

자동차용 가스터어빈 엔진의 현황 및 전망

Status and Perspective of Gas Turbine Engine for Automobiles

金 光 鎬*
Kwang-Ho Kim

1. 서 론

우리나라는 이제 그동안의 꾸준한 노력의 결과로 자동차 수출국으로 발돋움하고 있으며 이 분야에서의 선진국과의 경쟁이 점점 치열해질 전망이다. 이러한 세계 시장에서의 경쟁 대열에서 탈락되지 않기 위해서는 무엇보다도 제품 품질의 향상, 원가의 절감 등이 이루어져야 할 것이며 이에 대한 노력을 게을리 해서는 안 될 것이다.

한편 이와는 별도로 좀더 다른 각도에서 자동차 공업의 방향을 고찰할 필요가 있다. 즉 미래에도 계속해서 현재의 왕복동 내연기관이 자동차 구동용으로 사용될 것인가 하는 점이다. 엔진의 성능 향상, 연비의 감소, 엄격한 배기가스 규제에의 대처 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 기술개발에는 한계가 있으며 제품은 점점 복잡하게 되어 결국은 제품 가격 및 A/S 비용이 상승되는 역효과를 나타낼 가능성이 높다. 이에 세계적인 자동차 제조회사에서는 오래전부터 새로운 방식의 미래형 자동차 engine 개발에 착수 하였으며 지속적인 연구를 진행하고 있다. 이러한 미래형 자동차 engine 의 대표적인 것으로 gas turbine engine 이 있다.

가스터어빈이라 하면 우선 항공기용의 jet

engine 을 생각하게 된다. 그 외에 발전용으로 가스터어빈은 이용되고 있으며 근래 다시 등장한 자동차용의 turbocharger 역시 가스터어빈의 한 응용분야라고 할 수 있다. turbocharger 의 경우는 내연기관의 출력향상을 주 목적으로 내연기관에 부착되어 이용되고 있는 반면에 gas turbine engine 은 기존의 내연기관을 대체하여 자동차 구동용으로 이용되는 점에 그 차이가 있다.

아직은 실용화되지 않았지만 미래형 자동차 기관으로서의 이용가능성이 높은 gas turbine engine 을 다음에 간략히 소개하고자 한다.

2. 작동원리

Gas turbine cycle (Brayton cycle)은 다음과 같이 작동된다(그림 1 참조). 즉 주위로부터 공기가 흡입되어 압축기 (compressor) 를 통해서 압축된다. 이 압축된 공기는 연소실 (combustor) 을 지나면서 고온 고압의 가스가 되며 이 고온 고압의 가스는 터어빈을 지나면서 팽창하게 된다. 이로 인하여 터어빈으로부터 동력이 얻어지며 이 중에서 일부는 압축기의 구동용으로 사용되고 그 나머지는 자동차 구동용으로 사용된다(1축식의 경우).

2축식의 경우에는 압축기 구동에 필요한 동

* 정회원, KAIST 기계공학 연구부

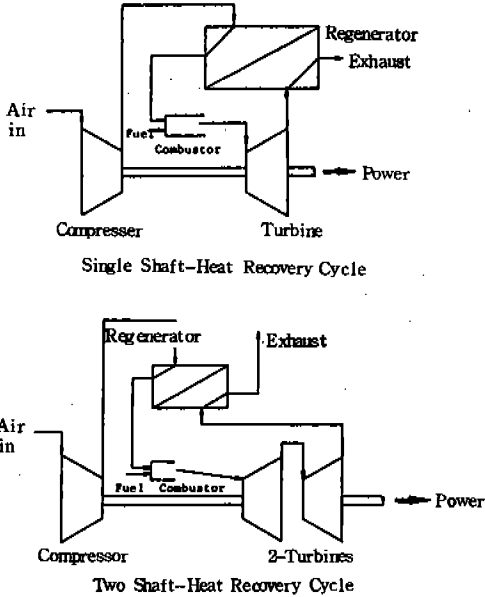


그림 1 Gas Turbine Cycle 의 작동원리

력만큼만 compressor turbine 에서 팽창되며 고온 고압의 가스가 가지고 있는 나머지 에너지는 power turbine 을 통해서 자동차 구동용으로 변환된다. 1축식 가스터빈은 2축식의 경우보다 기계적으로 간단하고 소형이나 다음에서 보는 바와 같이 torque 특성이 2축식에 비해서 떨어지기 때문에 자동차용 gas turbine engine 으로는 대부분 2축식이 사용되고 있다.

