

환경조화형 마이크로터빈 발전시스템

1. 머리말

일본에서는 이제부터 소규모 분산형 전원으로서, 마이크로터빈의 발전기능과 터빈 배열이용(온수, 증기, 공조)을 조합한 소형·고효율의 코제너레이션 시스템이 주목되어 실용화단계에 접어들고 있다. 이와 같은 마이크로터빈에는 배기가스로 급기를 예열하는 재생사이클 방식과 희박에 혼합연소방식의 채용으로 소용량발전이건 하지만 발전효율이 높고 대기오염원이 되는 질소산화물(NO_x 가스)의 배출농도가 아주 낮다는 우수한 장점이 있다. 표 1에 마이크로터빈과 다른 원동기에 의한 코제너레이션 시스템의 환경특성을 나타냈다.

당사에서는 미국 캡스톤사의 마이크로터빈 발전기를 베이스로 에너지 코스트를 삭감하고 또한 환경과도 조화된 분산형 에너지시스템을 구축하고자 어플리케이션기술 개발에 노력하고 있다. 여기서는 독자적으로 마이크로터빈·코제너레이션으로 개발한 ① 신형 데시컨트공조 코

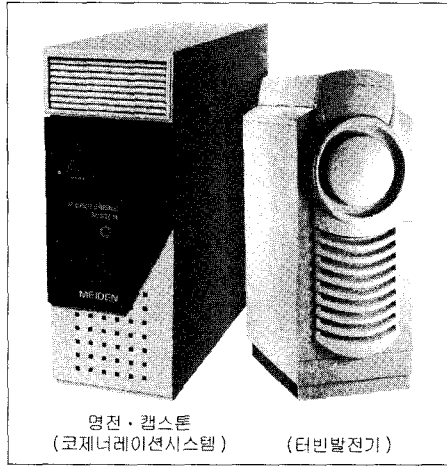
제너레이션 시스템의 개요와 지구환경보전의 관점에서 마이크로터빈, ② 자연에너지를 이용한 풍력·태양광발전 장치를 백업하는 하이브리드·마이크로터빈·코제너레이션 시스템, ③ 재생가능에너지로서 바이오가스(매탄 발효 소화가스)의 마이크로터빈 연료에 적용하기 위한 기술에 대하여 소개한다.

2. 신형데시컨트 공조기에 의한 코제너레이션 시스템

캡스톤·터빈발전기의 본체와 배열보일러를 하나의 엔크로저 내에 조립한 明電·캡스톤 30kW급 마이크로터빈·코제너레이션시스템의 기본형인 급탕식의 외관을 그림 1에, 이 시스템의 개요, 사양을 그림 2와 표 2에 표시한다. 발전전력은 고압가스인 프로판으로 30kW, 저압가스인 도시가스 13A(천연가스)로는, 가스 가압으로 전력 소비가 있어 27.5kW, 급탕을 포함한 총합효율은 각각

〈표 1〉 마이크로터빈과 타원동기와의 코제너레이션 환경 특성 비교

항 목	마이크로터빈	가스엔진	디젤엔진
용 량	30~300kW	15~3000kW	15~10000kW
주요 연료	도시가스, 프로판가스, 등유	도시가스	경유, 등유, 중유
발전효율	25~30%	30~35%	32~40%
종합효율	70~80%	70~85%	60~80%
환경성	NO _x 가스	35ppm(O ₂ =0%)	200ppm(O ₂ =0%)
	SO _x 가스	도시가스, 프로판가스 : 없음 등유 : < 1ppm	없음
			250ppm



