

백화점용 건물에 열병합 도입에 따른 경제성 분석

(Economic Analysis for Introduction to Department Building of Co-generation)

김응상*
(Eung-Sang Kim)

요 약

지구환경 보호 문제 및 에너지의 효율적인 활용이라는 측면에서 다른 발전시스템 보다 월등하게 효율이 높은 열병합발전시스템은 개발 및 실용화되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이와 같은 열병합발전시스템을 국내 H 백화점에 도입하는 경우 기존의 열 및 전기공급 방법의 요금과 신규로 열병합을 도입하였을 경우의 열 및 전기요금의 차액을 계산하고 신규투자비를 고려하여 단순 투자비 회수를 토대로 도입에 대한 경제성을 분석하였다. 열병합설비의 투자비 회수기간은 약 5년 정도로 경제성 및 도입 가치가 충분히 있으며, 이자율 하락이나 정량적으로 계산하기 어려운 환경문제 개선비용 및 전기요금의 증가를 고려하면 실제적으로는 더욱 경제성이 있음을 알 수 있다.

Abstract

In respect of global environment protection and efficient utilization of energy, co-generation systems, which have greatly higher efficiency than the other generations, have been developed and put to practical use. Assuming that the co-generation system would be operating in H-Department of Kwang-ju city, this paper calculates the difference between the heat and electricity rates by the conventional method and the co-generation system, considers the cost of new investment and analyzes introduction economics based on the return on investment. The introduction is turned out to be recommendable, since the return of investment for co-generation equipment is about five years when the co-generation profits in heat and electricity rate. Additionally, accounting for interest rate drop, improvement of environmental matters or electricity rate increase, it is shown to be even more economical.

Key Words : Economic Analysis, Co-generation system

* 주저자 : 한국전기연구원 신전력시스템 연구그룹 책임 연구원

Tel : 055-280-1330, Fax : 055-280-1390

E-mail : eskim@keri.re.kr

접수일자 : 2002년 5월 4일

1차심사 : 2002년 5월 9일, 2차심사 : 2002년 6월 14일

심사완료 : 2002년 7월 2일

1. 서 론

에너지효율이 대단히 높은 열병합은 그 대부분이 비전기사업자의 발전설비로서, 기존의 전기사업자가 그의 계획, 관리 및 운용을 집중적으로 수행하는 전원과는 그 성격이 다르다. 또한, 중소용량의 열병합발전

설비는 전력계통과는 별도로 독립적으로 운용할 수도 있지만, 대부분이 전력계통과 연계된 상태에서 운전함으로써 수용가 측면에서는 보다 안정한 전력의 확보, 전기사업자측면에서는 전력설비의 효율적인 활용, 송배전설비의 투자지연효과, 국가적인 측면에서는 자원의 효율적인 활용 등의 장점을 얻을 수 있다 [1,2]. 이러한 장점을 갖고 있는 열병합발전설비의 전력계통에의 도입형태에 대해서는 기존에는 스케일메리트(Scale Merit)이 있는 대규모 집중전원의 형태가 고려되어 왔지만, 최근 들어 에너지 환경문제와 더불어 대규모 전원의 입지확보 및 송전선의 루트 확보가 어려워져 가고 있으며, 또한 장기적 전력수급의 안정성 확보상의 불확실성, 지역적인 고신뢰 고품질의 전력 확보, 전력시장의 개방 등이 가속화되어가고 있어, 중소규모의 열병합발전시스템이 다수 분산적으로 전력계통에 연계 운전되는 형태로 보급될 것으로 전망되고 있다[3~5].

