐에 따라서 시스템의 구성이 달라질것이다. 터보제너레이터를 이용한 하이브리드 자동차의 출발은 전기자동차의 무공해 장점을 최대한 반영한 것으로 전기자동차의 밧데리나 플라이휠을 충전하기 위하여 소형가스터빈을 부착한것이다. 도심지나 저공해지역 통과시에는 무공해 자동차가 되도록 터보제너레이터의 운전은 중단하고 밧데리나 플라이휠의 동력만으로 운행을 하고, 부하를 많이 필요로 하거나 고속도 주행시에는 터보제너레이터를 작동하여 밧데리를 충전하거나, 병렬방식인 경우에는 전기모터에도 동력을 전달하여 저공해 자동차로써 운행 된다. 이때에 가스터빈이 최적 효율점이나 그 근처에서 작동되도록하여 배기가스의 청정도를 높이고 기존의 왕복기관 자동차의 주행특성의 장점도 동시에 갖추도록 설계된다.

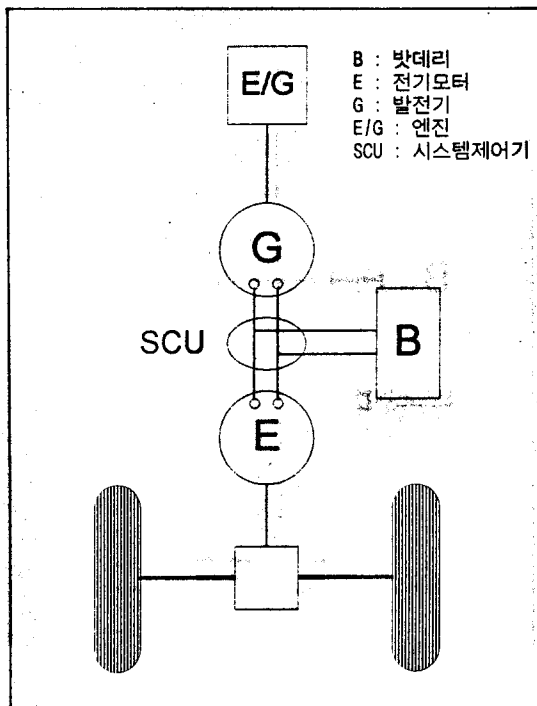


그림 3. 가스터빈을 이용한 하이브리드 자동차의 병렬연결 방식

3. 하이브리드 자동차 개발 및 기술현황

3.1 왕복기관을 이용한 하이브리드 자동차

내연기관 자동차에 의한 환경문제의 심각성을 먼저 파악한 유럽에서 전기자동차의 개발을 미국에 비하여 한단계 앞서 수행하였으므로 이의 축적된 기술로 인하여 하이브리드 자동차의 개발도 미국보다는 빠르다. 최초의 하이브리드 자동차의 개발은 87년에 폭스 바겐이 골프 디젤차에 전기모터를 첨가하여 시험주행을 하였으나 이는 전기자동차의 해결책으로 개발한 자동차는 아니고 왕

복기관에 의한 자동차의 성능향상을 목표로 하였기에 정속주행시나 정지시에는 전기모터에 의하여 작동되어지고 가속시나 고속주행시에는 왕복기관에 의하여 운행되었기에 차량의 전체적인 운전 성능은 왕복기관의 자동차와 비슷하나 연비는 상당히 향상된 결과를 얻었다. 그후 폭스 바겐은 91년에 엔진의 출력에 의하여 고성능의 밧데리를 충전하고 이 밧데리에 의하여 전기모터를 구동하는 하이브리드 자동차인 치코를 개발하였으며, 97년에는 보다 향상된 컨셉트 I의 하이브리드 자동차를 생산할 계획이다. BMW는 93년에 선보였던 E1 전기자동차를 개조한 하이브리드 자동차의 생산을 계획하고 있으며 이밖에도 오펠은 모듈을 이용한 컨셉트카인 트윈을 93년에 선보였는데 트윈은 다른 하이브리드 자동차와는 달리 장거리 주행시에는 엔진모듈을 사용하고 시내주행일 경우에는 전기모터 모듈을 사용할 수 있도록 설계되었으며 각각의 모듈은 3기통 34마력 엔진, 6단의 트랜스미션, 출력이 10KW인 전기모터와 고성능의 밧데리로 구성되었다. 국내에서도 그동안 축적된 전기자동차의 기술을 이용하여 95년 서울 모터쇼에 각 자동차메이커가 개발한 하이브리드 자동차를 선보였으며 국내에서 개발한 하이브리드 자동차는의 동력원으로는 소형왕복기관을 사용하였으며 발표된 각사의 하이브리드 자동차의 사양은 표1과 같다.

3.2 터보제너레이터를 이용한 하이브리드 자동차

하이브리드 자동차의 동력원으로써 터보제너레이터를 사용하는 경우는 터보기계기술이 발달된 외국 선진 메이커에서 이미 채택하여 개발하고 있으며 이러한 소형가스터빈의 기술은 방위용 탱크 및 우주 항공용으로 이미 활용되었으므로 신뢰성이 높을 뿐만아니라, 적은 부품수에 의한 유지보수가 쉬우며, 배기가스의 청정도가 왕복기관에 비하여 높고 또한 왕복기관을 이용한 하이브리드 자동차의 개발시 공간확보의 어려움을 해소할 수 있는 등의 장점으로 왕복기관 대신 터보제너레이터를 동력원으로 하는 하이브리드 자동차의 개발에 박차를 가하고 있다. 표2는 터보제너레이터를 하이브리드 자동차의 동력원으로 사용할 경우와 왕복기관을 사용할 경우의 장단점을 비교하여 놓았다.