〈그림 1〉 마이크로터빈의 외관

〈표 2〉 마이크로터빈 · 코제너레이션 시스템

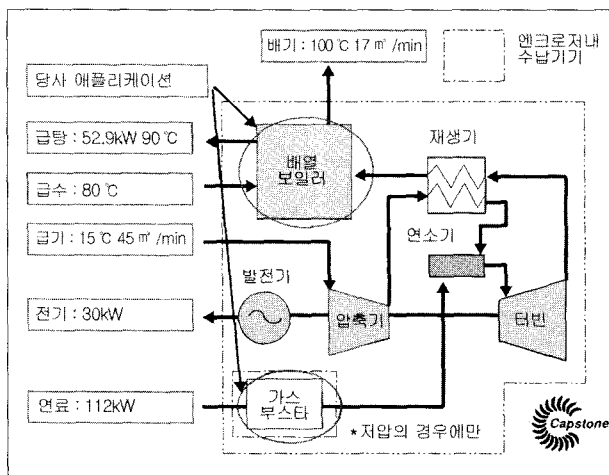
항 목	사 양
터 빈	1축식 재생사이클형
발전기	영구자석발전기
최고회전수	96,000 min ⁻¹
연료종류	도시가스 13A, 프로판가스, 등유
연료소비량	112kW(96,400kcal/h)
발전출력	30.0kW(고압가스 : 프로판가스) 27.5kW(저압가스 : 도시가스 13A)
발전효율	26.7%(고압가스 사양), 24.5%(저압가스 사양)
열회수효율	47.2%(고압가스 사양), 47.2%(저압가스 사양)
종합효율	73.9%(고압가스 사양), 71.7%(저압가스 사양)
전압, 주파수	200V급, 400V급 / 50Hz, 60Hz
NO _x 배출량	35ppm(O ₂ = 0%) : 도시가스시

73.9%, 71.7%로 어느 것이나 70% 이상의 고효율을 얻을 수 있다.

한편 당사가 (주)西部技研, 住友商事(주), 西部가스(주)와 공동개발한 마이크로터빈과 신형 데시칸트 공조기를 조합한 코제너레이션 시스템에서는 마이크로터빈 본체로부터 고온의 배기가스배열과 저온의 발열배열을 데시칸트 공조기의 열원으로 직접 이용함으로써 온수히터에 의한 열교환 손실 없이 종합효율을 최대 90% 이상

으로 높일 수 있다.

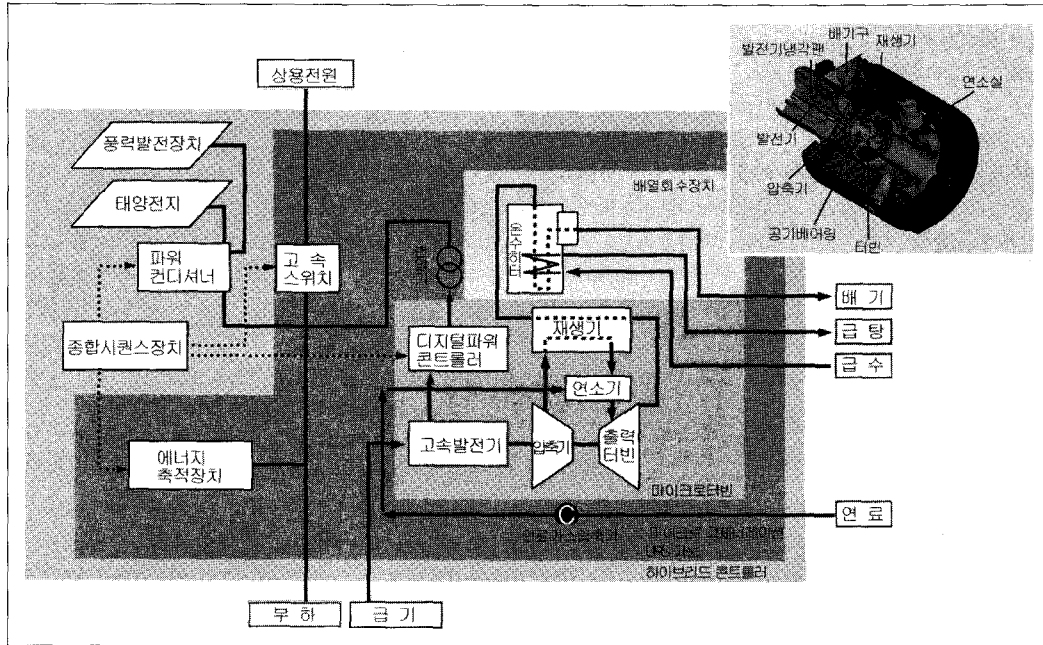
이 공조기의 개발은 (주)西式技研이 담당하였다. 하니 콤팩트수시리카겔(흡습제)과 세라믹 섬유구조체로 된 고성능 데시칸트로터 및 열교환을 하면서 동시에 물의 기화 잠열을 이용하여 공기를 냉각하는 정지형 열교환기를 조합한 신형 데시칸트공조기로, 통상의 에어컨과는 달리 프론 등 냉매를 필요로 하지 않기 때문에 환경성이 우수하다. 또 에너지지성을 손상함이 없이 필요한 외기를 끌어 넣을 수 있기 때문에 실내 공기질을 대폭 향상시킬 수가 있으며, 동절기에는 난방장치로 이용할 수도 있다.



