



## 고체高分子型 연료전지 전원

연료전지는 환경에 친화적인 새로운 에너지기기로서, 업무·가정용 전원, 자동차 등의 이동전원, 전자기기용 전원 등 많은 분야에 보급이 기대되고 있다. 그 중에서도 고체고분자형 연료전지(이하 "PEFC"라 함)는, 전해질이 고체로 취급하기 쉽고, 더욱이 동작온도가 실온(室溫)에 가까우며 값이 싸고 소용량화·운전유연성이 기대되어, 산·학·연에서 개발이 활발히 추진되고 있다. PEFC 전원의 실용화는, 가정용으로 대표되는 소용량 코제너레이션 전원으로 먼저 시작될 것으로 생각된다. 구체적으로는, 1kW 출력수준의 코제너레이션 전원 겸 급탕기(給湯器)를 가정에 설치하여 배열(排熱)을 유효 이용함으로써 연료비와 CO<sub>2</sub> 배출량을 경감하는 것이다.

여기서는, 이러한 가정용 전원에 대하여 우선 첫째로 전원 운용에 관련된 계산·검토를 실시하고 연료비/CO<sub>2</sub> 배출량의 삭감효과를 조사했다. 그 결과에 의하면, 예상했던 대로 도입효과가 크게 기대되는 한편, 그 효과는 연료단가와 운전 상황에 따라서도 크게 좌우된다. 어떠한 환경에서도 확실하게 메리트가 있도록 전원의 가일층의 성능향상이 요망된다. 그 외에, 전원의 용량과 부분부하에 대한 검토가 중요하다.

또한, 시스템 시험에서는, 1kW 전원을 시험·제작하여 성능시험, 코스트분석을 실시했다. 그 결과 배열회수와 전지/직교류변환부의 성능으로 시장도입시의 목표에 가까운 것을 알 수 있었다. 한편 저(低)코스트화에 관해서는, 시스템을 간소하게 하는 기술을 개발중에 있다.

연료전지기술은 앞으로의 사회에 매우 중요하며, 보다 좋은 사회의 실현을 위해 개발에 계속 진력해 나갈 것이다.

### 1. 머리말

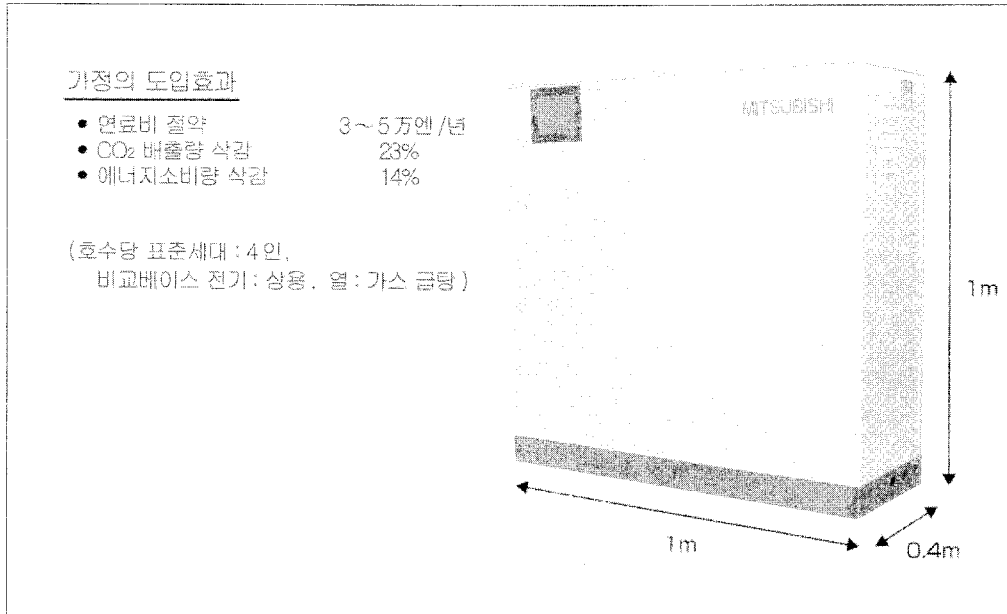
연료전지는 환경에 친화적인 새로운 에너지기기로서, 업무·가정용 전원, 자동차 등의 이동전원, 전자기기용 전원 등 많은 분야에서 보급이 기대되고 있다.

