◎ 특 집

가스터빈 추진 고속열차 기술

김 수 용*

1. 개 요

내연기관 구동에 의한 고속열차 개발은 고속전철 개발 시 전철화에 요구되는 막대한 인프라 구축비용을 피하고 기존 선로를 최소한으로 변경함으로써 속도를 향상시키기 위한 개념이며, 크게는 디젤발전과 가스터빈 발전을 들 수 있다. 일반적으로 디젤 발전의 경우 200 kph이하에서만 논의되고 있는 상태이며 200 kph 이상인 경우 가스터빈이 고려의 대상이 된다. 현재 외국에서 디젤 발전에 의한 고속화 사례 거의가 기존 선로의 변경이 속도 200 kph 정도까지 증가시키고자 하는 경우에 한하여 진행되고 있다. 가스터빈 추진에 관한 연구 개발은 1941년 스위스에서 최초 시작되었으며 대부분 항공기나 군사용 선박에 국한되어 왔다. 그러나 1949년대 이후 가스터빈 기술 향상과 함께 가스터빈 발전에 의한 고속열차의 추진을 미국, 프랑스, 영국, 러시아 등에서 집중적으로 추진하였다. 1950년대 미국(GE)의 노력은 가스터빈 추진 시 요구되는 연료비가 디젤에 비하여 매우 높은 점, 소음이 매우 큰 점 등의 단점으로 10년 운행 후 중단되었으며 최초 개발된 대부분의 열차의 운행은 이미 중단된 상태이나 일부 구간에서는 그 이후 제작된 가스터빈열차에 의한 운행이 지속되고 있다. 1970년대 프랑스의 노력(TGV-001)역시 1974년 오일 shock에 의한 연료비의 급격한 상승으로 인하여 상품화로 연계되지는 않았다. 그러나 TGV-001의 개발로 프랑스는 가스터빈 고속열차 기술과 관련한 고도의 know-how를 보유하게 되었다. 프랑스에서도 아직도 turbotrain에 의한 고속열차 주행이 부분적으로 이루어지고 있다. 1980년대 초 영국(APT-E) 역시 APTE (Advanced Passenger Train-Experimental) 프로그램에 의하여 광범위한 가스터빈 추진 고속 열차와 관련한 연구 결과가 도출되었으나 원유 값이 상승하면서 불리한 경제성으로 인하여 중단되었다. 그럼에도 불구하고 이 모든 연구 개발로 인하여 가스터빈에 의한 고속열차 추진 시 요구되는 많은 기술적 know-how가 축적되었으며 일부 기술들은 추후 이탈리아의 고속열차 개발에 활용된 것으로 알려져 있다.

* 한국기계연구원
E-mail : soykim@kimm.re.kr

2. 국외의 주요기술개발 현황

미국은 Tri-state 프로젝트를 통하여 1991년 일리노이주, 미네소타주, 위스콘신주가 공동으로 지원하여 시카고-밀워키 구간 대하여 가스터빈 구동에 의한 150 mph 수준의 고속열차의 타당성 조사를 실시하였다. 타당성 조사 결과 Table 1에 나타난 바와 같이 총 4개의 선택 안에 대하여 검토한 것으로 알려져 있다. 이 연구 결과는 미국의 차세대 고속열차 개발 계획에 반영되었으며 차세대 가스터빈 구동 고속열차 개발 프로그램으로 연계되어 진행되었다. 미국에서 가스터빈 추진 고속열차 구현은 동일한 노선에 디젤과 가스터빈 고속열차를 병행하는 것이 아니라 기존의 노후한 노선에 대한 최소한의 보수를 통하여 가스터빈 단독의 고속열차를 운행한다는데 목표를 두고 있으며, FDR (Federal Railroad Administration)과 DOT (Department of Transportation)가 연합하여 각 주의 노후 고속열차를 개선하고자 하는 프로그램을 추진하고 있는 것으로 보고하고 있다. Next Generation High-Speed Rail Program (NGHSR)은 1994년 미국 연방 철도법에 의하여 1994년 인준을 받고 1995년 시작되었으며 미국 연방철도국 (FRA)과 건설부 (DOT)가 고속철도 분야 전문 제작회사인 Bombardier사 및 관련업체 (AMTRAK)와 협동하여 새로운 고속열차 시스템을 개발하는 것이다. 프로그램의 주 내용은 Advanced Turbine Locomotive (ATL: 첨단 가스터빈 고속열차)의 개발, Advanced Locomotive Propulsion System (ALPS: 첨단 고속열차 추

