

# 터어보 기계기술 동향과 우리의 대응방안



제 양 규 (회전체진동실 실장)

- '76-'80 부산대학교 화학기계공학과(학사)
- '82-'83 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '83-'88 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '88-'89 Texas A&M University  
터어보기계연구센터 Post Doctor
- '90-현재 한국기계연구원 선임연구원

## 1. 터어보 기계란

터어보기계란 유체에 에너지를 주거나 유체로부터 에너지를 추출하는 기계를 의미한다. 터어보 기계는 간단한 풍차로부터 복잡한 가스터빈과 Space shuttle의 주엔진 터어보 산소펌프에 이르기까지 종류가 다양하며 산업체에서 그 활용범위도 매우 광범위하다.

산업현장에서 많이 사용되는 터어보 기계의 종류가 표1에 잘 나타나 있다. 표1에서 보는것과 같이 터어보 기계는 에너지를 생산하는 동력기계이며 산업플랜트에서 가정용에 이르기까지 매우 진요하게 사용되고 있음을 알 수 있다.

## 2. 터어보 기계기술의 특징

터어보 기계를 제작운영하기 위해 필요한 기술이 그림 1에 보여져 있다.

그림1에서 보는것 같이 터어보 기계 기술은 기계 및 재료의 각종 첨단기술의 복합체 임을 알 수 있다. 터어보기계는 국가기간 산업의 동력원으로서 국가산업발전 및 안보적 측면에서 선진국에 종속될 수 없고 기술을 자립해야 할 전략적 가치를 가진다. 우루구아이 통상협정에서도 알수 있는것처럼 결코 외국에 의존할 수 없는 분야가 식량과 에너지 분야이다. 터어보 기계는 고도의 기술 집약적 산업으로서 부가 가치가 매우 높은분야로서 부존자원의 절대 부족하고 인구가 많은 우리나라에 적합한 산업이다. 또 '91년 터어보기계 수입량이 21억불이고 매년 30~40%이상씩 수입이

표1. 터보 기계의 종류

종 류	용 도	사 용 현 장
스팀터빈	발전용	화력, 원자력, 복합발전 등
	산업기계구동용	펌프, 압축기구동용 등
가스터빈	항공기추진장치	항공기 엔진
	발전용	상·비상용, 복합및 열병합 발전
	산업기계구동용	펌프, 압축기, 선박, 차량구동용
펌 프	유체이송용	양·배수, 보일러 용수공급, 화물유이송 등
압축기	가스압축	정유, 화학 Plant 등
송풍기	송 풍	환기, 풍동, 산업용 등

