

## 분산형 마이크로터빈 열병합발전 시스템 개발

박병식, 김승우 | 한국에너지기술연구원, (주)뉴로스

## Development of Microturbine for Combined Heat and Power Generation

Byung Sik Park, Seung Woo Kim | Korea Institute of Energy Research, Neuros, Ltd. (bspark@kier.re.kr)

가스터빈을 이용하는 발전시스템 중에서 발전용량이 300kW 이하인 시스템을 마이크로터빈 발전 시스템이라 하며, 가스터빈에서 배출되는 폐열을 활용하여 열효율을 극대화시킨 것이 열병합발전 시스템이다. 마이크로터빈 열병합발전 시스템은 소형이면서 발전 및 열효율이 높고, 환경친화적인 제품 특성을 갖고 있으며, 또한 기존에 주로 사용되고 있는 천연가스 및 액체 연료 뿐만 아니라 유정이나 쓰레기 매립장 등에서 버려지는 낮은 품질의 가스도 연료로 사용할 수 있도록 하여 에너지 활용도를 높일 수 있다. 본 논문에서는 국내에서 개발중인 65kW급 마이크로터빈 열병합발전 시스템을 소개하고 현재까지의 개발현황을 정리하였다.

Abstract - Microturbine generator is the system generating electric power under 300kW using a gas turbine, and the combined heat and power generating system is recycling exhausted gas to increase thermal efficiency. Microturbine system is featured as small, efficient, and environment-friendly system, and which can also exploit wasted gases in landfill, oil and natural gas industries as well as natural gas and liquid fuel. In this paper, a domestic 65kW microturbine CHP system under development is introduced, and current status is summarized.

### 1. 서론

가스터빈 엔진은 연료를 연소시켰을 때 발생하는 고온, 고압의 가스를 이용하여 압축기와 터빈을 구동하여 고효율을 발생시키는 원동기이다. 가스터빈 엔진은 단위중량에서 발생하는 출력이 왕복엔진에 비해 월등히 높기 때문에 주로 항공기의 추진 장치로 많이 사용되어 왔으며, 지상용으로는 소형 경량화 및 고효율이 요구되는 군사용에 그 기술이 적용되고 있

다. 또한, 가스터빈 엔진은 환경오염 물질 배출이 적은 환경친화적인 원동기이기 때문에 청정화가 요구되는 발전시스템에도 채택이 되어 왔다. 대용량의 발전 시스템은 설치와 유지보수 비용이 많이 소요되기 때문에, 최근에는 상대적으로 설치가 용이하고 가격이 저렴한 소형 발전시스템에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

가스터빈을 이용하는 발전시스템 중에서 발전용량이 300 kW 이하인 시스템을 마이크로터빈 발전 시

시스템이라 하며, 가스터빈에서 배출되는 폐열을 활용하여 열효율을 극대화시킨 것이 열병합 발전 시스템이다. 마이크로 열병합 발전시스템은 마이크로 코어 엔진, 저공해 연소기, 고효율 레규퍼레이터(Recuperator), 고속 발전기 및 관련 전기기기, 그리고 열병합 주변기기 등으로 구성되어 있다. 마이크로터빈 열병합 발전시스템은 소형이면서 발전 및 열효율이 높고, 환경친화적인 제품 특성을 갖고 있으며, 또한 기존에 주로 사용되고 있는 천연가스 및 액체연료 뿐만 아니라 유정이나 쓰레기 매립장 등에서 버려지는 낮은 품질의 가스도 연료로 사용할 수 있도록 하여 에너지 활용도를 높일 수 있다. 현재 많이 사용되고 있는 소형 발전시스템은 왕복동 엔진을 이용하는 것으로서, 설치비는 낮은 반면에 유지 보수 비용이 높고 환경오염 물질을 많이 배출하는 단점을 갖고 있다. 반면에, 마이크로터빈을 사용하는 발전시스템은 터보기기의 특성상 초기 설치비는 높지만, 유지 보수가 거의 필요 없고, 또 갈수록 엄격해지는 환경규제