〈그림 2〉 마이크로터빈 · 코제너레이션 시스템(발전+급탕)

3. 풍력 · 태양광과의 하이브리드발전

캡스톤 · 마이크로터빈은 부하 변동에 대한 대응력이 우수하고 또한 저부하(저속운전)에서도 발전효율의 저하가 적어 풍력 · 태양광과 같이 자연조건에 따라 출력이 크게 변동하는 발전방식과의 하이브리드화에 적합하다. 그림 3에는 이와 같은 하이브리드발전의 개요를 표시한다. 이 시스템에서는 마이크로터빈 측의 출력을 제어함으로써 풍력 · 태양광의 출력이 변동하더라도 하이브리드 발전시스템 전체로서 안정된 전력을 공급한다든지 전력부

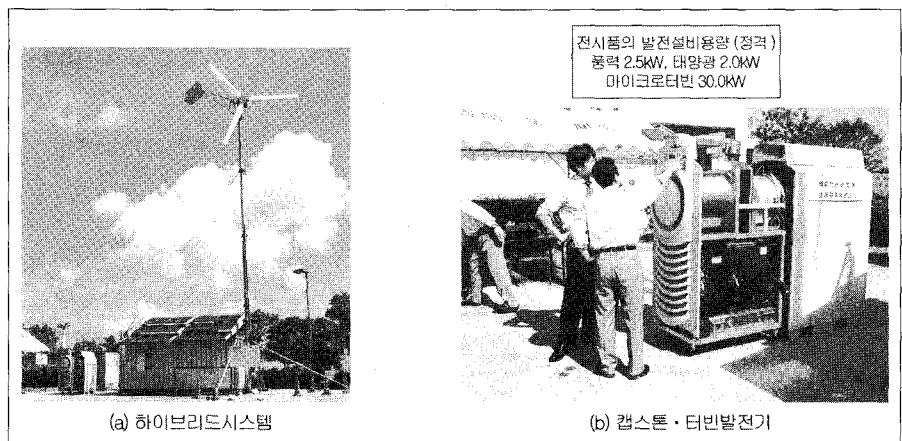


〈그림 3〉 풍력·태양광과 마이크로터빈·코제너레이션 시스템의 하이브리드 발전시스템

하의 변동에 대응하여 발전전력을 변동시키는 것도 기술적으로 가능하다. 이 경우 필요에 따라 복수대의 마이크로 가스터빈을 병렬운전 제어함으로써 병용하는 풍력·태양광발전의 설비용량을 증가시키는 것도 가능하게 된다. 또 터빈연료에 도시가스 13A(천연가스)나 프로판가스를 사용하면 NO_x 가스의 발생은 디젤엔진에 비하여 약 1/10~1/100로 극히 적고, 풍력·태양광발전과의 병용으로 연료의 절약도 된다.

그림 4의 하이브리드 발전시스템은 2000년 7월, 沖縄縣 宜野灣市에서 개최된 新에너지·省에너지 "JUST 21" 종합에너지전(주최 : 沖縄개발청 沖縄총합사무국, NEDO, 省에너지센터)에 琉球대학공

학부永井연구실, (유)沖縄風力技研 등과 당사, 住友商事(주)가 공동으로 참가 전시한 것이다. 이와 같은 환경친화적인 발전장치를 조합한 복합발전 시스템은 앞으로는 교외나 지방의 커뮤니티 스토어, 드라이브인, 스포츠센터, 고속도로 인터체인지, 하우스재배, 양식장 등 시



〈그림 4〉 하이브리드 발전시스템의 참고전시(2000년 7월)

설로, 발전·급탕·냉난방에 이용이 기대되며 연료수송(발전코스트)이 비싼 다른 지방에서는 특히 유효하다고 생각된다.

4. 바이오가스 자원과 발전

가. 바이오매스 자원과 발전

바이오매스는 「태양에너지를 저장한 생물체」로 모든 식물이나 동물이 이 범주에 드는 재생가능한 에너지원으로 수확과 재생의 밸런스가 포함되어 있는 한 고갈되지 않으며 태워도 대기중의 이산화탄소 농도를 높이는 일도 없다. 이와 같은 바이오매스는 목질계와 식료계로 대별되며 스웨덴이나 필란드 등 북유럽에서는 공장의 잔폐재나 삼림의 벌채에 따른 나무가지 등의 잔재를, 대만이나 필리핀 등 동남아시아에서는 왕겨·목재칩·사탕수수 찌꺼기 등을 가스화·연소하여 발전하는 방식이고 덴마크나 독일 등에서는 축분·농산 폐기물·가정 쓰레기 등을 메탄 발효시켜 바이오가스(소화가스)를 생성, 지역난방의 열원과 소규모발전의 연료로 사용하는 방식(바이오가스플랜트)이 정착되어 바이오매스자원을 효과적으로 이용하고 있다.

