

## 요금 정책이 PEMFC 시스템 경제성에 미치는 영향

김 기영, 황 남선, 공 민석, 김 희수, 오 시덕

### Cost Policy Effects of Economic Feasibility of 1kw household PEMFC System

Ki Young Kim, Nam-Sun Hwang, Min-Seok Kong, Hee-Su Kim, Si-Doek Oh

**Key words** : Cost Policy (요금정책), Economic Feasibility(경제성), Optimal Planning(최적설계), PEMFC(고분자 전해질 연료전지)

**Abstract** : Fuel cell with high electric efficiency has many probabilities of commercial use. Especially, polymer electrolyte or proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) which is a low operating temperature and has less influence on CO<sub>2</sub> concentration is considered the power generation system of small building and household. We calculated the optimal operational plans of 1 kW household PEMFC power system based on daily electric and heat demand patterns of various size of apartments. Calculated results show that the economic feasibility of PEMFC power system is very sensitive to the cost policy of electricity and natural gas.

#### Nomenclature

C<sub>base</sub> : base price  
P : electricity, kWh  
P<sub>D</sub> : electric demand, kWh  
Q : heat, kWh  
Q<sub>D</sub> : heat demand, kWh  
X : fuel consumption, NM<sup>3</sup>  
Z<sub>r</sub> : operation cost

#### subscript

AUX : auxiliary boiler  
FC : PEMFC  
HR : heat reservoir

### 1. 서론

연료전지는 화학에너지를 전기 에너지로 직접 전환하기 때문에 일반적인 발전 시스템보다 효율이 매우 높고 환경 부하가 적은 청정에너지 발전 시스템이다. 또한 석유에너지 이외에 메탄올, 에탄올, 천연가스 등의 대체에너지를 이용하여 발전할 수 있으며, 특히 차세대 연료라 할 수 있는 수소를 이용하여 전기를 발전하는데 가장 효과적인 연료전지는 에너지 자원이 부족한 국가에서 차세대 동력원으로 주목받고 있다.<sup>1-2)</sup>

전해질이 고체인 고분자 전해질 연료전지는 전해질 누출의 위험이 없고, 낮은 온도에서 작동

하며, 연료 개질 시 발생하는 이산화탄소에 영향이 없어 1 kW ~ 10 kW 급 가정 및 상업용으로 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>2-3)</sup>

상용화를 위한 연료전지 효율 극대화 및 원가 절감 등에 많은 연구가 진행 중에 있지만, 운전 모드의 최적화를 통하여 연료전지를 효율적이고 합리적으로 운영할 수 있는 방법을 제시할 수 있으며 더불어 연료전지 도입에 있어서 중요한 전력 및 연료 단가 정책에 대하여 정량적인 분석의 수단으로 활용할 수 있음에도 불구하고 아직까지 에너지 수요패턴에 따른 운전 모드 최적 설계 및 경제성 평가에 대한 연구는 미진한 상태이다.

본 연구에서는 에너지 수요 패턴이 상이한 아파트의 1가구의 계절별 전력 및 열 부하 패턴을 사용하여 1 kW PEMFC 시스템 운전 최적화를 수행

- 
- 1) (주)효성  
E-mail : kykim@hyosung.com  
Tel : (031)596-1771 Fax : (031)596-1699
  - 2) (주)효성  
E-mail : aoromast@hyosung.com  
Tel : (031)596-1766 Fax : (031)596-1699
  - 3) (주)효성  
E-mail : mskong@hyosung.com  
Tel : (031)596-1762 Fax : (031)596-1699
  - 4) (주)효성  
E-mail : heesukim@hyosung.com  
Tel : (031)596-1769 Fax : (031)596-1699
  - 5) (주)효성  
E-mail : ohsidk@hyosung.com  
Tel : (031)596-1702 Fax : (031)596-1697

Table 1 Operation Cost and energy consumption of various size of APT.

