

# Mashproekt 가스 터빈 소개

정 균\*

## 1. 서 론

지난 1954년에 설립된 Mashproekt사는 옛 소련의 해군용 선박추진 시스템(가스터빈+기어박스)을 개발 및 생산하여 소련 해군과 기타 각 국 해군에 공급하였다. 1980년대 말까지 가스터빈 2,600대 기어박스 2,200대 이상을 생산해 왔다. 전체 320만 운전시간, 출력 1,700만 마력이 넘는 생산량은 세계 해군 출력(가스터빈 가운테)의 33%에 해당하는 기록이다.

Mashproekt사의 추진 체계는 냉전시대 소련 해군이 사용한 적용 사례와 생산량에서 엿볼 수 있듯이 많은 장점과 독특한 기술을 가지고 있다. 특히 신뢰성, 기동성, 내구성, 효율, 공간과 무게 등 각 부문에서 탁월한 장점을 보여 주고 있다. 옛 공산권의 폐쇄성 때문에 서방 자본주의 사회와 다른 개념에서 문제를 해결한 경우가 많다. 특히 Mashproekt 가스터빈이 역전(Reversible) 가능한 가스터빈이라는 사실은 오랫동안 군사비밀로 분류되어 있어서 서방세계 어느 나라도 이 독특한 기술의 우월성을 알지 못하고 있었다. 이런 기술력을 바탕으로 러시아, 우크라이나, 인도, 독일, 그리스, 미국, 폴란드, 루마니아, 불가리아, 이란, 캐나다 등 옛 소련 방위국가에만 국한하지 않은 적용 사례를 보여주고 있다.

소련방의 해체이후 Mashproekt사는 우크라이나에 속하게 되었다.

Mashproekt사의 한국 대리인 수아상사(SOOA Corpo-

ration)는 1979년 10월 창립 이래 20년이 넘는 현재까지 방위산업 기초소재와 최첨단 선형 기술 및 설비 등을 소개해오면서 한국방위산업의 발전에 적지 않게 기여해 왔다. 특히 선박 추진용 엔진 분야에서는 국내의 특수한 군수분야 특성에 부합되는 신뢰성 있는 제품을 국내에 공급하고 있다. 이러한 제품 중 하나가 Mashproekt사에서 공급하는 가스터빈이며, 이외에 marine propulsion diesel engine (high speed, medium speed) 분야에서는 표 1과 같은 최신형 제품을 공급하고 있고, 21세기를 맞이하여 더욱 강화되고 있는 IMO 기준을 훨씬 상회하는 신뢰성 있는 제품들임을 자부한다.

수아상사는 국내 산업 발전의 기반이 되는 각종 금속, 비금속 원재료, 군용 추진 장약의 중요한 원료의 하나인 니트로구아니딘(Nitroguanidine-NQ), 트리아미노구아니딘나이트레이트(Triaminoguanidinenitrate-TAGN)를 비롯하여 기타 탄약, 화약, 추진제, 로켓의 원료와 부품 및 기술, 설비 등을 공급하고 있으며, 최근에는 독일 GIWS사의 획기적인 대전차 지능탄(SMArt<sup>®</sup>155)을 국내에 소개하고 있다.

위와 같은 오랜 방위산업 제품 공급 경험을 기초로 하여 Mashproekt사의 높은 기술력을 국내에 소개하기 위해 1997년 독점대리점 계약을 체결하여 오늘에 이르렀으며, 2000년 6월 원활한 군수지원체계(Integrated Logistic Support System)를 수립하기 위해 한국전력(주) 자회사인 한전기공(주)과 가스터빈 종합기술지원

표 1 한국 해양경찰청이 보유중인 디젤엔진의 특징

제품 구분	제품 명	적용 범위	적용 실적	특 징
고속 Diesel Engine	CRM 12, 18 Cylinder Engine	-고속 경비정 -경주용 보트 -발전기	대한민국 해양 경찰청 56대	실린더 배열이 3열인 세계 최경량 엔진. 비자성체 엔진. NOx 규제 만족 (IMO)
중속 Diesel Engine	Wärtsilä NSD W25 W26 W38	-중대형경비정 -발전기	대한민국 해양 경찰청 14대	Module화 설계 운영, 정비 비용 최저 NOx 규제 만족 (IMO)

\* 수아상사 사업부 이사  
E-mail : jktgr@sooa.com

계약을 체결하여 국내의 시장에서의 설치, 시운전, 후속기술지원 및 사후관리의 만전을 기할 수 있는 체계를 갖추었다.