열병합발전시스템의 배전계통 도입 및 보급에 대한 긍정적인 시각으로는 (1) 대규모전원의 보완 및 전원계획의 유연성, (2) 변동비용 감소 및 송, 배전설비 투자지연 효과 (3) 에너지자원의 효율적 이용 등을 생각할 수 있으며, 다른 한편 부정적인 시각으로는 (1) 경제성 확보의 어려움, (2) 기존 배전계통의 전력품질 및 신뢰도 저하 (3) 계통 운용상의 문제 등이 열거될 수 있다[3]. 따라서, 본 논문에서는 열병합발전설비를 국내 모 H 백화점에 적용하는 경우 단순투자비 회수 형태로 경제성을 검토 하고자 한다. 열병합을 주로 소용량으로 설치하는 경우 설치비가 높기 때문에 투자비 회수가 쉽지 않으나 기존의 발전시스템과는 달리 열 및 전기를 동시에 사용함으로써 기존 발전시스템보다는 뛰어난 효율향상을 기대할 수 있으며, 또한 경제성 분석을 통해 설치 가치성이나 에너지절약 방안을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 설비 현황

열병합을 적용하고자 하는 H 백화점의 건물 총면적은 12,500평(41,250m²), 냉난방 면적은 8,000평

(26,400m²), 층수는 11층이며, 1995년 3월에 준공되어 주로 오전 9시부터 오후 8시까지 영업하며, 매월 1회 월요일은 휴무일이다. 기존의 에너지절약 대책은 보온단열, 조명시설의 자동제어, 공기조화 계통이 구비되어 있다. 설비현황을 보면 전기설비는 입력전압 : 22.9[kV], 계약전력 5,420[kW](일반용), 80[kW](산업용)이며, 주변압기는 2,500[kVA]×1대, 보조변압기로 1,500[kVA]×2대로 구성되어 있다. 비상용발전기로는 디젤엔진 380[V], 1,500[kVA]×1대가 설치되어 있으며, 여름철 피크부하는 2,700[kW] 정도이다. 이중 조명부하가 1,300[kW] 정도를 차지한다.

냉방설비로는 LNG를 사용하는 직화식 흡수식 냉온수기가 560RT×3대가 백화점의 냉방부하를 담당하며, 백화점은 조명에 의한 실내온도 상승을 조절하는 냉방부하가 대단히 크다. 또한 난방 및 급탕은 LNG를 사용하는 직화식 흡수식 냉온수기 177만 kcal/hx 1대이며, 난방용으로 LNG 사용 효율 85%의 보일러가 3.5톤×1대, 3톤×1대이며, 스포츠센터의 급탕 및 난방을 담당한다. 공조 주기를 보면 백화점의 냉방은 4월 1일부터 11월 30일 까지 오전 9시부터 오후 8시까지이고 난방은 1월 1일부터 2월 28일 까지 오전 8시 30분부터 오후 8시까지이다. 스포츠센터의 경우 급탕 및 난방을 10월 1일부터 6월 30일까지 오전 3시 30분부터 오후 8시까지이고 급탕만은 7월 1일부터 9월 30일까지 오전 5시부터 오후 8시까지 운영한다.

2.2. 에너지 사용량

열병합 도입을 검토하고자 2001년을 기준으로 에너지 사용량을 조사한 결과 월별 전기사용량은 표 1 및 그림 1과 같이 매월 약 8십만[kWh] 이상을 사용하여 연간 총합이 일천만[kWh] 이상 사용하였으며, 연간 전기료는 약 10억 원 정도이었다. 전기부하의 경우 매월 1회 휴무일은 거의 사용량이 0에 가까우며, 1년 중에 다른 계절보다는 주로 여름에 사용량이 많음을 알 수 있었다. 또한 연료인 LNG 사용량은 표 2 및 그림 2, 3과 같이 백화점과 스포츠센터를 종합해서 연간 총 110만[Nm³]을 사용하였으며, 가스 요금은 연간 4억 원 정도이었다. 연료사용량 역시 휴무일은 거의 없었으며, 냉방은 여름에 난방은 겨울에 많이 사용됨을 알 수 있다.

