

$$M = E + W + B \dots\dots ①$$

$$N = \frac{E + W + B}{W + B}$$

여기서

M : 보충수량 (l/h)

E : 증발 손실량 (l/h)

W : 비산손실량 (l/h)

일반적으로 냉각수 순환유량의 0.1%~0.2% 정도

B : 배수량 (l/h)

N : 농축배수

일반적으로 N = 3~4정도

①②식부터 다음식이 얻어진다.

$$B = \frac{1}{N - 1} \cdot E - W \dots\dots ③$$

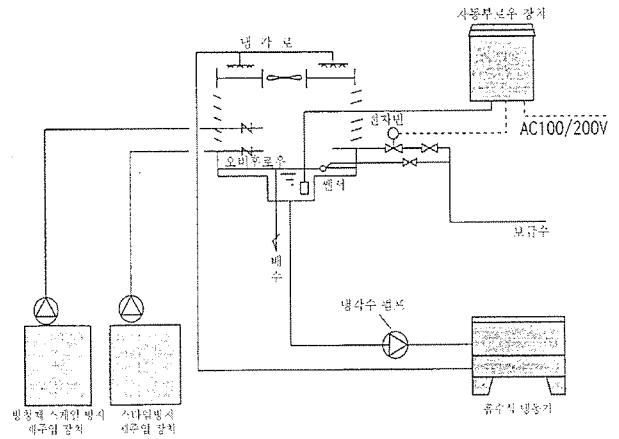
$$M = \frac{1}{N - 1} \cdot E \dots\dots ④$$

또, 증발손실량 (E)는 다음식으로 구할수 있다.

$$E = \frac{\text{냉각탑에 있어서의 냉각열량}}{\text{냉각탑 입구온도에서의 냉각수의 증발잠열}} (l/h) \dots\dots ⑤$$

농축정도는 도전율이나 매값이 변화하는 것에 의하여 알 수가 있으므로 이들의 값을 검출하여 냉각수의 불로우를 자동 콘트롤하는 방법이 있다.

<수처리 시스템의 예>



## 250kW급 고체고분자형 연료전지 열병합시스템의 현장시험

\* 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임.

### 1. 머리말

IT혁명의 진전에 따라 정보통신량이 급증하고 NTT Group의 정보통신시스템에서 사용되는 소비전력도 대폭으로 증가되고 있다. 시산(試算)으로 2010년에 3배가 될것이라는 예측이다. 한편 환경문제, 특히 지구온난화에 대한 사회적 의식이 고조되어 1997년의 COP3 (제3회기후변동방지 조약체결국회의)에서 Kyoto의정서가 결의되고 2001년 마라게슈에서 개최된 COP7에서 미국은 제외되었으나 Kyoto의정서 운용률이 합의되었다. 이로 인하여 세계각국, 각 기업은 온실효과가스 배출삭감을 향한 노력을 강화하지 않을 수 없게 되었다. NTT Group에서는 1987년부터 진행

시켜온 각종 에너지절감시책과 더불어 1997년부터 연구개발로 시스템의 구축·운용에 걸쳐 전체적으로 발본적인 에너지소비구조를 개혁할 TPR(Total Power Revolution)운동을 전개하여 소비전력의 삭감을 목표로 하고있다. 또한 1998년에는 TPR 운동의 확실한 추진과 지구환경문제에 대한 사회적 책무를 부과하기 위하여 「2010년을 향한 전력에너지 삭감비전」을 작성, Group 전체의 노력으로 전력자급율을 30%까지 올릴 것을 목표로 하고있다. 전력자급율의 향상은 청정에너지의 도입에 의한 효과로서 태양광발전이나 풍력발전과 함께 그중 핵의 위치에 있는것이 연료전지 시스템이다.

여기서는 2000년 12월부터 시작된 250kW급 고체고

분자형 연료전지 (PEFC)의 현장시험기와 현재까지의 운전상황에 관하여 기술한다.