Table 1 미국의 가스터빈 추진 고속열차 개발 프로그램

	Manufacturer	Generic Name	Propulsion Type	Commercial Speed
1	ADRANZ IC3 DMU	"DMU"	Diesel Multiple Unit	110 mph
2	GEC Alsthom/Bombardier American Flyer HST	"HST-GT"	Gas Turbine	150 mph
3	GEC Alsthom/Bombardier American Flyer HST	"HST-Electric"	Electric	150 mph
4	GEC Alsthom TGV	"TGV"	Electric	185 mph

진 시스템) 개발 그리고 이를 제어하기 위한 Positive Train Control (PTC: 능동제어장치) 등이다. ATL, ALPS, PTC 프로그램을 통하여 연방철도국은 Bombardier사와 50 : 50으로 출자하여 개발하고 있다. 이 프로그램의 특색은 저속에서 나타나는 가스터빈의 효율저하를 flywheel 시스템을 사용하여 보완하고 항공파생형 가스터빈 엔진을 사용하는 동시에 감속기어를 사용하는 대신 고속모터제너레이터를 개발하여 사용함으로서 발전시스템을 매우 compact하게 구성한데 있다. NGHSR 프로그램은 특히 현재 운행 중인 Rohr Turbo Liner (RTL) 고속열차 시스템에서 사용중인 소 경량 가스터빈을 다중 추진 특성(GT+flyWheel전기)을 살리면서 중대형 가스터빈으로 대체하는 연구개발을 진행하고 있다. 더욱이 Flywheel을 동시에 사용함으로써 전철과 비슷한 가속 특성을 갖도록 개발 중이며 열차 속도가 150 mph까지 속도가 상승하는 초기 기동 시에는 flywheel에 축적된 에너지를 사용함으로써 가스터빈 추진이 전철에 의한 추진보다 뒤지는 단점을 보완할 수 있게 되었다. 미국은 최근 2001년 11월 지금까지 개발된 가스터빈 구동 고속열차 시스템의 시험 운행을 실시 (콜로라도 푸에블로)하였으며 매우 만족스러운 결과를 얻은 것으로 발표하였다. 문제가 되었던 저속 시 가속특성이 떨어지는 문제를 flyWheel 기술로 극복하였으며, 가스터빈 소음 역시 매우 작게 나타난 것으로 보고하고 있다. 현재 미국에서 진행 중인 고속열차 개발 프로그램은 각 주에 따라 차이가 있으나 크게는 도시간 고속열차의 경우 전철을, state간 고속 열차 개발에는 전철 또는 가스터빈 추진을 고려하는 추세이다. 저속의 경우 경제성이 높은 디젤 기관을 검토 중이다. 특히 ALPS 프로그램을 통하여 기존의 선로를 그대로 활용하되 속도는 150 mph (240kph)까지 상승시키기 위한 연구가 진행되고 있는데 가속 성능이 전철과 비슷하게 좋게 나타나고 저소음 및 배기 오염 물질이 매우 적고 고효율 연비를 가지게 되는 추진 시스템에 관한 연구를 진행하고 있다. 이러한 목표치들이 달성되는 경우 미국 교통부 (Department of Transportation)와 철도청은 1 mile 당 약 1,000,000~2,000,000 USD가 절약되는 것으로 보고하고 있다. 상기의 기술 개발을 통하여 에너지 절약 및 배기 오염 저감을 할 수 있는 비 전철 고속열차를 구현하기 위하여 가스터빈 기관을 사용함으로서 인프라 구축비용을 크게 절감할 수 있고 flyWheel 에너지 저장 장치를 사용함으로써 가속 성능을 향상시킬 수 있는 시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. Fig. 1은 NGHSR 프로그램의 가스터빈 구동 고속열차 power train의 구성도를 보여주고 있다. 그림에서 가스터빈의 동력은 alternator를 통하여 전류로 변환되고 DC BUS를 통하여 flywheel battery에서 나오는 동력과 상호 제어를 거친 후 traction motor를 통하여 wheel로 전달되는 방식을 채택하고 있다. ALPS 프로그램의 개념은 고출력 터보 alternator를 사용함으로서 rolling 저항의 극복 및 급작 가속 시 요구되는 첨단 부하를 견딜 수 있는 flywheel 장치를 사용함으로써 안정된 운항 속도를 유지할 수 있는 시스템 구축을 목표로 하고 있다. Fig. 2는 ALPS 프로그램에 참여하여 고속제너레이터를 개