메탄발효는 옛날부터 배양되어온 기술로 비교적 간단한 시설로도 가연성가스를 얻을 수 있는 유효한 방법이다. 北海道의 낙농학원대학에 2000년에 설치된 바이오가스 플랜트는 일본 최초의 실용규모 연구시설로 젖소 180두를 주체로 하는 가축의 분뇨나 오수(10m³/일)를 혐기원통발효조 내에서 혐기성박테리아에 의해 분해처리(37~38℃의 중온발효로 약 25일간)함으로써 肥効性이 높고 악취가 없는 액비(液肥)로 변환하여 액비탱크에 저장, 적절한 계절에 시비(施肥)한다. 발효처리과정에서 생성되는 바이오가스는 탈유장치를 거쳐 가스홀더에 저축되어 가스엔진·코제너레이션 설비나 가스보일러에서 전력이나 열로 변환하여 플랜트나 캠퍼스 내에서 이용되고 있다.

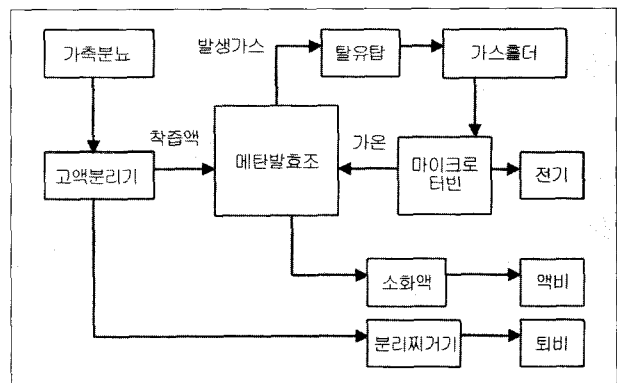
일반적으로 바이오매스자원을 1개소에 싸게 대량으로

집적하는 것은 그것의 수집·수송상 곤란한 경우가 많기 때문에 필연적으로 지역분산형의 소규모 처리시설이 되지 않을 수 없다. 바이오가스 이용에 관해서는 앞으로 단순히 보일러용 열원으로서만이 아니라 소규모발전에 적합한 마이크로 터빈이나 연료전지 등 소용량 발전장치에 연료로서 크게 기대된다.

나. 가축분뇨의 고부하 무희석방식 메탄발효

당사는 약 20년 전부터 가축 배설물의 메탄발효를 이용한 가스발전 시스템이라든가 하수오니소화가스 발전시스템을 개발·판매해 온 실적이 있다. 그림 5에는 이번에 당사가 제안하는 가축분뇨의 “고부하 무희석방식” 메탄발효와 마이크로 터빈 발전을 조합한 시스템의 개요를 표시한다. 이 시스템에서는 종래의 “희석방식”에 비하여 처리대상의 전유기물량에 대한 가스발생량은 감소하나 메탄발효에 기여하지 않는 대형고형물의 유기물을 사전에 固液分離機(착즙기)로 제거함으로써 대형불순물이 없고 또한 고농도 상태에서도 유동성을 유지할 수 있으므로 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 고유기물(高有機物)농도에서도 유동성이 있기 때문에 고액분리 후 희석할 필요가 없어 메탄발효조에 투입수량(投入水量)을 저감할 수 있다.



〈그림 5〉 고부하 무희석 방식의 소화가스와 마이크로터빈

(2) 고유기물농도로 발효조에 투입하기 때문에 발효조의 소형화가 가능하게 되어 발효조의 건설비도 삭감할 수 있다.

(3) 투입수량이 적어 메탄발효조의 용적도 작으므로 발효조로부터의 방열이 적고 발효조에 투입액을 고효율로 가온함으로써 가온열량을 대폭 저감할 수 있으며 이용 가능한 가스량이 증가한다.

(4) 사전에 불순물을 고액분리기로 제거함으로써 때문에 펌프·배관 등 폐쇄가 없으며 발효조내의 찌꺼기(무기물이 주체인 오니)의 퇴적이나 스감(부유가스)의 발생을 억제할 수 있다.