이번 호를 통해 Mashproekt사를 소개할 기회가 주어지게 된 것을 매우 기쁘게 생각하며, 개괄적으로 Mashproekt 기술의 장점과 특징에 대해 설명하고자 한다.

## 2. Mashproekt 가스터빈의 기술적 특징

Mashproekt가 가진 기술적 특징을 한마디로 요약하면 뛰어난 경제성과 기동성인데, 이것은 오랫동안 해군과 연계해서 제품을 생산해온 당연한 결과일 것이다.

경제적인 측면을 보면 설계, 제작, 운영에 있어서의 경제성 뿐 만 아니라, 함께 연계되는 부품 능력을 공유함으로써 얻게 되는 2차적인 경제성까지 가지고 있다.

### 2.1 삼축 (Three shaft) 체계

Mashproekt사 가스 터빈 대부분은 저압 로터, 고압 로터, 그리고 파워 터빈 로터등 3개의 shaft로 구성돼

있다. 저압 로터는 저압 압축기와 저압 터빈이 연결돼 함께 회전하고, 고압 압축기는 고압 터빈과 함께 고압 로터에 연결돼 있다. 이런 구조는 idle부터 최대 출력까지 전구간에서 최적의 운전 조건과 낮은 운전비용을 가능하게 하고 기관의 신뢰성과 효율을 높이는 역할을 한다.

### 2.2 역전식 가스터빈

Mashproekt 가스터빈의 가장 큰 특징은 power turbine 회전 방향을 운영 중에 자유롭게 바꿀 수 있는 것이다. 회전 변경 원리는 다음과 같다.

연소실과 저압 터빈을 지나온 연소 가스는 필요에 따라 inner housing(그림 1, #2) 내부 덕트(#15)로 흐를 수 있고(정상회전), 바깥 덕트(#14)로 흐르게 할 수 있다. 유동가스를 내부 덕트로 보내는 경우 가변익(#1)은 그림처럼 유체 유동 흐름 방향으로 있어 유동 흐름을 방해하지 않고, air bypass band(#3)도 inner housing 바깥쪽을 조여 유동 가스는 내부 덕트를 흘러 3단 power turbine쪽으로 흐른다.

1. variable blade; 2. air inner housing; 3. air bypass band; 4. arms-gears; 5. reverse gear cylinder; 6. pressure pickup;
7. 8. 9. manipulator; 10. check valve; 11. compressed air system; 12. indicator unit; 13. swivelling ring; 14. astern running duct;
15. ahead running duct