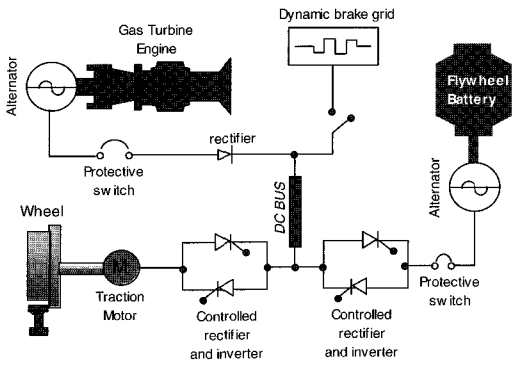
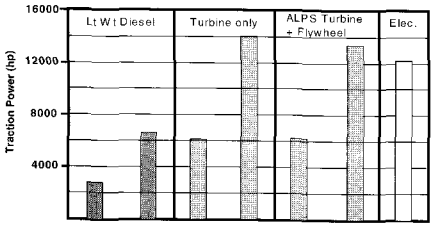


Fig. 1 Locomotive power train schematic



		Lt Wt Diesel		Turbine only		Flywheel		Electricity
Consist	Length	756	826	839	839	764	839	874
	No. of locomotives	1	2	2	2	1	2	2
	No. of coaches	8	8	8	8	7 + 1CC	8	8
	Weight(t)	657	717	689	689	604	689	749
	Traction Power (hp)	3,011	6,571	6,231	13,076	6,417	13,262	12,332
	Power/weight (hp/ton)	4.58	9.16	9.05	18.99	10.63	19.26	16.46
Locomotive	Type	LW Diesel	LW Diesel	1 turbine	2 Turbine	ALPS 46	ALPS 46	Electricity
	Weight(t)	100	100	86	86	86	86	99
	Engine type	Diesel	Diesel	Turbine	Turbine	Turbine	Turbine	Electricity
	No. of engines	1	1	1	2	1	1	-
	Power per engine (hp)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	-
	No. Flywheels	-	-			1	1	-
	Flywheel power (hp)	-	-			400	4000	-
	Flywheel Capacity (MJ)	-	-			600	600	-

Fig. 2 구동원 간 견인력 비교

발하고 있는 UT-CEM이 발표한 구동원간 견인력 비교 결과 이다. 비교대상은 경중량 디젤엔진과 가스터빈, 그리고 ALPS가 채택한 가스터빈 + flyWheel을 동시에 사용하는 경우와 고속전철과의 비교 결과이다. 각 항목의 왼쪽 막대는 엔진을 한대 사용하는 경우이고 오른쪽은 엔진을 두 대사용하는 경우이다. 견인력의 경우 가스터빈이 디젤보다 크게 나타나고 있으며 전철과 비교하기 위해서는 가스터빈을 두 대사용하여야 하는 것으로 나타나고 있다. 가스터빈의 경우 엔진을 두 대사용하더라도 전철식보다 중량 면에서 유리한 것으로 나타나고 있다. 프랑스 국철 (SNCF)은 1960년대 말 가스터빈 추진 고속열차인 ETG를 개발하였으며 1970년에 이를 상용화하였다. 매우 소음이 컸던 이 가스터빈 추진 고속열차는 시속 180kph로 1970년대 운행되었다. 지금도 당시 개발된 가스터빈 추진 고속 열차가 일부 비전철화 구간에서 운행되고 있다. 1971년 10월 X4300 TGS는 시속 252 km의 속도를 내는데 성공하였으며 매우 긍정적인 주행 결과를 보여주었다. 시속 250 km~300 km의 고속열차를 계획하고 있던 SNCF는 이후 Alsthom社를 통하여 초고속