	전기요금 [천원/월]	가스요금 [천원/월]	총액 [천원/월]
소형 APT 76 m <sup>3</sup> (23평)	48 (342 kWh)	58 (101 m <sup>3</sup> )	106
중형 APT 119 m <sup>3</sup> (36평)	89 (465 kWh)	80 (140 m <sup>3</sup> )	168
대형 APT 198 m <sup>3</sup> (60평)	718 (1,448 kWh)	170 (301 m <sup>3</sup> )	888

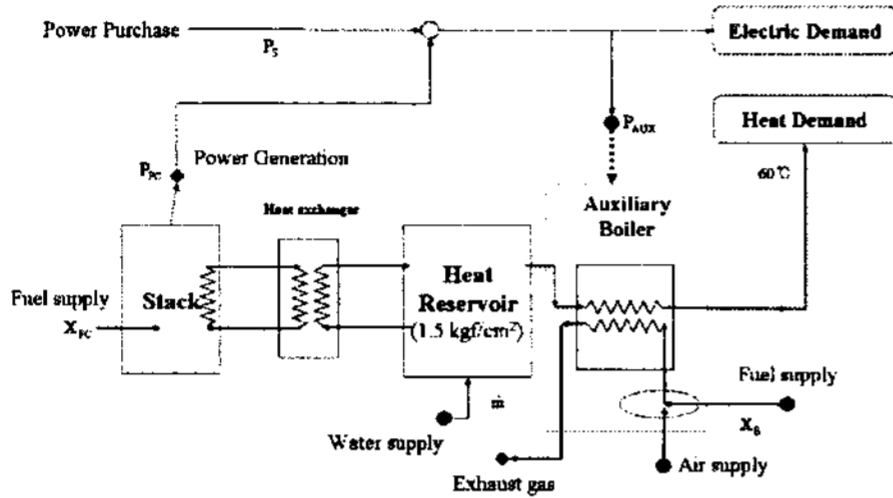


Fig. 1 Schematic of 1.0 kW household PEMFC system.

하여 전기 및 가스 요금 정책이 PEMFC 운전비용 절감에 미치는 영향을 살펴보았다.

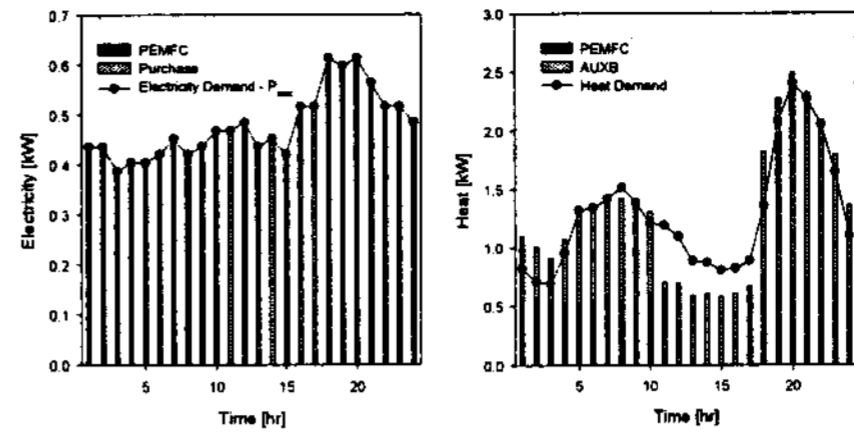
## 2. 가정용 PEMFC 운전 최적화

1kW급 가정용 PEMFC system은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 PEMFC 모듈, 열저장조 그리고 보조 보일러로 구성되는데, PEMFC 모듈은 천연가스 등과 같은 연료를 사용하여 수소를 생산하는 연료처리부, 생산된 수소로부터 전기를 생산하는 스택, 그리고 생산된 DC 전력을 AC로 변환하는 PCS(Power Conditioning System) 장치 등으로 구성된다. 특히 연료처리장치에서 생산된 수소와 공기 중의 산소를 이용하여 스택에서 전기를 생산할 때 부수적으로 발생하는 열을 열교환기를 이용하여 열을 제거하며, 제거된 열은 열저장조를 설치하여 저장하게 된다. 이때 가정에서 열수요가 발생할 경우 열저장조에 저장된 온수를 공급하게 되며 부족한 열수요는 보조보일러를 사용하여 보충하게 된다.