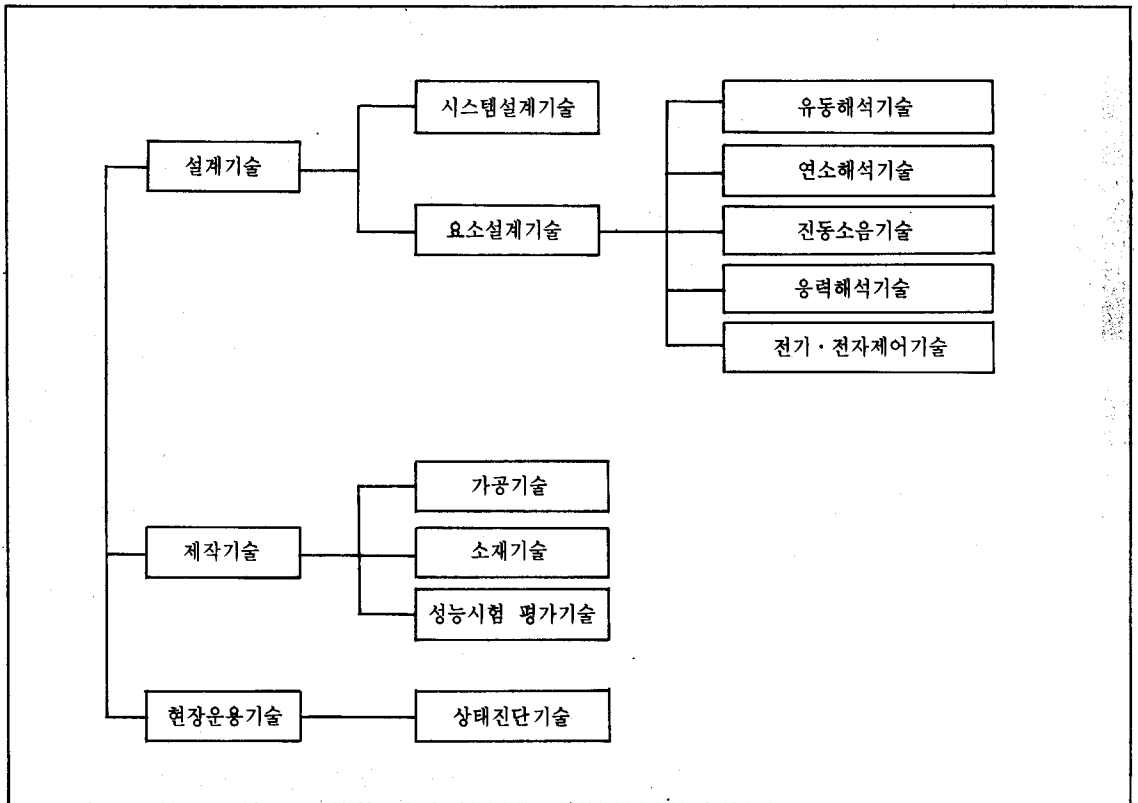


그림 1. 터보 기계기술 계통도

급증하고 있기 때문에 기술자립은 막대한 수입 대체 효과를 가져올 수 있다.

터보기계 기술은 기계와 재료 분야등의 각종 첨단기술의 복합체로서 다른 산업및 기술분야에 파급효과가 크다. 터보 기계의 개발을 위해선 첨단 생산가공 기술이 뒷받침되지 않으면 안된다.

항공기용 가스터빈의 경우 구성품목수가 2~3,000 개, 단품수는 30,000개 정도로 자동차 전체의 단 품수와 같은 수준이나 가공정밀도는 5배이상 요 구되는 첨단제품으로서 생산기술의 파격적인 향 상을 가져올 수 있다.

### 3. 터어보 기계의 국제적 생산현황

터어보 기계기술은 기계기술의 꽃이라고도 할수 있고 터어보 기계기술의 선진국은 1, 2차세계 대권을 주도한 나라들이다. 표2에서 볼수 있는것 같이 독자적인 터어보기계 설계 기술을 보유한 나라는 미국, 독일, 프랑스, 이태리, 일본, 스위스등 뿐이다. 가스터빈의 경우 고유한 설계기술을 가진곳은 미국의 GE, 독일의 Siemens, 스위스 ABB정도이며 그림2에서 볼수 있는것 같이 그외의 회사들은 이들로부터 라이선스를 받아 생산하면서 나름대로의 고유모델을 갖고 있을 뿐이다.

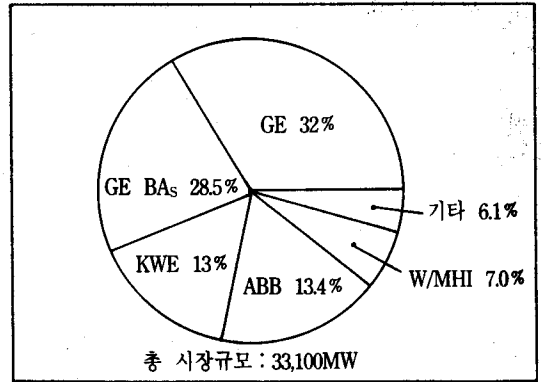


그림 2. 1984~1988년의 가스터빈의 시장동향

표2. 세계의 유명 터어보 기계 제작회사

국명	회 사 명	S/T		G/T		터보 압축기
		발전용	산업용	산업및 발전용	항공기용	
미 국	ABB Steam Power Gen. Co.	○		○		
	Allison Gas Turbines			○		
	Atlas Copco Comptac					○
	Cooper Rolls			○		
	Cooper Industries			○		○
	Dresser-Rand			○		
	General Dynamics				○	
	GE	○	○	○		
	Pratt & Whittney				○	
	Solar-Turbines			○		
	Stewart & Stevenson			○		
Westinghouse	○	○	○			
독 일	AG kühnle					○
	Atlas Copco Energas GmbH					○
	Babcock-Borsig					○
	MAN	○	○	○		
	Mannesmann Demag					○
Siemens	○	○	○			
이태리	De Pretto	○	○			
	Nuovo Pignone		○	○		○
일 본	Hitachi					○
	Kawasaki			○		○
	Mitsui	○	○	○		○
	Mitsubishi	○	○	○		○
프랑스	Alsthom	○		○		
	Thermodyn		○			
	Turbomeca			○		
스위스	Sulzer-Escher Wyss			○		
	ABB Power Generation			○		
스웨덴	ABB STAL LB	○	○	○		