열차의 개념을 실현하기 위한 계획으로 turbotrain의 제작을 진행하였으며 그 결과 나타난 것이 TGV-001이다. TGV-001 turbo train은 시험을 통하여 traction, vehicle dynamics, braking, signalling 등 고속열차를 실현하는데 있어 매우 중요하고 포괄적인 기술들이 개발되었다. Tilting 기술 역시 개발은 완료

Table 2 Some Technical Specifications of the TGV-001

Categories	Value
열차 편성	Turbine+1st class+lab car+ 2nd Class+ Turbine
길이	92.9m
폭	2.81m
높이	3.4m
Truck wheel base	2.6m
중량	192 ton
동력	3760 Kw (TURMO III)와 4400 Kw (YURMO X)
최고속도	280 Km/h (TURMO III)와 300 Km/h (TURMO X)
탑재연료량	8000 리터

되었으나 상업화로는 연결되지 않았다. TGV-001의 기술적 사양은 아래 Table 2에 나타난 바와 같다.

그러나 1974년 전 세계적으로 oil shock가 발생하면서, 더 이상 연료비가 많이 요구되는 TGV-001의 운행이 비경제적이라고 판단되면서 광범위한 재설계 작업과 실험을 통하여 1974년 실험용 고속 전철인 Z7001은 내놓았다. 과거 가스터빈 구동에 의한 TGV의 대부분을 전철화 TGV로 대체하였다. Z7001은 이후 20개월 간의 주행기간 동안 약 1백만 km를 완주하였으며, 이중 25,000 km를 시속 300 km이상으로 주행한 것으로 알려져 있으며 최고 속도는 309 kph였다. 이후 지속적인 연구개발을 통하여 프랑스 고속전철은 1981년 TGV100를 통하여 318 kph까지 안전하게 주행할 수 있었다. 가스터빈 추진 고속철도는 아직도 비전철 구간에서 운행중인 것으로 알려져 있다. Fig. 3은 프랑스가 개발한 가스터빈 구동 고속열차 TGV- 001내부의 공기 흐름도를 보여주고 있다.

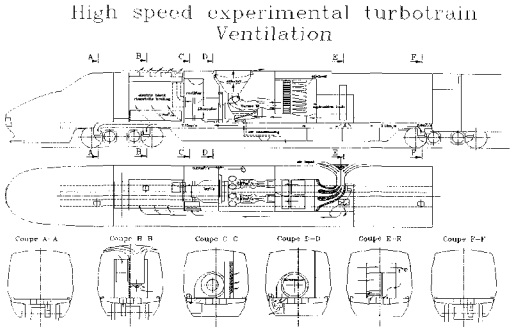


Fig. 3 프랑스 최초의 가스터빈 구동 고속열차 TGV-001 (1972)

프랑스 Turbomeca는 가스터빈 엔진 전문 제작 기관으로서 프랑스 국철 SCNF와 공동 개발한 TGV001에 탑재되었던 가스터빈을 개발하여 시험을 성공적으로 완료한 경험이 있으며, 지금도 미국, 이란, 이집트 등에 고속열차 추진을 위한 가스터빈을 상당수 공급한 것으로 알려져 있다. 미국에서는 NewYork-Albany-Buffalo 구간간 turboliner에 탑재되어 운행되어 왔다. Turbomeca사는 1972-1979 기간 중 미국의 ROHR 사를 통하여 라이센스 계약으로 총 70량의 가스터빈 추진 turbotrain를 판매한 경험이 있다. 프랑스 내에서 turbotrain에 의하여 운행되고 있는 구간은 다음과 같다.

Paris - Caen (300 km : 2시간)
Strasbourg - Lyon (500 km : 3시간 30분)
Lyon - Bordeaux (고효율)

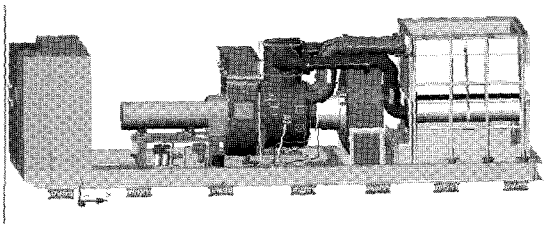


Fig. 4 고속열차 구동 recuperative 가스터빈 엔진 (TM180 ACL-GTA: 터보메카)