그 중에서도 PEFC는 전해질이 고체로 되어 있어 취급하기 쉽고, 더욱이 동작온도가 실온에 가깝기 때문에 값싼 재료를 폭넓게 사용하고 또한 소용량화와 기동정지에 적합하여 산·학·연 개발에 힘쓰고 있다.

PEFC 전원의 실용화 시작은, 가정용 코제너레이션으

로 대표되는 소규모 코제너레이션 전원으로 보고 있다. 구체적으로는, 1kW 출력급의 코제너레이션전원 겸 급탕기를 각 가정에 설치하여, 발전으로 생성되는 배열을 급탕으로 이용함으로써 연료비와 CO<sub>2</sub> 배출량을 각기 20~30% 정도 삭감하고자 하는 것이다. 일본에서 시장 도입은 정부를 중심으로 2005년 경에 예정되어 있다.

본고에서는, PEFC 전원의 운용에 관한 검토 결과로부터 운용상 전원 요구되는 기능을 명백히 밝히고, 이어서 PEFC 전원의 개발상황으로서 시험·제작시스템의 성능과 과제를 소개한다.



<1kW급 고체고분자형 燃料電池(PEFC) 전원>

PEFC를 이용한 코제너레이션 전원은, 1kW급의 소용량에 있어서도 발전효율/배열효율 : 35%/35%가 달성가능한 고효율 소형분산형전원임 가정 등을 포함한 사용자 말단에 이제까지 곤란했던 에너지의 대폭적인 유효활용을 실현하여 省자원화/CO<sub>2</sub> 배출량 억제에 공헌함.

## 2. PEFC 전원의 운용과 요구기능

### 가. PEFC 전원의 도입효과

PEFC 전원이 차세대에너지기기로서 앞으로 널리 보급되기 위해서는, 특징으로 되어 있는 환경면 만이 아니고 경제면에 있어서도 기존의 에너지系(여기서는 전력 + 도시가스(열)의 이용)에 대해 우위(僞位)에 있을 필요가 있다. 이러한 점을 명확하게 하기 위해 개발에 선행되는 가정용에 대하여, 연료비의 절약효과와 환경면의 효과, 도입시의 운용상황을 검토하였다.

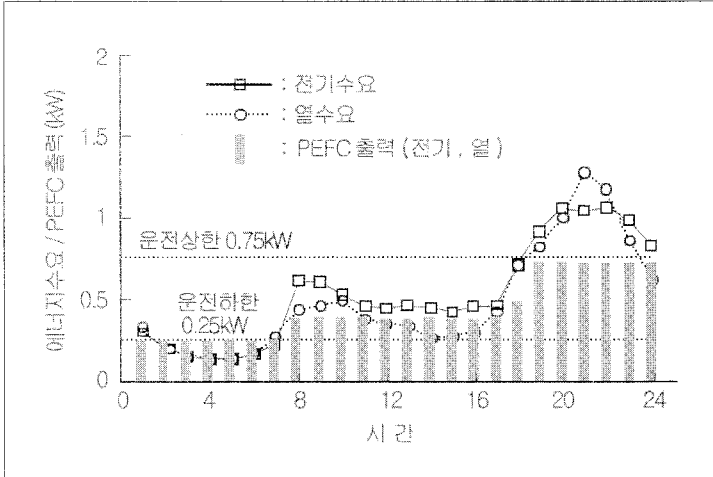
구체적으로는, 먼저 가정에 있어서의 전력·급탕(給湯) 부하를 하계(夏季), 중간기(4.5.6.10.11月), 동계(冬季)의 3계절로 나누어 패턴화하여, 그것에 대해 다음

의 운전조건 하에서 PEFC 전원의 가동상황을 산출했다. 운전조건은 다음과 같다.