미국의 경우는 항공우주 산업을 통하여 얻어진 가스터빈에 관한 풍부한 기술과 하이브리드 자동차용 동력원으로 터보제너레이터를 사용하는 경우의 장점으로 인하여 점차적으로 개발하는 하이브리드 자동차의 동력원은 왕복기관에서 터보제너레이터로 변경하고 있는 추세이다. 94년에 선보였던 크라이슬러의 하이브리드 자동차인 페트리 오토는[3,4] 액화천연 가스를 연료로 사용하는 소

표 1. 국내메이커가 개발한 하이브리드 자동차 사양

메이커	현 대	대 우	기 아
모 델	FGV-I		KEV-4
기술원엔진	800cc	617cc	800cc
발전량			7kW
축전지	니켈메탈수소전지	밀폐형 납축전지	밀폐형 납축전지
최고시속	152km	118km	180km
1회충전후 주행거리	197km	99km/500km	188km
특 징	뒷유리면의 태양전지: 공기정화기	희생제동시스템	지붕에 솔라셀: 에어컨, 히터가동

표2 하이브리드 자동차의 동력원으로 터보제너레이터와 왕복기관의 채택시의 장단점

	터보-제너레이터	왕복기관
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 유지보수가 간단 <ul style="list-style-type: none"> · 사용하는 부품수가 적다 · 에어포일 베어링의 사용으로 윤활유의 공급이 필요없다. • 높은 비출력 <ul style="list-style-type: none"> · 전체 중량이 적다 · 전체 부피가 작다 • 다양한 연료의 사용 • 초저공해 및 무공해 운행 • 저소음화 <ul style="list-style-type: none"> · 소음 발생원의 주파수가 단순함으로 역주파수 장치에 의해 저소음화 • 회전 운동만에 의한 저진동 • 기술적 개선요인이 풍부 <ul style="list-style-type: none"> · 열교환기 등의 장치에 의하여 효율 증가 · 터빈 재질의 개선에 따라 고온화에 의한 효율의 증가 • 고속회전에 의하여 발전기의 고효율 	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰성이 높다 (국내입장에서만) <ul style="list-style-type: none"> · 국내에서는 왕복기관의 설계 및 제작 경험이 풍부한 반면 터보기계기술이 미약함으로 왕복기관에 대한 신뢰성이 높다
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰성의 문제가 있을 수도 있음 <ul style="list-style-type: none"> · 고속회전으로 인한 실링문제 · 고속 발전기 기술이 미약. · 터보기계의 설계 및 제작경험이 적다 	<ul style="list-style-type: none"> • 단위 중량당 출력이 적다 <ul style="list-style-type: none"> · 전체의 중량 및 부피가 증가하므로 장착을 위한 공간 확보의 어려움 • 유지보수가 어렵다. • 저회전수에 의한 발전기의 저효율 • 소음 및 왕복운동에 의한 진동문제 • 기술적인 한계
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 내열재료에 의한 가격 상승요인 • 기술적 파급효과가 크다 <ul style="list-style-type: none"> · 방위용 탱크 및 선박, 항공, 우주용 보조 동력 장치로 활용가능 · 고급전류의 비상발전기 	<ul style="list-style-type: none"> • 많은 부품수에 의한 가격 상승요인 <ul style="list-style-type: none"> · 적은 댓수의 생산에서는 가격이 상승 • 많은 부품수로 산업적 파급효과

형가스터빈을 동력원으로 사용하며 동력 저장장치로는 AFS사에서 개발한 플라이휠을 사용하는 특징과 연료의 저감을 위하여 감속시에 역으로 전기모터를 발전기로 사용하여 에너지를 재생하는 특징을 가지고 있다. 페이트리오트는 플라이휠의 분당 6만회의 회전력과 가스터빈의 동력을 이용하여 최고출력이 500마력이며 최고속도가 320 KM인 경주용 자동차이며 연료소비율이 일반 경

주용 자동차에 비하여 30%의 절감이 가능하였고 배기가스의 청정도를 상당히 높였다. 크라이슬러의 경주용 자동차에 대응하여 일반 승용차급의 하이브리드 자동차의 개발을 포드와 프랑스의 르로가 소형가스터빈 전문업체인 미국의 얼라이드-시그널사와 함께 50KW급의 하이브리드 승용차의 개발이 이루어지고 있으며[5] 유럽의 경우는 볼보에서 ECC(Environmental Concept Car)의 개발을