터빈에서 팽창된 배기 가스는 아직도 이용 가능한 열을 가지고 있으므로 이를 열교환기 (regenerator type) 를 통해서 회수하여 공기 예열용으로 이용한다. 이 결과 연소실에서 필요한 연료양이 줄어들게 되므로 따라서 효율이 증가하게 된다.

그림 2는 미국 Ford 회사에서 개발한 gas turbine engine 의 내부 구조를 보여주며 주요 부품인 compressor, compressor turbine, power turbine, combustor 등을 볼 수 있다.

3. 개발현황

Gas turbine engine 을 자동차에 응용하려는 시도는 오래전부터 시작되었다. 미국에서 1950

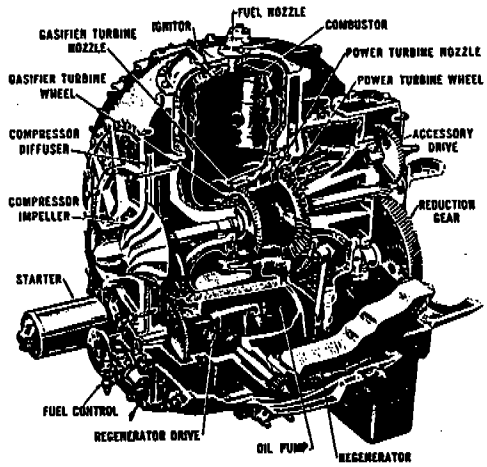


그림 2 Ford 회사의 Gas Turbine Engine 의 내부구조

표 1 Gas Turbine Engine 의 연구현황

연도	제 작 회 사	내용 및 특기사항
[미국] 1953	General Motors	Turbocruiser I (100 hp - 600 hp) (트럭)
1954	General Motors	Firebird I (승용차)
1954	Chrysler	Plymouth (100hp) (승용차)
1954	Ford	Fairlane
1958	Williams Research Corp.	U.S. Army Jeep
1964	Williams Research Corp.	승용차
1972	Williams Research Corp.	Taxi
1974	GM	Nox 0.4 gpm
현 재		ceramic 재료
[독일]	Volkswagen, Daimler Benz	
[영국]	Rover Co.	
[일본]	Nissan, Toyota	

년대에 이미 실험용으로 제작되어 시험되었다. 초기에는 주로 트럭, 버스용 대형 엔진 (300 hp ~ 600hp) 을 개발 대상으로 삼았으나 그 후에 100hp급 소형 승용차용 엔진도 많이 연구되었다 (표 1 참조).

표 2 독일 VW회사의 엔진 GT 150의 제원

Maximum Power Data VW-GT 150	
air mass flow	0.84 kg/s
pressure ratio	4.5
turbine inlet temperature	1,283 K (1010 °C)
gasifer speed	63,700 1/min
power turbine speed	52,200 1/min
output shaft speed	5,500 1/min
compressor	variable IGV *)
power turbine	variable NGV*)
control	electronically
size	0.275 m ³
weight	210 kg
ambient 288K, 1bar ; 2% pressure loss at air inlet and gas exhaust ; engine auxiliaries	

*) IGV : Inlet Guide Vane
 NGV : Nozzle Guide Vane

표 2에 독일 Volkswagen 회사의 개발품인 gas turbine engine GT 150의 제원을 나타내었다. 엔진 출력은 100hp 이며 출력에 비해 무게가 적으며 터빈 회전수가 매우 높음을 알 수 있다(50,000 ~ 60,000 rpm).