#### 4. 선진국의 기술개발 동향

매우 앞선 터어보 기계기술을 보유하고 있는 선진국들은 끊임없이 기술개발에 힘을 쏟고 있는데 기술개발 동향은 크게 효율향상과 사용 다변화로 나누어 볼수 있다.

##### 1) 효율향상

터어보 기계의 효율향상을 위해 선진국들은 엄청난 돈을 쏟고 있다. 지금 국내에 설치되고 있는 원자력 발전용량은 스팀터빈 1기당 1,100 MW정도인데 1400~1500MW급까지 개발되고 있다. 출력을 증가시키기 위해 스팀터빈의 단수를 높이거나 터빈 블레이드(bucket)의 길이를 길게 하는데 이에 따라 응력 및 진동문제가 야기된다. 가스터빈의 경우 효율을 높이기 위해 터어빈 입구의 온도를 높여야 하는데 1400~1500도까지 높이기 위해 연구중이다. 터어빈 입구온도를 높이기 위해 터어빈 블레이드 냉각기술 더욱 발전시켜야 하고, 초내열합금 및 세라믹등 새로운 재료를 개발해야 한다. 또 가스터빈의 소음을 감소시키기 위한 기술개발도 계속되고 있다. 수두가 1500m가 되는 터빈 펌프를 개발하고 있으며 반도체 산업에 필수적인 진공기술을 위해  $10^{-6} \sim 10^{-10}$  torr까지 진공화 시킬수 있는 진공펌프를 개발하고 있다.

##### 2) 사용다변화

가스터빈은 완전연소로 인해 공해문제가 없고,

고속회전이 가능하여 단위부피 및 무게당 고출력을 낼수 있고, 빠른 시동성과 부하변동에 따른 우수한 동적 응답특성, 다양한 연료 사용 가능등으로 인해 항공용뿐만 아니라 산업용등으로 다양한 사용을 위해 연구를 계속하고 있다. 스팀터빈과 가스터빈을 동시에 사용하는 복합발전, 지역난방을 겸한 열병합 발전, 차량용 원동기용 등으로 그 사용범위를 계속 확대시키고 있다.

표3에서 볼수 있는것 같이 산업용 가스터빈 개발을 위해 선진각국은 범국가적 개발을 시도하고 있음을 알 수 있다.

#### 5. 터어보 기계의 국내생산 현황

터어보 기계는 산업의 주요동력원으로 산업전반에 걸쳐 다양한 용도로 사용되고 있다. 국내 터어보기계 수급현황이 표4에 나타나있다. 표4에 나타나 있는것처럼 고부가 품목은 거의 수입에 의존하고 있다.

기술개발을 시도하여 도달하는 기술개발 수준을 다음과 같이 나눌수 있다.

- i) 후진국형 : 완전품을 수입해서 단순히 운영하거나 대부분의 부품을 수입하여 단순조립하는 단계
- ii) 중진국형 : 부품의 대부분을 제작 조립하고 제작된 제품의 성능에 대한 품질인증을 할 수 있는 단계
- iii) 선진국형 : 설계기술이 확보되어 성능향상을 위해 독창적인 모델을 개발할 수 있는 단계

표3. 선진국의 산업용 가스터빈 개발사업

국 가	수행기관	용도	개발기간	개발비용	비 고
미 국	에너지성 (AGT project)	차량용	'80~'87	1,000억원	세라믹 가스터빈
	에너지성 (ATTAP project)	차량용	'87~'92		
일 본	공업기술원 (Moonlight project)	복합발전및 차량용	'88~'96	1,000억원	300KW급 세라믹 가스터빈
독 일	과기처	차량용	'74~'83	420억원	75KW급
프랑스	Turbomecha	열병합	'91~'95	1,400억원	2.5MW급

표4에 나타난 터어보 기계분야를 기술개발 단계별로 나누면 그림3과 같이 나눌수 있다. 그림3

에서 볼수 있는것 같이 국내 터어보기계 기술은 대부분 중·후진국 형임을 알 수 있다.