90년대 초부터 개발을 시작하였으며 현재 개발이 되어 일반승용차급에서 시험운행중이며 출력은 38 KW급[6]으로써 도심지의 주행시는 무공해운전을 하고 고속주행시는 초저공해 운행을 할 수가 있다. 일본의 경우[7]는 현재 소형가스터빈을 자동차의 엔진으로 사용할 수 있도록 90년대 초 부터 개발을 수행하고 있으며 이들은 열효율의 향상을 위하여 터빈의 재질을 세라믹으로 하는 연구를 수행하고 있다. 개발중인 가스터빈의 출력은 100 KW급으로써 가스터빈의 축은 연속변속기에 연결하여 사용할 계획으로써 이는 하이브리드 자동차용 엔진으로 개발되어지고 있는것은 아니다. 이밖에도 하이브리드 자동차용 엔진으로 사용될 터보제너레이터의 개발을 미국에서 활발히 진행중인데 윌리엄스사[8]에서 승용차용으로 20-40KW과 소형트럭용으로 50-75KW급을 개발중이며 노맥에너지사[9,10,11]에서는 일반승용차용으로 24KW급을 개발하여 성능시험중이다. 표3은 현재 개발중인 하이브리드 자동차용 동력원으로 사용되고 있는 소형가스터빈의 사양을 비교하여 놓았다.

4. 터보제너레이터의 기술적인 특징 및 과제

표3에서 보여주는 바와같이 소형가스터빈이 하이브리드 자동차의 동력원으로 사용될 경우가 소

형왕복기관을 채택하는 경우보다 여러면에서 탁월한 성능을 발휘함을 알 수 있다. 특히 높은 비출력(Specific Power)과 저공해의 장점을 갖고 있는 소형가스터빈을 활용하여 전력이나 가압공기 등을 발생하는 보조동력장치(Auxillary Power Unit)는 항공기 및 방위용 장비에 이미 활용되어지고 있었으며 항공기용으로는 가렛(Garret)의 제품이 가장 많이 사용되어지고 있으며 방위용 탱크의 보조동력장치로는 얼라이드-시그널 및 윌리엄스에서 개발된 터보제너레이터가 사용되고 있다. 하지만 자동차용 동력시스템으로써 터보제너레이터가 활용되어지기 위하여서는 저공해, 저렴한 가격, 적은 부피와 중량, 고효율, 높은 신뢰성 등을 고려하여 설계 및 제작되어야한다. 이러한 점을 기준으로 현재 자동차용으로 개발되어지고 있는 터보제너레이터의 각 구성품들의 기술적인 특징 및 과제는 다음과 같다.

4.1 연소기

가스터빈은 연속점화 방식으로 스파크 점화방식의 엔진에 비하여 연소시간이 길며 또한 외부적으로 연소의 제어가 가능하므로 배기가스의 청정도의 면에서 상당히 유리하나, CO나 HC의 발생량을 줄이기 위하여 희박 예혼합 방식의 적용으로 공기/연료의 혼합비를 15:1로 조절함으로써

표3. 선진메이커에서 개발중인 하이브리드 자동차용 동력원으로 사용될 소형가스터빈의 사양 (일본의 경우는 대체엔진용임)

	미 국	유 럽	일 본
주관 기관	크라이슬러	볼보	자동차연구소
모 델	패트리엇	ECC	
가스터빈 발전량	375kW	38kW	100kW
연 료	LNG	Diesel, 가솔린	가솔린
압 축 기	2단, 원심형	1단, 원심형	1단, 원심형
회전속도(rpm)	50,000, 100,000	90,000	110,000
압 축 비	15:1	3.1-3.5:1	4-6:1
연 소 기		예증발예혼합	예증발예혼합, Can형
터 빈	2단, Radial	1단, Radial	1단, Radial
특 징	2단 Spool Turbine 회생제동시스템	Recuperator장착	1축+연속변속기

상당한 효과를 얻게 되며 또한 고온 연소에서 생성되는 NOx의 발생량을 줄이기 위하여 물이나 스팀을 분사하여 연소온도를 제어함으로써 NOx의 발생을 상당히 억제하게 된다. 하지만 기존의 연소기를 사용할 경우에 화염에서의 최고온도가 2000°C 이상이 되므로 NOx 발생을 완전히 제어할 수가 없게 되므로 초저공해의 실현을 위해서는 촉매에 의한 연소를 채택한다. 그림4는 하이브리드 자동차용 터보제너레이터의 촉매연소기의 내부구조도를 보여준다. 촉매의 앞부분은 열저장체로 되어있으므로 초기에만 전기에 의하여 촉매를 가열하면 연료와 공기는 촉매와 반응하여 열을 발생하므로 일반 연소방식과는 달리 화염이 형성되지 않는다. 그러므로 촉매연소기에서는 연소온도를 900°C 이하가 되도록 조절가능함으로써

일반 연소기에서처럼 발생된 NOx를 제거하는 것이 아니라 원천적으로 NOx의 발생을 억제 할 수가 있으며 연소 효율은 99% 이상을 유지 할 수 있다. 하지만 연소온도를 저하시키면 전체 효율의 저하의 원인되므로 연소온도에 따른 배기가스 성분과 검토에 의하여 적절한 영역을 선정하여야 되나 표4의 배기가스 실험결과와 캘리포니아 ULEV규정을 기준으로 하면 연소온도는 950°C -1250°C가 적당하다.