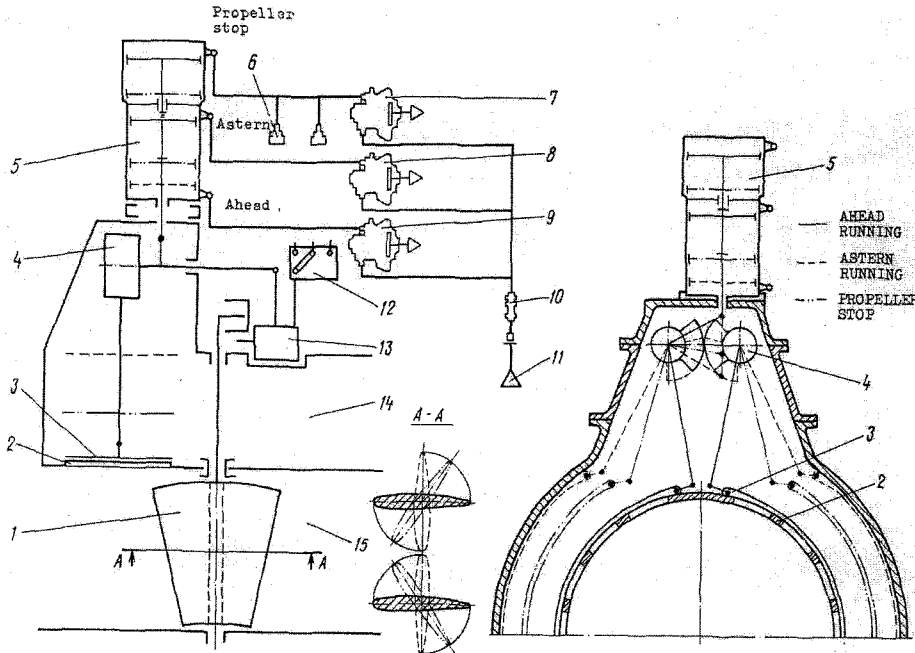


그림 1 역전식 Power 터빈 원리

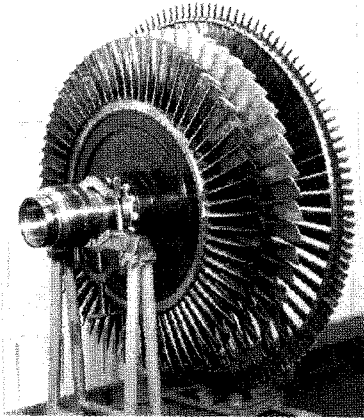


그림 2 역전식 Power 터빈

그런데 power turbine이 역전하는 경우는 그림처럼 가변익(#1)은 inner 덕트(#15)를 막고, air bypass band(#3)는 bypass housing에서 떨어져 유동 가스가 바깥 덕트(#14)로 흘러들어 가게 한다. 그러면 그림 2와 같이 마지막 단(3단) 끝에 profile이 반대인 것이 있어 역전(후진)을 하게 된다. 역전할 경우에는 최대 출력을 필요로 하지 않고, 급격한 속도변화에 따라 생길 수 있는 선체와 각종 장비의 안전을 고려해 정격의 50% 이하에서 출력을 내도록 돼 있다.

역전식 가스 터빈을 사용하면 기어 박스 구조가 간단하고 무게가 가벼워진다. 그리고 엔진을 전진에서 후진으로 변경하는데 4~6초 정도면 충분하기 때문에 (엔진 부하 감소 없이) 함정이 전속력으로 전진하다가 멈추는데 필요한 길이가 함정 전체 길이의 2~4배 거리면 충분하다. (톤수에 따라 다름)

역전식 가스 터빈은 엔진이 부하를 유지하면서 프로펠러를 정지하는 (Stop-Propeller) mode를 가질 수 있는데, 가스 유동을 그림 1처럼 가변익(#1)과 air bypass band(#3)의 각도와 높이를 조절해서 가스 유동을 윗 깃과 아랫 깃에 적절히 배분하여 power turbine이 회전하지 않게 하는 것이다.

이 모드는 특히 대잠수함 작전 때 아주 유용하다. 수중에서 프로펠러 회전 소음은 매우 크고 멀리 전파된다. 더군다나 아무리 정교한 가변 피치 타입 프로펠러(CPP)라도 프로펠러를 회전시키면서 선박을 정지 상태로 두기는 매우 어렵다. 그래서 엔진이 부하를 가진 채 선박이 정지하면서 대잠수함 작전을 하기는 쉽지 않다. 그러나 Mashproekt 가스터빈은 프로펠러 회전에 따른 소음을 없애고 가스 generator를 정격출력

의 50%로 유지하다가 필요에 따라 수초 내에 전속력으로 운전이 가능하다.

### 2.3 경제적인 추진 체계

가스 터빈은 높은 출력에서 높은 효율을 낼 수 있다. 그래서 중간 출력보다 정격에서 엔진을 주로 운영하고, 대개 출력이 낮은 엔진 (순항, 보통 디젤이나 가스터빈)과 높은 출력 엔진(주로 가스터빈)을 적절히 배열하여 연료 소비율을 줄이고 있다.

COGAG (순항용 가스터빈과 boost용 가스터빈을 최대 속도에서 함께 운용) 시스템에서 해결해야 할 가장 큰 과제도 역시 높은 효율성이다. 이런 이유로 보통 해군에서 COGAG 시스템 사용을 기피하는 경향이 있지만 이런 문제를 해결한 Mashproekt의 몇 가지 예를 보면 다음과 같다.