표4. 터어보기계의 국내수급 현황

종 류		용 도	국내수급 현황
스팀터빈	소형	기계구동용	전량수입
	중·대형	발전용	한국중공업 제작(GE설계)
가스터빈	소형	비상 발전용	전량수입
	중·대형	항공기용, 발전용	전량수입, 국내정비(KAL)
펌프	중·소형	양수, 배수	국내설계, 제작, 수출(신신, 이천, 효성, 청우)
	고압·대용량	보일러 급수용	대부분 수입
진공펌프	일반형 ( $10^{-2}$ torr)	혈액분류, 화학약품	국내제작(광신, 삼신, 대륙, 삼우, 한성)
	고성능 ( $10^{-6}$ — $10^{-10}$ torr)	반도체, 입자가속	전량수입
압축기	왕복동형 루트형	가스압축	국내제작(해덕, 한신)
	스크류형 원심형 축류형	대용량 고압압축	전량수입
	원심형 축류형	대형환풍 고효율	일부 국내제작(서원 풍력) 전량수입

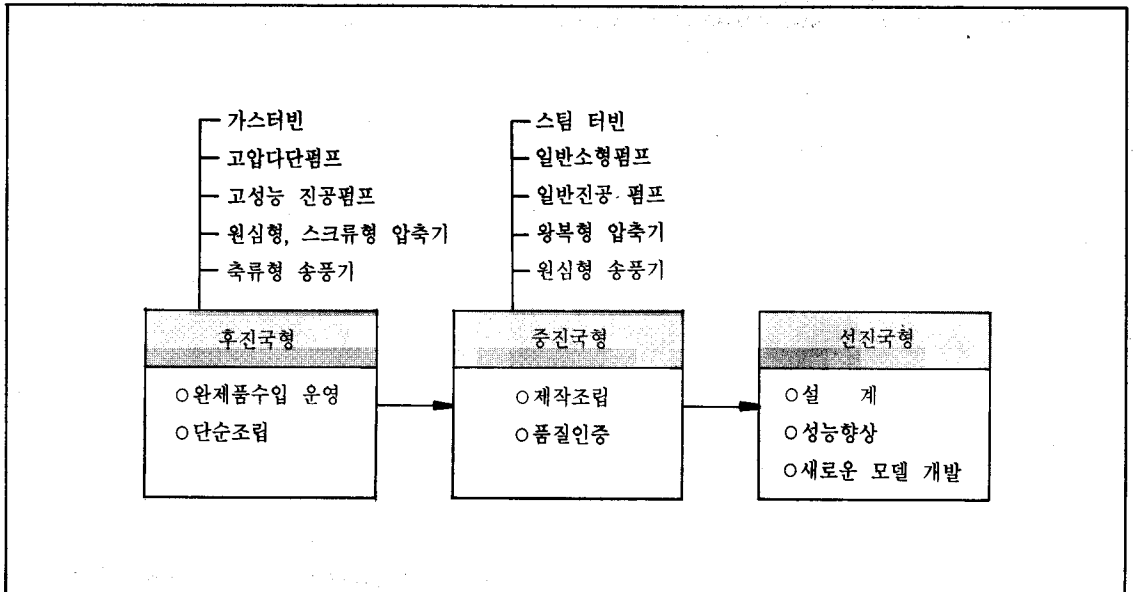


그림 3. 국내 터어보 기계기술 수준

표5. 터어보 기계의 수입액

(단위 : 천불)

종 류	'89	'90	'91
스팀터빈	21,623	55,314	117,696
가스터빈	373,317	538,837	889,817
펌프류	293,690	455,756	602,115
압축기 송풍기	313,762	395,128	487,469
계	1,002,392	1,443,035	2,079,079
일반기계류	18,702,900	21,193,792	25,064,763

## 6. 국내 터어보 기계의 수요전망

산업화에 따라 많은 산업에너지의 수요가 급증한다. 산업화에 따른 산업에너지를 만들어내는 동력기계의 개발 추세는 단위부피당 고출력을 낼 수 있어야 하고, 환경문제에 따른 저공해이어야 하며, 다양한 용도에 사용가능하고 또 다양한 연료를 사용할 수 있어야 한다. 이런 추세에 따라 최근 왕복동 동력기계로 부터 터어보기계의 수요가 급증하고 있다. 표 5에서 볼수 있는것 같이 터어보기계의 수입이 매년 40%이상씩 증가하고 있다.