1970년 대에서는 트럭용 engine 이대량 생산되기까지 하였으나 내구성 문제가 완전히 해결되지 않았으며 특히 열교환기의 부식으로 인해 더 이상의 실용화가 이루어지지 않았다.

현재 연구의 주 목표는 효율향상을 위해 고온에 견디는 ceramic 재료의 개발에 있다. 이를 위한 정부측 차원의 지원 역시 크며 예를 들어 미국에서는 DOE(Department of Energy), EPA(Environmental Protection Agency) 등의 지원을 받아 NASA(항공 우주국) 및 각 자동차 회사들이 연구에 참여하고 있으며, 독일에서는 IEA(International Energy Agency)의 지원아래 DFVRL(독일 항공 우주 연구소) 및 각 자동차 회사들이 연구

표 3 DOE/NASA의 세라믹 부품개발 계획

연도 작동온도	76	78	80	82	84	86
	1038 °C	Turbine Shroud, Regenerator				
1132 °C	Blade, Turbine Scroll					
1240 °C	Power Turbine Vane Diffusor, Combustor					

에 참여하고 있다(표 3 참조).

4. 특성 및 장·단점

자동차용 gas turbine engine의 특성 및 장 단점을 기존의 내연기관과 비교하여 살펴보기로 한다. 먼저 장점으로는 다음과 같은 점들을 들 수 있다.

4.1 장 점

가. 배기 가스 공해

가스 터빈의 연소기(combustor)에서는 연속적으로 연소가 일어나며 단속적, 폭발적으로 일어나는 내연기관의 경우에 비해 배기 가스중의 유해물질(HC, CO, NO_x 등)이 적게 형성된다. 바로 이것이 미래형 자동차 기관으로서 가스터어빈이 주목을 받게 되는 가장 큰 이유이다.

이 외에도 연소기의 형상을 가스터어빈 엔진의 작동특성과는 거의 무관하게 변화시킬 수 있으므로 이를 통해 공해물질 배출을 더욱 줄일 수 있다. 점점 엄격해지는 자동차 배기 가스의 규제로 인해 미래에는 필연적으로 연속 연소 방식의 엔진(예를들어 gas turbine engine, stirling engine 등)으로 기존의 왕복동 내연기관이 대체될 전망이다.

현재까지 개발된 연소기로서 0.4 g/mile HC, 3.4 g/mile CO, 0.4 g/mile NO_x의 기준을 무난히 통과할 수 있다. 다만 가속 등 부하 변동시 즉 transient operation에서의 emission이 아직 크다는 점이 앞으로 해결되어야 할 것이다.

가솔린 기관에서는 배기가스 공해감소를 위해 추가로 정화기 (catalyst) 를 부착하거나 배기가스를 다시 기관내로 이끌어 연소시키거나 하는 방안이 검토 내지는 실행되고 있으나 이로 인한 소비자의 추가부담을 피할 수 없으며 디젤 기관의 경우 고형 물질로 인해 정화기 사용이 어려운 실정이다.

나. 연료의 다양화

이것 역시 gas turbine engine 의 큰 장점의 하나이다. 즉 연소기의 역할은 압축된 공기를 가열하는 데 있고 또 연속적으로 연소가 됨으로 연료의 종류 및 품질에 크게 구애 받지 않는다. 유류, 가스 등 액체, 기체상태의 연료 뿐만아니라 경우에 따라서는 미세한 석탄가루 역시 연료로서 사용 가능하며 특히 유류를 수입해야 하는 우리나라와 같은 실정에서는 이 장점을 십분 활용할 수가 있다. 또한 태양전지를 이용한 물의 전기 분해의 산물인 수소역시 연료로 이용될 수 있어 대체 에너지 이용 가능성 역시 크다고 본다.

