

이산화탄소 저감 효과의 경제적인 가치를 고려한 Cogeneration System의 경제성 분석

강 울 호, 구 본 철, 한 영 철, 이 재 근[†]

부산대학교 기계공학과

Economic Analysis of Cogeneration System Considering Economical Value of CO₂ Reduction Effect

Yulho Kang, Boncheol Ku, Youngcheol Han, Jaekeun Lee[†]

ABSTRACT: Recently energy consumption and CO₂ emission issue are important problem on international society. The present study has been conducted economic analysis considering economical value of CO₂ reduction effect. We analyze annual energy cost and annual CO₂ emission of the cogeneration system and gas boiler system in hotel. The first results shows that annual energy cost of cogeneration system (751,740,126 won) is more profitable than gas boiler system (801,128,408 won) by 6.2% (49,388,281 won). The second results shows that annual CO₂ emission of cogeneration system (3,297 ton) is less than gas boiler system (3,536 ton) by 6.8% (239 ton). The Economical value of CO₂ reduction effect is 4,773,898 won. The cost effect according to the reduction of CO₂ is corresponding to 9.7% of reduction cost for total energy cost. The result of this study means that CO₂ reduction effect is essential item in introduction and change of facility for economic analysis.

Key words: Cogeneration(열병합발전), Carbon emission factors(탄소배출계수), CO₂ reduction effect(이산화탄소 배출 저감)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1970 년대 이후 진행된 산업화로 지속적인 경제 성장이 국민소득의 증대로 이어졌다. 소득수준이 증가함에 따라 삶의 질이 중요한 화두가 되었고, 이는 에너지 소비에 있어서 급격한 상승을 가져왔다. 한국은 에너지 부분에 있어서 자원의 부족으로 대부분의 에너지를 외국에 의존하고 있다.

에너지 사용의 증가는 환경문제, 계절별 에너

지 수급불균형 문제 등을 야기하고 있다. 전력의 경우 매년 사용량이 크게 증가하고 있다. 증가하는 전력 수요에 따라 발전설비로 증설하고 있지만, 입지 문제 등으로 큰 어려움을 겪고 있는 실정이다.

교토의정서의 발효에 따라 온실가스의 배출을 규제하고 있고, 온실가스의 배출권을 매매하는 시장도 점점 확대되고 있다. 한국은 의무감축국가로 분류되어 있지는 않지만 2008년-2013년의 2차 이행 기간에는 어떤 형태로든 온실가스 감축을 분담하게 될 것이다.

에너지 소비의 증가와 이산화탄소의 배출로 인한 지구 온난화 문제의 해결을 위해서는 에너지 소비를 줄이는 방안과 에너지 생산을 다양화 하

[†] Corresponding author
Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368
E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

는 방안이 있을 수 있다. 최근 에너지 소비를 줄이면서 이산화탄소의 배출 저감이 가능한 설비로 소형열병합발전에 대한 관심이 높아지고 있다. 소형열병합발전 시스템은 수요지에 발전설비를 설치하여 전력을 생산하고 전력 생산 중에 발생하는 열을 회수하여 급탕 및 냉난방에 사용하여 에너지 효율을 극대화한 시스템이다.

Cogeneration의 경제성 평가에 관한 연구는 활발하게 수행 되고 있지만, 온실가스의 배출 저감을 경제적 가치로 고려한 연구는 미미한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 열에너지의 소비가 많은 건물에 대해서 이산화탄소 배출 저감을 경제적 가치로 고려한 cogeneration의 경제성을 분석한다.

1.2 Cogeneration System

Cogeneration은 1차 에너지원을 열원으로 2차 에너지(전기, 열)를 생산하는 시스템을 의미한다. 1차 에너지원으로 천연가스를 이용하는 방식으로는 가스엔진방식과 가스터빈방식, 연료전지방식 3종류가 있다. Cogeneration은 가스엔진 또는 터빈을 구동하여 전기를 생산함과 동시에 배기가스나 재킷(Jacket) 냉각수에서 배열을 회수하여 급탕 또는 난방에 필요한 열을 생산한다.

Cogeneration은 Fig. 1과 같이 가스엔진 또는 가스터빈을 사용하는 원동기와 발전기, 배열회수 장치로 이루어져 있다.

