

# 마이크로터빈 분산발전 시스템의 시장 동향 및 국내 적용 검토

이 글에서는 최근 전 세계적으로 시장규모가 커지고 있는 마이크로터빈 분산형 발전시스템의 시장 동향 및 국내 주요 적용 분야에 대하여 고찰해 보고자 한다.

✉ 길 준 석 / 삼성물산 프로젝트 사업부, 대리

e-mail : joonsuki@samsung.com

## 분산형발전 시스템 시장 동향

분산형발전 시스템에는 마이크로 터빈뿐 아니라 가스엔진, 디젤엔진, 연료전지, 태양광 등 다양한 시스템이 있다. 2004년 말 기준 분산형발전 시스템은 전 세계 발전시장의 7.2%를 차지했으며, 이는 2002년의 7% 대비 약간의 점유율 성장을 기록했다(World Survey of Decentralized Energy 2005 by WADE). 비록 급격히 성장을 하고 있지는 않지만, 시장규모는 서서히 커져가고 있으며, 국가별로 다양한 편차를 나타내고 있다. 지난 2년간 전 세계적으로 약 32.2GW 규모의 분산형 발전시스템이 신설되었으며, 이중 대부분이 열병합이었다.

미국의 경우 2002년까지는 분산형발전 시장이 급격히 성장을 하였으나, 높은 가스단가와 지속적인 정부규제가 남아있어 성장률이 상당히 줄어들었으며, 2004년의 성장률은 최근 6년간 성장률 중 가장 낮은 지표로 보였다. 유럽의 경우 지난 5년간 별다른 변화를 보이지 않았으나 최근에 높아진 전기단가와 새로이 시작된 EU의 배출가스 거래 계획 및 열병합

시장 확대 움직임으로 조금씩 활발한 모습을 보여주고 있다.

일본의 경우 '05년 4월 기준 총 설치용량 7,955MW(한국은 05. 6. 기준 118MW)에 이르며 원동기별 분포를 보면 용량을 기준으로 가스엔진 15%, 가스터빈 44%, 디젤엔진 41%(한국은 용량기준 가스터빈10%)을 점유하고 있다. 또한 일본은 '03년 에너지 기본계획 발표에 따라 열병합 분야를 신재생에너지 분야에 포함하여 지원하고 있으며, 향후 마이크로터빈을 포함한 분산형발전 시장이 확대될 것으로 전망되고 연료전지 마이크로터빈 하이브리드 시스템의 개발 및 보급 확대가 이루어질 것으로 예상된다. 그 외 브라질과 같은 저개발국, 가장 잠재적인 시장인 중국 등에서는 최근의 전력 수요의 급격한 증가에 따라 분산형발전 시스템에 대한 정부적 관심과 다양한 다국적기업들의 진입이 활발해지고 있다.

## 마이크로터빈 시장 동향

전 세계적으로 마이크로터빈은 Capstone Turbine Corporation, Ebara(Elliot 인수), ABB(Turbec), Bowman Power System, Ingersoll Rand(IR), GE, 도요타 등에 의해 생산 및 연구가 진행되고 있다.

Capstone 사의 경우 1998년 세계 최초로 30kW급 마이크로터빈을 상용화한 이후 현재 30, 60kW급 두 모델을 중심으로 900만 누적 운전시간을 돌파하고 있다. Compaq Computer의 설립

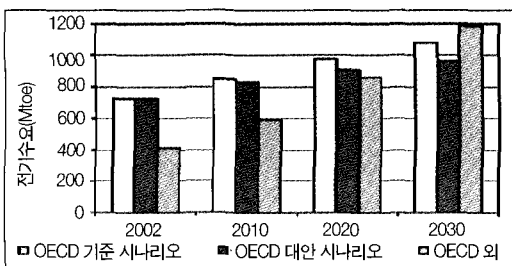


그림 1 OECD 및 비OECD 국가 전력 수요증가 예상(IEA, 2004)