사용하는 연료는 저렴하면서도 공해면에 유리고 쉽게 사용가능한 가솔린이 가장 일반적이나 그외에도 천연가스, 부탄, 프로판, 에탄올, 가스홀, 디젤유, 석탄가스 등을 사용할경우 연소기의 특별한 변경이 없이도 사용가능한 장점이 있다. 메탄올을 사용할 경우에는 보다 큰 기화기가 필요하

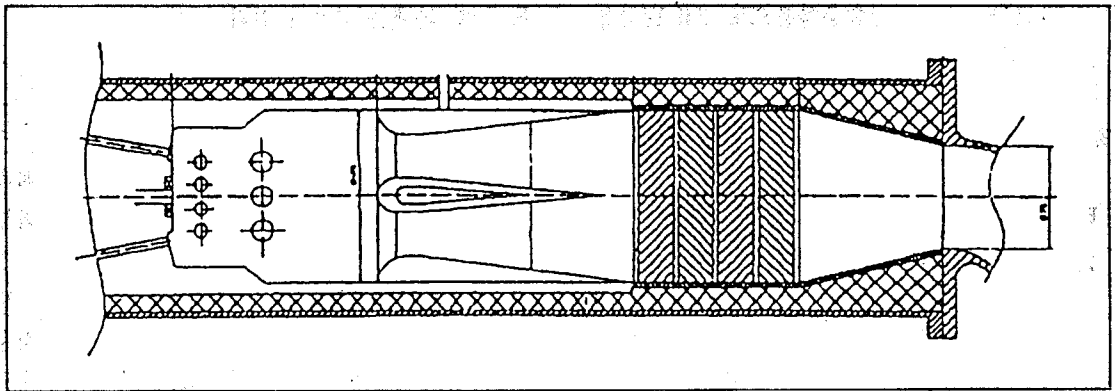


그림 4. 하이브리드 자동차용 터보제너레이터의 촉매 연소기

표 4. 터보제너레이터에서 발생하는 배기가스와 규제치

	NOx [g/mi]	CO [g/mi]	HC [g/mi]	비	고
50KW	0.016	0.010	0.018	천연가스	
24KW	0.0060	0.0039	0.033	천연가스, 130KWh/mi	1066°C
12KW	0.0057	0.0040	0.0033	" "	1066°C
9KW	0.0061	0.0044	0.0033	" "	1066°C
25KW	0.009	0.026	0.032	가솔린, 240KWh/mi	1150°C-1260°C
24KW	0.0034	-	-	프로판, 130KWh/mi	850°C
ULEV	0.2	1.7	0.04	캘리포니아 규제치	
Power Plant	0.0066	0.0094	0.0003	2010년 L.A에 설치될 발전플랜트	규제치

며, 천연가스의 경우에는 반응도가 낮음으로 연소 시간을 늘이기 위하여 긴 촉매를 사용하여야 하며, 디젤유나 항공기유는 기화가 쉽게되도록 하여야 하며 오염물질이 촉매에 나쁜영향을 주지 않도록 필터를 하여야 한다. 연소기는 하이브리드 자동차 개발의 원초적인 목적인 저공해를 달성하기 위한 가장 중요한 부분이나 자동차용으로서의 가격문제와 배기가스의 상태를 고려한다면 기존의 연소기도 Lean premix방식에 의하여 캘리포니아 ULEV의 규제치를 넘지 않음으로 촉매에 의한 연소를 굳이 채택할 필요는 없다. 현재 ULEV의 규제치가 강제성을 갖는것은 아니나 표4의 발전 플랜트의 규제치와의 비교하면 전기자동차의 전력을 공급하는 발전소의 원초적인 공해보다 촉매 연소기에 의한 하이브리드 자동차가 오히려 20% 정도의 보다 나은 효과가 있음을 알수 있으며 오히려 터보제너레이터를 이용한 하이브리드 자동차가 공해측면에서 더욱 더 유리하다는 것을 알수 있다.

4.2 에어포일 베어링

포일베어링은 70년대초에 미국에서 항공기의 내부를 냉각하기 위하여서나 극저온 공정에 사용되는 터보컴프레서나 터보익스팬더에서 별도의 윤활시스템을 이용하지 않고 작동유체나 기체를 이용하여 시스템을 지지하기 위하여 개발되었다. 일반적으로 작동유체만의 동적특성에 의한 시스템 지지능력은 매우 작으므로, 포일베어링에서는 베어링의 하우징에 일정 두께의 포일을 사용, 작동유체의 동특성에 포일의 지지강성을 결합함으로써 베어링의 지지능력을 향상시켰다. 시스템의 속도가 높아질 수록 작동유체의 동압력이 상승함으로 별도의 압력공급 장치가 없어도 시스템에 따라 최고 약 15만 RPM까지 사용이 가능하다고 알려져있다. 그림5는 얼라이드-시그널에서 개발된 에어포일 베어링을 보여주고 있다. 각 포일은 사용용도에 따라 다소 차이가 있으나 약 0.15mm의 두께를 가지며 원호의 형상을 가지고 있다.