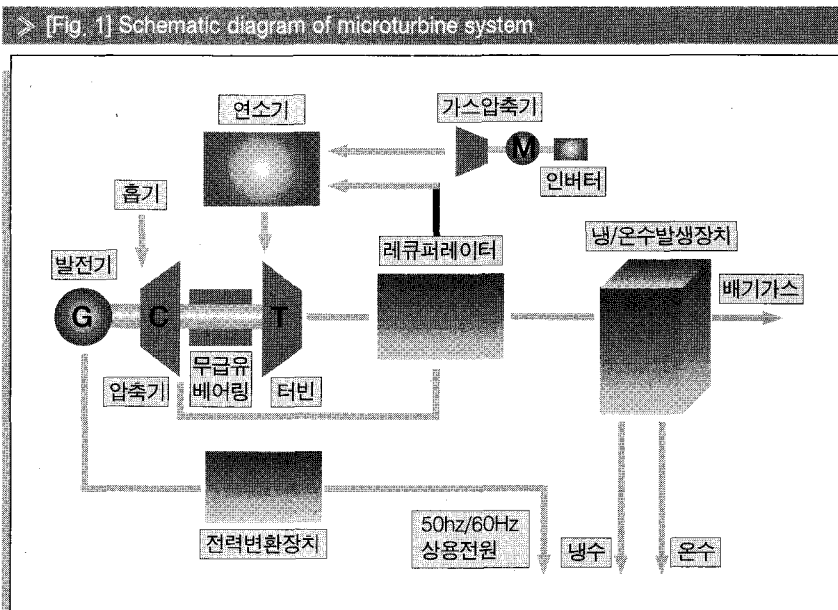
에 적극적으로 대응할 수 있으므로, 성장 잠재력이 풍부한 차세대 분산형 열병합 발전시스템이다.

여기서는 현재 산업자원부 중대형 연구개발 사업으로 진행되고 있는 분산형 마이크로터빈 열병합발전 시스템의 개발에 대한 것을 간단히 소개하고자 한다. 이 연구사업은 1단계 3년의 기본 기술개발과 2단계 3년의 현장적용기술 및 상품화의 총 6년을 예정하고 있으며, 후술하는 바와 같이 마이크로터빈 코어, 저공해 연소기, 발전기 및 전기변환장치 그리고

배열회수장치들에 대한 연구개발내용으로 구성되어 있다. 이 연구사업은 1개의 벤처기업과 3개의 정부 출연연구원이 세부과제를 책임지고 이끌고 있으며 대학교 산업계 등 기타 여러 기관이 참여기업이나 위탁연구기관으로 공동연구를 수행하고 있다.

## 2. 본론

### 가. 마이크로터빈 열병합발전 시스템 구성



마이크로터빈 열병합발전 시스템은 [Fig. 1]에서 볼 수 있는 바와 같이, 크게 축 동력을 발생시키는 엔진 부분과 축 동력을 전기 출력으로 변환하는 발전기 및 전력 제어기로 이루어져 있다. 엔진은 압축기, 연소기, 터빈, 열 교환기, 그리고 Inlet, Transition 및 Exhaust Duct들을 주요 구성 요소로 한다. 대부분의 마이크로터빈 시스템에 있어 이러한 구성 요소들은 공통적이거나 이들의 형식과 특히 공간 배치는 매우 다양하다. 그러한 다양성은 연소기 및 열 교환기

의 배치에서 비롯되는 것으로 크게 Wrap-Around Type과 Add-On Type으로 구분된다.