자인 벤 로슨이 자금주이기도 했던 Capstone 사는 초기 차량용 터빈 생산의 아이디어를 바탕으로 제품을 개발, 생산하였다. 현재 3,000기 이상을 북미, 일본 및 유럽시장을 중심으로 판매하였으며, 전 세계 마이크로터빈 시장의 약 85%를 점유하고 있다. 초창기 2000년도 6월 주식 공개를 통해 주당 90불까지 가기도 하였으나, 급격한 버블 붕괴와 가격, 시장 규제 등에 따른 판매부진 등으로 인해 주당 2불까지 떨어졌었다. 이는 다른 신기술업체인 Ballard Power Systems(연료전지), Plug Power(연료전지) 및 Active Power(마이크로터빈) 등에게도 비슷한 패턴으로 나타났다. 하지만, 최근에 뉴욕에서 Capstone 사 제품을 설치하는 데 필요한 인허가 과정을 간소화하는 MEA(Material Equipment Acceptance) 적용대상으로 분산형발전 시스템 중 최초 등록되었으며, 중국시장에서의 가스공급사인 Shanghai Aerospace Energy와의 파트너십, 멕시코 정부와의 1.5MW 급 물량 공급계약 등 시장에서 활발한 활동을 보이고 있어서 회사 가치의 향상이 다시금 이루어지고 있다. 또한 가까운 일본에도 700여 기(열병합 부문은 약 400여 기) 이상이 상용 운전 중에 있으며, 스미토모-메이덴샤 컨소시엄, 타쿠마, 미쓰비시, Active Technology(구 Active Power) 등이 주요 파트너이다. Capstone 사 제품의 주요 특성은 에어베어링 기술과 Solar Turbine에서 인수한 Recuperator 기술을 바탕으로 한 유지보수의 간편성과 효율의 증가를 들 수 있다.

IR(IngersollRand)의 경우 Capstone 사 외 마이크로터빈 사업을 추진하는 주요 경쟁업체로서 막강한 자금력과 규모를 강점이라 할 수 있다. 기존 2MW급 KG2 모델을 기반으로 250kW급 마이크로터빈을 개발하였으며, 2004년 말 북미지역에 400여 대를 판매하였고 그해 아시아 시장을 주요 타겟으로 삼기 시작하였다. 2004년도 1억불 정도 마이크로터빈에만 투자

하였을 정도로 적극적이었으나, 기어박스를 채택한 2축형 터빈의 소형화 설계에서 진동문제로 인한 결함이 발견되어 초창기 상당한 어려움을 겪기도 하였다. 하지만, 바이오 가스분야 등 다양한 Application에서 경쟁사 대비 장기간의 Warranty를 제공하는 등 공격적인 마케팅을 강화하고 있고 제품의 초기 문제점도 상당히 개선되었다. Capstone 사 제품과의 공통점은 둘 다 Solar 사의 Recuperator 기술을 적용하고 있으며, 차이점은 각각 단축형과 2축형 터빈 샤프트 적용 및 에어베어링, 오일베어링 등의 사용 등이다.

그 외 ABB 사의 Turbec, Bowman, Ebara 등이 대표적이며 유지보수의 장점을 극대화하기 위한 마그네틱 베어링을 적용한 마이크로터빈의 연구 등을 공동으로 진행하고 있다. 일본의 도요타 제품의 경우 초창기 보급이 어느 정도 이루어졌으나 지금현재 미미한 상황을 보이고 있으며, GE의 경우도 에어베어링 기술을 Honeywell에서 구입하였으나 활동은 아주 미미한 상태이다.

마이크로터빈 한국 시장

Capstone 사 제품의 경우 국내 시장에 60kW 급 모델이 2002년 말 에너지기술연구원에서 처음으로 도입한 것을 시작으로 한전 전력연구원, 한국가스공사연구소 등 총 6기가 연구소 및 대학교 등을 위주로 시범 설치가 되어있다. 그리고 향후 1년 내에 약 2MW급의 30kW, 60kW급 모델이 아파트, 백화점, 병원 및 바이오가스이용 발전 시설 등에 설

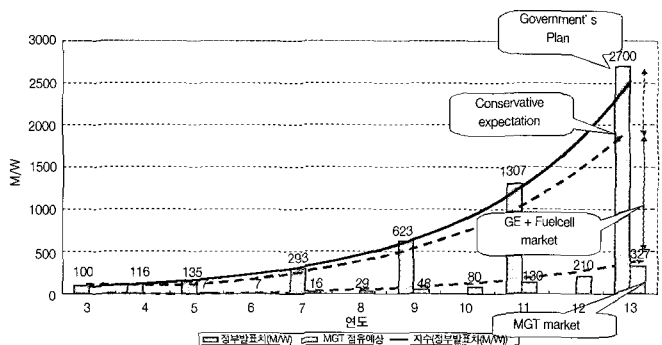


그림 2 국내 열병합 시장 예측(05년 1월 기준)

치될 예정으로 국내 시장에 순조롭게 진입하고 있다. 그 외 Bowman, IR 등의 제품도 국내 진입을 위해 여러 마케팅 망을 구축하고 있는 중에 있다.