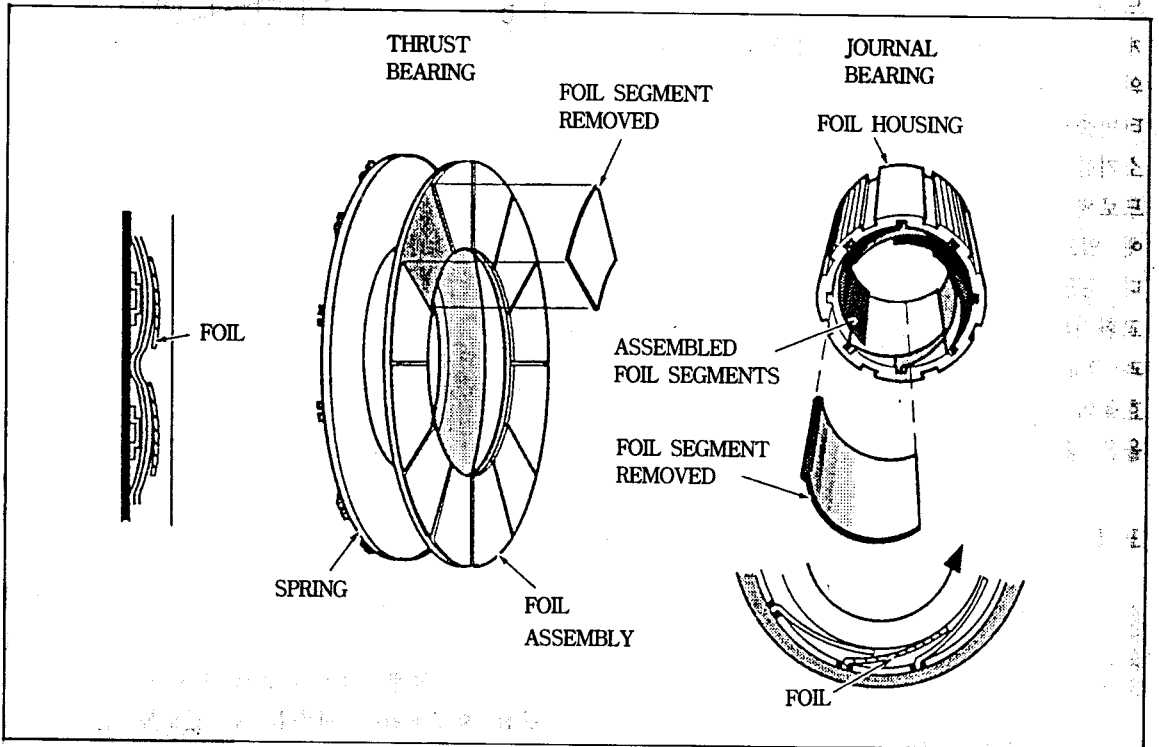


그림 5. 얼라이드-시그널에서 개발한 에어포일 베어링

4.3 열교환기

그림6은[12] 단순사이클에서의 터빈입구온도와 압축비에 따라 열효율을 나타내고 있으며 압축비의 상승은 열효율의 증가를 나타내나 어느지점 이상에서는 오히려 감소하는 현상을 보여주고있다. 이는 압축비의 상승에 따라 공기의 온도가 충분히 상승하였으므로 입구온도를 일정하게 유지하기 위하여 연료의 감소에 따라 압축기에 높은 압축비의 공기를 배출하기 위하여 오히려 열효율이 감소하기 때문이다. 그러므로 터보제너레이터의 정해진 형상에서 가장 손쉽게 효율을 향상할 수 있는 요인으로는 터빈입구온도의 증가이다. 하지만 고온에서 터빈이 작동하기 위하여서는 터빈 블레이드의 재질을 고온내열 재료에서 특수재료나 세라믹으로 변경하여야 함으로 하이브리드 자동차의 엔진으로써 적용되는 터보제너레이터의 가격 상승을 초래하게된다. 뿐만아니라 온도의 상승과 더불어 NOx의 증가를 초래함으로 하이브리드 자동차의 장점인 배기가스의 청정도가 낮아지게 됨으로 하이브리드 자동차용으로는 터빈입구의 온도를 상승하여 열효율을 상승하는 대신에 터빈출구에서 배출되는 배기온도를 이용하여 연소기를 들어가는 압축공기의 온도 상승에 이용함으로써 열효율을 향상한다. 그림7은[12] 터빈 출구에 열교환기를 부착하였을 경우의 열효율선도이다. 표5는 입구온도가 816℃로 고정된 경우에 열교환기의 효율에 따라 터보제너레이터의 열효율과 열교환기의 크기를 나타내고 있다. 열교환기의 효율의 증가에 따라 당연히 터보제너레이터의 효율은 증가하나 열교환기의 크기가 급격히 증가함

표 5. 열교환기의 효율에 따른 터보제너레이터의 효율 및 증량의 변화[10].