Wrap-Around Type에서는 환형의 연소기와 열 교환기를 압축기 및 터빈으로 구성된 회전체의 외부에 감싸는 형태로 배치한다. 이러한 배치는 공간 절약 효과가 있어 소형화를 구현할 수 있는 대신 정비성이 떨어진다는 단점이 있다. Add-On Type에서는 연소기와 열 교환기를 독립된 별도의 구성 요소로 하여 회전체 외부에 추가하는 형태로 배치한다. 이 형식은 정비성이 우수한 대신, 연소기 및 열 교환기 입, 출구로 연결되는 Transition Duct의 길이가 증가하므로 상대적으로 압력 손실이 크고 전체 시스템이 다소 커진다는 단점이 있다.

#### 나. 기술 현황

가스터빈을 이용한 소형 열병합 발전시스템에 대한 연구는 국내,외에서 이미 오래 전부터 관심의 대상이 되어왔다. 하지만, 상품성이 있는 고효율의 열병합 발전시스템에 대한 연구성과는 최근에 와서 확보되기 시작했으며, 꾸준히 연구개발을 진행해 온 선진 개발업체들도 불과 몇 년 전부터 제품을 출시하여 이제 막 시장을 형성하고 있는 상황이다. 국내의 경우, 일부 산업체에서 공기반 과제로 1.2 MW급의 산업 발전용 소형 산업용 가스터빈 엔진의 시제기를 개발한 경험이 있고 100 kW급의 보조동력장치(APU, Auxiliary Power Unit)가 개발되고 있다. 한국항공우주 연구원에서는 소형 산업용 가스터빈엔진 개발 사업과 항공기용 환경 제어 장치(ECS, Environmental Control System) 개발 사업을 통하여 연소기, 압축기 성능시험 장치를 확보하여 기초적인 성능 평가 기술을 구축하고 있다. 또한 한국기계 연구원에서 75 kW급 터보제너레이터 개발을 추진한 경험이 있다. 지난 2002년에는 산업자원부(에너지관

리공단)의 에너지 절약기술개발 사업의 일환으로 시작된 분산형 마이크로터빈 열병합 발전시스템 개발 과제를 통하여 선진사 제품과 경쟁할 수 있는 고효율의 환경친화적인 열병합 발전시스템이 개발되고 있는 중이다.

1998년 미국의 Capstone사가 30 kW급 마이크로터빈을 이용한 발전시스템을 세계 최초로 상용화함으로써 새로운 시장을 개척한 이래 아래의 표에서 볼 수 있듯이 여러 개의 선진 업체가 30 ~ 250 kW급까지 다양한 모델을 개발하여 시장 진입을 시도하고 있다. 현재 개발 또는 판매되고 있는 마이크로터빈 시스템은 전력생산을 위한 Genset으로서 뿐만 아니라 Cogen 형태로 개발되어 소형 건물과 공장 등을 위한 소규모 열병합 시스템 구성이 가능하도록 되어 있다. 또한 기존 제품과의 차별성을 부각시키기 위해서 소형화와 더불어 배기가스의 오염물질 배출량을 줄이고 시스템의 신뢰도 및 수명을 증가시킴으로써 유지보수 비용을 절감할 수 있도록 많은 노력을 기울이고 있다.

그러나, 마이크로터빈 열병합 발전시스템 시장은 새롭게 개척되는 신규시장이라기 보다는 기존 제품을 대체하는 성격이 강하므로, 각국의 환경오염 물질 규제에 대한 진행 속도와 발전연료 가격 대비 전기료 수준, 그리고 개발 제품의 신뢰도 등에 의해서 마이크로터빈 시스템의 수요는 많은 영향을 받을 수밖에 없다. 따라서, 미래의 분산형 열병합 발전시스템으로서의 높은 성장 잠재력에도 불구하고 아직은 시장 형성의 초기 단계에 머물고 있는 실정이므로, 다소 늦게 개발에 착수한 우리로서는 현재 진행중인 개발과제가 성공적으로 마무리될 경우에 국제 경쟁에도 적극적으로 참여할 수 있을 것으로 기대된다.

<Table 1>에는 현재 국내에서 개발되고 있는 마이크로터빈 시스템을 함께 정리하였는데, 전체적으로 국제 경쟁력을 갖도록 설계되었다.