그림 3은 정부의 열병합 시장 목표치와 여러 외부 환경 변수를 고려한 마이크로터빈(MGT)의 시장전망을 나타낸 그래프이다. 정부의 2013년도 270만kW 보급 목표 달성을 위해서는 정부규제의 완화, 지원제도 강화를 통해 일반기업들의 지속적인 참여를 유도할 수 있는 매력있는 시장을 형성해야 하는 많은 과제가 있다.

### 마이크로터빈 적용성 평가

본 단원에서는 국내에 새롭게 보급이 시작되고 있는 Capstone 사 마이크로터빈 제품의 일반적 기술적 특성과 국내 적용 검토사례를 바탕으로 다루고자 한다.

#### 마이크로터빈 주요 특성

마이크로터빈은 응용범위가 넓고, 배기가스 배출이 적고, 유지보수 비용이 적게 드는 발전시스템이다. 터빈 운동방식의 초고속 회전 발전기는 디지털 전력(digital power)과 연계하여 고품질의 전력을 생산할 수 있으며, 다양한 분야에 응용이 가능하다. 고유 설계를 통해 기존 전력과 연계하여 운용됨으로써 에너지 비용을 최적화할 뿐만 아니라 기존 전력이 공급되지 못하는 지역에서 주 전력을 공급하는 역할을 할 수도 있다. 또한, 마이크로터빈은 자립운

전(stand-alone) 형태로서 대기(stand-by), 백업, 원격지 전력공급원의 역할을 할 수도 있고, MultiPac이라는 이름으로 여러 개의 마이크로터빈을 결합하여 하나의 전력원으로 사용할 수도 있다.

#### Key features

- 에어베어링의 사용 : 오일 윤활 시스템의 불필요
- 공랭식으로 전체 시스템(터빈과 컨트롤러) 설계 : 외부 냉각탑 등이 필요하지 않음
- NOx 배출 최소화(9ppm 이하 @ 18% O<sub>2</sub>)
- 레큐퍼레이터(재생열교환기)로 인한 발전 효율 증가(약 10% 이상)

#### 마이크로터빈 엔진

마이크로터빈 엔진은 컴프레서, 연소기, 터빈, 발전기 그리고 레큐퍼레이터를 포함한 연소 터빈이다. 하나의 샤프트에 연결된 회전자는 특히 기술의 에어베어링의 지지를 받으며 96,000rpm까지 회전을 하며, 영구자석 타입 발전기는 공랭 방식으로 냉각된다. 출력되는 전기는 VVVF(Variable Voltage, Variable Frequency) AC타입이며, 발전기는 시동을 걸 때와 클다운시 모터로도 사용되는 동기 발전기가 사용된다.

#### 컨트롤러

디지털 전력전자시스템(digital power electronics) 마이크로터빈 시스템 및 모든 서버 시스템의 운영을 통제한다. 디지털 전력전자시스템은 발전기에서 생성된 VF(Variable Voltage) AC 전기를 DC 전압으로 바꾼 다음 다시 CF(Constant Frequency) AC전력으로 바꿔준다. 시동을 걸 때 디지털 전력전자시스템은 마이크로터빈이 점화될 때까지와 마이크로터빈에서 나오는 전력이 이용 가능한 단계가 될 때까지 VF 드라이브와 발전기의 모터의 역할을 수행하게 된다. 클다운시에도 디지털 전력전자시스템은 시스템 내 부품들을 보호하기 위해 레큐퍼레이터에 잔류하는 열이 제거될 때까지 드라이브의 역할을 하게 된다.

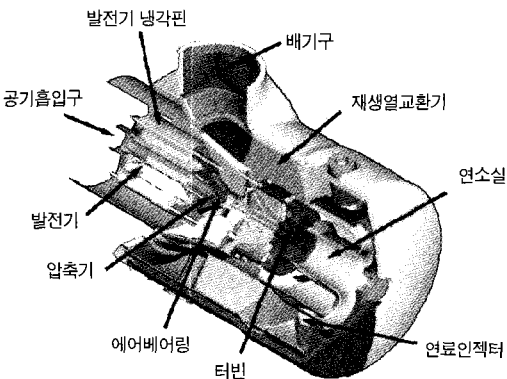


그림 3 Capstone 사 C60 HPNG 모델 엔진 구성

**에어베어링**

마이크로터빈은 높은 신뢰성, 적은 유지보수, 그리고 안전한 운전을 위해 가스포일베어링(에어베어링)을 사용하고 있다. 이는 필요한 부품 수를 줄여주고 회전부위에 액상 윤활제를 사용할 필요가 없도록 하며, 마이크로터빈이 운동 중일 때 가스필름은 샤프트를 베어링으로부터 분리시켜 이들이 마모되는 것을 막아준다.