## 2. 현장시험의 개요

PEFC는 작동온도가 낮은 관계로 기동정지특성이 우수하여 자동차용이나 가정용에 광범위한 도입이 기대되고 그의 양산효과에 의하여 저코스트화가 진행될 것으로 예상된다. 따라서 PEFC의 특징을 살려 코제너레이션 시스템의 개발을 위해 NTT 武蔵野研究開発센터 내에 250KW급 PEFC와 저온수흡수냉동기를 조합한 열병합시스템을 구축, 현장시험을 실시하고 있다. 본 시험은 NTT, 荏原製作所 및 荏原발라드 3사에 의한 공동연구로서 약 2년간의 예정으로 기본성능을 평가하고 저온배열(低温排列) 공조기의 최적 이용방법과 경제적인 시스템 운전기술의 구축을 목표로 하고있다. 주요한 검토내용은 다음과 같다.

### (1) 기본성능평가

연료전지 현장시험 기자재의 신뢰성, 내구성을 평가하고 시스템의 전기출력에 대한 발전효율, 열이용효율의 특성을 평가한다. 또한 유지비를 좌우하는 부품의 수명 및 작업성 등을 평가한다.

### (2) 저온배열 공조이용기술의 구축

荏原製作所에서 개발한 저온수흡수냉동기를 사용한 공조시스템의 성능을 평가, 코제너레이션시스템의 최적설계기술을 검토한다.

### (3) 운전제어기술의 구축

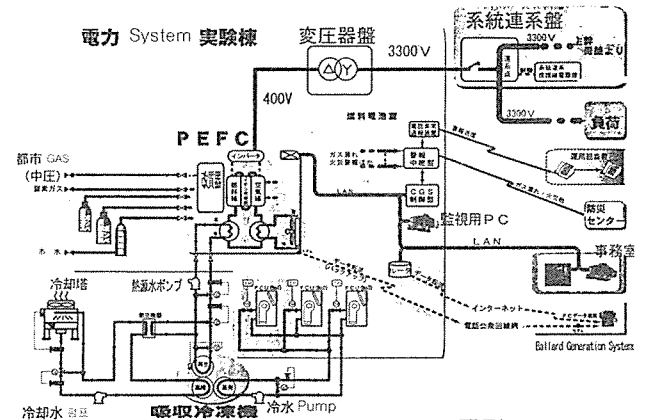
PEFC의 기동정지특성을 살려 주간 피크전력은 발전량을 크게하여 보완하고 야간의 출력전력을 저하시키는 Peak cut mode의 운전에 관하여 시스템의 특성을 평가하고 경제적인 운전제어기술을 확립한다.

이번에 사용되고있는 PEFC는 캐나다의 Ballard Generation System사 제품으로서 현재 미국에 1대, 구주에 3대, 일본에는 NTT외에 小牧에 이미 1대가 설치되어 총 6대가 세계의 상이한 환경에서 시험가동되고 있다.

## 3. 시스템의 구축

그림-1에 구축한 연료전지 코제너레이션시스템의 개요도를 표시하였다. 연료전지는 도시가스를 사용, 개질기에서 수소를 생성한다. 이 수소와 공기중의 산소를 반응시켜 직류전력을 발전한다. 이 직류전력을 인버터에 의하여 3상교류 400V로 변화시키고 변압기에 의하여 3,300V로 승압, 상용전력과 연계시켜 센터내의 통신설비에 공급하고 있다. 또한 발전시에 발생하는 배열을 흡수냉동기에 공급하여 여기서 만들어진 냉수를 냉방에 이용하고 있다. 구축한 시스템의 사양을 표-1, 2에, 외관을 그림-2, 3에 각각 표시하였다.

<그림-1> 연료전지 열병합시스템 개요도



<그림-3> 흡수냉동기 외관

<그림-2> 고체고분자형 연료전지 외관



### (1) 계통연계기술

본연료전지를 계통에 연계하여 사용할시에 전력계통연계기술요건 가이드라인에 따라 발전설비가 고장을 이룰 경우의 보호장치로 과전압계전기, 부족전압계전기를, 계통의 사고 보호설비로서 단락방향계전기, 부족전압계전기, 지락과전압계전기를, 또한 역조류

방지를 위하여 역전력검출계전기를 설계하고 전력회사와 협의하여 승락을 얻었다.