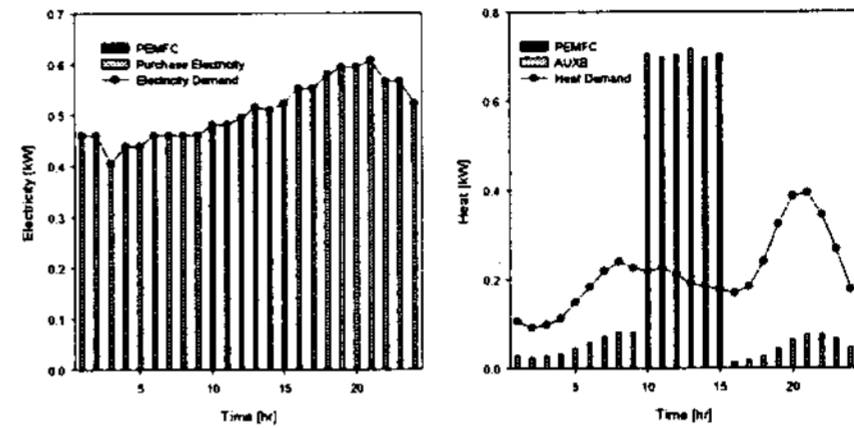
1 kW PEMFC 시스템의 운전 모드에 따른 운전비용은 연료전지 및 보조보일러 운전에 따른 운전비용 및 외부 전력 사용량에 따른 비용의 합으로 나타낼 수 있으며, 열저장조에 저장된 열에너지를 고려하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.<sup>4-5)</sup>

$$Z_r = \sum_{m=1}^M (C_{FC}X_{FC}^m + C_{AUXB}X_{AUXB}^m + C_P W_P^m) - \left[ \sum_{m=1}^M C_{FC}X_{FC}^m \right]_{ST} + C_{Base} \quad (1)$$

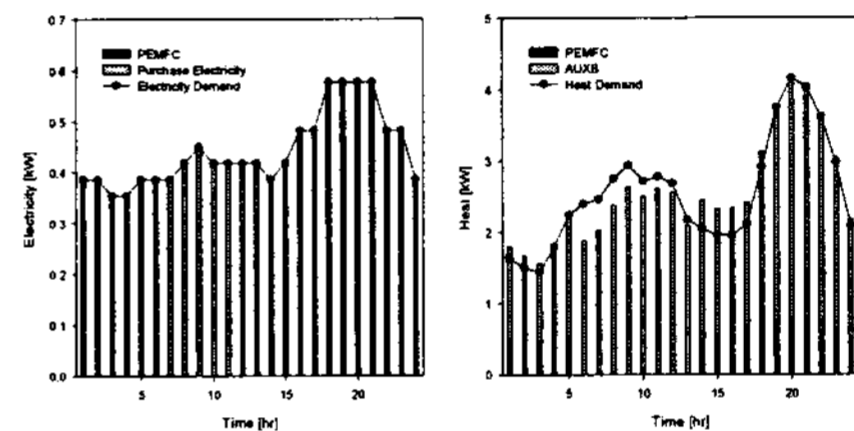
전기 구입량, PEMFC 및 보조보일러 가동률은 운



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 Calculated optimal operation plan of small-size (76 m<sup>2</sup>) APT in (a) Spring/fall, (b) Summer, (c) Winter.

전비용을 나타내는 목적함수 식(1)이 최소가 되는 전력 및 천연가스 사용량으로부터 구할 수 있다. 단, 식(1)은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$P_{FC} + P_P - P_{AUXB} \geq P_D \quad (2a)$$

$$Q_{AUXB} + C_P m (\bar{T}_{HR} - 273.15) \geq Q_D \quad (2b)$$

최적 운전모드 및 경제성 평가를 위하여 사용한 전기요금은 한전 주택용 고압용 요금을 적용하였으며 천연가스는 개별난방용 단가(562.52 m<sup>3</sup>/₩)를 적용하였다.

## 3. 결과

1 kW급 가정용 연료전지의 경제성 평가를 위하여 Table 1에 정리된 소형, 중형 그리고 대형 아파트의 계절별 에너지 수요패턴을 이용하여 식(1)의 운전비용이 최소가 되는 운전 모드를 계산하였다.

