

부산지역 학교 기숙사에서의 소형열병합발전 시스템의 경제성 분석

송 재 도, 구 본 철, 강 울 호, 박 종 규, 이 재 근*, 안 영 철**†

부산대학교 기계공학부, *(주)에코에너지기술연구소, **부산대학교 건축공학과

Economic Investigation of Small Scale Cogeneration System in a School Dormitory of Busan Region

Jae-Do Song, Bon-Cheol Ku, Yul-Ho Kang, Jong-Kyu Park, Jae-Keun Lee*, Young-Chull Ahn**†

School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

*EcoEnergy Research Institute, Busan, 618-230, Korea

**Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received May 2, 2012; revision received July 2, 2012)

ABSTRACT: The cogeneration system can operate at efficiencies greater than those achieved when heat and power are produced in separate. The optimal system can be determined by selecting the auxiliary system combined with cogeneration system. In the present study, economic investigation has been conducted with the cogeneration electric heat pump(EHP) system and the cogeneration absorption chiller(AC) system to install in a school dormitory. To analyze life cycle cost(LCC), cost items such as initial investment costs, annual energy costs and maintenance costs of each system have been considered. The initial investment cost is referred to the basis of estimated costs, and annual energy costs such as the electric power and gas consumption are based on the data in a school dormitory. LCC is evaluated with the present worth method. Considering investigated results, the initial investment cost of the cogeneration EHP system is more profitable about 24% than that of the cogeneration AC system. The energy cost of the cogeneration EHP system is more profitable about 8% than the cogeneration AC system. The LCC shows that the cogeneration EHP system is the most effective system in the school dormitory.

Key words: Absorption chiller(흡수식냉동기), Cogeneration(열병합발전), Dormitory(기숙사), EHP(전기 히트펌프), LCC(생애 주기 비용)

기 호 설 명

A	: n년 간 걸쳐 지불되는 일정한 기말 지불액 [원]	i	: 할인율, 이자율 [%]
e	: 상승률 [%]	P	: 현가 [원]
F	: 기말 지불액 [원]	n	: 내용연수 [년]

1. 서 론

현재 세계는 이산화탄소의 배출로 인한 지구온난화로 인해 심각한 기후 변화를 겪고 있고, 이를 줄이기 위한 노력은 국가 규모로 다양한 방면에서 전개되고 있다.⁽¹⁾ 산업화와 경제성장으로 우리나라의 에

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2492; fax: +82-51-514-2230

E-mail address: ycahn@pusan.ac.kr

너지 소비는 비약적으로 증가해 왔으며 대부분을 해외에 의존하고 있다. 최근엔 삶의 질이 향상되고 쾌적함 추구에 대한 경향이 증가하면서 냉난방 시스템의 보급이 확대되고 있으며 이에 따른 에너지 소비도 급격하게 증가하고 있다.

대학교는 다양한 부류의 구성원이 다양한 시간대에 근무하고 있어 부하 사용특성이 건물별로 각각 다르다. 학교 건물의 신축, 냉/난방 설비의 급증, 실험 기자재의 확충 등으로 전기 사용량이 증가하여 수전 설비가 한계점에 도달하고 있다. 하절기 냉방을 위해 압축기를 전기로 구동하는 시스템(Electric Heat Pump : EHP)의 증가로 하절기 Peak 부하 시 전력 수급에 문제점을 증가시키고 있으며, 동절기 난방용 가스보일러에 의한 가스 사용이 증가되고 있다. 이와 같은 계절에 따른 전력과 가스의 수급 구조 불균형을 개선하기 위해 가스 열병합발전(Cogeneration, Cogen) 시스템의 도입이 증가하고 있다.⁽²⁻⁴⁾

열병합발전 시스템은 엔진 혹은 가스터빈을 구동시켜 발전하고, 그 배열을 유효하게 회수하여 열을 이용하는 시스템, 즉 전기와 열을 동시에 생산하는 시스템으로 기존의 발전효율을 30% 정도 향상시키고, CO₂량을 45% 이상 감소시키며 전체 시스템 효율을 80% 이상까지 얻을 수 있는 고효율 에너지 이용기술이다. 일반적으로 열병합발전 시스템은 효율적인 이용을 위해 다른 에너지 시스템과의 최적조합으로 사용이 된다.⁽⁵⁾