Table 1) Comparison of microturbine systems

구분	Capstone	IR	Elliot	Turbec	Neuros*
출력 (kW)	30, 60	70, 250	100	100	65
발전효율	27	29	29	30	28
Emission(ppm)	9	9	24	15	10
수명 (hrs)	40,000	80,000		30,000	30,000
베어링	공기	오일	오일	오일	공기

**다. 국내 개발 계획**

현재 국내에서는 산자부 산하의 에너지 관리공단 사업의 일환으로, 뉴로스(주)를 비롯한 국내업체와 항공우주연구원, 전기연구원, 에너지기술연구원 등의 국내기관이 참여하여 마이크로터빈을 이용한 65kW급의 분산형 열병합 발전시스템을 개발하고 있다. 이 과제는 6년간의 개발기간을 통하여 국제 수준의 경쟁력을 확보할 수 있는 저비용, 고효율의 열병합 마이크로터빈 발전시스템을 개발하는 것으로서, 관련기관이 담당하고 있는 기술 개발 분야는 아래와 같다.

- (주)뉴로스 : 과제총괄 및 마이크로터빈 코어 개발

연료를 이용하여 발전을 하는 장치로서, 높은 효율, 저공해, 장수명 및 무보수의 특징을 가지면서도 간단한 구조를 채택하여 싼 가격에 공급할 수 있어야 한다.

- 한국항공우주연구원 : 마이크로터빈 용 저공해 연소기 개발

환경문제에 효율적으로 대처할 수 있도록 공해물질의 배출을 최소화할 수 있는 저공해 연소기 개발이 필수적이다.

- 한국전기연구원 : 마이크로터빈용 고속 발전기 및 전기관련 기기 개발

고속발전기 개발과 안정적인 상용 전력공급이 가능해야 한다

- 한국에너지기술연구원 : 마이크로터빈 열병합 발전시스템 최적화 및 현장적용기술 개발

마이크로터빈 코아에서 발생하는 폐열을 회수하여 냉/난방에 활용함으로써 전체 에너지 효율을 높이고, 소음저감 및 외관 디자인을 통하여 상품 가치를 높인다.

1단계 3년 동안에는 냉난방 겸용 65kW급 마이크로터빈 열병합 발전 시스템 시제 개발 및 성능 확인이 목표이며, 2단계에서는 시제품 개발을 통하여 드러난 문제점을 보완함으로써 시스템의 내구성 및 신뢰도를 확보하고, 양산 개발 체제를 구축하는 것이 목표이다.

1단계 3차년도에 해당하는 올해에는 그 동안 수행되었던 주요 구성품의 성능시험 결과를 바탕으로 전체 마이크로터빈 열병합 발전시스템에 대한 성능 평가를 준비하고 있다. [Fig. 2]에는 마이크로터빈 발전시스템의 단면도를 나타내었는데, 공기베어링과 저 NOx 연소기를 채택하고 있는 마이크로 가스터빈에 고속발전기가 직접 연결되어 있으며, 열효율 증대

를 위한 레규퍼레이터가 터빈 출구에 장착되어 압축기로 들어가는 공기와 열교환을 하도록 구성되어 있다.