또한 주파수저하계전기의 설정은, 사용전력에 영향을 주지않는 범위를 정격의 97%인 48.5Hz로 하였다. 여기에 관해서는 PEFC의 인버터의 내력을 검증하여 필요에 따라 설정치를 바꾸는것으로 하였다.

<표-1> PEFC 사양

항 목	내 용
형 식	가압식고체고분자형(수냉식)
전기 출력	정격전력 : 250kW(상용기목표) 정격전압 : 400V 정격주파수 : 50Hz 상 수 : 3상
열출력	최대온수공급온도 : 75
효 율	발전효율 : 40%(상용기목표) <LHV> 종합효율 : 80%(상용기목표) <LHV> (전기 + 열)
원연료	도시가스 (중압)
크기 등	폭 : 7.3m      길이 : 2.4m 높이 : 2.6m      중량 : 21ton

<표-2> 흡수냉동기 사양

항 목	내 용
냉동능력	176kW (50USRT)
냉수온도	12℃(입구)      7℃(출구)
냉각수온도	30.5℃(입구)      35.3℃(출구)
온수온도	73.9℃(입구)      71.1℃(출구)
온수유량	1,220ℓ /min
COP	0.7

## (2) 흡수냉동기의 구축

PEFC의 배열은 온도가 낮아 종래에는 냉방에의 이용이 곤란하였으나 새로 개발된, 저온수에서도 효율이 높은 흡수냉동기를 도입함으로써 열이용의 고 효율화를 이루었다. 그림-4에 냉동기의 구성을 나타내었다. 본 냉동기는 리튬-브로마이드수용액의 농도의 최적화, 열교환기의 고효율화, 또한 열원수로부터 전열면적을 크게하므로써 성적계수의 향상을 도모하였다.

성적계수 0.7℃이상의 운전을 목표로 하고 흡수냉동기의 사양으로 연료전지에 되돌아가는 열원수온도

를 71.1℃ 이상, 유량을 1,220 ℓ/min 로 설정하였다. 연료전지로부터 취출되는 열량을 기초로 식(1)에서 열원수온도차를 구하면 정격시의 열원수온도차는 2.8℃가 된다.

열원수온도차(℃)

$$= \frac{\text{연료전지출력열량(kcal/h)}}{\text{유량(ℓ/h) 비열(kcal} \cdot \text{℃)} 1(\text{kgf/ℓ})} \dots (1)$$

냉동기 입력온도가 73.9℃ 이상에서 성적계수 0.7℃이 얻어진다. 실제로 연료전지의 배열을 75℃까지 높이는것이 가능하다. 금후의 현장시험에서 수집되는 데이터를 기초로 다시 새로운 COP를 얻을 수 있도록 흡수냉동기의 사양의 최적화를 도모할 예정이다.

## (3) 계측시스템

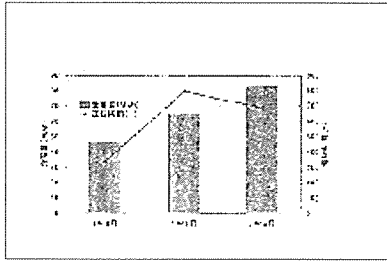
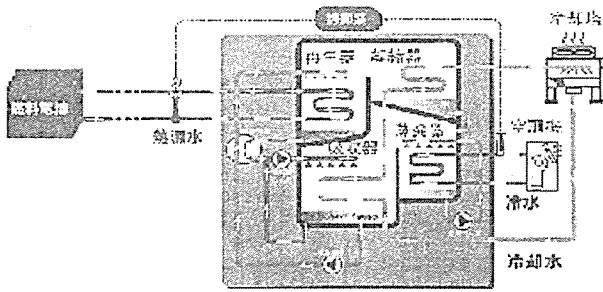
코제너레이션시스템의 각종 계측데이터는 LAN을 경유하여 계측실이나 사무실에 설치한 감시용 PC에 보내진다. 감시PC에서는 실시간의 운전상황을 파악하고 운전데이터를 자동축적하여 데이터 해석에 이용하는것이 가능하다.