### 1) 스팀터빈의 수요전망

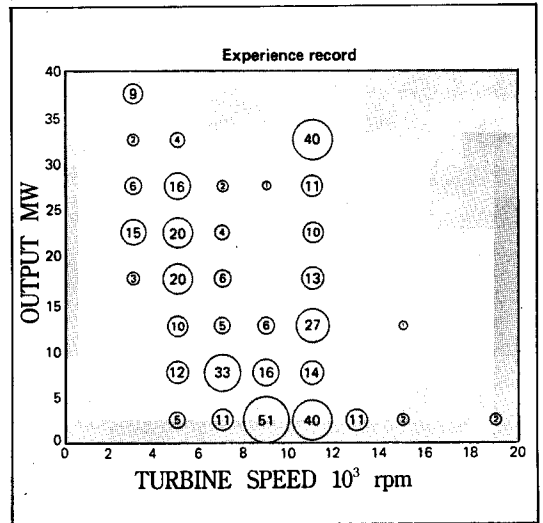
중대형 스팀터빈은 표6에서 볼수 있는것 같이 발전용으로 많이 소요될 것이며 보다 강력한 산업기계 구동용으로 소형 스팀터빈의 수요가 예상된다. 표7에서 미쓰비시에서 제작한 산업기계 구동용중 소형스팀 터빈의 수가 나와있다.

표6. 국내 발전수요

(MW)

년도	1986	1988	1990	1992	2001	2006
용량	18,060	19,944	21,021	23,490	46,900	58,700

표7. 미쓰비시 소형스팀터빈 생산댓수



### 2) 가스터빈의 수요전망

가스터빈의 저공해, 다양한 연료사용가능, 고효율 및 고출력의 특징으로 전세계적으로 가스터빈의 수요가 급증하고 있다. 미국은 1MW급 이상의 상근용(base load) 대형 가스터빈을 주로 생산하고 있고 일본은 비상전원용의 가스터빈 생산이 주종을 이루고 있는데 표8과 표9에 미국 GE와 일본의 산업용 가스터빈 수주현황이 나와있다.

표8. 미국 GE社의 산업용 가스터빈 매출액

(단위 : 백만 \$)

연도	'76	'80	'84	'88	'92
매출액	140	220	260	300	540

표9. 일본의 산업용 가스터빈 수주현황

연도	'76	'78	'80	'82	'84	'86
수주대수	30	85	165	202	222	300

가스터빈은 차세대 power plant라 불리우는 복합발전, 열병합 발전용으로 많은 수요가 예상된다.

표10. 국내의 Power plant사업('89-'90)

사 업	용량(MW)	제작사	비 고
일도복합	800-1,000	GE	'92. 10
분당 열병합	600	ABB	추진중
평촌 열병합	450	ABB	추진중

가스터빈은 plant건설 기간이 짧고(2년정도, 원전은 5~10년) 저공해와 다양한 연료사용 가능, 기동성이 좋다는 이유로 신규발전 시설에 많은 수요가 예상된다.

표11. 발전용 가스터빈 설비현황(한전보유)

위 치	출력(MW)	수 량	제작사
부평	55	1	UTI
북제주	55	1	도시바
군산복합	50	4	GE
	100	1	
영월복합	50	4	GE
	100	1	
울산복합	55	3	UTI
	75	1	도시바

가스터빈은 좋은 기동성으로 인해 은행, 방송국, 병원등을 대상으로 하여 비상전원용의 용도로만 1~10MW급 가스터빈의 수요가 연간 20~30대정도

예상된다.

표12. 일본의 비상전원용 가스터빈

	비상전원용	총생산량
'88	290(대)	355(대)
	253,328(KW)	1,216,351(KW)
'89	310(대)	394(대)
	245,964(KW)	2,151,593(KW)

트럭, 버스, 탱크, 중장비등의 차량용 가스터빈의 수요가 예상되는데 미국과 일본에서는 차량용 가스터빈 개발에 오래전부터 많은 연구를 수행해 왔다.