Fig. 2는 76m<sup>2</sup> (23평) 소형 아파트에 가정용 연료전지를 도입하였을 때 계산된 계절별 연료전지의 최적화된 운전 모드이며, Table. 2는 계절별 에너지 사용량 및 운전요금 절감액이다.

겨울과 봄/가을의 경우 밤에 전기 부하가 높은 저녁과 밤에 운전하며, 여름철의 경우 낮에 6시

Table 2 Calculated operation cost for the case of small-size (76 m<sup>2</sup>) APT.

	전기요금 [천원/월]	가스요금 [천원/월]	총액 [천원/월]	절감액 [천원/월]
봄/가을	6 (99kWh)	74 (130 m <sup>3</sup> )	80	23
여름	31 (275.5kWh)	17 (70 m <sup>3</sup> )	48	15
겨울	6 (99kWh)	125 (228 m <sup>3</sup> )	131	20
평균	14 (158kWh)	72 (143 m <sup>3</sup> )	86	19

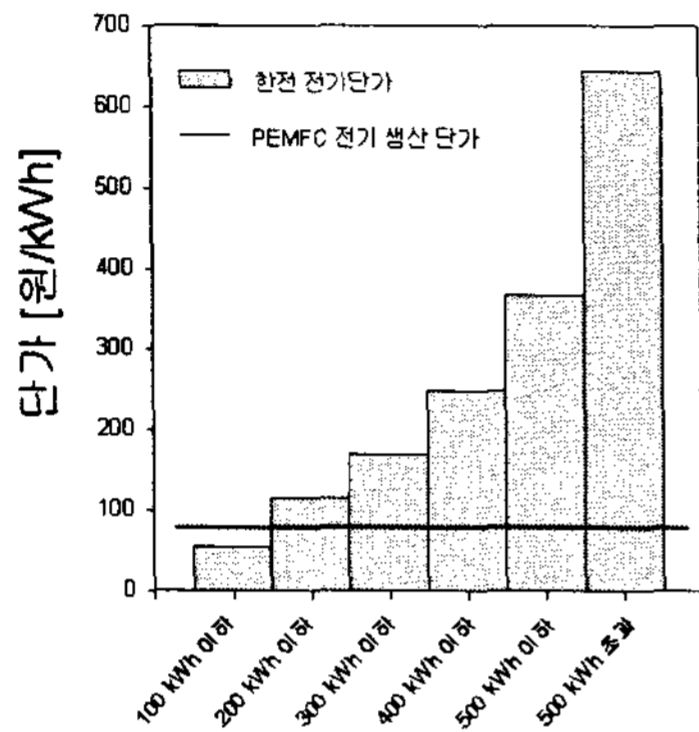


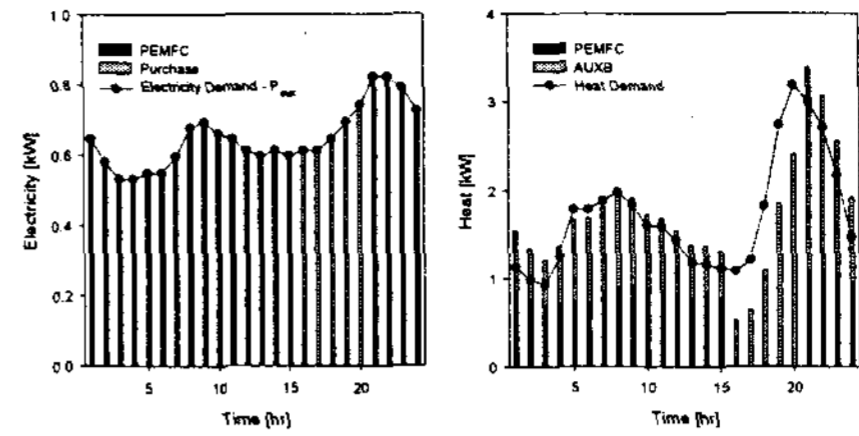
Fig. 3 Electric cost purchased in grid and produced by PEMFC system