- ① 부생(副生)하는 열을 버리지 않는 운전을 한다.
- ② 계통에 역조류(逆潮流)하지 않는 운전을 한다.
- ③ 베이스 로드로서 주야연속 운전한다.

①, ②의 운전조건은 일반적으로 예상되고 있는 것이다. ③에 대해서는 따로 야간정지의 DSS(Daily Start Stop) 운전이 검토되고 있다. 여기서는 기술적으로 용이하며 시장도입이 쉬운 연속운전의 경우를 검토하기로 했다.

중간기에 있어서의 1일 운전패턴 예(산출결과)를 그림 1에 표시하였다. 이 때에 PEFC전원의 출력범위는 0.25~0.75kW, 발전/배열효율은 35%/35%로 했다.



〈그림 1〉 중간기의 PEFC 전원의 운전패턴

그림중 □표시의 선은 전력수요를, ○표시의 선은 열수요를, 여러 개의 가로막대 표시는 PEFC 전원 1시간 마다의 평균출력(電氣 = 熱)을 나타내고 있다. 중간기에 있어서 가정의 전력수요는, 최소부하 심야 0.15~0.2kW 정도(2~6시경), 최대부하는 저녁~밤 1~1.3kW 정도(18~22시)이다.

연속운전으로 심야의 최소부하에 대응하기 위해서는 부분부하의 하한치가 중요하다. 그림 1의 경우에는, 전력수요가 PEFC 전원의 하한출력(0.25kW)을 하회하는 경우 잉여전력을 전기히터에 의해 열로 변환하고, 또한 최대출력(0.75kW)을 상회하는 경우는 계통에서 전력을 구입하는 것으로 하였다. 당연히, 조건 ②에 의한 출력이 전력수요 이하에서 운전됨은 물론, 조건 ①에 의해 생성된 열의 총합계가 1일 열수요 이하가 되도록 필요에 응해 출력이 제한된다.

다음으로 이를 가동레이터를 기초로 PEFC 전원의 연료비, 그리고 전기나 열이 부족할 경우에는 균형이 맞는 연료비를 산출하여, 그들의 합계를 PEFC 도입 후의 연료비로 하였다(연료요금의 현행데이터는 기존사례를

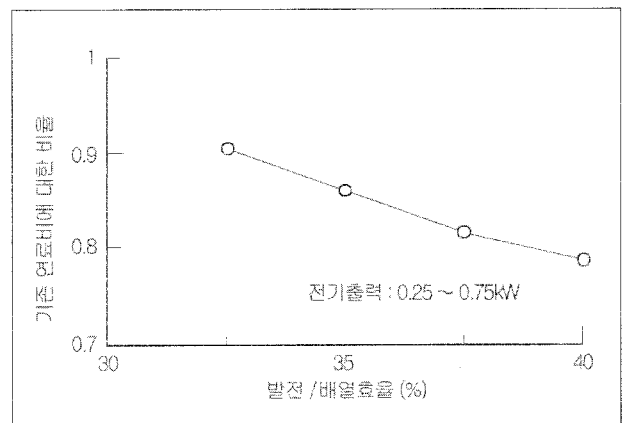
이용). 이들 일련의 계산을, PEFC 전원 효율(발전효율 = 배열효율로 가정)을 페러미터로 하여 여러 번 실시하여 도입전의 종전케이스와 연료비를 비교했다(그림 2 참조).

현재 개발중인 가정용 PEFC전원은 시장도입시 35% 정도의 발전효율로 계획되어 있으며, 그 경우 14% 정도의 연료비 절약이 예상된다(금액으로 연간 3만엔에 상당). 현실적으로는 PEFC를 도입할 때, PEFC 설비와 가스요금에 관해 정부와 가스회사 등을 중심으로 하는 도입지원책 설치가 예상된다.

일례로서 가스단가가 10% 변동(저하)하면, 연료비 절약은 23%로 증가한다.