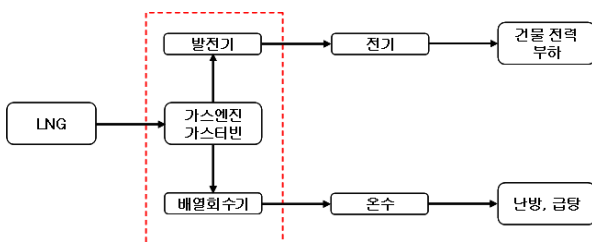


Fig. 1 Schematic diagram of a cogeneration system

2. 에너지 및 환경 관련 지표

2.1 에너지 환산

Cogeneration 시스템을 적용하게 되는 건물의 부하는 크게 전력부하와 열부하로 분류할 수 있다. 전력부하와 열부하를 위해 사용되는 에너지원은 각각 전기와 가스이고, 이들의 과금 단위는

Table 1 Heating value conversion standard

구분	발열량
전기	860 kcal/kWh
LNG	9,550 kcal/Nm ³

Table 2 CO₂ emission factors of LNG

	Carbon emission factors		CO ₂ emission
	Kg-C/GJ	TC/TOE	Kg-CO ₂ /Nm ³
LNG	15.30	0.637	2.454

kWh, Nm³이다. 서로 다른 에너지원이 존재하기 때문에 여러 계산과 종합적인 판단을 위해 하나의 단위로 취급할 필요가 있다. Table 1에서는 열량환산을 통해 이중 에너지원을 상호 비교하였다. 도시가스의 발열량은 저위발열량 9,550 kcal/Nm³을 적용하였다.

2.2 탄소 배출 계수

탄소 배출 계수는 연료의 toe(Ton of Oil Equivalent)당 탄소 발생량을 표현한 계수이다. 탄소 배출 계수가 toe당 연료별 탄소 발생량을 나타내므로 우선 각 연료의 석유 환산 계수가 필요하다. 국내 도시가스(LNG)의 석유환산계수는 1.05이다. 탄소 배출 계수는 화석 연료별로 탄소 함유량이 상이하기 때문에 연료별로 탄소 배출 계수를 환산하여야 한다. 본 논문에서는 IPCC에서 제시하는 값을 사용하였고, LNG의 탄소배출 계수는 Table 2와 같다.

가스보일러와 cogeneration의 경우에는 LNG를 사용하기 때문에 연료 사용량에 따른 탄소 배출량을 쉽게 계산할 수 있다. 하지만 전력의 경우에는 발전소별 연료 구성과 발전량이 모두 다르기 때문에, 국가별로 단위 전력당 탄소배출계수가 다르다. 국가 내에서도 매년 발전 연료의 구성비가 변화하기 때문에 탄소배출계수가 변화지만 그 변화가 미미하기 때문에 본 논문에서는 에너지경제연구원에서 추정된 0.425 TonCO₂/MWh를 적용하였다.

2.3 이산화탄소의 비용 환산

에너지 저감 설비가 도입되어 이산화탄소의 발생이 저감 되더라도 감축분이 직접적인 비용 감소로 계산되지 않는다. 탄소 배출권을 인정받기 위해서는 이산화탄소 저감에 대해 개인이 작성하

기에는 복잡한 절차와 인증을 거쳐야 한다. 하지만 국내외적인 상황이 이산화탄소 배출 감소에 대한 관심이 점점 높아지고 있다. 이에 대응하여 이산화탄소 감축분에 대해 경제적인 권리를 쉽게 인정받기 위한 제도적 지원이 이루어 질 것으로 보인다.

탄소 배출권은 이미 국제 시장에서 활발히 거래가 이루어지고 있다. 유럽에서 가장 활발한 거래가 이루어지고 있으며, 거래 가격을 분석해 보면 €15~€25/TonCO₂ 수준이다. 본 논문에서는 탄소 배출권에 대한 가치를 보수적으로 적용하여 이산화탄소 1 톤당 20,000 원으로 가정 분석 하였다.

3. 대상 시설물의 에너지 소비 현황

3.1 비교 대상의 선정

대부분의 건물이 전력의 경우 한전 수전을 사용하고 급탕 부하에 대해서는 가스보일러를 사용하고 있다. 아래 Table 3 과 같이 열병합발전시스템을 도입하게 되면 전력의 일부와 급탕부하 전부를 열병합발전시스템이 담당하게 된다.

3.2 설비 사양

천연가스 cogeneration은 가스엔진, 가스터빈, 연료전지의 세가지 종류로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 가스엔진 cogeneration을 적용한다. 일반적으로 가스엔진 cogeneration의 효율은 부분부하 운전에서 효율의 변화가 있으나, 본 연구에서는 설비의 정격효율을 적용하였다. 발전 효율은 32%를 적용 하였고, 열회수 효율은 53%를 적용 하였다. gas boiler의 효율은 90%를 적용 하였다.