**연료시스템**

마이크로터빈은 넓은 범위의 승인된 탄화수소(hydrocarbon)계열의 가스 또는 액체연료를 효율적으로 사용할 수 있다. 내장된 연료 공급, 제어시스템을 가지고 있으며, 표준시스템은 고압의 탄화수소계열의 가스연료에 맞게 설계되었다. 다른 모델은 저압 가스연료, 저발열량을 가진 가스연료, 부식성분을 포함한 가스연료, 바이오가스(매립지와 Digester가스), 그리고 액체연료를 사용할 수 있다.

**배기가스(emissions)**

Capstone 사의 마이크로터빈은 매우 안전한 배기가스를 배출하도록 설계되어있다. 배기가스는 아주 낮은 수준의 공기 오염 성분을 포함한 청정하고 산소를 많이 포함(약 18% O<sub>2</sub>)하고 있다. 다른 모든 화석연료 연소 기술과 마찬가지로 마이크로터빈도 유해한(이산화질소, 일산화탄소와 같은) 배기가스를 생산할 수도 있다. 하지만 마이크로터빈은 아주 청정한 수준의 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO)를 배출한다.

**적용성 검토**

마이크로터빈은 기존의 가스엔진을 이용한 열병합 시스템과 시장에서 경쟁관계에 있으나, 시스템 고유의 기술적 특성과 환경적인 장점으로 인해 고급 신축 아파트, 주상복합 위주로 국내의 대형건설사를 통해

보급이 이루어지고 있다. 국내 한 주상복합을 마이크 로터빈을 이용하여 경제성을 검토한 사례를 한번 살펴 보도록 하자.

1) 시스템 구성

발전기의 운영은 계통연계 상태로 운전이 이루어 지며 위와 같이 일반적으로 기존 Grid망에 연결된다. 별도의 비상발전기능, 무정전기능 등이 필요할 경우 그에 맞도록 모델 또는 시스템(UPS 등)을 선정한다.

2) 최적 용량 선정

발전기의 도입시 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 가장 적절한 용량을 선정하여 불필요한 과잉 투자 또는 에너지 예상 절감액의 손실을 막을 수 있도록 해야 한다. 일반적으로 에너지 요금은 크게 전기와 열에너지 요금으로 구성된다. 국내 전기요금제의 특성은 크게 비선형적인 요금(누진제적용)과 선형적인 요금(일반 요금) 체계로 이루어져 있다. 즉, 일반요금을 채택한 대다수의 산업체, 오피스건물, 병원 등의 시설은 전기로 인한 사용가의 이익이 발전기의 전력 생산량에 비례하여 증가한다. 반면, 아파트와 같은 주택용 전력을 채택한 시설은 발전기의 전력 생산량에 비례하지가 않다. 이는 발전기 전력생산량에 비례하여 사용 연료량과 기타 운영비용이 증가하기 때문이다. 다음은 Chart는 아파트와 같은 비선형적인 시설에 적정 용량을 선정하는 과정을 설명해 준다.