열교환기 효율(%)	0	80	85	90	95
터보제너레이터 효율(%)	14	28	30	32	35
터보제너레이터 증량(Kg)	16	30	36	45	84

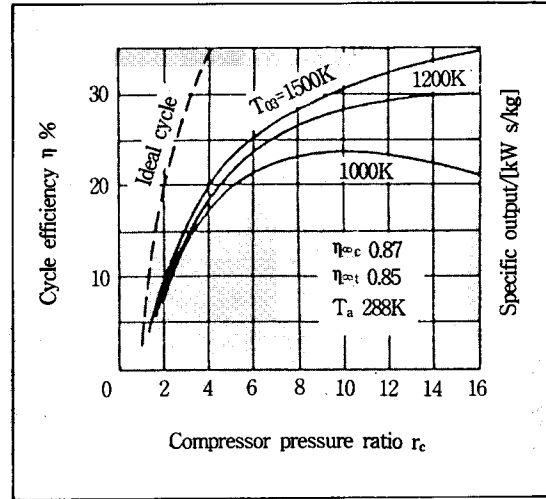


그림 6. 가스터빈의 단순사이클의 열효율

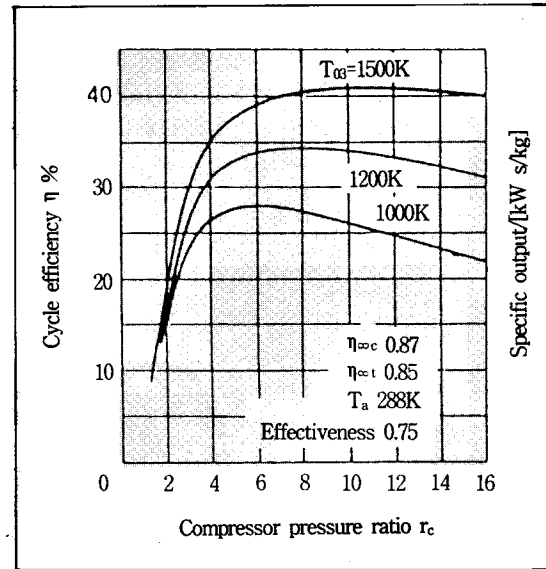


그림 7. 가스터빈의 재생사이클의 열효율

으로 말미암아 왕복기관에 비하여 터보제너레이터의 큰장점인 비출력이 떨어지게 됨으로 적절한 열교환기의 효율을 정하여야 한다.

하이브리드 자동차용으로 장착할 터보제너레이터는 자동차의 공간확보, 장착성, 유지보수 등을 고려하여 설계하여야 하는데 자동차의 설계시 이러한 요구조건을 만족할 수 있도록 열교환기를 적절히 배치가능함으로 설계의 유연성(Flexibility)

높은 장점이 있다. 그림8은 윌리엄스사의 125마력의 터보제너레이터로써 열교환기가 터빈을 둘러싸며 장착된 형태를 보여준다. 이럴 경우에는 길

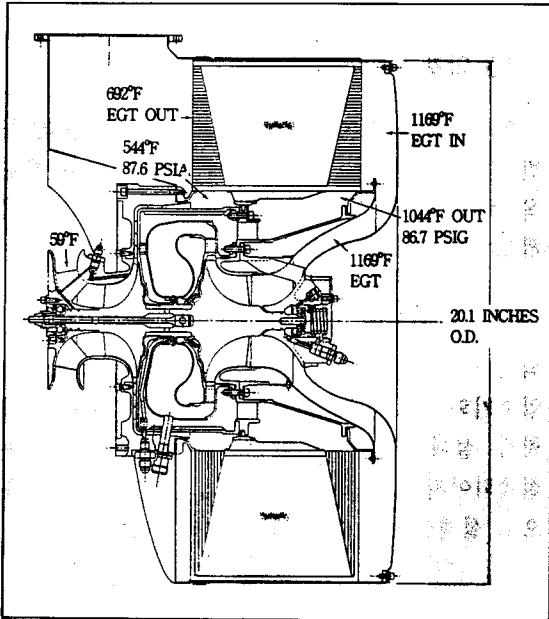


그림 8. 열교환기가 터빈의 주위에 장착된 터보제너레이터(윌리엄스사)

이 방향으로의 공간여유 확보가 가능하며 노맥에 너지사에서 개발한 터보제너레이터도 열교환기를 이러한 형태로 장착하였다. 반면 얼라이드-시그널에서 개발한 터보제너레이터는 열교환기를 터빈 뒷부분에 장착하여 터보제너레이터의 외부공간 확보를 가능하게 하였다.

4.4 고속제너레이터

수만 RPM에서 작동하는 고속제너레이터의 요구는 하이브리드 자동차용으로 소형가스터빈과 제너레이터를 하나의 동력시스템으로 활용하기 위하여서는 별도의 감속기가 없이 고속회전에서 발전하여야 발전기의 효율이 높고, 부피를 적게 차지하게 되며, 감속기에 의한 에너지 변환이 없으므로 시스템의 효율이 상승하므로 이에 대한 연구는 터보제너레이터 개발과 함께 활발히 이루어지고 있다. 이미 선진 업체에서는 15만 RPM에서의 실험 결과도 발표하고 있다. 그림9는 얼라이드-시그널의 터보제너레이터를 보여주며 발전기가 압축기와 터빈의 중간에 장착되어 있음을 알