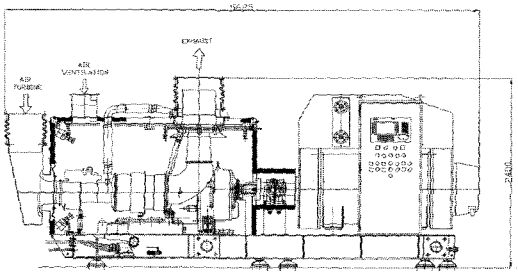


Fig. 5 Makila mobile genset for locomotive

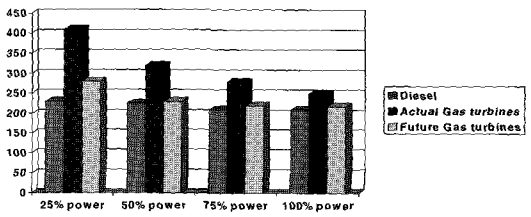


Fig. 6 디젤과 가스터빈 엔진(현재, 미래)의 연료 소모율 비교

Fig. 4는 프랑스 터보메카가 TGV-001 (1972)에 탑재하였던 가스터빈 엔진 Makila 엔진의 개략도를 보여주고 있다. Fig. 5는 터보메카사가 가스터빈 고속열차용으로 개발하고 있는 TM1800 ACL-GTA 가스터빈 엔진시스템의 개략적인 모습을 보여주고 있는데 본 가스터빈 엔진은 recuperator를 장착하여 부분부하 효율을 대폭 개선시키고 정격의 효율도 40%이상 되는 것으로 알려져 있다. TM1800 ACL-GTA 가스터빈 엔진은 현재 설계가 완료되고 제작 중에 있으며 2005년 시험을 목표로 하고 있으며 2006년 certification 획득, 그리고 2007년부터 시장 진입을 계획하고 있는 것으로 알려져 있다. Fig. 6은 디젤과 현재의 가스터빈 엔진 그리고 TM1800 ACL-GTA과 같은 미래형 가스터빈 엔진의 부하 변화 시 시간당 사용연료량에 대한 비교를 보여주고 있다. 50%이상의 동력범위에서 미래형 가스터빈 엔진 (2007년 출시할 TM1800 ACL-GTA)이 디젤과 비교 시 연료 소모량면에서 매우 근접해지는 것을 볼 수 있다. 이 경우 미래형 가스터빈 엔진이 디젤보다 중량이 50%이하이고, 소음도 작으며, 또 오염물질 배출 면에서 디젤 엔진의 15%임을 고려할 때 상대적 우위를 점할 것으로 예측된다. 이외 각국의 가스터빈 추진 열차의 개발 사례는 Table 3과 같다.

3. 국내의 기술 개발 현황

지금까지 국내에서 가스터빈 추진 고속열차를 개발하고자 하는 시도는 없었으나 2002년 말 이후 한국기계연구원은 G7 고속전철 기술개발 사업으로 개발한 한국형 고속전철을 이용하여 비전철화 구간에 적용하기 위한 타당성 및 설계 및 검증을 위한 모델 simulation연구를 시작한 바 있다. 총 5개년 기간으로 진행되는 본 연구는 한국기계연구원이 주관하여 연구를 진행하며 위탁 연구기관으로는 한국전기 연구원과 KAIST, 인하대 등이 참여하고 있다. 1차년도 타당성 검토 이어 2차년도 중에는 시스템 설계 및 마이크로 터빈을 이용한 발전시스템과 TCU (Traffic Control Unit) 와의 연계를 위한 제어 로직 수정 및 보완, 3차년도에는 한국전기 연구원이 보유하고 있는 simulator와 마이크로 터빈 및 전력 변환 시스템을 연계하여 주행 시험 simulation을 하기 위한 설계 및 보조 장치완성, 4차년도에는 통합시스템 조립 및 시험을, 5차년도에는 성능시험 및 시험결과에 의거하여 실규모 다중추진 시스템을 설계하여 완성하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 연구가 결실을 맺는 경우 기 개발된