표13. 미국의 차량용 가스터빈 개발사업

사 업 명	수행기관	개발기간	개발비용
AGT(Advanced Gas Turbine) project	에너지성	'80~'87	1,000억원
ATTAP(Advanced Turbine Tech. Appli. Program)	에너지성	'87~'92	

표14. 일본의 차량용 가스터빈 개발사업

사 업 명	수행기관	개발기간	개발비용
Moonlight Project	공업기술원	'88~'96	1,000억원

## 7. 터어보 기계의 국내개발 현황

터어보 기계개발을 위해 제작 및 설계기술등이 확보되어야 한다. 터어보 기계는 고온·고압에서 작동되기 때문에 소재기술이 중요하고 고속에서 작동되기 때문에 정밀가공 기술이 필요하다. 다른 산업분야와는 달리 터어보 기계의 설계를 위해서는 오랜기간에 걸쳐 축적된 설계 know-how 및 know-why의 확보가 필요로 하며 많은 설계경험과 D/B가 요구된다.

터어보 기계 기술의 선진국은 백여년에 걸쳐 축적된 경험과 1·2차 세계대전을 통한 엄청난 개발비의 투입으로 설계 및 제작기술을 확보할 수

있었다. 국내 산업발전 추이 및 필요성에 따라 최근에 와서야 터보 기계기술 개발에 많은 관심을 갖고 많은 기업에서 개발 사업을 시작했지만 기술확보가 쉽지 않을 것으로 생각된다.

1) 스팀터빈

국내 발전소를 세계유명 터빈회사의 스팀터빈의 전시장으로 곧잘 비유되곤 한다. 미국, 일본, 프랑스, 독일등 세계유명 스팀터빈들이 국내 이곳 저곳에 모두 설치되어 있어 운영·보수유지에 많은 애로점이 있었다. 한국중공업에서는 약 15년전부터 미국 GE의 도움으로 중대형 스팀터빈의 국내제작을 시도해왔다. 지금현재 GE 설계도면에 의해 스팀터빈의 95% 이상을 국산화했다. 제작설비 및 기술을 확보했고 ASME품질 인증기술 등을 확보했다. 최근에 와서는 비슷한 모델로 영광, 울진 원자력 발전소의 스팀터빈을 제작하므로 반복적인 설계 및 제작으로 기술 자립화를 시도하고 있다.

현 수 준	애 로 점
-제작설비 및 기술확보	-설계기술 자립화 절실
-품질인증 기술 확보	-제품의 다양화 필요
-GE도면에 의한 단순제작	(현재는 대형 발전설비 중심)

2) 가스터빈

가스터빈에 관한 기술은 항공기용 가스터빈의 정비로 부터 시작하여 터보차져 제작등이 있었고 항공우주 연구소에서 소모성 소형 가스터빈을 개발했었다. 물론 국내 각 대학및 연구소에서 가스터빈관련 기초기술 개발등이 있었고 '92년에 들어오면서 국내 주요 중공업 회사에서 해외 선진기술진과 기술제휴를 통해 본격적인 개발을 시작했다. 표15에서 볼수 있는것 처럼 지금 국내에서 진행되고 있는 가스터빈 개발의 대부분은 해외 선진회사 제품의 국내조립, 극히 일부 부품 생산에 제한되고 있음을 알수 있다.

3) 국내업체의 기술개발에 따른 문제점

중대형 스팀터빈은 한국중공업을 중심으로 지난 15여년 동안에 걸쳐 GE로부터 제작기술은 확보했지만 설계기술 확보에는 많은 애로점이 있다. 그러나 만약 집중적인 투자로 설계기술이 자립화될 수 있다면 경쟁력이 있는 분야가 될수 있고 국내 경험을 토대로 해외진출도 가능할 것이다.

그림4에서 보는것과 같이 가스터빈의 개발을 시도중인 국내업체가 제작기술정도를 자립하는

표15. 가스터빈의 국내개발현황

업 체	용량(MW)	기술제휴사	개발시기	개발방법
한국중공업	20~200 (발전용)	미국GE	1993	-단순조립 -자체경비
삼성항공	1.5 (비상 발전용)	러시아	1996	-소련기술진 국내 유치 -공기반 과제
한라중공업	1.5 (비상발전용)	러시아	1993	-ROSKOR란 합작회사 건립 -소련에서 제작
	60~150 (발전용)	이태리 Nuovo Pignone 독일 Siemens 미국 Stevens	1994	-주요부품도입 조립 (Casing등 일부국내 제작)
대한항공	49 (발전용)	미국 Pratt & Whitney	1995	-공동출자