그림 6은 발전기 용량 변화에 따른 투자 회수기간

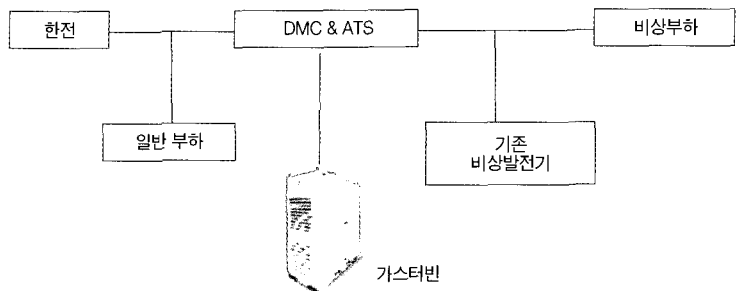


그림 4 전력 계통 구성 개념도

및 순현재가(NPV)의 변화를 나타낸다. 위에서 보듯 NPV 최고점인 A 지점과 투자 회수기간 최소점인 B 지점에 해당하는 발전기 용량이 다름을 알 수 있다. 일반적으로 투자 회수기간이 짧을수록 좋을 것으로 인식되나, 일정기간 운영을 해야 하는 발전기의 특성상 사용자에게 최대의 이익을 줄 수 있는, 즉 순현재가가 가장 높은 A지점에 해당하는 발전기의 용량을 선정하는 것이 옳다. 이러한 순현재가 분석을 제대로 활용하기 위해서는 대용량 발전기보다 작은 용량의 마이크로터빈으로 최적의 용량을 선정하는 방식이 유리하다.

### 3) 절감액 시뮬레이션

마이크로터빈의 적정용량이 선정되면, 사용자는 향후 전기 및 가스와 같은 에너지 단가의 변화에 따른 절감액을 그림 5와 같이 시뮬레이션 할 수 있다. 지난 5년간 전기요금은 18%정도 상승했고, 도시가스 요금은 20% 정도 상승하였으며, 향후 열병합용 도시가스 요금의 인상률이 정책적으로 전기요금 인상률보다 낮을 것이라고 기대할 경우 Case 1의 형태로 예측할 수 있으며 도시가스 단가가 과거와 비슷하게 인상된다고 예측할 경우 Case 2와 같이 추측할 수 있다.

## 맺음말

지금은 무엇보다 열병합, 태양광, 소수력, 풍력 및 연료전지와 같은 분산형 전원의 보급이 필요한 시점이다. 국제유가가 배럴당 80불까지 이를지도 모른다는 전망도 나오며, 발전소 건설의 부지확보 문제, 기후변화협약으로 인한 환경문제로 인한 무역장벽 강화, 지속적인 에너지 사용의 증가로 인한 전력 수요 증가 등 석유를 전량 수입하는 국내의 현실에 비추어서 지금의 상황은 국가적으로 에너지에 대한 위기의식을 불러일으키고 있다.

하지만 국내의 분산형발전 시장 환경은 외국에 비하여 호의적이지는 않다. 가까운 일본의 경우 한 사이트의 총 설치용량 500kW 기준으로 코젠 설치시 1/3(민간), 1/2(지자체) 및 1/3(산업체)에 해당하

는 보조금을 지원하고 있다. 미국도 주별도 차이는 있으나 캘리포니아의 경우 30%의 보조금 제도를 운영하고 있다. 반면, 우리나라는 아직까지 열병합 제도의 지원제도가 아직 미미하여, 주로 적용분야가 전력단가가 비싼 아파트 위주로 머물러 있다. 국가적으로 왜곡된 에너지 요금 구조에서 파생된 시장이 아닌, 정상적인 시장이 만들어져 국가적으로 이익을 극대화하기 위해서는 업무용건물, 산업체, 병원과 같은 시설로 분산형발전 시스템이 적용되어야 할 것이다. 다행히도 마이크로터빈의 장점은 발전 후 300°C 이상의 고온 배기가스를 이용하여 온수 생산뿐 아니라 배가스를 직접 이용하는 흡수식 냉온수기 시스템을 구축할 수 있다는 점이다. 즉, 전력 생산 및 냉방을 가능하게 하는 시스템 구축을 통해 백화점, 업무용 건물 등 냉방수요가 많은 다양한 분야에 적용되어, 국가적으로 계절별 에너지사용의 불균형을 해소하는 데 큰 역할을 할 수 있다.

친환경적인 분산형발전 시스템의 신속하고 지속적인 보급 확대를 위한 정부의 규제완화 노력, 계통연계 가이드라인의 제정 및 지원제도의 확대가 무엇보다 절심한 시점이다. 국내의 보급 확대는 에너지절감뿐 아니라 결국 민간기업의 기술에 대한 투자 강화로 이루어져 부품의 국산화, 국내 조립생산 및 자체개발을 통해 분산형발전 시스템을 대부분 해외에 의존하는 국내의 현실을 벗어나 국내 기업의 해외로의 진출을 할 수 있도록 하는 기초체력을 만드는 초석이 될 것이다.

### [참 고 문 헌]

- World Survey of Decentralized Energy 2005 by WADE.
- Cogeneration Japan Center 2005 자료집
- “The Revolution That Wasn't Yet” - Forbes.
- Microturbine user manual - Capstone 소형열병합발전정책 - 에너지관리공단.