메탄발효 과정에서 생성되는 소화가스는 유효수소를 포함하고 있어 이것을 탈유탑에서 제거한 후 메탄 약 60%, 이산화탄소 약 40%의 가스로 가스홀더에 저장한다. 마이크로터빈 발전에서는 이 소화가스를 연료로 공급하며 그 때에 발생하는 배열을 발효조의 가온 등에 이용할 수 있다.

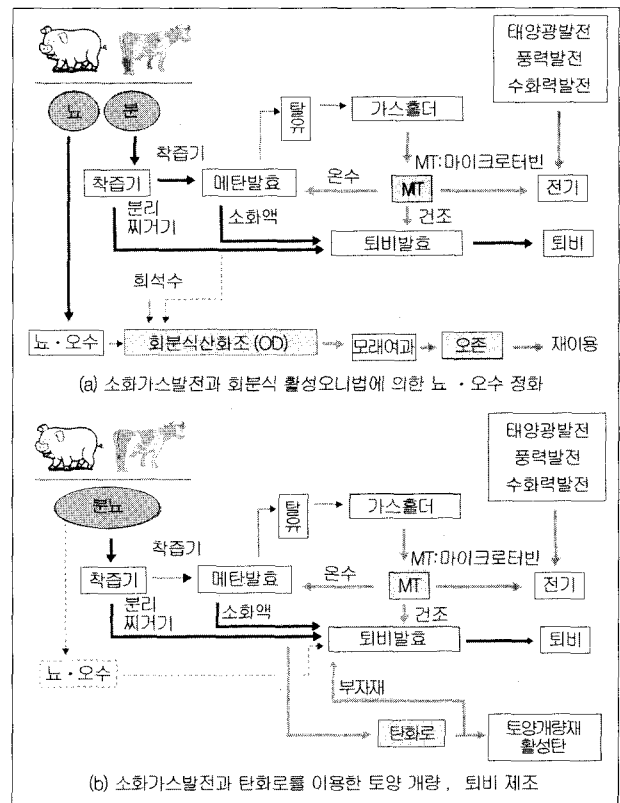
또한 메탄발효의 과제로서 발효 후의 소화액 처리가 있다. 이 소화액은 취기도 낮고 질소·인산·카리 등 비료성분을 많이 함유하기 때문에 액비로서 유효하나 그 이용에는 이것을 살포할 농지를 확보하지 않으면 안된다. 농지가 없는 축산농가에서 그대로 하천 등에 방류하기 위해서는 활성오니법 등 정화처리를 할 필요가 있다. 이와 같은 관점에서 그림 5의 시스템을 더 전개하면 그림 6에 표시하는 것과 같은 “가축분뇨 종합이용시스템”을 생각할 수 있다. 이것은 분리찌꺼기나 소화액으로부터의 퇴비 제조와 아울러 ① 회분식(回分式)활성오니법과 오존처리로 노·오수나 소화액수분을 정화하여 중수로서 축사 청소 등에 재이용한다든지 ② 탄화로를 이용하여 활성탄을 제조, 토양개량제나 퇴비발효의 부자재로 유효하게 사용하기 위해서이다. 그때 태양광·풍력·소수력발전 등을 병용하면 바이오가스발전과의 하이브리드 전원이나 메탄발효조 가온용 보조전원으로서 자연에너지도 유효하

게 이용할 수 있다.

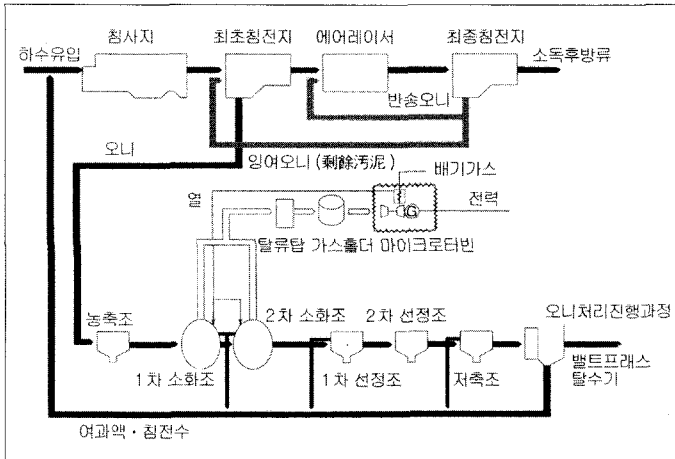
다. 하수오니의 메탄발효

하수처리 행정에서 발생하는 오니의 처리방법에도 농축 오니를 혐기성박테리아의 작용으로 분해하는 “소화법”이 있다. 박테리아를 이용하기 때문에 소화조를 일정한 온도 유지하는 등 운전에는 특별한 노하우가 필요하지만 이 방법에는 오니를 무해로 탈수하기 쉽게 하는 이점이 있다.