3.3 요금 체계

Table 4 는 국내의 전력 요금체제로 전력 수요가 많은 여름철에 가장 높게 적용되고, 전력 수요가 적은 중간기에는 가장 낮은 요금이 적용된다. Table 5 의 LNG 요금체계는 가스보일러의 경우 업무난방용 요금을 적용하였고, cogeneration의 경우에는 열병합용 요금을 적용 하였다.

3.4 대상 건물의 에너지 소비 현황

본 연구의 대상 건물은 일본 치바현 내 호텔로써 (사)일본에너지 학회의 문헌에 분석되어진 건물의 연간 부하 데이터를 바탕으로 경제성을 평가하였다. 대상 건물은 연면적 30,472 m²의 리조트 호텔로 객실 506 실, 레스토랑 5 개소, 연회장 8 실, 결혼식장으로 구성되어 있다.

대상 건물의 월별 전력 부하와 급탕 부하를 살펴보면 Table 6 와 같다. 연중 일정한 부하 패턴을 가지고 있으며 외기온도와 같은 계절적 요인보다 호텔의 월별 객실 점유율이 부하에 더 큰 영향을 주는 것으로 보인다.

Table 3 Comparison system of facility

	전력 부하	급탕 부하
기존	한전 수전	가스보일러
열병합발전 시스템	한전 수전 + cogeneration	cogeneration

Table 4 Electricity charge for general (won/kWh) (choice I high voltage A)

구분	기본요금 (원/kW)	전력량요금		
		여름철 (7-8 월)	봄,가을철 (3-6, 9-10 월)	겨울철 (11-2 월)
요금	5,320	91.10	60.70	67.60

Table 5 LNG charge (won/Nm³)

구분	LNG 요금		
	동절기 (12-3 월)	하절기 (6-9 월)	기타 (4-5, 10-11 월)
중앙 난방용	657.69		
열병합용	563.33	554.20	556.73

Table 6 Energy load of an objective building

구분	전력 부하 (MW/mon)	급탕 부하 (Gcal/mon)
1월	505.84	197.46
2월	492.12	248.65
3월	525.03	305.94
4월	503.09	234.94
5월	566.78	236.16
6월	604.56	192.89
7월	660.63	129.51
8월	672.82	137.12
9월	612.18	143.22
10월	561.60	181.00
11월	499.44	195.02
12월	496.08	207.82

4. Cogeneration의 경제성 분석

4.1 대상 건물의 에너지 비용

분석된 에너지 부하를 기준으로 한전수전+가스 보일러를 사용하는 것으로 가정 하였을 때, 에너지비용을 산출하여 Table 7 에 나타내었다. 월별 에너지 요금이 달라 에너지 소비량에 비해 에너지 비용의 편차가 더 큰 것을 알 수 있다.

해당 건물은 냉난방부하의 경우 다른 설비에서 이루어지기 때문에 cogeneration을 전력부하 일부와 급탕부하 전체에 대해서 가동한 것으로 보았다. 열추종 운전시 전력부하의 25%와 급탕 부하의 100%를 cogeneration이 해결하게 된다.

Table 7 Energy cost of gas boiler system

(단위 : 천원)

구분	전기요금	가스요금	합계
1월	44,928	16,620	61,548
2월	43,874	20,930	64,804
3월	42,404	25,752	68,155
4월	40,885	19,775	60,660
5월	45,295	19,878	65,172
6월	47,911	16,236	64,147
7월	74,703	10,901	85,604
8월	75,970	11,542	87,512
9월	48,438	12,055	60,493
10월	44,936	15,235	60,171
11월	44,606	16,415	61,022
12월	44,348	17,493	61,840
연간	598,297	202,832	801,128

Table 8 Energy cost of cogeneration system

(단위 : 천원)

구분	전기요금	가스요금	합계	절감액
1월	33,365	24,174	57,540	4,009
2월	29,549	30,442	59,991	4,813
3월	26,624	37,455	64,079	4,076
4월	28,556	28,426	56,982	3,678
5월	32,907	28,573	61,480	3,692
6월	37,627	23,232	60,859	3,288
7월	64,347	15,598	79,945	5,659
8월	65,058	16,516	81,573	5,938
9월	40,569	17,250	57,818	2,675
10월	35,229	21,900	57,129	3,042
11월	33,129	23,596	56,725	4,297
12월	32,176	25,443	57,619	4,221
연간	459,136	292,604	751,740	49,388

Table 8 은 cogeneration 적용시 에너지 비용으로 연간 49,388 천원의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석 되었다.