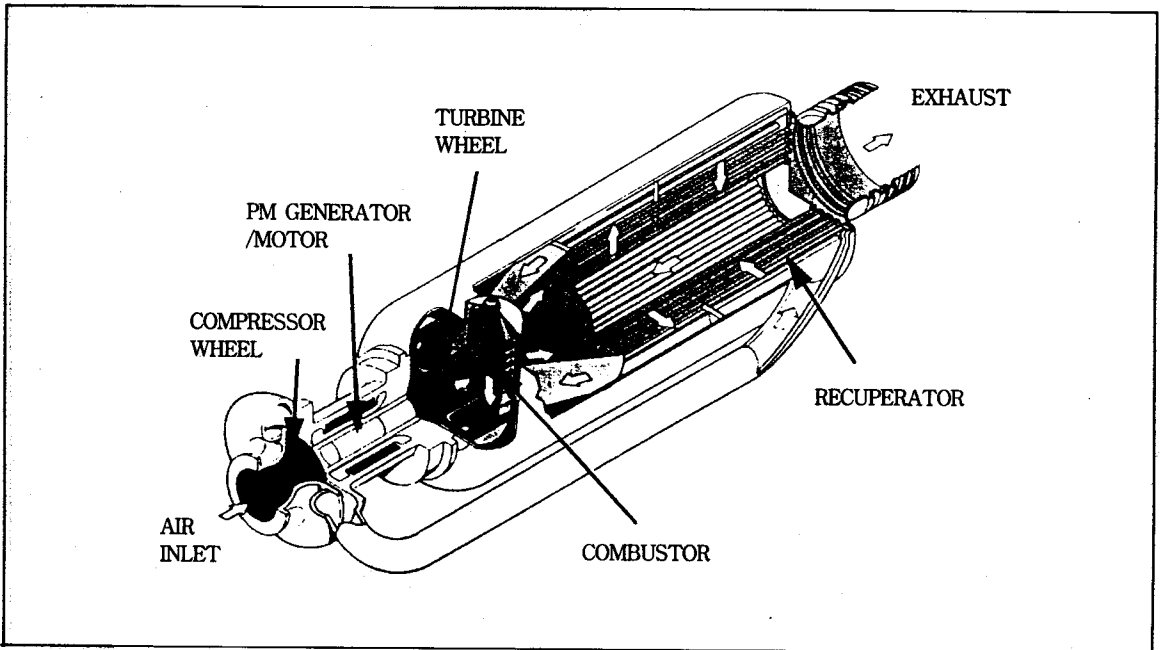


그림 9. 압축기와 터빈사이에 발전기가 장착된 터보제너레이터(얼라이드-시그널)

수 있으며 발전기의 단면을 그림10에서 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 영구자석재료로 가장 많이 사용되는 Nd-Fe-B대신에 고온에 잘전디는 Sm-Co를 사용하였으며 고속회전으로 인한 원심력을 견디기 위하여 슬리브에 의하여 취부하였음을 알 수 있다. 이 발전기는 엔진의 초기운전시에는 스타트 모터로 변환할 수 있도록 설계되어 있으며, 볼보의 ECC, 윌리암스, 노맥에너지사도 같은 기능의 발전기를 사용하고 있으나 발전기의 냉각을 고려하여 압축기 앞에 발전기를 설치함으로써 흡입되는 찬공기에 의하여 냉각되도록 설계하였으나 크라이슬러의 페트리오트는 얼라이드-시그널과 같이 압축기와 터빈사이에 고속발전기를 설치하였다. 고속발전기의 설계시 고려하여야 할 사항으로 기기가 소형이므로 충분히 열발산이 이루어지도록 설계하여야 하며 또한 고효율이어서 열의 발생이 적도록하며, 재질을 고온에 강한것을

선택하도록한다. 고속으로 회전하므로 원심력에 견딜 수 있도록 구조를 설계하여야 하며 구조를 간단하게하여 기계적응력에 견딜 수 있도록 하여야 한다.

4.5 압축기 및 터빈

압축기와 터빈은 소형에 적합한 원심형으로 일반 승용차급으로는 단단으로 간단한 구조를 갖도록 설계함으로써 적은 부피와 적은 중량을 유지하도록 설계되어진다. 크라이슬러의 페트리오트는 경주용 자동차로 사용하기 위하여 2단으로 압축기와 터빈을 구성하였으나 승용차급으로는 개발되어지는 터보제너레이터는 단단으로 충분하다. 압축기와 터빈은 최적효율에서 작동되도록 공력학적 설계과정과 구조적인 해석을 통하여 최종 설계되어지며 이러한 연구를 많이 수행하고 있으므로 설계상에 어려움은 없으리라 판단된다.