Table 3 각국의 가스터빈 추진 열차 개발 사례

국가	스위스		미국			영국		러시아
제작 기관	Brown Boveri		GE and Alko, Boeing			Vikers	English Electric	ZSSR
연도	1941	1949	1952					
출력(마력)	2200	2500	4800	8500	320	3000	2750	3200
구성	1축, Regenerative		1축 단순		2축 단순	1축단순	2축, Regenerative	
회전수	5200	5300	6900	4860	36000	7000	8250	5550
TIT(℃)	600	600	705	788	843	700	777	650
압축비	4	3.5	6	6.6	3.2	5.25	5	4.8
리쿠퍼레이터(효율)	0.55	0.425	none	none	none	none	0.6	0.45
시스템 효율	16	16~17	17	20	13	19	24	22
동력전달 형식	Electrical				Mechanical	Electrical	Mechanical	
무게	92.1	121.1	250	408	30	131.5	123.4	123
길이	16.4	19.2	25.5	50.3	7.47	20.4	-	-
연료	Distillate				Gas	Distillate	Gas	Distillate

국가	영국	미국		러시아
제작 기관	Parsons	Westinghouse	Allis Charmers	Lenin
출력(마력)	1600	4000	3900	3500
구성	-	-	1축, regenerative	1축 단순
회전수	-	-	-	
견인구동력	-	-	36500	41,000
압축비	-	-		
시스템 효율	-	16.9	22	17
최고속도, kph	120	100	110	100
동력전달 형식	Electrical	Electrical	Electrical	Electrical
무게, ton	118.5	232	291	138
축하중, ton	19.7	-		-
연료	pulverized fuel	Distillate	석탄	Distillate

고속전철의 동력객차의 일부 공간에 가스터빈을 탑재하여 경부선, 호남선 등과 같이 전철화가 완성된 구간은 25,000 V의 가선으로부터 동력을 공급받는 고속전철로, 기타 비전철화 구간에는 가스터빈 구동에 의하여 150 kph 수준으로 운행함으로서 전국토의 철도 서비스 수송능력의 향상 및 대국민에 대한 upgrade된 철도서비스를 조기 공급하는 것이 가능해 질 것으로 판단된다. 더욱이 북한은 전국토의 85%가 전철화되어 있으나 해방 이후 철도 철도인프라에 대한 개선이 거의 이루어지지 않아 남북한 간 육상 교류가 활발히 이루어지는 경우 북한의 열악한 전력 공급 능력이 철도 수송에 큰 지장을 초래할 것으로 예견되고 있으나 이를 개선하기 위해서는 막대한 비용의 지출이 예상되어 남북한 모두에게 큰 짐으로 작용할 것으로 판단되고 있다. 이 경우 최소의 비용으로 철도 인프라를 개선할 수 있는 방안으로 다중추진 시스템의 실현이 가장 적합한 안으로 인식되고 있다. 현재까지 진행되고 있는 다중추진 시스템 개발에 관한 구체적인 내용은 다음 지면을 통하여 발표할 수 있을 것으로 기대한다. 아래 Fig. 7은 다중추진 동력 전달 계통도의 모습을 보여주고 있다.

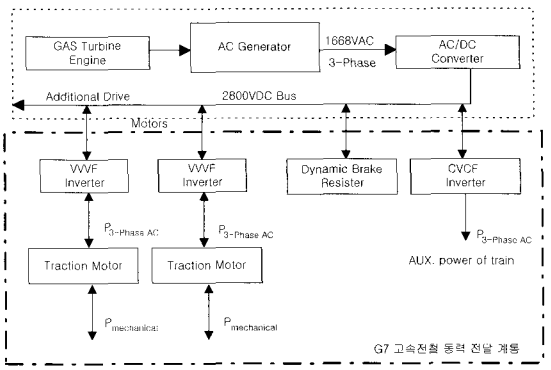


Fig. 7 다중추진 동력 전달 계통도

4. 맺음말

가스터빈 추진에 의한 고속열차의 개발은 1941년 스위스에서 최초 개발된 이후 1950년-1960년 사이 미국에서 상업적으로 운영되었으며 1972년 프랑스가 최초 TGV개발 시 가스터빈을 탑재하여 시험까지 성공한 것으로 알려져 있으나 1974년 오일파동으로 인하여 중단되었다. 그러나 1990년대 초 이후 가스터빈 성능 및 효율이 급성장하면서 다시 가스터빈추진에 의한 고속열차를 개발하고자 하는 시도가 일어나고 있다. 프랑스의 터보메카사는 TGV-001에 Makila 엔진을 탑재한 이후 꾸준히 연구를 지속하고 있으며 가까운 장래에 고속열차용 가스터빈 엔진을 출시 (2007년)할 것으로 알려져 있다.