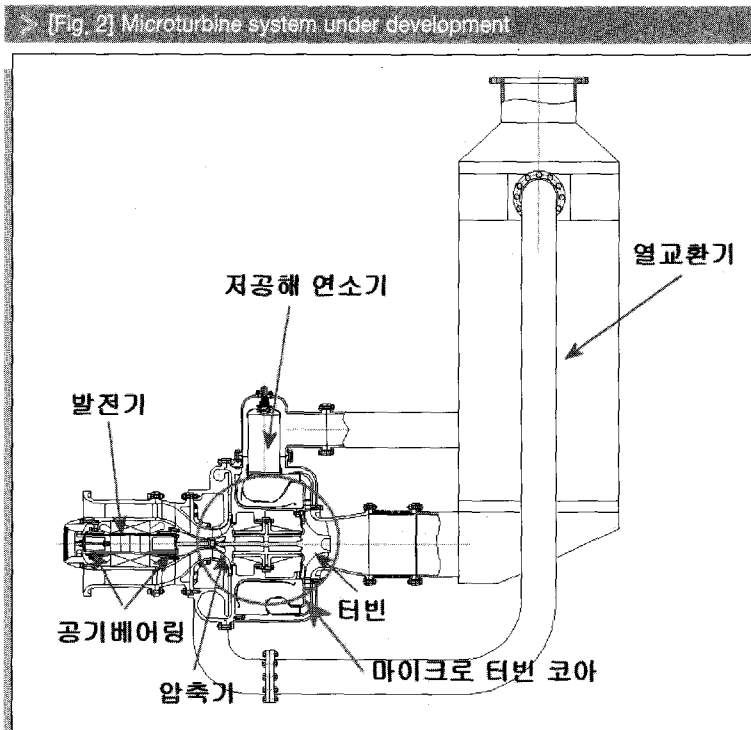
마이크로터빈 코어는 전체 발전시스템에서 회전동력을 발생시키는 장치로서, 압축기, 터빈 및 로터/베어링으로 구성되어 있다. 마이크로터빈 코어는 열효율이 높고, 장시간 운용이 가능해야 하며, 청정에너

지원에 적합한 무급유 베어링을 사용하여야 한다. 뿐만 아니라, 경제성이 있어야 하므로 구조가 간단하고, 제작 및 조립이 용이하며, 유지보수 비용이 적게 소요되어야 하는 요구조건을 만족시켜야 한다.

65kW급의 분산 열병합 발전용으로 사용될 때의 주요 설계 사양은 <Table 3>과 같다. 이 요구 사양을 만족시키기 위해서는 개발에서 양산에 이르기까지

예상되는 모든 불확실한 요소들을 설계 초기부터 미리 고려하여야 한다. 양산 단계에서 나타나는 품질 관련 불확실성 정도는 제작사의 품질 관리 능력에 따라 다른데 국내의 동급 가스 터빈 엔진 양산 경험에 근거할 때, 이로 인한 성능 변동은 3% 수준이다.

지금까지 압축기, 고속발전기와 저 NOx 연소기, 고온 공기베어링, 레규퍼레이터 등 주요 구성품에 대한 성능시험이 완료되었으며, 현재는 마이크로터빈에 대한 엔진 성능시험이 진행 중이다. 엔진에 대한 성능시험이 수행되고 난 후에는 전력변환장치를 사용한 전력 Grid 연계시험과 폐열 회수를 통한 열병합시험 통합시험을



> (Table 3) Specification of microturbine

구분	사양	비고
전기 출력	65kWe	
전기 효율	28.5%	Recuperator 장착한 경우
열병합 효율	75% 이상	
사용 연료	기체 연료 및 액체 연료	
수명	30,000시간 이상	Ovehaul 기준
Nox Emission	10ppm 이하	천연 가스, 15% O2 기준
소음	65dB @10m	
가격	1,000천원/kW	평가 기준