백화점용 건물에 열병합 도입에 따른 경제성 분석

표 1. 월별 전기사용량 (2001년, kWh, 천원)
Table 1. Electricity amount used of a monthly (2001year, kWh, thousand won)

월	사용량 (kWh)	요금 (천원)	월	사용량 (kWh)	요금 (천원)
1	884,867	82,902	7	1,037,722	88,089
2	857,603	80,861	8	1,146,673	128,482
3	814,037	78,900	9	1,135,462	129,963
4	874,039	82,765	10	1,030,400	87,391
5	904,278	77,770	11	960,301	89,874
6	994,721	84,085	12	871,161	84,744
합계	11,511,264	1,095,825			

표 2. 월별 LNG사용량 (2001년, Nm³, 천원)
Table 2. LNG amount used of a monthly (2001year, Nm³, thousand won)

월	사용량 (Nm ³)	요금 (천원)	월	사용량 (Nm ³)	요금 (천원)
1	54,632	27,027	7	120,076	31,513
2	70,508	37,349	8	166,503	41,534
3	57,754	30,591	9	153,430	38,265
4	64,280	34,046	10	107,749	27,020
5	72,969	40,128	11	84,452	45,586
6	102,072	26,864	12	51,863	25,659
합계	1,106,288	405,583			

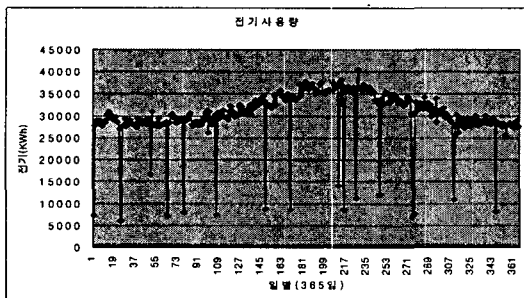


그림 1. 일별 전기사용량
Fig. 1. Electricity amount used of daily

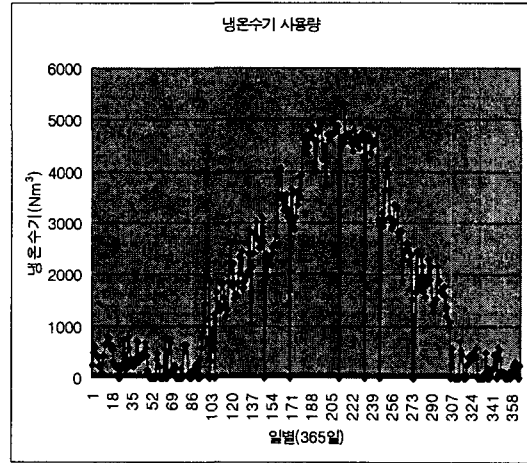


그림 2. 일별 냉온수기 가스사용량 (백화점)
Fig. 2. Water cooler/Calorifier gas amount used of daily (department store)

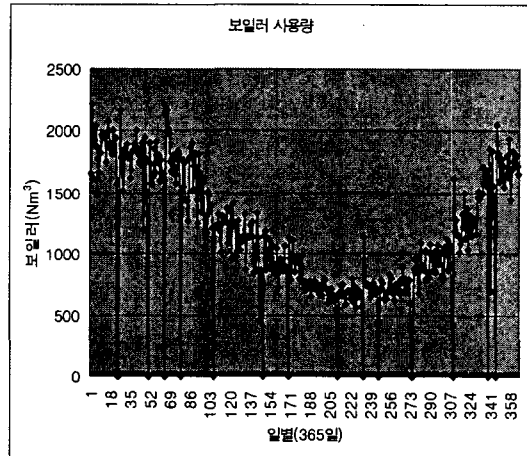


그림 3. 일별 냉온수기 가스사용량 (스포츠센터)
Fig. 3. Cooling/Calorifier gas amount used of daily (sports center)

2.3 시간대별 부하 패턴

열병합의 도입용량이나 투자 가치성을 평가 시 연간이나 월별 사용량도 중요하지만 더욱 중요한 것은 일별 및 시간대별 사용량이다. 물론 백화점과 스포츠 센터 모두를 조사해 보았으며, 우선 백화점의 전기부하는 그림 4와 같이 근무 시간대인 오전 9시부터 오후 9시까지에 확연히 사용량이 많았으며, 난방

부하와 냉방부하 역시 그림 5 및 6에서와 같이 난방부하의 경우 점심 시간대에 약간 줄어들고 냉방부하의 경우 낮 시간대에 사용량이 증가함을 즉 시간대별 차이가 큼을 알 수 있었다. 또한 스포츠 센터의 경우 그림 7, 8, 9에서와 같이 백화점 보다는 사용 시간대가 약간 광범위함을 알 수 있었다.