간 정도만 운전하는 것이 운전비용을 가장 많이 절감하는 것으로 계산되었다. PEMFC 시스템의 가동률이 80% 정도로 낮은 이유는 Fig.3에서 볼 수 있듯이 전기 단가가 1 kWh당 약 77원 이상 되어야 PEMFC 도입에 따른 운전비용 감소 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 즉 봄/가을과 겨울철에 약 100 kWh를 한전에서 수전하며 나머지 전기 수요는 PEMFC 시스템의 발전으로 충당하는 것이 가장 경제적인 운전 방법임을 알 수 있다. 반면 여름철의 경우에는 Fig 2(b)에서 볼 수 있듯이 여름철에는 열수요가 작아 하루 6 시간만 운전해도 열저장조의 온도가 55 °C 이상 증가하기 때문에 PEMFC 스택의 적정 온도 유지를 위하여 운전을 중지하는 운전 모드가 계산되었다.

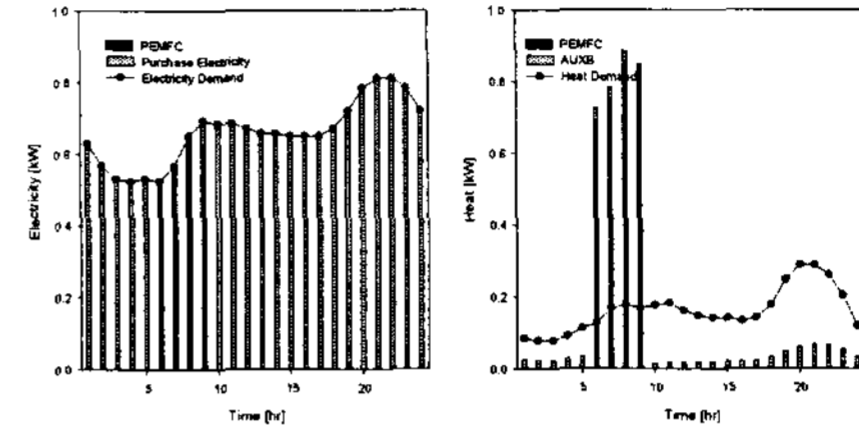
동일한 방법으로 119 m<sup>2</sup>(36평) 중형 아파트에 대한 최적의 운전모드를 계산한 결과는 Fig. 4

Table 3 Calculated operation cost for the case of middle-size(119 m<sup>2</sup>) APT.

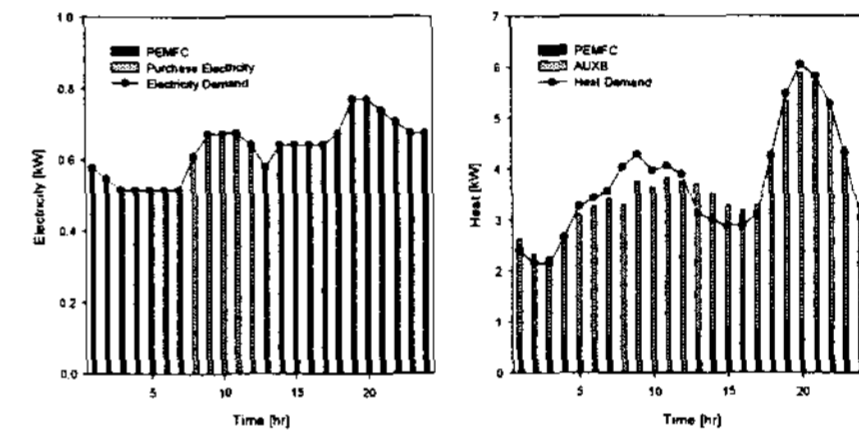
	전기요금 [천원/월]	가스요금 [천원/월]	총액 [천원/월]	절감액 [천원/월]
봄/가을	6 (99 kWh)	101 (178 m <sup>3</sup> )	107	55
여름	66 (403 kWh)	13 (22 m <sup>3</sup> )	79	21
겨울	6 (98W)	185 (327 m <sup>3</sup> )	191	51
평균	26 (200 kWh)	100 (176 m <sup>3</sup> )	126	42



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Calculated optimal operation plan of middle-size APT (119 m<sup>2</sup>) in (a) Spring/fall, (b) Summer, (c) Winter.