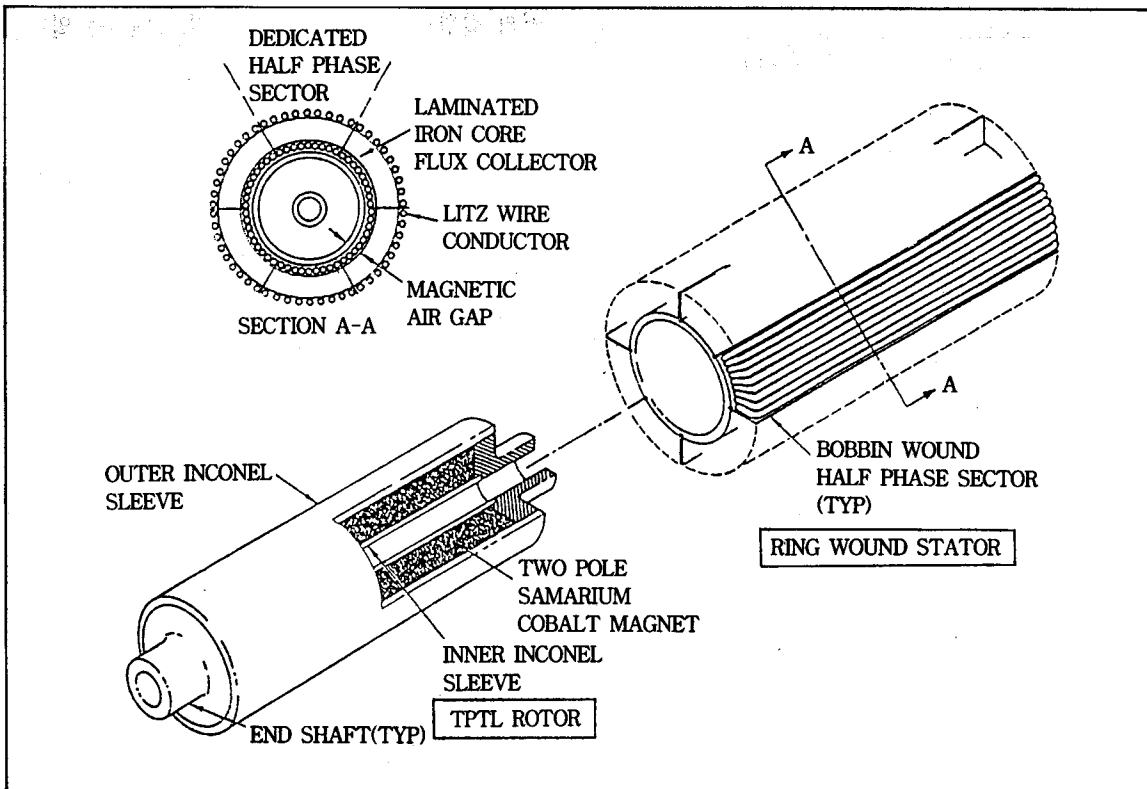


그림 10. 고속발전기의 구조도 및 단면

5. 맺음말

참 고 문 헌

가스터빈의 기술에 대한 연구가 선진국에서는 우주항공의 기술경쟁과 함께 활발히 진행되어왔을 뿐만 아니라 이들의 핵심 기술 또한 방위용 산업으로 활용되어지기에 국가적인 지원하에 연구가 수행되어질 뿐만 아니라 해외로의 기술 유출이 원천 봉쇄되었었다. 하지만 이들의 기술이 발전용 및 운송용 등의 일반 산업에 점차적으로 활용되어지게 됨에 따라 이에 대한 연구가 국내에서 활발히 진행되어지고 있다. 특히 국내의 실정으로는 엄청난 투자비가 들어가는 대형의 시스템 보다는 개발의 위험도가 적은 하이브리드 자동차용 동력원으로 활용될 터보제너레이터의 개발은 시기 적절한 프로그램이라 하겠다. 현재의 세계적인 환경규제 추세와 2000년대 세계5위의 자동차 생산국으로서 해외 선진국과의 기술경쟁에서 뒤지지 않기 위하여서는 이러한 연구를 수행하여야 한다. 뿐만 아니라 터보제너레이터의 개발은 기술적인 파급 효과가 상당히 크므로 첨단 기술의 자립화를 앞당기게 되어 차세대 방위용 탱크의 보조 동력장치로도 활용하게 되므로 방위 산업의 첨단화와 자립화에 파급효과가 있을 뿐만 아니라 선박 및 우주 항공산업에서도 파급효과가 크다. 그외에도 요소기술의 개발에 따라 에어포일 베어링의 개발과 고속 발전기를 개발함에 따라 이들이 기계 부품산업에 미치는 영향도 적지 않다. 현재 국내의 연구 수준이나 경험으로 미루어 볼때 이러한 연구의 완성은 그다지 어려운 일이 아니므로 이에 대한 연구를 적극 수행하여야 한다고 판단된다.

1. Cordi Ilja, What is today's Status of Electric cars?, Prognos, February, p1-p28, 1994
2. A. Kalberlah, Hybrid Drive Systems for Cars, Automotive Engineering, VOL 99, Number 7, p17-p19, 1991
3. Lindsay Brooke, Patriot Game, Automotive Industries, February, p114-p174, 1994
4. Chrysler racer will speed up hybrid R&D, Ward's Engine, VOL 20, Number 2, p1-p2, 1994
5. Turbo-Generator, Allied Signal Aerospace Engine, 1995
6. Michael Valenti, Hybrid Car Promises High Performance and Low Emissions, Mechanical Engineering, p46-p49, Vol7, 1994
7. Shoji Ishiwata, Toru Matsushita, Takene Ito, Current Status of Automotive Ceramic Gas Turbine R&D Project, 자동차연구, VOL 14, Number 6, p1-p10, 1994
8. Proprietary Information, William International, 1995
9. Robin Mackay, Gas Turbine Generator Sets for Hybrid Vehicles, SAE Papers, 920441, 1992
10. Robin Mackay, Hybrid Vehicle Gas Turbines, 930044, 1993
11. Robin Mackay, Development of a 24KW Gas Turbine-Driven Generator Set for Hybrid Vehicles, 94051, 1994
12. H. Cohen, G.F.C Rogers, H.I.H. Saravanamuttoo, Gas Turbine Theory, 3rd edition, Longman Scientific&Technical, 1987