다. Torque 특성

그림 3에 엔진 회전수에 따른 torque 를 여러 엔진 종류에 대해 나타내었다. 저속에서는 (출발 또는 가속시에) 엔진 torque 가 대체적으로 정격 운전시에 비해 떨어지게 되고 따라서 변속기어가 필연적이나 2축식 gas turbine engine 에서는 이와는 달리 저속에서의 torque 가 매우 높아 변속기어가 필요없게 된다. 같은 gas turbine engine 에서도 1축식의 경우에는 torque 특성이 좋지 못하다.

라. 중량

그림 4에 엔진 마력에 따른 중량을 여러 엔진 종류에 대해 나타내었다. 디젤 기관이 가장 무거우며 가솔린 기관, gas turbine engine 의 순으로 가벼워 짐을 알 수 있다. turbocharger 가 부착된 디젤기관도 아직 가솔린 기관의 수준에 이르지 못하고 있다.

마. 주행성능

현재까지 시제작되어 실험중인 가스터어빈 자동차의 주행성능은, 한 예로서 독일 Volksw-

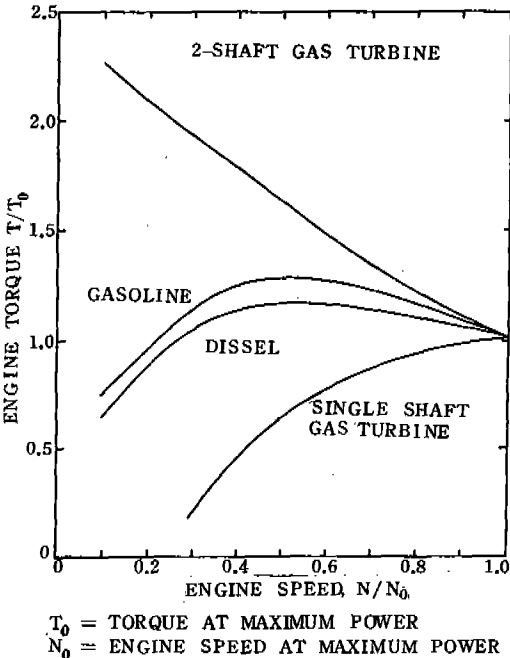


그림 3 엔진종류별 Torque 특성

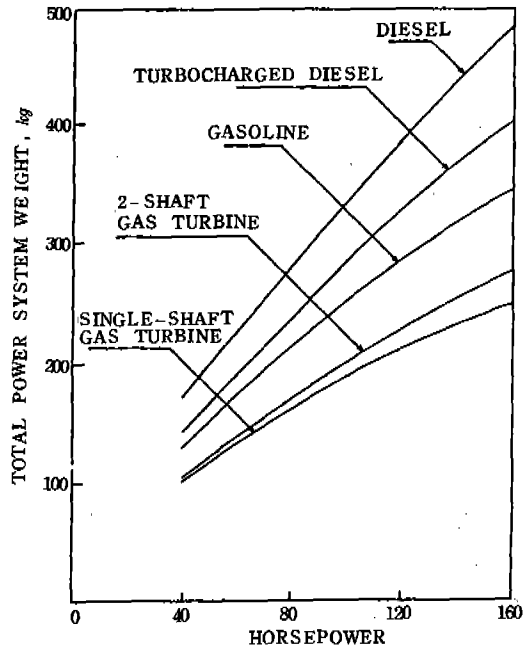


그림 4 엔진종류별 중량비교

agen 회사의 시험 결과에 따르면, 현재 왕복 기관의 수준으로 평가되었다. 앞으로 새로운 재료인 ceramic 재료를 이용하게 될 때에 이로 인하여 무게가 줄어들게 되며 관성 moment 가 작아지므로 성능 향상이 이루어질 것으로 예상된다. 또한 저 회전수에서 torque 가 매우 크므로 변속 gear가 필요없게 되며 시동 시 무리가 가지 않는다.