로 소형 아파트의 경우와 같이 봄/가을과 겨울철에는 전기 단가가 낮은 100 kWh를 한전에서 수전하고, 나머지는 PEMFC로부터 전기를 발전해서 사용하는 하는 운전 모드를 얻었다. 하지만 Table 3에서 볼 수 있듯이 중형 아파트의 경우 평균 전기사용량이 월 평균 약 460 kWh에서 200 kWh로 감소하여 연간 50 만원정도(소형의 경우 연간 20 만원 절감) 운전요금을 절약할 것으로 예상되었다.

월평균 약 1500 kWh의 전기를 사용하는 198 m<sup>2</sup>(60평) 대형 아파트에 PEMFC 시스템을 설치할 경우 계산된 최적인전모드를 Fig.5에 나타내었다. 대형 아파트의 경우 전기 사용량뿐만 아니라

Table 4 Calculated operation cost for the case of large-size (198 m<sup>2</sup>) APT.

	전기요금 [천원/월]	가스요금 [천원/월]	총액 [천원/월]	절감액 [천원/월]
봄/가을	212 (664 kWh)	204 (361 m <sup>3</sup> )	416	409
여름	449 (1031 kWh)	65 (114 m <sup>3</sup> )	514	227
겨울	307 (810 kWh)	382 (667 m <sup>3</sup> )	689	408
평균	323 (835 kWh)	217 (384 m <sup>3</sup> )	540	348

## 4. 결론

본 연구에서는 1kW급 가정용 PEMFC 시스템을 크기가 다른 아파트에 각각 도입하였을 때 예상되는 PEMFC 시스템의 최적 운전 모드 및 운전비용을 계산하였다.

소형 아파트의 경우 연간 운전비용 절감액이 약 20 만원이지만 전기 누진세율을 가장 크게 적용받는 대형 아파트의 경우 연간 운전비용을 400 만원 이상 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

전기 사용량이 큰 가정에 1kW급 PEMFC 시스템을 도입할 경우 전기 발전으로 전기 사용량을 감소시켜 누진세율이 적용되는 전기요금을 절감할 수 있기 때문에 경쟁력이 충분히 있을 것으로 예상된다. 또한 일본에서 가정용 연료전지 보급을 확대하기 위하여 적용되는 가스요금 인하 정책을 추가적으로 적용한다면<sup>6)</sup> 1kW급 가정용 PEMFC 시스템 도입에 따른 운전비용 절감 효과는 더욱 커 PEMFC 시스템 보급에 많은 영향을 줄 것으로 예상된다. 따라서 PEMFC 시스템의 경제성 확보를 위해 전기/도시가스 요금 정책 및 제도 개선에 대한 국가적 관심이 요구된다.

## References

- [1] Kordesch, K. Simade, G., 1996, Fuel Cells and Their Applications, VHC, Weinheim.
- [2] Anahara, R., Yokokawa, S. Sakurai, M., 1993, "Present Status and Future Prospects for Fuel Cell Power Systems," Proc. IEEE, Vol. 81, No. 3, pp. 399-408.
- [3] Barbir, F., 2005, PEM Fuel Cells: Theory and Practice, Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- [4] Oh, S., Lee, H., Jung, J., Kwak, H., 2007, "Optimal Planning and Economic Evaluation of Cogeneration System," Energy, Vol. 32, pp. 760-771.
- [5] Oh, S., Oh, H., Kwak, H., 2007, "Economic Evaluation for Adoption of Cogeneration system," Appl. Energy, Vol. 84, pp. 266-278.
- [6] <http://home.tokyo-gas.co.jp>