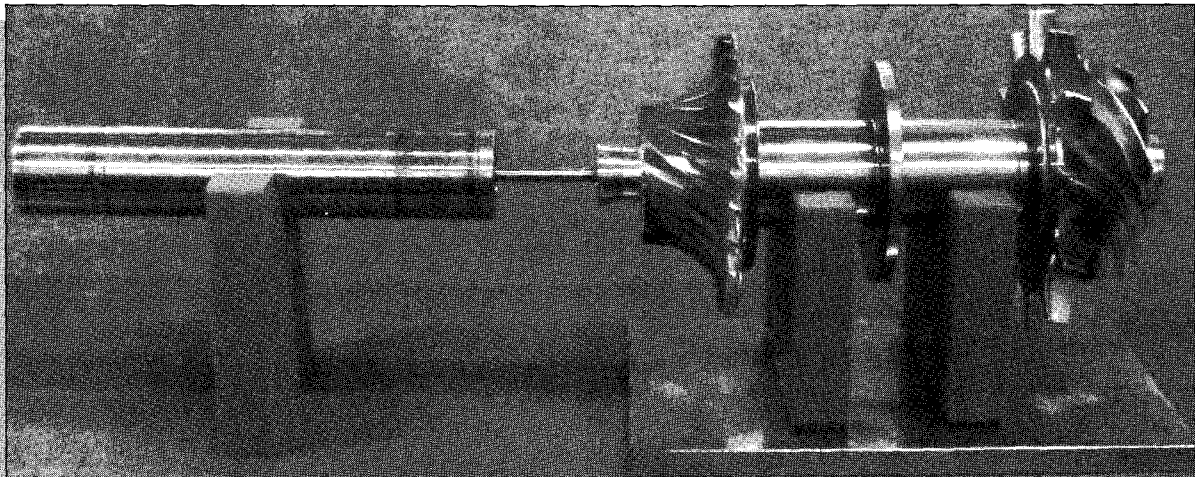
진행할 예정이다.

[Fig. 3]에는 본 연구의 총괄주관기관이자 마이크로터빈 코어 설계 담당인 (주)뉴로스가 설계 제작한 마이크로터빈 로터 이셈블리를 나타내었으며, [Fig. 4]에는 효과적인 배기가스 열회수를 위해 한국에너지기술연구원과 (주)경동보일러가 연구사업 1, 2차년도에 공동 개발한 배기가스 열회수장치인 온수발생기와 냉수발생기를 나타내었다.

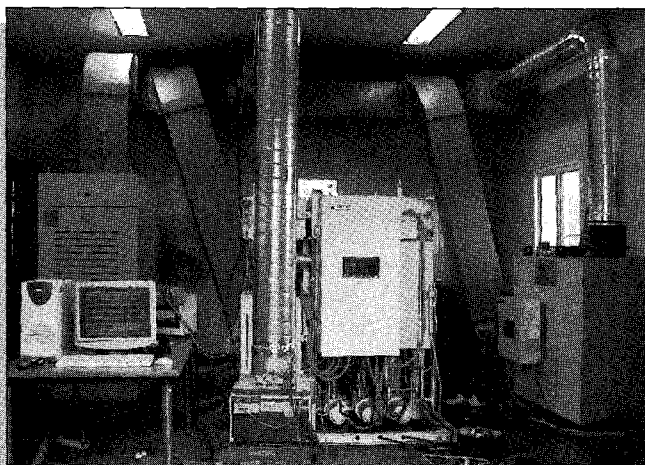
### 3. 결론

차세대 분산형 열병합 발전시스템으로 주목받고 있는 마이크로터빈 시스템에 대한 소개와 국내에서 개발중인 65kW급 마이크로터빈 열병합발전 시스템의 사업 진행 현황을 요약하였다. 본 사업은 선진사 제품과 경쟁할 수 있는 고효율의 환경친화적인 열병합 발전시스템의 개발이라는 목표와 함께, 국내에 산재되어 있던 가스터빈 관련 기술 및 인프라를 적극 활용하고, 그 수준을 한 단계 올릴 수 있는 계기가 될

> [Fig. 3] Rotor assembly of microturbine



> [Fig. 4] Absorption Chiller and Hot Water Generator



것으로 기대된다. 올해는 전체 6년 동안의 개발 과정 중에서 1단계 3차년도에 해당하는 개발 년도로서, 그 동안 수행되었던 주요 구성품의 성능시험 결과를 바탕으로 전체 마이크로터빈 열병합 발전시스템에 대한 성능시험을 완료할 예정이며, 현재는 엔진에 대한 성능시험이 진행 중이다.