## 4. 현재까지의 운전실적

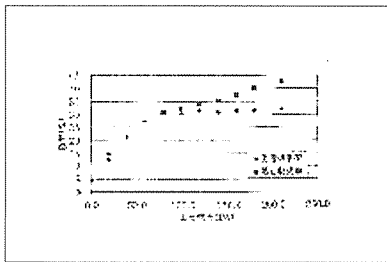
그림-5에 2001년 4분기까지의 운전실적을 나타내었다. 4~6월에 비하여 7~9월의 운전시간이 감소된것은 보조기기의 고장에 의하여 정지가 수회있었고 9월의 테러사건으로 부품의 수송이 대폭 지연되고 수리시간이 많았던것이 그 원인이었다. 그에 반하여 7~9월의 발전량이 4~6월보다 많은것은 7~9월에는 운전시의 출력을 일정하게 유지하였으나 4월과 5월에는 Peak cut mode로 운전하고 야간의 출력을 0 kW로 내렸기 때문이다.

그림-6에 출력전력에 대한 발전단효율 및 열회수효율을 표시하였다. 발전단효율은 75kW 이상에서는 대략 일정하고 최대효율은 34%였다. 열회수효율은 출력전력과 함께 증가한다. 출력전력이 0kW이라도 스택은 보조기기분의 전력을 출력하고 있으므로 열회수는 이루어지고 있다.

<그림-4> 저온수 흡수냉동기의 구성



<그림-5> 발전실적(2001년)



<그림-6> 출력전력 효율

## 5. 금후의 과제

### (1) 연료전지

현장시험기기의 설계효율 34%를 실적으로 정리 하였다. 역시 현장시험기기는 신뢰성 확보를 위하여 보조기기의 용량을 크게 제작하였으므로 발전단의 출력전력이 감소되었다. 금후 현장시험을 통하여 보조기기 용량 저감을 이루어 상용기에서의 발전단효율 목표를 40%로 한다.

### (2) 코제너레이션시스템

연료전지와 흡수냉동기와의 운전특성에 따라 다음과 같은 개선점을 검토하고 제어시스템 개발에 반영한다.

#### a. 냉방부하가 큰 경우

연료전지의 정격운전중에 흡수냉동기를 전부하(全負荷)로 운전하면 연료전지로부터의 배열온도가 저하되고 냉동기로부터 냉수출구온도 7°C가 유지되지 않는다. 수대의 공조기를 1대씩 단계적으로 운전제어하여 배열온도의 변동을 방지하므로써 대책이 가능하나 사용자의 입장에서 편리성과 신뢰성이 높은 시스템 동작에 대한 검토가 필요하다.

#### b. 냉방부하가 작은 경우

냉동기의 자동 on/off에 따라 연료전지스택의 냉각수 온도가 변동한다. 특히 냉동기 정지시 흡수냉동기가 열원수를 갑자기 사용하지 않으므로써 열원수온도가 상승하고 연료전지스택의 온도상승을 초래한다. 흡수냉동기용 냉각탑을 병용하여 열원수온도를 안정시키는 시스템 검토를 실시한다.

## 6. 맺는말

자동차용, 가정용 등의 보급에 의한 양산효과로 저코스트화가 개대되는 PEFC를 이용한 코제너레이션시스템의 현장시험을 개시하였다. 본시스템은 일본에서 최초인 250KW급 PEFC와 새로 개발한 저온수흡수냉동기를 이용한 시스템이다.

여기까지의 초기특성을 측정하고 정격출력에서 발전단효율 34%, 열회수효율 42%를 확인하였다. 9월 말 현재 운전시간은 1,480시간, 총 발전량은 208MWh이다.

NTT에서 본 현장시험을 통하여 정보통신시스템에 적용한 열병합시스템의 개발을 추진하여 환경친화의 청정한 연료전지의 도입을 촉진하고 청정 발전에 의한 전력자급률 향상을 꾀하여 환경보호추진활동에 공헌하고 있다.

荏原그룹은 지금까지 축적한 기술과 본 현장시험을 통하여 얻은 기술을 종합하여 자원과 에너지소비를 억제하고 지구환경에 대한 부하를 제로로 하는 Zero Emission 사회의 실현을 지향하고 있다.