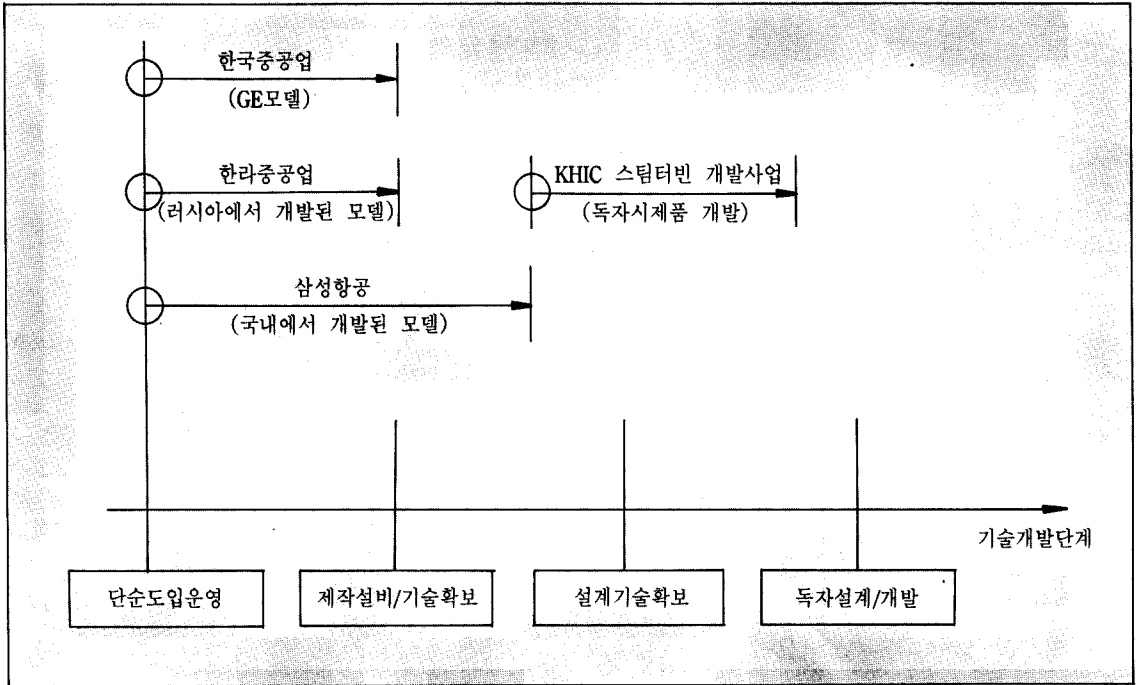


그림 4. 스팀터빈 및 가스터빈의 개발효과

데에도 약 10여년이 소요될 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 많은 국내업체가 각자 다른 해외 업체와 기술계휴를 맺어 기술을 개발하고 있기 때문에 각종 가스터빈의 전시장에 될 우려가 많음.

- i) 중복적인 기술개발 투자
- ii) 좁은 국내시장에 과다 생산
- iii) 다양한 가스터빈의 유지보수에 애로점

### 8. 앞으로의 대응 방안

터어보 기계기술의 중요성과 엄청난 파급효과는 물론 향후 국내의 시장의 큰 잠재성에도 불구하고 국내기술이 매우 낙후되어 있으므로 효과적인 대응방안이 요구된다. 그러나 터어보 기계기술 개발을 위해서 엄청난 경비 및 시간이 요구되고 또 선진국에서는 기술이전을 기피하기 때문에 효과적인 대응방안 구축에 많은 어려움이 예상된다. 그렇다고해서 국가 산업에너지 공급의 핵심기술인 터어보 기계기술을 해외기술에만 의존할 수 없기 때문에 정부의 집중적인 투자가 필요로

하고 있다. 우리나라 산업구조 및 발전추이에 따라 터어보 기계기술의 중요성을 인식한 국내 유명 중공업회사들이 전세계 유명회사들과 각각 기술계휴하여 개발을 진행하고 있기 때문에 한정된 자원과 국내시장에 비해서 체계적인 기술축적이 어렵고 과다한 경비지출 및 출혈경쟁이 예상된다.