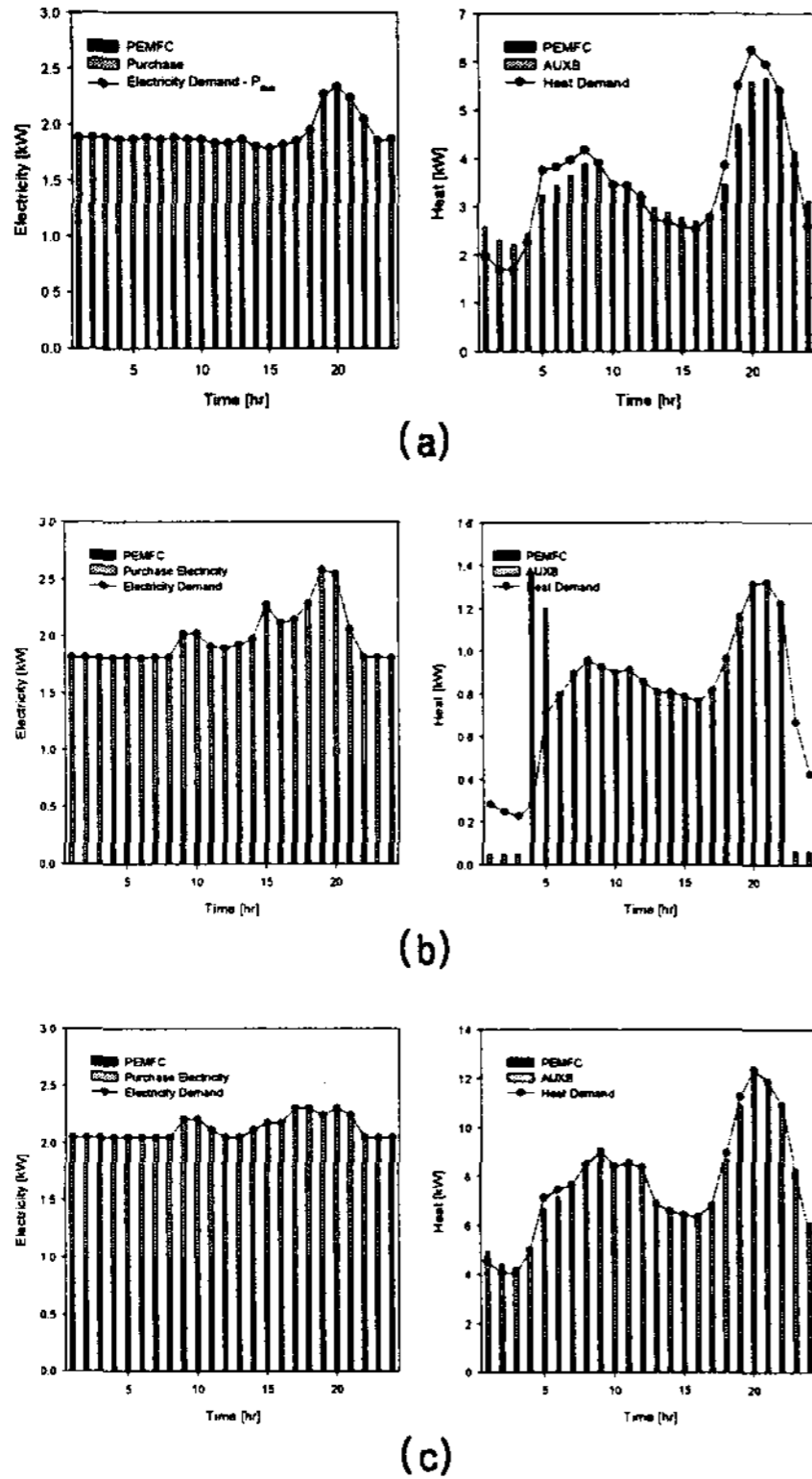


Fig. 5 Calculated optimal operation plan of large-size (198 m<sup>2</sup>) APT in (a) Spring/fall, (b) Summer, (c) Winter.

열사용량도 크기 때문에 봄/가을과 겨울철에는 100% 가동을 하며, 여름철에는 열부하가 전기부하보다 작기 때문에 운전모드가 열부하 추종을 갖게 된다. 이때 대형 아파트의 경우 kWh당 전기 단가가 가장 높은 월 500 kWh 초과분에 대한 전기 사용량을 PEMFC 시스템의 전기 발전으로 충당하게 되어 Table 4에서 볼 수 있듯이 가스요금이 월평균 30% 정도 증가(170천원→217천원) 되었음에도 불구하고 월평균 35 만원의 운전비용을 절감되어 연간 운전비용으로 환산하면 400 만원 이상 절감할 수 있는 것으로 계산되었다.