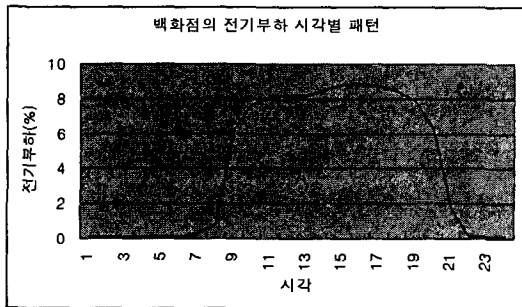


그림 4. 전기부하의 일부하곡선(백화점)
Fig. 4. Daily load curve of electricity load (department store)

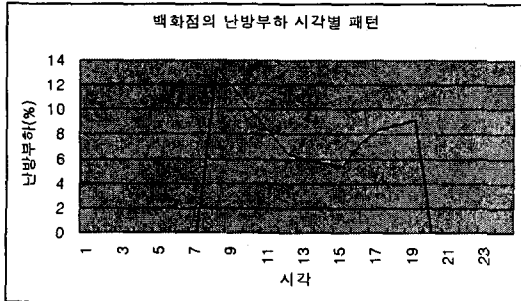


그림 5. 난방부하의 일부하곡선(백화점)
Fig. 5. Daily load curve of thermal load (department store)

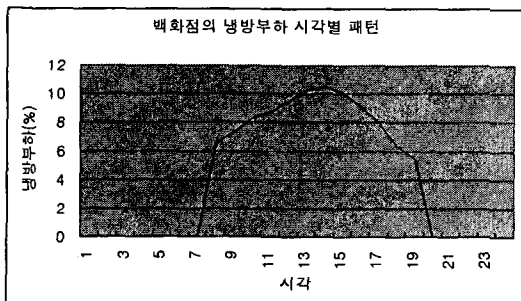


그림 6. 냉방부하의 일부하곡선(백화점)
Fig. 6. Daily load curve of cooling load (department store)

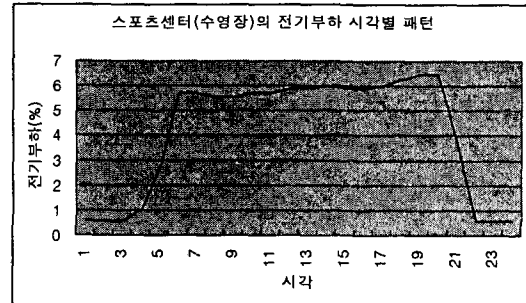


그림 7. 전기부하의 일부하곡선(스포츠센터)
Fig. 7. Daily load curve of electricity load (sports center)

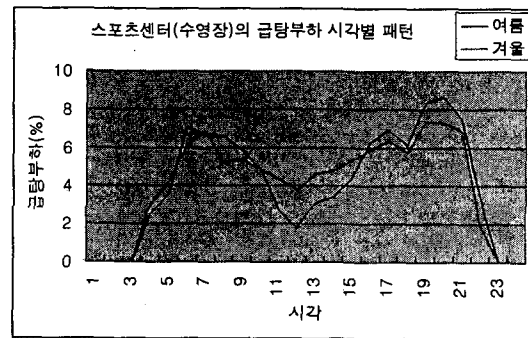


그림 8. 급탕부하의 일부하곡선(스포츠센터)
Fig. 8. Daily load curve of heating water load (sports center)