#### 2.3.1 M15, Molniya

M15는 450 ton급 미사일 공격함에 사용된 시스템이다. 순항 엔진은 4,500 hp 가스터빈 2개, 12,000 hp boost 엔진 2개를 설치했다. 순항 기어박스 사이에 Cross-

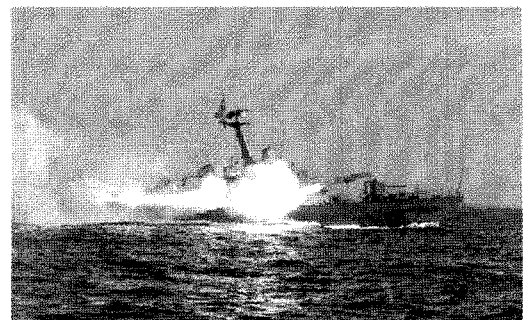
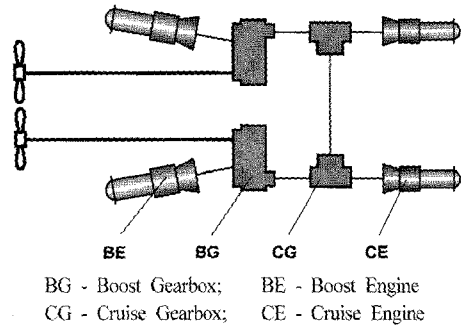


그림 3 M15 Propulsion System과 적용 함정(Missile Corvette) Molniya-2

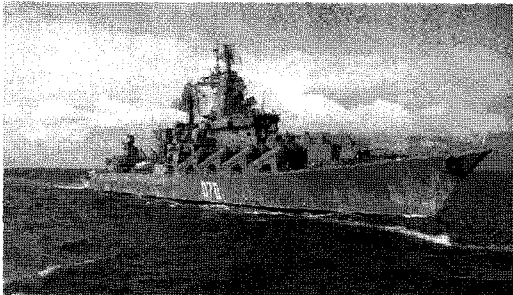
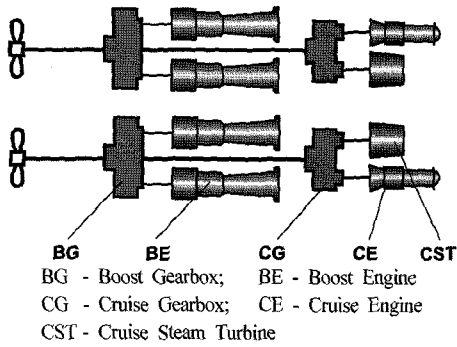


그림 4 M21 Propulsion System과 적용 함정(Missile Cruiser) Atlant

Connection-Shaft (CCS)가 있어, 평상시 1개의 가스터빈만 가동해서 2개의 프로펠러 축을 돌려주어 낮은 속도에서도 최소의 연료소모율을 가질 수 있게 한다. CCS를 위한 순항 기어 박스는 기존 기어박스에 비해 크기와 무게 차이가 거의 없다.

그리고 boost 기어박스 입력과 출력축 각도가 15° 기울어져 있어 전체적인 공간 활용을 더 높일 수 있다. 이 공격함의 최고 속도는 44노트다.

### 2.3.2 M21, Atlant

M21은 11,500 ton급 미사일 순양함에 사용된 시스템이다. 순항 엔진은 7,300 hp 가스터빈과 2,700 hp 스팀 터빈을 함께 사용해서 순항 속도에서 높은 효율을 가진다. Boost 엔진은 22,500 hp 가스터빈 2개를 사용해 110,000 hp를 낼 수 있고 최고 속도는 32.5 노트이다.

### 2.4. 다양한 적용 예

1960년대부터 소련 해군에서는 hovercraft와 hydrofoil을 제작하기 시작하였다. 이 선박은 공간과 무게 등 설치상 제약과 염분과 수분등 사용상 제약이 아주 많아 기술적으로 완벽한 가스터빈이 아니면 많은 사용 실적

을 가질 수 없다.

Mashproekt사의 수많은 적용 실적 가운데 주목할 만한 것은 500 ton급 수송선 'Zubr'이다. 이것은 11,000 hp 추진엔진 3개와, 9,000 hp 부양 엔진 2개를 이용 최고 속도 65 노트를 낼 수 있다. 그리고 1200 ton 급 미사일 corvette함 'Sivuch'는 22,000 hp 추진엔진 2개를 이용 최고 50 노트를 낼 수 있다.