미국은 1995년-2003년 기간 중 DOT (건교부), FRA (철도청), AMTRAK (미국철도회사), Bombardier (철도차량 제작회사)가 consortium을 구성하여 JetTrain을 개발하였으며 이미 상품화가 완료되어 시장진입에 나서고 있다. 한국도 기존 철도의 고속화 차원에서 기 개발된 고속전철에 가스터빈을 탑재하여 비전철화 구간에 투입하는 가능성에 대하여 검토하고 있으며 이를 통하여 보다 나은 철도 서비스를 보편적으로 국민에게 제공하고 또 장차 남북한 철도 연계 시 북한의 열악한 인프라 구축에 소요되는 막대한 비용을 절감하기 위한 대안으로 생각하고 있다. 뿐만 아니라 남북한 철도가 중국 및 러시아 철도와 연계되는 경우 광대한 지역 모두를 고속 전철화하는 데는 어려움이 있을 것으로 보이며 이러한 차원에서 보다 적은 비용으로 고속화를 이룰 수 있는 가스터빈 추진에 의한 고속열차 추진의 가능성은 더욱 높아질 것으로 판단된다. 따라서 이 같은 수요에 대비하기 위한 소형 가스터빈 개발도 매우 중요할 것으로 인식되고 있다.

참고문헌

(1) 한국철도차량, "동력객차 개발" , 00-II-2-1-2, 고속전철기술개발 사업2단계 2차년도 보고서

(2) 한국철도차량, "동력차 개발" , 00-II-2-1-2, 고속전철 기술개발 사업 2단계 2차년도 보고서

(3) 우바로프, 베끄네프, 그랴즈노프, 미하일쩨프, 무사또프, 프첼낀, 체르노브롭킨, 유노쉐프, 1962, "열차 추진용 가스터빈 시스템" , 모스크바 마슈기즈 출판, Ch. 7~9.

(4) 바르또슈, 1978, "가스터빈 추진 열차", Ch. 5~9.

(5) 러시아 국립철도기술 연구원, 2002, 12, "가스터빈 고속열차 개관", pp. 46~170.

(6) Edward J. Lombardi, 1995, "Amtrak's AMD-110 Dual Mode Passenger Locomotive", RTD-Vol 10, Rail Transportation, ASME 1995, pp. 103~107.

(7) Thomas N Tsai and John H. Price, 1995, "Advanced Non-Electric Propulsion System For High Speed Rail", RTD-Vol 10, Rail Transportation, ASME 1995, pp. 139~144

(8) Thomas N Tsai, Dick Bruss and Rick McDonough, 1995, "Modofication of The RTL Turboliner for HighSpeed Demonstration", RTD-Vol 10, Rail Transportation, ASME, pp. 133~137.

(9) J. D. Herbst, R.F. Thelen, and W.A. Walls, 2002, "Status of the Advanced Locomotive Propulsion System (ALPS) pro -ject", The University of Texas at Austin Center for Electromechanics.

(10) Andrew Miller, 1997, "High Speed Locomotives with Energy Storage", Departtment of Electrical Engineering, University of Idaho".

(11) C.R. SIMMONS, 1968, "Gas Turbine Manual", Temple Press Books, Chapter 14, Land Transport.

(12) S.B. Pratap and M.D. Driga, "Compensation in Pulsed Alternators", Center for Electromechanics/Electrical and Computer Engineering Department, The University of Texas at Austin.

(13) Main report, "High-Speed Ground Transportation for America", U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, September 1997, pp. 1~126.

(14) 김수용, 2002, "미국의 가스터빈 추진 차세대 고속열차 프로그램 소개 NGHSR (Next Generation High Speed Rail Program)", pp. 117-120, 유체기계저널.

(15) 김수용, 2003, "러시아의 가스터빈 추진 고속열차 기술개발", pp. 129~136, 유체기계저널.