한편, 대(對) 환경성에 관하여 종래 예와 비교하였다(표 1 참조). 에너지 소비량은, 소비한 원연료의 연소열(燃燒熱)로 표시했다. PEFC의 도입으로 일정한 에너지절약 효과가 얻어진다.

또한 CO<sub>2</sub> 배출량은, 전기를 화력발전에서 기인된 것으로



〈그림 2〉 PEFC 전원의 효율과 연료비의 절약 관계

〈표 1〉 대 환경성 지표의 비교

환경성의 지표	비
에너지소비량의 비 (PEFC 도입 후/도입 전)	0.86
CO <sub>2</sub> 배출량의 비 (PEFC 도입 후/도입 전)	0.77
NO <sub>x</sub> 배출량의 비 (PEFC 도입 후/도입 전)	0.36

로 생각하면, 도입 후 77%까지 경감시키게 된다. 다만 전기를 원자력·수력발전도 포함한 전(全) 전력 평균으로 생각하면, 도입 후 95%에 머물게 된다. PEFC의 운용형태로서 주간(晝間)의 피크컷트대책이 검토되는 이유가 여기에 있다.

이상, PEFC 도입에 의해 연료비와 대 환경성의 면에서 기대한 대로 효과가 확실히 나타나는 한편, 예를 들면 절약액은 가스요금에, 환경성은 운용상황에 의존하는 등, 불확실한 면도 나타났다. 운용환경에 관계없이 일정 이상의 메리트가 확실히 얻어질 수 있도록 PEFC 전원의 기능을 높이도록 계속해서 노력해 나갈 필요가 있다.

한편, 도시가스 이외의 연료를 사용하는 PEFC 전원도 개발되고 있다. 대표적인 연료의 종류, 연료단가 예, 1kW<sub>h</sub>의 전기+열을 생성하는데 필요한 연료비를 중전의 케이스를 포함하여 표 2에 비교하였다. 연료 중에는

〈표 2〉 PEFC의 도입 유무, 연료 종류와 연료비의 비교

PEFC 도입유무/연료종류	연료단가 (엔/kW·h)	1kW·h의 전기+열생성 하는데 필요한 연료비(엔)
중래케이스 • 전기+도시가스	전기 : 23.0 가스 : 10.7	34.5
PEFC 도입케이스 • 도시가스 연료 • LP가스 연료 • 등유연료	10.7 21.0 4.14	30.6 60.0 11.8

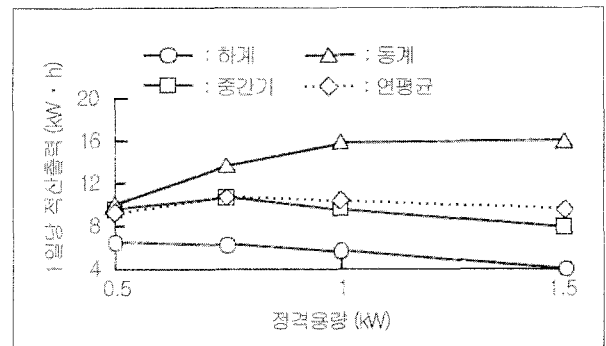
판정 : PEFC 효율 : 전기/열 35%/35% 공통,  
가스급탕기 효율 : 93%LHV  
연료단가 : 일본가스 석유기기공업회 1999년도 기준

특히 등유가 에너지단가당 가격이 싸다. 표에서는 연료에 관계없이 PEFC 전원의 효율을 35%로 가정했으나, 그와 같은 전원이 등유연료로 얻어진다면, 도시가스의 반값 이하로 전기/열을 생성할 수 있다. 녹색 합성연료의 개발도 추진되고 있는 가운데, 장기적으로 주목받을 기술이다.