70년대 초 이후에 군사용뿐 만 아니라 산업용에도 가스 터빈 적용 범위를 확대했다.

산업용, 천연가스 수송, 발전소, 등 총25,000 MW 설비와 2천3백만 운전시간의 실적을 가지고 있다. 어떤 기종은 70,000시간 동안 overhaul 없이 운전이 가능하고, 적용 지역도 시베리아, 캐나다, 아시아, 체첸 등으로 다양하다.

### 2.5 Aquarius System

1970년대 초부터 가스터빈 배출가스 내 폐열을 이용해서 스팀 터빈을 운용하는 Combined Cycle(CC)을 사용해서 simple cycle의 출력과 효율을 높였다.

1980년대 말에는 폐열회수 보일러를 이용해서 생성된 Steam을 터빈 고온부에 분사하는 방식을 사용했다. Steam injection(STIG)은 CC보다 더 높은 출력과 배기가스 저감 측면에서 많은 장점을 가지고 있다. 그렇지만 STIG 방식의 가장 큰 단점은 막대한 양의 물을 계속 공급해 줘야 한다는 것이다. 보통 1MW-h 당 0.9 ~ 1.5 ton의 물을 필요로 한다.

이런 문제점을 해결한 것이 aquarius system이다.

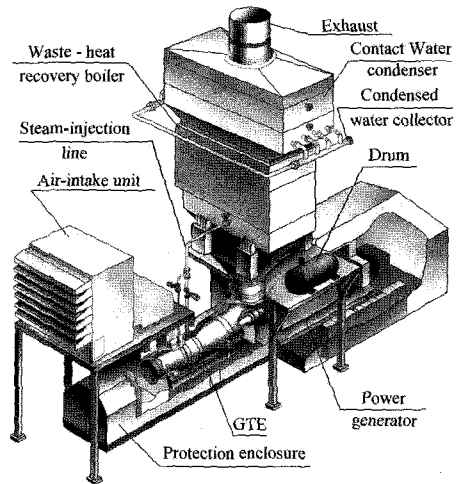


그림 5 Aquarius 시스템 개략도

표 2 Aquarius 시스템 성능 특성

모 델	정격 출력 (kW)	효 율 (%)	공기 유량 (kg/s)	증기 유량 (kg/s)	압 축 비
UGT10000	10,780	36.0	37.5	N/A	19.6
Aquarius 16	16,000	45.0	37.5	5.4	19.5
UGT 15000	17,500	35.0	71.4	N/A	19.6
Aquarius 25	25,000	43.0	64.5	8.1	17.9
UGT 25000	26,700	36.5	87.8	N/A	21.8
Aquarius 40	41,000	43.4	79.2	12.9	19.8

폐열회수 보일러를 지나 배출되는 가스 온도를 이슬점 이하로 낮춰서 수분을 회수하는 Contact Water Condenser(CWC)가 배기 덕트 바로 앞에 있다. (그림 5)

시험 가동중인 이 시스템의 물 회수율 ( $\nu$ =회수된 양/분사된 양)을 확인해 본 결과, 이론적으로 대기 온도 37 °C 이하에서는 회수율이 100 %를 넘었다.(그림 6) 회수율이 100 %를 넘으면 분사된 양보다 많은 물을 계속해서 공급받을 수 있다는 의미다. 이것은 물 공급이 부족한 지역에서 쉽게 aquarius 시스템을 사용할 수 있음을 보여준다. 더운 지방에서도 기온이 내려가는 밤에 생성된 물을 저장해 놓았다가 기온이 올라갔을 때 충분히 사용할 수도 있다.

회수되는 물의 구성을 보면

1. 터빈 내 분사된 물, 2. 연소과정에서 화학 반응, 3. 흡입공기내 습도로 이루어져 있다. 참고로 천연가스가 연소할 때 가스 1kg 당 2.25kg의 물이 생성된다.