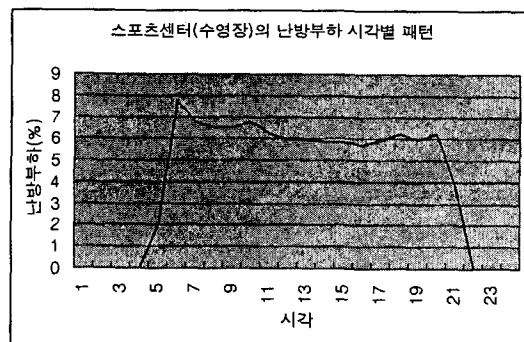


그림 9. 난방부하의 일부하곡선(스포츠센터)
Fig. 9. Daily load curve of thermal load (sports center)

또한 연간 8760 시간을 기준으로 시간대별 부하량

백외점용 건물에 열병합 도입에 따른 경제성 분석

을 그림 10, 11, 12, 13에 각각 전기부하, 냉방부하, 난방부하 및 급탕부하를 제시하였다. 그림 11에서와 같이 냉방부하는 주로 여름에만 있음을 알 수 있고, 그림 12에서와 같이 난방부하는 여름에는 거의 없으며, 봄, 가을 및 겨울에 주로 있음을 알 수 있다. 또한 그림 10 및 13에서와 같이 전기부하와 급탕부하는 연간 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다.

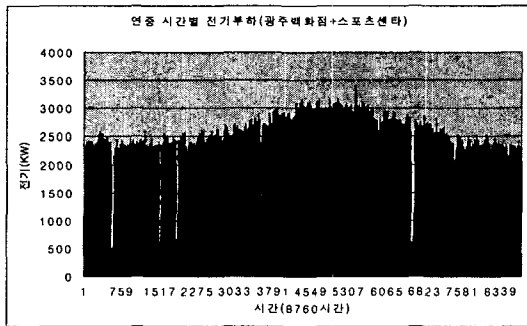


그림 10. 전기부하의 연부하곡선
Fig. 10. Annual load curve of electricity load

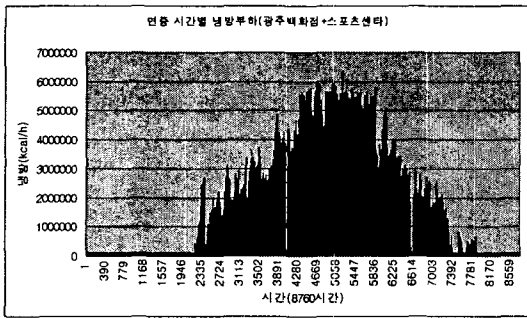


그림 11. 냉방부하의 연부하곡선
Fig. 11. Annual load curve of thermal load

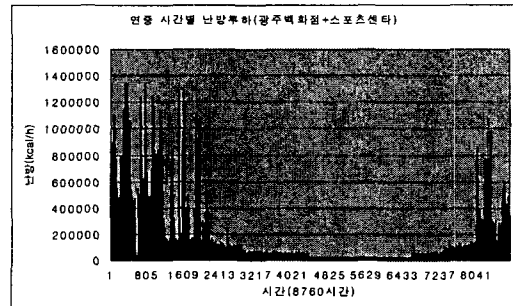


그림 12. 난방부하의 연부하곡선
Fig. 12. Annual load curve of thermal load

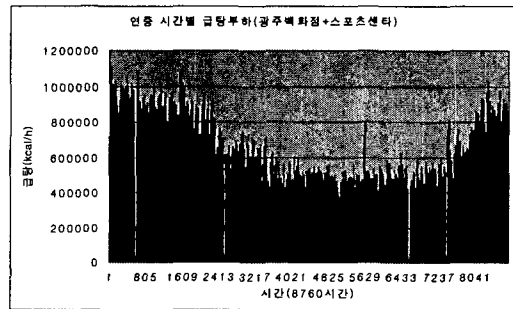


그림 13. 급탕부하의 연부하곡선
Fig. 13. Annual load curve of heating water load

표 3. 공통 항목
Table 3. Common items

항목	세부 내용	기준	적용	비고
공통	가격 기준일	2001. 12.	모든 모델	현재
	분석 기간	2002. 1. ~ 2017. 12.	모든 모델	초기건설기간 1년 제외
	내용 연수	15년	모든 모델	법인세법 시행규칙의 화력발전설비 기준
	열손실	25%	열공급 설비	한난 운영실적 적용