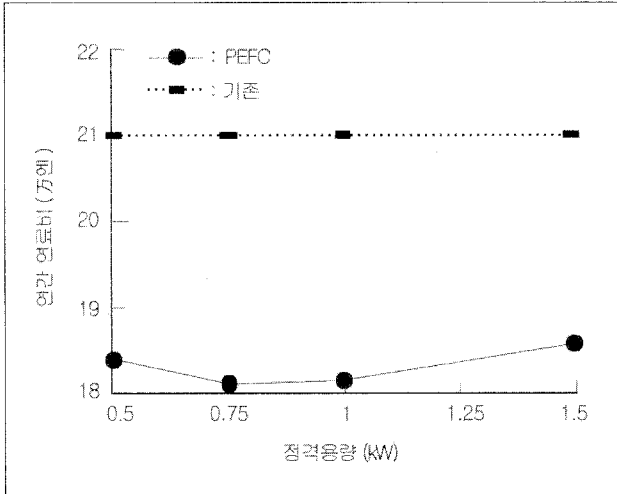
### 나. 정격용량의 영향

PEFC의 운전에서 최대의 이익을 얻기 위해서는, 앞의 그림 1에서 본 바와 같이 PEFC의 운전상황을 이해하고 최적의 용량과 운전법을 선정할 필요가 있다. 예를 들어 정격용량을 크게 하면 코제너레이션에 의한 전력의 보충비율이 늘어나 에너지절약 효과가 증가할 여지는 있으나 반면에 부분부하에 대한 하한출력도 늘어나 소부하를 따르는 것이 어렵게 된다. 이러한 관점에서 정격용량을 패러미터로 하여 1일당 적산전기출력과 연간 총연료비를 조사했다(그림 3~4 참조). 정성적(定性的)으로 다음과 같다.

- ① 용량을 1kW를 초과하여 크게 하더라도 가정의 전력/열 수요는 한정되어 있으며, 적산출력은 늘어나지 않고 설비가동률이 내려간다(그림 3).
- ② 연간 연료비를 최소로 하는 최적의 정격출력이 존



〈그림 3〉 PEFC 전원의 정격용량과 출력



〈그림 4〉 PEFC 전원의 정격용량과 연료비

제한다(그림 4). 이유는, 용량을 크게 해도 적산출력은 증가하지 않고 역으로 야간의 소부하를 따르기가 어렵게 되어 연료손실이 증대한다. 한편, 출력을 0.5kW당으로까지 내리면 발전량이 감소하여(그림 3), 연료비의 삭감효과가 줄어든다.

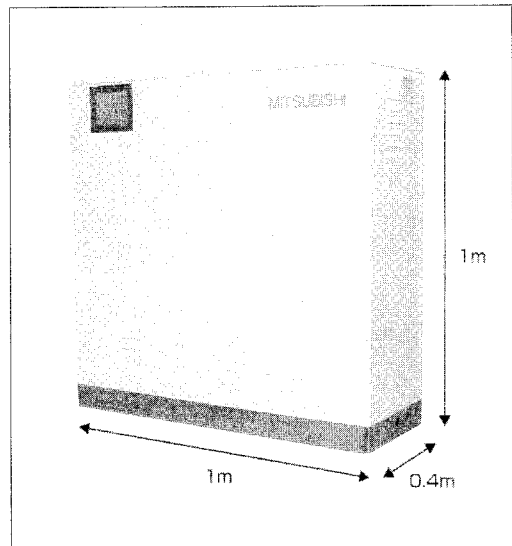
이상의 상황과 그리고 용량에 비례하여 전지(電池)코스트가 필요한 점을 고려하면, 연간 연료비가 최저이고 아울러 발전용량이 적은 0.75kW 정도가 최적용량으로 생각된다.

### 3. 시스템 시험

개발중인 전지, 개질기(改質器)를 이용하여 1kW의 PEFC 전원을 시험·제작하여 시스템의 성능평가/과제 추출(抽出)을 실시했다. 시험·제작한 1kW기의 사양을 표 3에 나타내었다. 이 시스템은 전지, 개질기, 제어기 등을 내장하여 전력을 발생하는 전원부(그림 5 참조), 전지에 생성하는 배열을 70℃의 온수로서 회수하여 공급하는