선행연구에서는 대학교 기숙사에서 Cogen과 EHP를 결합한 시스템이 전기 히터와 보일러를 결합한 시스템보다 경제성이 있는 것으로 보고하고 있으며,⁽⁶⁻⁸⁾ 호텔 건물에서 Cogen과 흡수식 냉동기(Absorption Chiller, AC)를 결합한 시스템의 경제성 분석을 통해 폐열과 가스를 이용한 냉방으로 하절기의 최대 전력 수요를 줄일 수 있는 것으로 보고하고 있다.⁽⁹⁾

대학교의 Peak 전력을 낮추면서, 계절에 따른 전력과 가스의 불균형을 개선하기 위해 열 부하가 많은 학교 기숙사에 Cogen 시스템을 도입하고자 함에 있어 Cogen과 어떤 에너지 시스템과의 조합이 최적인가를 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 선행연구에서 경제성이 있다고 추천되고 있는 Cogen과 EHP 결합 시스템과 Cogen과 AC 결합 시스템 간의 경제성 분석을 통해 최적의 조합을 제공하고자 한다.

2. Cogen 결합 시스템의 설계

2.1 학교 기숙사 열부하 분석

본 연구의 대상 사이트는 P대학교의 기숙사이다. Table 1은 학교 기숙사의 연면적과 열부하를 나타낸 것이다. A, B, C, D 각 동의 전체 연면적은 28,928 m²이고, 열부하 계산을 통해 얻어진 각 동의 냉난방 및 급탕 부하의 총 합은 각각 2,803 kW, 1,750 kW, 1,070 kW이다.

2.2 Cogen EHP 시스템의 설계

Cogen EHP 시스템은 Cogen과 냉/난방이 가능한 EHP와 결합한 시스템이다. Table 2는 부하에 맞추어 설계된 Cogen EHP 시스템의 사양을 나타낸 것으로, 냉방부하에 맞춘 EHP 냉방능력(가동율 90% 가정)은 3,074 kW이고 소비전력은 1,007 kW이다. 또한 난방능력과 소비전력은 각각 3,457 kW, 954 kW이다. EHP 소비전력을 감당할 Cogen 발전용량

Table 1 Max. Cooling, Heating and Hot water loads at the school dormitory

Site	Space (m ²)	Cooling (kW)	Heating (kW)	Hot Water (kW)
A	5,872	835	782	12
B	12,180	1,036	1,036	573
C	7,781	653	653	350
D	3,095	279	279	135
Total	28,928	2,803	2,750	1,070

Table 2 Specifications of the cogeneration EHP system(Unit : kW)

System		Specification	
EHP (Out-door)	3,074 kW	Cooling Capa. : 3,074	
		Heating Capa. : 3,457	
Cogen	1,230 kW	Power Consumption	
		· Cooling : 1,007	
		· Heating : 954	
Aux. Boiler	4,202 kW	Heat	Power
		1,833	1,100
Aux. Boiler	4,202 kW	Heat	-
		4,202	-

(가동율 90% 가정)은 1,100 kW이고 배열은 1,833 kW이며 Cogen의 발전과 배열효율은 각각 30, 50%이다. 난방과 급탕부하를 위한 보조 가스보일러의 용량은 4,202 kW이다.

Fig. 1은 Cogen EHP 시스템의 전력/열부하 선도이다. Cogen에서 발전된 전력은 한전 수전전력과 합쳐져서 냉/난방 EHP를 작동시킨다. Cogen은 냉/난방 부하를 감당하기 위한 EHP 소비전력 만큼 발전하고, 배열은 급탕부하를 감당하게 된다. 급탕부하보다 많은 배열은 Cogen 방열기를 통하여 공기 중으로 방열된다. 가스보일러는 Cogen의 배열량이 부족할 경우 급탕에 보충이 되거나, Cogen EHP에 문제가 있을 경우 난방과 급탕부하를 담당하게 된다.

2.3 Cogen AC 시스템의 설계

Cogen을 냉방용 AC와 난방/급탕용 가스 보일러와 결합한 시스템이다. Table 3에는 부하에 맞추어 설계된 Cogen AC 시스템의 사양을 나타내었다. 냉방 부하에 맞춘 이중효용 흡수식 AC 냉방능력(가동율 90% 가정)은 800 RT(3,089 kW)이고 소비전력은

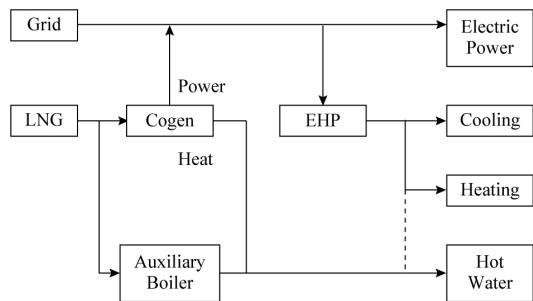


Fig. 1 Block diagram of the cogeneration EHP system.