표 4. 초기투자비
Table 4. Investment cost of starting point

항목	세부내용	기준	적용	비고
설비비	열병합	90만원/kW	열병합	열병합발전기 용량 기준
	온수보일러	600만원/Gcal/h	보일러	기존보일러의 고효율화비용 용량 기준
	열교환기	270만원/Gcal/h		판형열교환기 열설비용량 기준
	펌프	60만원/Gcal/h		중온수 순환펌프, 열설비용량 기준
	축열탱크	25만원/m ³		설치공사비 포함, 축열조 용량(m ³)기준

항 목	세부내용	기 준	적 용	비 고
공사비	연도설치공사	- 만원/Gcal/h	추정가	발전기와 보일러의 발생열량 기준
	옥내배관공사	- 만원/Gcal/h	"	2차측 제외, 난방배관 및 장비설치, 열설비 용량기준, 보완, 개체
	전기공사	- 만원/kW	"	열병합발전설비 간선공사 및 계장설비(1차측), 계통연계비용 포함, 보완, 개체
	자동제어	- 만원/건	"	난방설비 1차측 관련설비, 열병합 운전제어, 보완, 개체
	가스배관	- 만원/Nm ³ /h	"	배관 및 설치공사비 포함, 가스용량기준, 보완, 개체
	T.A.B	- 만원/Gcal/h	"	중온수 1차측 계통
	옥외배관공사비	-2.5%(본 논문)		단열 이송관 배관, 매립, 터파기, 매우기 등 엔지니어링 결과
용역비 등	엔지니어링비	- %(계산)	적정가	용역(기술, 감리)비, 설비비+공사비 기준
	시운전비	- %(계산)	"	설비비+공사비 기준
	경비	- %(계산)	"	산재보험료, 안전관리비, 기타경비 설비비+공사비+엔지니어링비+시운전비 기준
이윤 등	일반관리비 및 이윤	- %(계산)	"	설비비+공사비+엔지니어링비+시운전비+경비 기준
세금	부가세	- %(계산)		설비비+공사비+엔지니어링비+시운전비+경비+일반관리비 및 이윤 기준

표 5. 수입 지수
Table 5. Income index

항 목	세부내용	기 준	적 용	비 고
수 입	전력단가	75원/kWh	세대용	현장 연간 평균가격
		75원/kWh	일반용	현장 연간 평균가격
	열판매단가	88,911원/Gcal	모든 모델	기존 독립난방의 원가기준, 별도 계산

표 6. 지출 지수
Table 6. Outgo index

항 목	세부내용	기 준	적 용	비 고
변동비	연료단가 (LNG)	424.96원/Nm ³	보일러	주택 중앙난방용, 연간, VAT별도, 2002.1.1
		436.52원/Nm ³		업무 난방용, 연간, VAT별도, 2002.1.1
		354.32원/Nm ³	열병합	동절기(12,1,2,3월), VAT별도, 2002.1.1
		284.13원/Nm ³		하절기(5,6,7,8월), VAT별도, 2002.1.1
		317.30원/Nm ³		중간기(4,9,10,11월), VAT별도, 2002.1.1
	소내전력비율	5.0%	열병합	열병합 발전량기준
		11.0kWh/Gcal	온수보일러	보일러 온수제조량 기준
		9.0kWh/Gcal	열공급설비	열병합 및 보일러 등에 의한 온수공급량 기준