〈표 3〉 1kW PEFC 전원의 사양

항 목	사 양
구 성	전원부 : 전지, 개질기, 제어기 등 코제너레이션부 : 저탕조 등      직교변환부
출 력	전기 : AC200/100V, 효율 24%LHV, 0.7kWAC 배열 : 온수공급, 효율 42%LHV
기 기	전지 : 전극면적 100cm <sup>2</sup> 급, 내부가습방식 개질기 : 도시가스 연료, 수증기개질, 질소바지 저탕조 : 185 ℓ



〈그림 5〉 1kW PEFC전원 전원부의 외관

〈표 4〉 1kW PEFC 전원의 발전/배열효율

항 목	사 양		배열 효율
	발전효율		
기 종 명	η송전단	발전효율의 내역	
		=ηDC단 × η인버터 × η유효율	
1kW 시작기	0.24	0.41 × 0.89 × 0.67	0.43
35% 예상기	0.35	0.43 × 0.92 × 0.89	0.35

코제너레이션부, 그리고 직교변환부(直交變換部)로 구성된다. 전지의 직류출력은 직교변환부에 의해 교류로 변환되어, 보기동력에 충당된 후 교류출력으로 출력하게 된다.

시스템 동작시의 발전/배열 효율의 상황, 내역을 표 4에 표시한다. 이 표에 발전효율 35%를 달성할 때의 효율의 배분치(設計值)를 아울러 표시하였다. 이 시험에 의해 열교환기, 단열처리 등이 적절히 실시되어 배열이 설계대로 회수된다는 것을 알 수 있었다. 또 발전기능에 있어서도 설계대로 효율이 얻어졌다.

발전효율은, 내역상으로는 DC단(端)(개질기+ 전지)의 효율, 직교변환부의 효율, 보기손실을 제외하고 유효하게 송전되는 비율(유효비율)의 3개 효율의 적(積)으로 표현된다. 효율 35%를 예상한 배분치(配分値)와 비교했을 때 전지부와 직교변환부에서는 배분치에 가까운 수치가 구해졌다.

한편, 보기 손실에 기인하는 유효비율에 대해서는 큰 개선이 필요하다. 이 시스템에서는 기존의 시판 보기부품을 이용하여 동시에 각각 개별적으로 구동전원을 설치하는 등, 보기 손실이 크다. 저(低)동력 부분의 선정, 전원회로의 기판화(基板化)/집약화(集約化)의 검토를 별도로 추진하고 있으며, 보기손실을 삭감할 예정이다.

이 시험의 또 하나의 목적은, 시험·제작시스템의 코스트를 파악 및 분석하여 앞으로의 코스트저감방책을 구체화시키는 것이다. 이번 검토로 기기/부품류의 저코스트화와 시스템을 대폭적으로 간소화하기 위한 기술개발이 모두 필요하다는 결론을 얻었다. 구체적으로는, 다음의 항목을 과제로 선정하여 개발을 추진하고 있다.

- ① 전지특성이나 전지냉각수를 손상시키지 않는 안정적이고 값이싼 양산(量産)대응의 세퍼레이터판의 개발
- ② 전지로 생성하는 수증기를 회수하여 그대로 반응

공기의 가습(加濕)에 사용하는 전열(全熱) 교환형의 로스나이방식 가습기, 그리고 그 결과 가져오게 되는 상대적으로 저습도의 조건에서 양호하게 동작하는 저습도 동작형 전극막접합체(電極膜接合體)의 개발

- ③ 정지시 등에 질소퍼지가 필요없는 개질기, 전지의 개발

## 5. 맺음말

PEFC전원의 운용에 관하여 계산·검토를 실시하여, 전원예 요구되는 성능과 기능을 분명히 하였다. 또 1kW 전원을 시험·제작하여, 배열회수와 전지/직교변환부의 성능에 대해 일정한 예측을 하였다. 저코스트화에 대해서는, 시스템을 간소하게 하는 기술을 선정, 개발중에 있다.

연료전지기술은 앞으로의 사회에 있어서 매우 중요하며, 보다 좋은 사회의 실현을 위해 더욱더 개발에 진력할 생각이다. **ㄹ**

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.