하수처리장에서는 소화가스를 연료로 하는 발전은 종래부터 가스엔진이나 가스터빈을 사용하여 왔고 최근에는 연료전지를 이용하는 시도도 하고 있다. 그러나 1998 년도의 하수도 통계에 의하면 전국에서 발생한 소화가스 중 발전에 이용된 것은 7%에 불과하고 44%는 소화조



〈그림 6〉 환경보전을 의도한 가축분뇨종합이용시스템



〈그림 7〉 하수오니의 소화가스화 마이크로터빈

가온용 보일러·소각로 등의 보조연료, 나머지 49%는 잉여가스로 소각 처분되고 있다. 지금까지의 가스발전에서는 어느 정도 큰 규모가 필요하며, 가스엔진에서는 초기 코스트나 유지비용이 장애로 되어 있다. 앞으로는 소형으로 초기코스트가 싸고 또한 유지도 용이한 마이크로터빈을 적용함으로써 비교적 소규모의 처리장도 포함하여 많은 하수처리장에서 소화가스발전 보급이 도모될 것으로 기대된다. 그림 7에는 이와 같은 하수오니의 처리과정과 소화가스화에 의한 마이크로 터빈발전의 개요를 나타낸다. 또한 소화가스의 발열량은 도시가스 13A의 약 1/2(약 5500kcal/Nm³)이나 메탄 60%, 이산화탄소 40%의 모의가스에 의한 캡스톤·저발열량형 마이크로터빈의 운전시험에서 도시가스 사용시와 같은 운전이 가능함을 확인하고 있다.

5. 맺음말

본보에서는 당사의 환경조화형 마이크로 터빈발전 시스템 개발의 일단을 소개하였다. 에너지분야에 있어서는 지금의 전력·가스의 부분자유화로 대표되는 여러 가지 규제완화라든가 지구온난화방지·환경보전과 관련한 省

에너지·新에너지 관련 기술개발·기기 도입촉진의 흐름 속에서 소규모분산형 전원으로써 마이크로터빈·코제너레이션에 기대하는 바가 크다.

또 가까운 미래의 고효율발전을 실현하는 분산형 전원으로써 연료전지와 가스터빈을 조합한 하이브리드 발전시스템(전지로부터의 미반응 배연료가스를 가스터빈 발전연료로 재이용)의 개발·실증시험이 미국 등에서 시작되고 있다. 이 시스템에서는 고온고압 동작의 고체산화물형(SOFC 900~1000℃)과 용융탄산염형(MCFC, 600~700℃)의 연료전지가 대상이 되며 수백kW의 소출력인 경우는 마이크로터빈과의 조합으로 약 65%(LHV)의 종합효율이 기대되고 있다. 연료전지(SOFC)와 가스터빈, 증기터빈을 조합한 천연가스이용 하이브리드 발전시스템(종합발전효율 약 70% LHV)의 구상에서는 ① 연료전지는 약 10기압의 고압으로 운전한다. ② 전지로부터의 미반응 배연료가스는 연소기에서 연소시켜 그 고온가스(약 1500℃)로 가스터빈을 돌리고 ③ 이와 동시에 가스터빈축에 직결한 터보컴프레서로 공기를 압축하여 연료전지에 고압공기를 보낸다 ④ 가스터빈으로부터의 고온배기(약 500℃)는 배열보일러에서 열을 회수하여 그 발생증기로 증기터빈을 돌려 발전한다. 또 미국·Simens Westinghouse사에서는 발전출력 197kW(연료전지 SOFC AC162kW, 마이크로터빈 AC40kW), 열효율 56%(LHV)의 시험플랜트가 가동중이다.

당사에서는 이들의 상황을 바탕으로 앞으로는 더욱더 기술개발에 노력하여 수용가의 니즈에 응할 수 있는 마이크로터빈 응용제품군을 조기에 제공하고 그 보급에 공헌하고자 한다.

이 원고는 일본 明電時報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 (株)明電舎에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.