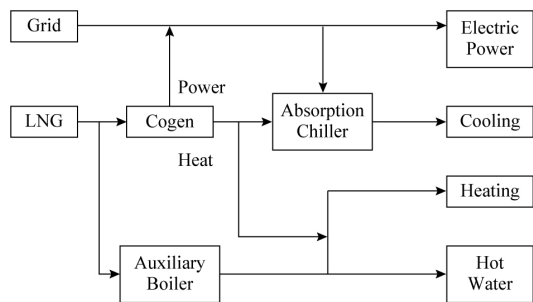


Fig. 2 Block diagram of the cogeneration AC system.

Table 3 Specifications of the cogeneration AC system(Unit : kW)

System	Cooling Capa.	Power Consumption	Heat Consumption
AC 800 RT	3,089	252	2,425
Cogen. 1,600 kW	Heat	Power	Saving Power
	2,667	1,600	1,347
Aux. Boiler 4,202 kW	Heat	-	-
	4,202	-	-

252 kW이며 소비되는 배열은 2,425 kW이다. AC의 소비배열을 감당할 Cogen 발전용량(가동율 90% 가정)은 1,600 kW이고 배열은 2,667 kW이며 AC 소비전력을 뺀 잉여전력은 1,348 kW이다. Cogen의 발전과 배열효율은 각각 30%, 50%이다. 난방과 급탕부하를 위한 보조 가스보일러의 용량은 4,202 kW이다.

Fig. 2는 Cogen AC 시스템의 전력/열부하 선도이다. Cogen에서 발전된 전력은 한전 수전전력과 합쳐져서 냉방용 AC를 작동시키고 잉여전력은 학교 내 다른 건물에 공급된다. 하절기에 Cogen은 냉방 부하를 감당하기 위한 AC 소비배열 만큼 가동하고 급탕부하는 보조 가스보일러에서 감당하게 된다. 동절기에 Cogen은 난방 부하를 감당하고 부족한 난방과 급탕부하는 보조 가스보일러에서 감당하게 된다.

3. Cogen 결합 시스템의 경제성 분석

3.1 경제성 분석방법

경제성 분석(Life Cycle Cost, LCC)은 상품의 생산, 사용 그리고 폐기에 따르는 각 비용을 합한 총비용

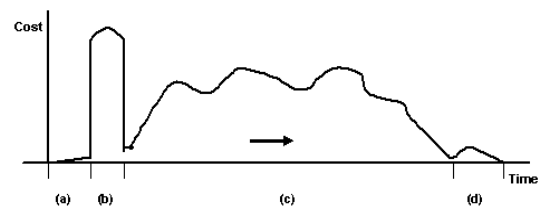


Fig. 3 Occurrence time of the general LCC in each cost breakdown structure. (a) Plan and Design, (b) Initial investment and Support, (c) Energy and Maintenance, (d) Scrapping of equipment.

에 대해 분석하였다. Fig. 3은 LCC에서 시간에 따른 발생비용 분석구조를 나타낸 것이다. 이 중 초기 투자비, 각종 보조금, 에너지 비용 등이 중요하게 작용한다.⁽⁷⁾ Cogen 결합 시스템은 사용기간 동안 발생하는 연비용이 동일하기 때문에 이에 적합한 현가법을 사용하여 분석하였다.^(9,10) 변수의 상승률과 이자율을 고려하여 식(1)을 통해 미래 발생비용을 현가로 환산하였다.

$$P = A \frac{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^n - 1}{\frac{1+e}{1+i} - 1} \quad (1)$$

여기서, P는 현가[원], A는 n년 간에 걸쳐 계속 지불되는 기말 지불액[원], e는 변수 상승률[%], i는 할인율[%], n는 내용연수[년]이다. 본 연구에서는 전기와 가스요금 상승률을 각각 2%, 4%로, 물가 할인율은 6%로, 내용연수는 20년으로 가정하였다. Cogen 초기투자비는 3년 거치 5년 분할상환 및 연리 2.25%로 정부지원금을 받는 것으로 하였다. 보전비는 초기 투자비의 1.5%로 설정하였다.