백외점용 건물에 열병합 도입에 따른 경제성 분석

항 목	세부내용	기 준	적 용	비 고
고정비	경상인건비	3,000 만원/인/년	모든 모델	신규의 경우 : 설비비<20억원미만: 2인 설비비>20억원이상: 추가 20억원당 1인 추가 기존의 경우 : 추가 없음.
	보수유지비	3%	모든 모델	설비비의 3%, 소모품, 보수계약, 기기Overhaul, 주요 기기비
	제세공과금	0.2%	모든 모델	설비비+공사비의 0.2%
	보험요율	0.166%	모든 모델	설비비+공사비의 0.166%
	차입금	설비비	모든 모델	총 투자비중 설비비
	차입금 이자율	5.0%/년	모든 모델	에너지절약시설자금(8년거치 7년 분할 상환)
	감가상각비율	6.0%/년	모든 모델	법인세법(정액법, 잔존가치10%, 부지비 제외)
	법인세율	5 %	모든 모델	법인세법(주민세 포함)기준 영업이익에 대한 과세율 열 판매 이익분만 적용, 전기는 자가 사용(미정수)
	부지매입/임대비	원/m ² (비교참조)	모든 모델	신규의 경우 : 설비비<20억원미만: 100평 설비비>20억원이상: 추가 1억원당 1평 추가 기존의 경우 : 추가 없음 매입(150만원/평), 임대(8만원/평/년)

표 7. 최적 용량
Table 7. The optimum capacity

구 분	기준안(열병합 없음)	대안 (열병합)	
	보 일 러	열 병 합	보 조 보일러
용 량	5.7 Gcal/h	400kW	2.5 Gcal/y
운전방식	간헐운전	연속운전	
장치효율(정격)	85[%]	90[%]	97[%]
내용연수	10 년	15 년	

표 8. 연간 에너지소비량 및 기존 열 단가
Table 8. Annual energy expenditure and a conventional thermal cost

연간 열 소비량(Gcal/yr)	기존 열 단가(원/Gcal)	연간 전기 소비량(MWh/yr)
3,819.0	88,911	11,094.1

표 9. 분석 결과
Table 9. The result of analysis

구 분		대안(열병합)
주요설비 용량	열병합(kW)	400
	보조 보일러(Gcal/h)	2.5
	축열조(m ³)	90
초기투자비(천원)	설비비	405,841
	공사비	146,731
	기타비용	103,316
	소계	655,888
기준안 연간 운전비 (열병합 없음, 천원)		1,448,965
대안 연간 운전비 (열병합, 천원)	변동비	1,175,820
	고정비	150,487
	소계	1,326,307
대안(열병합) 열원가(원/Gcal)		56,793
연간 이익(천원)		122,658
단순 투자회수기간(년)		5.3

2.4 열병합 적용방안

열부하 분석에 의하면 백화점의 경우 냉방이 주를 이루며, 이는 흡수식 냉온수기에 의해 충당되고 있으며, 스포츠센터의 경우 일년 내내 걸리는 급탕부하가 주를 이루고 있다. 또한 스포츠센터가 건물의 상층부에 위치해 있는 관계로 열 공급에 있어서 많은 펌프 동력을 요구하는 온수보다는 지하에 있는 보일러에서 생산되는 증기로 공급되는 것이 바람직하다고 여겨지며, 열은 난방열 보다 급탕열 즉 급탕수의 예열에 사용되는 것이 바람직하다고 본다. 이는 지하의 급수 펌프에 의해 상층부로 공급되므로 지하에서 열을 교환하여 급탕수의 온도를 상승시키어 공급하도록 하며, 발전기는 전기부하 추종 운전을 하는 것이 바람직하다. 도입하고자 하는 설비의 적정 용량은 월간 사용량 부하와 일간 및 시간대별 부하를 고려해 본 결과 연속운전을 위해서는 기저 부하정도가 적절하다고 판단되며, 본 논문에서 적용하고자 하는 백화점의 경우 400[kW] 정도가 적절하다고 판단되며, 연속운전을 하는 것으로 가정 시 효율은 90[%] 이상대가 기대된다.

설비의 배치는 지하 기관실에 발전기와 열교환기

를 위치하도록 하면 별도의 공간이 필요 없으며, 그렇지 않을 경우는 지상의 별도 공간을 마련해야 할 것으로 보이며, 이 경우에는 배치 상태에 따라 부대설비가 추가 될 수도 있다. 일단은 지하에 설치하는 것으로 가정한다. 엔진의 적용 성능은 기존 국내 제품은 객관적인 인증이 되어 있지 않으므로 독일 MDE 제품을 적용한다고 가정하고 이 경우 정격부하에서 전기적 효율은 33.87[%], 열효율은 58.30[%]로 종합 효율은 92.17[%]로 추정된다. 또한 75[%] 부하 시에는 전기효율 32.94[%], 열 효율 60.08[%]로 종합효율은 93.02[%]로 추정되며, 50[%] 부하 시에는 전기효율 30.76[%], 열 효율 61.75[%]로 종합효율 92.51[%]로 추정된다.