바. 소 음

가스 터빈 엔진에서는 폭발행정 및 왕복 운동이 없고 회전운동만이 있으므로 기본적으로 소음이 적다. 독일 Volkswagen 회사에서 실험한 예를 보면 최대 부하시 7.5 m 떨어진 곳에서 가스 터빈 자동차는 약 64 dBA, 내연기관 승용차는 약 73 dBA 의 소음이 측정되었다. 또한 gas turbine engine 의 높은 회전수 (50,000~60,000rpm)로 인해 발생하는 소음은 대개 고 주파수 영역이며 이는 저 주파수 영역의 소음에 비해 대체적으로 차단이 용이하다.

사. 원자재 의존도

기존의 고온합금 재료인 Ni, Cr 등은 그 매장지가 일부지역에 제한되어 있어 유류의 경우처럼 전략 자원화 될 가능성이 높다. 그러나 앞에서 본 바와 같이 ceramic 재료로 대체될 경우 그 원자재인 Si는 국내에도 널리 분포되어 있으므로 외국에의 의존도가 낮다. 또한 연료 다양화의 장점으로 인해 외국 의존도가 낮아질 수 있다.

4.2 단 점

gas turbine engine 에서 아직 해결되어야 할 문제점들로서는 다음과 같은 것들이 있다.

가. 연료 소비량

Gas turbine engine 의 연비는 현재의 가솔린 엔진의 수준이며 미래에 ceramic 재료의 이용으로 터빈 입구 온도가 높아지면 기관의 효율이 향상되며 현재의 디젤 엔진의 수준까지 도달하리라는 전망이다. (그림 5 : 독일 VW 회사의 엔진 GT 150 의 경우) .

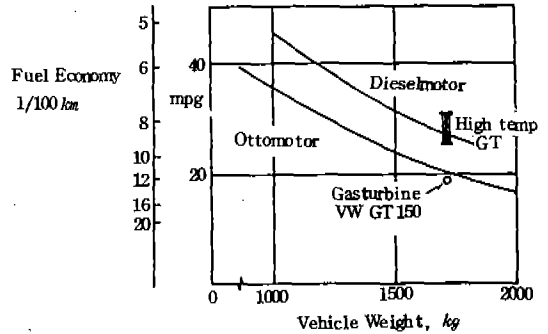


그림 5 Gas Turbine Engine 의 연료소비량

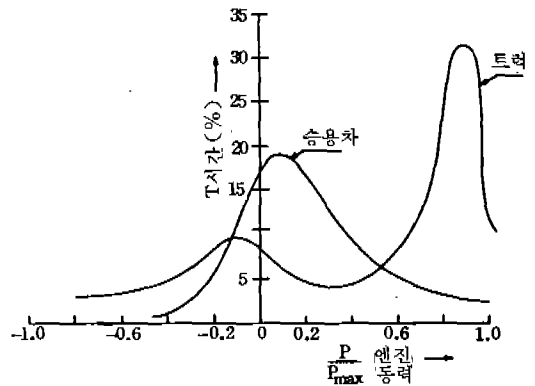


그림 6 자동차의 부하곡선

한편 승용차의 경우 그 부하변동이 장거리 용 트럭 등에 비해서 매우 심하다. 즉 주행시 제동, 정지, 가속 등이 빈번히 일어나며 이를 그림 6에 도식화 하였다. 승용차의 경우 많은 시간동안 엔진 출력의 10~20% 정도의 부하로 운전되고 있다. 따라서 정격부하에서의 효율 향상 뿐만 아니라 부분부하에서도 높은 효율을 나타내며 또한 넓은 부하 범위에 걸쳐서 작동할 수 있는 기관이 요구된다.

나. 가 격

시작품단계에 있는 gas turbine engine 과 대량생산 되고 있는 왕복동 기관과의 가격 비교는 매우 어렵다. 대략 추정된 바로는 gas turbine engine 이 가솔린 기관 보다 약 30% 높은 것으로 나타났다. 그러나 추후 ceramic 재료를 사용할 경우에는 원가 절감을 예상할 수 있다. 또한 기존의 내연기관에서는 공해 방지장치에 의한 추가 비용 역시 고려되어야 할

것이다.