3.2 Cogen 결합 시스템의 에너지 비용

에너지 비용 산출을 위해 전력회사와 가스회사의 요금정보를 참조하였다.^(11, 12) Table 4는 전력과 가스요금 표이다. 전력요금은 교육용 고압 A의 선택 2번 요금표에서 계절에 따라 차등 적용되고, 가스요금은 부산도시가스 산업용 및 열병합용 요금표에서 Cogen 유/무에 따라 차등을 두고 있다. 가스 사용에 따른 요금은 저위발열량 9,550 kcal/Nm³을 기준으로 계산하였고, Cogen의 가스 소비량은 540 m³/h이다. 난방은 11월에서 3월까지, 냉방은 6월에서 9월까지 하는 것으로 하고 하루 8~10시간 운전하는 것으로 가정하였다. 시스템 운전율은 70%로, 보조가스보일러의 효율은 95%로 가정하였다.

3.3 Cogen 결합 시스템의 초기투자비

Table 5는 각 결합 시스템의 초기 투자비 및 에너지 비교표이다. 초기 투자비는 대상건물과 시공회사에 따라 차이를 보이므로 전문회사를 통한 견적자료에 근거하여 분석을 수행하였다. Cogen EHP는 3,907백만 원이고 Cogen AC는 4,842백만 원으로 Cogen

Table 4 Energy cost(Unit : Won/kW)

		Electric Cost		
Classifi- cation	Basic charge*	Rate of electric power quantity		
		Summer (7~8)	Etc. (3~6, 9~10)	Winter (11~2)
Education	5,560	77.5	48.6	55.1
		Gas Cost		
Classifi- cation	Basic charge	Rate of gas quantity		
		Summer (6~9)	Etc. (4~5, 10~11)	Winter (12~3)
Cogen	0	699.02	700.89	717.99

*Basic charge : Basic rate per contract electric power.

Table 5 Total cost(initial and energy) of each system(Unit : MWon)

Initial Cost			
Object	Cogen+EHP	Cogen+AC	Ratio
Cogen	1,893	2,783	
EHP or AC	1,132	753	
Construction and Control	882	1,307	
Total	3,907	4,842	1.24
Energy Cost			
Cooling	237.8	259.7	
Heating	324.4	346.3	
Hot Water	-	139.4	
Saving Power	-	136.1	
Total	562.2	609.3	1.08
Grand Total	4,469.2	5,451.2	1.22

AC가 1.24배 높다. 이것은 전력을 이용하는 EHP보다 배열을 이용하는 AC의 Cogen 용량이 상대적으로 높고, 냉각탑과 펌프 등의 시공/제어비가 상대적으로 높기 때문이다. 에너지 비용에서는 Cogen EHP가 551.4백만 원이고 Cogen AC는 Cogen의 잉여전력 요금을 제한 609.3백만 원으로 Cogen AC가 1.08배 더 높은 값을 나타낸다. 이것은 냉방용 EHP가 AC보다 효율이 높고, 전력으로 구동되는 난방용 EHP보다 난방과 급탕부하를 동시에 감당해야 하는 보조 가스보일러의 효율이 낮고 전력보다 가스요금이기 때문이다.

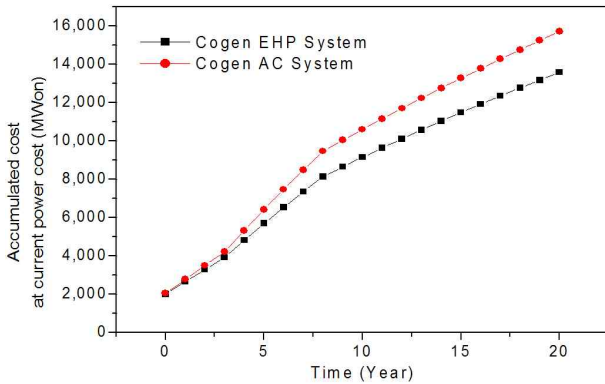


Fig. 4 LCC analysis of each system.