2.5 경제성 분석

본 열병합을 백화점에 도입 시 기존 설비로 공급했을 경우와 비교 분석에 의한 결과를 경제성 분석의 초점으로 하였으며, 초기 투자비를 계산하고 열병합 도입에 의한 추가 수입을 계산한 단순 비교방식에 의해 신규 설비의 투자비의 회수기간을 계산하였다. 표 3에는 공통부분을 제시하였고, 표 4에는 초기 투자비,

백외점용 건물에 열병합 도입에 따른 경제성 분석

표 5에는 수입, 표 6에는 지출을 나타내었고 표 7과 8에는 최적용량과 연료단가를 제시하였고 종합 경제성 및 투자비 분석결과를 표 9에 나타내었다. 표 9의 종합 분석 결과를 보면 도입하고자 하는 열병합의 용량은 400[kW], 초기 투자비는 약 6억 5천만 원이며, 단순 투자회수기간은 5년 정도로 대단히 짧은 기간으로 산정되었으며, 이는 결국 투자가치가 있음을 나타낸다.

3. 결 론

환경 문제 및 에너지의 효율적인 활용이라는 측면에서 다른 발전시스템 보다 월등하게 효율이 높은 열병합발전시스템은 선진국은 물론이거니와 국내에서도 많은 연구가 진행되었으며, 일부는 대용량으로 실용화되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이와 같은 열병합발전시스템을 국내 모 H 백화점에 도입하는 경우 기존의 열 및 전기공급 방법의 요금과 신규로 열병합을 도입하였을 경우의 열 및 전기요금의 차액을 계산하고 신규 투자비를 고려하여 단순 투자비 회수를 토대로 도입에 대한 경제성을 분석하였다. 경제성 분석결과 투자비 회수기간은 약 5년 정도로 대단히 회수기간이 짧았으며, 5년 이후에는 열 및 전기요금의 혜택을 볼 수 있으므로 도입 가치가 충분히 있음을 알 수 있었다. 또한 환경문제 개선비용 등을 고려하면 실제적으로는 더욱 경제성이 있으며, 이는 곧 백화점이라는 특정 건물의 에너지절약 화에 기여가 크리라 기대된다.

References

- (1) 김응상 외, "열병합발전발전시스템의 배전계통 도입전망 및 운용대책", 대한전기학회지 Vol. 48, No.3, pp 16-23, 1999.03.
- (2) 김응상 외, "분산형전원의 배전계통 도입전망과 대책", 대한전기학회지 제 45권 제10호 pp 23-31, 1996.10.
- (3) 김응상 외, "Evaluation of interconnection capacity of co-generation systems to the power distribution systems from the viewpoint of voltage regulation", ICEE99 Proceedings, Vol. II, pp 295-298, 1999.08.
- (4) "Economic Assessment of the Utilization of Fuel Cells in Electric Utility Systems", EPRI EM-336, 1976.11.
- (5) M. J. Look, "Application of Protection Relays on a Large Industrial Utility tie with Industrial Co-generation", IEEE-PAS, Vol. 100, No. 6, pp2804-2812, 1981.
- (6) D. W. Sobieski, et.al, "An economic assessment of battery storage in electric utility systems," IEEE Trans. on PWRs, Vol.PAS-104, No.12, pp.3453-3459, Dec. 1985.

◇ 저자소개 ◇

김 응 상 (金應相)

1962년 6월 21일생. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 한국전기연구소 입소. 전지전력저장시스템, 분산형전원 및 대체에너지전원의 계통연계 기술 등 연구 분야에 종사. 현재, 한국전기연구원 신전력시스템 그룹 책임연구원.