스팀 분사는 연소실 내부와 터빈 등, 두 곳에서 주로

이뤄지는데, 연소실 내로 분사되는 스팀은 주로 NOx 조절 역할을 하고 연소실 뒤 터빈으로 분사되는 스팀은 주로 출력 증대 역할을 한다. 이렇게 해서 단순 가스 터빈에 비해 출력은 50~80 %, 효율은 25~35%를 증가시킬 수 있다.

그리고 최근 개발된 방법은 가스터빈 흡입구 쪽에 회수된 잉여 물을 분사하여 공기 습도를 높이는 방식인데, 건공기 대비 1%를 분사하면 출력이 15%까지, 그리고 2%를 분사하면 30%까지 출력을 증가시킬 수 있다. 더군다나 dry 엔진 경우보다 절반 정도의 NOx 배출 값을 나타낸다.

많은 엔지니어들이 순환하는 물에 대한 산성도 증가를 걱정했었다. 그렇지만 검사 결과 PH 6.5~6.0 이상 강한 산도를 갖지 않았으며, 배기가스에 포함된 NOx 값도 변하지 않았다.

따라서 이 시스템은 순환하는 물의 오염에 따른 특수처리 등 부가적인 공정이 필요없기 때문에, 최소한의 운영 요원만으로 유지와 보수를 할 수 있는 경제적인 시스템이다.

1. Theoretical; 2. Aquarius 25; 3. Aquarius 16

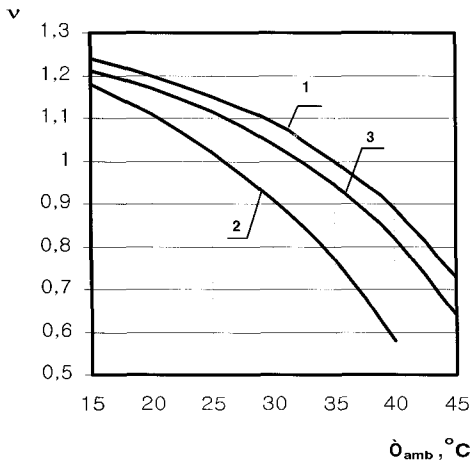


그림 6 대기 온도별 물 회수율

#### 4. 맺음말

Mashproekt는 지난 46년 동안 축적된 높은 기술력으로 까다로운 구소련 해군 요구를 만족시켰다. 위에 열거한 몇 가지 예는 많은 기술적 특징 가운데 일부분에 불과한 것이다.

Mashproekt는 터빈 입구 온도 증가, 압축비 증가, blade 냉각 시스템, 신소재, 코팅 기술, sealing 기술 개발 등을 통해 고효율의 엔진을 개발하기 위해 지금도 계속 연구 중에 있다.

다른 내연기관과 비교해서 많은 장점을 가지고 있는 가스터빈은 점점 수요가 증가 추세에 있지만 우리나라 경우 너무 서방 세계의 기술 방식에만 익숙

해 있다.

Mashproekt 가스터빈은 서방 회사의 기술 방식에 익숙한 우리들에게 공학적으로 새로운 개념을 주고 있다. 이런 상황에서 독특하고 경제적인 Mashproekt 기술과 장점을 우리가 잘 이용한다면 몇몇 선진국이 가지고 있는 가스터빈 산업의 주도권에 대해 국가 경쟁력을 높이는 좋은 계기가 될 수 있다고 확신한다.

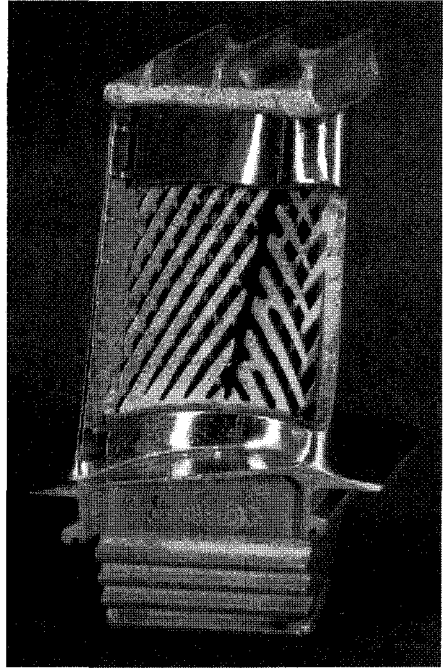


그림 7 Mashproekt 터빈 blade 단면 예