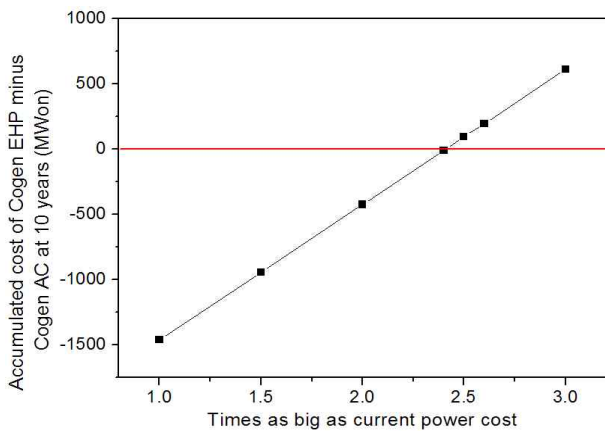


Fig. 5 Accumulated cost of Cogen EHP minus Cogen AC at 10 years as a function of various times as big as current power cost using sensitivity analysis of LCC analysis of each system.

3.4 LCC 및 민감도 분석

Fig. 4는 각 결합 시스템의 LCC 분석 결과이다. Cogen EHP의 초기 투자비와 에너지비가 Cogen AC보다 낮기 때문에 LCC의 결과도 Cogen EHP가 비교우위에 있음을 알 수 있다.

현재의 가스요금은 전력요금보다 평균 12.7배이다. 이것은 학교 전력요금 체계가 일반요금보다 싸고 누진제의 적용을 받지 않기 때문이다. 현재의 전력요금을 기준으로 전력요금을 인상시키면서 민감도 분석을 하였다. Fig. 5는 각 결합 시스템의 민감도 분석 결과이다. 현재의 전력요금을 1에서 3배까지 인상하면서 Cogen EHP에서 Cogen AC의 각각 10년째 누적요금을 뺀 전력요금을 표시한 것으로, 전력요금을 2.5배 이상 인상하였을 때부터 Cogen AC가 Cogen EHP보다 비교우위에 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 대학교의 Peak 전력을 낮추면서, 계절에 따른 전력과 가스의 불균형을 개선하기 위해 열부하가 많은 학교 기숙사에 Cogen 시스템을 도입하고자 함에 있어 Cogen과 어떤 에너지 시스템과의 조합이 최적인가를 분석하였고, 다음의 결론을 얻었다.

Cogen EHP에 비해 Cogen AC가 초기 투자비는 1.24배 높고 에너지비는 1.08배 높으며 전체적으로 1.22배 높은 비용구조를 나타냈다.

LCC 분석에서 Cogen EHP가 Cogen AC보다 비교우위에 있으나, 민감도 분석결과 현재의 전력요금을 2.4배 인상할 경우 Cogen AC가 비교우위에 있게 된다. 따라서 현재의 학교 전력요금에서 대학교 기숙사에 적합한 Cogen 결합 시스템은 EHP인 것으로 확인되었다.

후 기

본 연구는 에너지 관리공단과 부산시의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
2. Baughn, J. and Kerwin, R., 1987, Comparison of the predicted and measured thermodynamic performance of a gas turbine cogeneration system, ASME J Eng Gas Turbo Power, Vol. 109, pp. 32-38.
3. Lundberg, M., 1991, Latent heat utilization in steam-injected gas turbine application, Proceeding, ASME COGEN-TURBO, IGIT-6, pp. 9-18.
4. Rosen, M., 1998, Reduction in energy use and environmental emissions achievable with utility-based cogeneration : simplified illustrations for ontario, Appl Energy, Vol. 61, No. 3, pp. 163-174.
5. Oh, S., Lee, H., Jung, J. and Kwak, H., 2007, Optimal planning and economic evaluation of cogeneration system, Energy, Vol. 32, pp. 760-771.

6. Kong, D., Lee, K., Kim, I., and Kim, C., 2007, Economic analysis of a cogeneration system combined with an EHP, Proceeding of the KSME 2007 Winter Annual Conference, pp. 1548-1553.
7. Kim, G. T., Cheong, S. I., Joo, H. Y., Ahn, Y. C., and Lee, J. K., 2007, Economic analysis of heat pump system through actual operation, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 470-475.
8. Park, C. and Kim, Y., 2006, An economic assessment of cogeneration system., Proceeding of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 613-620.
9. Leigh, S., 2000, Optimization of facility management based on a life-cycle cost analysis, Journal of Korea Facility Management Association, Vol 2, No. 1, pp. 79-90.
10. Dhillon, B., 1989, Life cycle costing techniques, Models and Application, pp. 8-26.
11. Korea Gas Corporation, 2009, Natural Gas Fee.
12. Korea Electric Power Corporation, 2009, Electric Power Fee.