다. 성능시험

가격 이외의 또 다른 문제점은 gas turbine engine이 아직 장기간, 완전히 부품 및 제품의 성능 테스트가 없었다는 점이다. 이 점 역시 앞으로 해결되어야 하며 이 결과에 따라 gas turbine engine의 실용화가 결정될 것이다.

5. 연구 과제

앞에서 살펴본 바와 같이 자동차용 gas turbine engine의 주요 문제점으로는 정격 부하에서의 높은 연비와 부분부하에서의 효율 저하등을 들 수 있다. 모든 다른 열기관에서와 마찬가지로 gas turbine cycle 역시 터빈 입구온도가 높을수록 높은 효율을 얻을 수 있다. 다만 현재의 고온용 합금재료로서는 작동온도의 한계가 있기 때문에 입구온도를 상승시키기 위해서는 turbine blade의 냉각이나 또는 다른 재료, 예를들어 ceramic 재료의 사용이 필연적이다. 터빈 blade의 냉각을 통하여 어느 정도의 온도 상승을 가져올 수 있으나(예를들어 1000℃에서 1150℃정도까지) 한계가 있고 또 추가로 blade 가공등의 문제가 남아 있다. 이에 반해서 ceramic blade를 이용하면 터빈 입구온도를 1300℃까지 올릴 수 있어 효율이 높아지고 따라서 연비가 적어진다. 알려진 바로는 현재의 수준보다 약 15% 정도의 효율향상을 기대할 수 있다고 한다.

그러나 ceramic 재료의 성형기술, 가공기술등이 아직 확립되지 않아 이 분야의 많은 연구가 필요하다.

또한 부분부하에서의 효율향상을 위해서는 압축기와 터빈내의 유동해석이 필요하며 variable guide vane 등의 추가장치가 필요하다.

한편 연소실의 적정 설계로 배기가스 공해를 더욱 줄이는 방안이 강구되어야 하며 특히 transient operation시의 안정된 연소, 저공해 발생등이 실현되어야 할 것이다. 그외에 열교환기의 성능향상, 내구성, 누설방지 등의

문제가 개선되어야 하며 고속으로 회전하는 기관의 회전수를 구동 회전수까지 낮추는 효율 좋은 감속기에 대한 연구 역시 수행되어야 할 것이다.

6. 전 망

위에서 본 바와같이 기존의 왕복동 내연기관에 비해 배기가스 공해, torque, 중량, 소음 등에서 큰 장점을 가지고 있는 가스터빈을 자동차 구동용으로 이용하려는 노력이 세계적으로 시도되고 있다.

시작품을 제작하여 시험한 결과에 따르면 현재 나타나고 있는 몇가지 기술적인 문제들, 특히 ceramic turbine의 개발은 이에 대한 집중적인 연구 투자로 인하여 가까운 장래에 해결될 전망이며 이에 따라 gas turbine 자동차가 생산, 시판될 가능성이 높다. 또한 이것은 항상 새로운 것을 추구하는 고객의 기호에 힘입어 그 판매전망이 밝을 것으로 예상된다. 이에 따라 우리나라에서도 선진국 대열에 뒤지지 않기 위해서는 지금부터라도 이에 대한 개발에 착수해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. O'Brien, John Patrick, Gas Turbines for Automotive Use, Noyes Data Corporation, 1980
2. SAE/SP-80/465, Advanced Gas Turbine Systems for Automobiles, 1980
3. W. Bunk, M. Böhmer, Keramische Komponenten für Fahrzeug-Gasturbinen II, Springer-Verlag, 1981
4. Norbye, Jan P., The Gas Turbine Engine, Chilton Book Company, 1975
5. SAE/SP-80/741, Engines, Fuels and Lubricants-A Perspective on the Future, 1980
6. Entwicklungen an einer Fahrzeuggasturbine bei Daimler-Benz, MTZ, Vol 47, Nr. 6, 1986
7. Keijiro Kinoshita, Present Status and Future of Automotive Gas Turbines, 自動車技術, Vol 34, No. 4, 1980