4.2 이산화탄소 저감의 비용 효과

Cogeneration 미적용시 전력부하와 급탕부하에 사용된 에너지원의 이산화탄소 배출량을 계산하여 보면 Table 9 과 같다.

Table 10 는 cogeneration 적용시 이산화탄소 배출 저감량은 연간 238.69 톤이다. 이산화탄소 배출 저감량을 경제적 가치로 환산하면 연간 4,774 천원이다.

Table 9 CO₂ emission of gas boiler system

(단위 : tCO₂)

구분	Electricity	LNG	합계
1월	214.98	56.38	271.36
2월	209.15	70.99	280.15
3월	223.14	87.35	310.49
4월	213.81	67.08	280.89
5월	240.88	67.43	308.31
6월	256.94	55.07	312.01
7월	280.77	36.98	317.74
8월	285.95	39.15	325.10
9월	260.18	40.89	301.07
10월	238.68	51.68	290.36
11월	212.26	55.68	267.94
12월	210.84	59.34	270.17
연간	2,847.58	619.21	3,466.79

Table 10 CO₂ emission of cogeneration system

(단위 : tCO₂)

구분	Electricity	LNG	합계	저감량
1월	156.06	95.74	251.80	19.56
2월	134.96	120.56	255.52	24.63
3월	131.85	148.33	280.18	30.30
4월	143.71	113.91	257.62	23.27
5월	170.42	114.50	284.92	23.39
6월	199.39	93.52	292.91	19.11
7월	242.13	62.79	304.92	12.83
8월	245.03	66.48	311.52	13.58
9월	217.44	69.44	286.88	14.19
10월	184.67	87.76	272.43	17.93
11월	154.07	94.55	248.62	19.32
12월	148.83	100.76	249.59	20.59
연간	2,128.57	1,168.32	3,296.90	238.69

5. 결론

본 연구에서는 연면적 30,472 m²의 리조트 호텔에 대하여 한전수전 + 가스보일러를 비교 대상으로 cogeneration 적용시 에너지 비용과 이산화탄소 저감량의 경제적 가치에 대해서 분석하였다. Hotel 에너지 부하는 전력부하에 비해 열부하의 비율이 낮아 cogeneration의 운전율은 높지 않았다.

호텔의 부하에 대해 에너지 비용을 비교 분석한 결과 절감액은 연간 49,388 천원으로 총 에너지 비용의 6.2%이다. 이산화탄소 배출 저감량은 연간 238.69 톤으로 이산화탄소 발생량의 6.8%로 유럽의 탄소 배출권 시장 상황을 감안할 경우 경제적 가치로 환산하면 4,774 천원의 경제적 가치가 있다.

국내의 경우 원자력 발전과 수력 발전의 비율이 높고 전력부하가 높은 계절에는 화력발전을 이용하여 전력수요에 대응하게 된다. 화력발전만을 고려하여 분석 한다면 이산화탄소의 저감 효과는 더욱 클 것으로 보인다.

이산화탄소 저감으로 인한 비용 효과는 에너지 비용 절감액의 9.7%에 해당하는 금액이다. 이러한 결과는 설비의 도입과 교체에 대한 경제성 분석에 있어서 이산화탄소의 저감 효과가 필수적으로 고려되어야하는 항목임을 나타낸다.

Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 981-988.

6. S. H. Kim, S. C. Lim, K. S. Chung, Y. I. Kim, 2006, Analysis of Energy Consumption & Environmental Load of Electric Heat Pump and Gas Engine Driven Heat Pump, Proceeding of the SAREK 2006 Summer Annual Conference, pp. 933-937
7. Kim, Y. S. and Kang, C. H., A Study on the Effect Measurement of ESCO Projects using LCC Technique., Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 20, No. 2, pp. 89-96.
8. Jung, J. R. and Lee, K. H., 2003, Evaluation of alternatives for building service systems in high-rise building based on life cycle cost analysis, Korea Journal of Architectural Institute, Vol. 19, No. 1, pp. 249-257.

참고문헌

1. Kim, G. T., Cheong, S. I., Joo, H. Y., Ahn, Y. C., Lee, J. K., 2007, Economic Analysis of Heat Pump System through Actual Operation, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 470-475
2. Park, Y., Park, M.Y. and Kim, C.M., 2003, Economic Analysis of Heat Pump System in Educational Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 10, pp. 879-887.
3. Park, Y. and Jung, S. S., 2002, Life cycle costing through operating number control of air conditioning systems in office buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and