여기에 정부의 적극적인 관심 및 지원이 필요하다. 정부는 터어보 기계기술 개발의 중요성을 인식하고 효과적인 기술개발 방안을 강구하여 그림 5에서 볼수 있는 것과 같이 관련기반 기술 및 연구인력이 확보되어 있는 연구소 및 학교에 연구비 및 시설을 지원하고, 개발업체에는 개발자금을 지원하되 연구소 및 업체간에 업무협조를 적극 유도한다. 또 정부는 개발 기업의 특성에 따라 개발영역(용량 및 용도별)을 조정하여 집중 지원하면 효과적일 것이다.

- i) 발전용(20~150MW급)
- ii) 비상발전용(1~5MW급)
- iii) 항공기용
- iv) 차량용

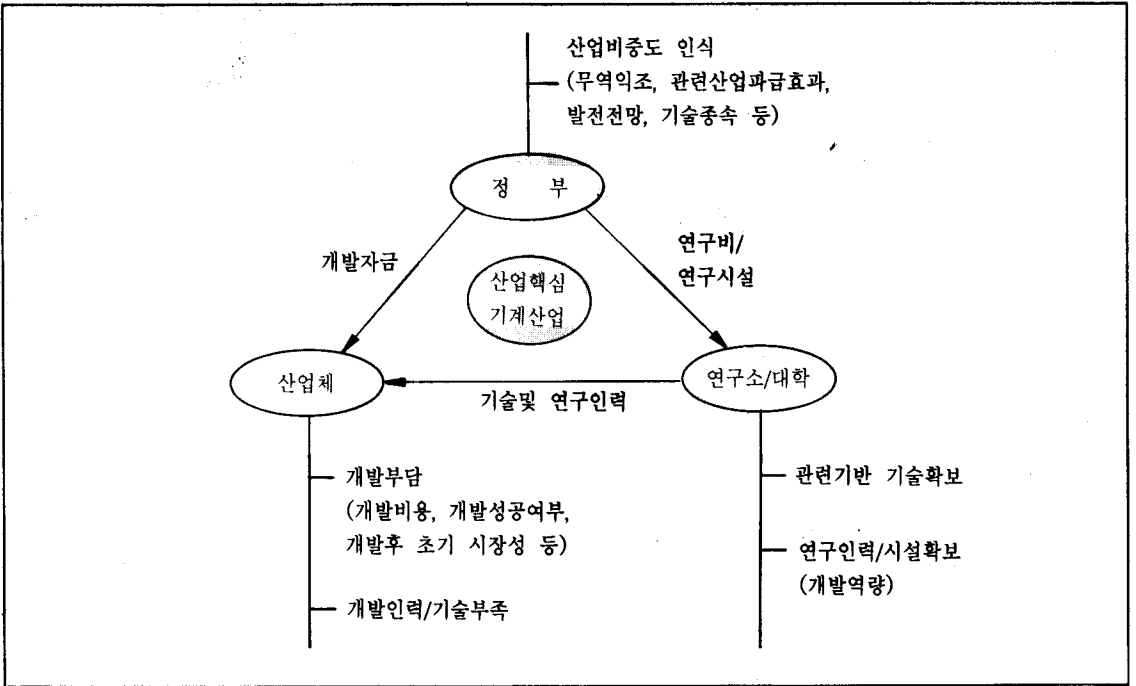


그림 5. 터어보 기계기술 개발을 위한 총체적인 개발체계

터어보기계는 국가기간 산업의 동력원이라는 점에서 반드시 기술자립이 되어야 하고 고부가 기술 집약적 분야이기 때문에 우리나라에서 적극시도해 볼만한 분야이다. 지금 국내 여러곳에서 개발을 시도하고 있지만 해외선진국은 더욱 빠른 걸음으로 우리를 앞서 가고 있다. 통상적인 개발 방법으로는 경쟁력있는 분야로 키울수 없기 때문에 획기적인 개발방법이 강구되어야 한다. 그동안 이런 저런 이유로 산학연 협조가 어려웠지만

결국 같은 배를 탄 공동체라는 의식으로 제한된 국내 연구인력 및 시설의 활용을 극대화 할 수 있는 새로운 개념의 산학연 협조가 있어야 할것이다. 새로운 개념의 획기적인 산학연 협조를 위해서 정부에서는 「협동개발 촉진법」을 준비하고 있는데 핵심기술을 개발하여 경쟁력을 키울때까지 경쟁을 지양하고 서로 협력했던 일본 기업들의 예가 우리나라에서도 더욱 큰 모습으로 이루어져야 할것이다.