

소형열병합발전 최적 시스템 설계 시뮬레이션

임 용 훈, 박 화 춘[†], 최 영 호

한국에너지기술연구원 건물에너지연구센터

정 모

영남대학교 기계공학과

A Simulation Study for the Optimum Design of Cogeneration System

Im Yong Hoon, Hwa-Choon, Park[†], Choi Young Ho

Building Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

Mo, Chung

Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ., Gyeongsan 712-749, Korea

ABSTRACT:

In this paper, a simulation approach for the optimum design of cogeneration system is described. For the purpose of the systematic analysis, a simulation tool is developed with which the prediction of the energy load, calculation of operation data according to prime mover or capacity of it, and estimation of economic gains can be carried out. As for the criterion of the optimum design, the economic gains by adopting cogeneration system is taken. Based on the capital, operation, and maintenance costs etc, LCC analysis is to be carried out for the scenarios respectively. In this study, the simulation for the apartment complex is performed and the analysis of the results are described in detail. The effects of the operation parameters such as capital cost, fuel cost, and unit cost for the purchase or sale of heat and electricity on overall economy are also be considered by sensitivity study.

Key words: Cogeneration system(소형열병합발전시스템), Optimum design(최적 설계), Simulation program(시뮬레이터)

1. 서 론

소형열병합발전 방식은 분산형 전원으로써의 역할 뿐 아니라 에너지절감 및 환경개선 효과가 우수한 난방방식으로, 공동주택을 중심으로 보급이 이루어져 왔으며 근래 들어 병원, 업무용 빌딩 등에도 일부 적용되어 수요처의 다양화가 서서히 이루어지고 있다. 2007년 말 기준 공동주택 111개 단지, 산업체 4개소, 그리고 업무용 빌딩에 38개소에 보급이 되었고 용량기준으로는 공동주택, 산업체, 업무용빌딩에 대해 각각 47,670kW,

29,700kW, 94,802kW로서 2017년 기준 270만 kW의 보급을 목표로 하고 있다. 그러나 소형열병합발전 방식의 초기 보급 과정에서 시공사 난립에 따른 부실화 초래, 관련시장의 과열로 인한 과도한 경쟁 등 체계적이고 합리적인 기준에 의거한 보급이 이루어지지 못한 부작용으로 인해 소형열병합발전 시장의 안정적인 입지를 굳히는데 실패한 것으로 보는 시각이 지배적이다.

소형열병합발전 시스템은 분산형 전원으로서의 역할 뿐 아니라 국가적 차원의 에너지절감 및 환경개선 측면에서 보급이 장려되어야 하는 친환경 고효율 기술임에 틀림없다. 특히 기후변화협약 대응과 관련하여 가장 현실적이고 실효적인 대안 중 하나로서 평가 받고 있으며 따라서 온실가스

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3008; fax: +82-42-860-3098

E-mail address: hcpark@kier.re.kr

저감에 크게 기여할 수 있을 뿐 아니라 국내 에너지 소비의 대부분을 차지하고 있는 산업, 상업, 가정 분야에 폭 넓게 적용이 가능하므로 에너지 절감과 관련한 파급 잠재력이 매우 높은 분야이다. 그러나 국내에서는 아직 예상보다 저조한 보급률로 인하여 전체 에너지수급의 안정화 및 환경측면의 기여도가 미미한 실정이며 이러한 저조한 보급률과 시장의 부정적인 시각이 팽배해진 주된 이유로는 무엇보다도 경제성 측면에서의 경쟁력 저하가 가장 큰 원인으로 꼽을 수 있을 것이다. 연료비 급등으로 인한 전력생산 단가의 인상 요인에 비해 현행의 낮은 전력요금 체계에서는 구조적으로 경제성 확보 측면에서 한계가 있다. 도입 초기에 많은 초기투자비를 필요로 하는 소형열병합발전 시스템의 특성상 경제성 측면의 경쟁력 제고를 위한 특단의 제도 및 지원방안 등의 지원책이 수립되어야 함과 동시에 설비의 설계 및 운영에 있어서도 최적 설계를 통한 운영비용의 최소화 노력이 병행되어야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 최적시스템 구축과 관련한 기준 마련을 위한 소형열병합발전 최적 설계 시뮬레이션을 위한 분석 기법을 소개하고자 한다. 앞서 언급한 바와 같이 소형열병합발전 방식의 경우 기존의 난방방식에 비해 초기투자비가 많이 소요되기 때문에 과도한 용량 설계 등으로 인한 운전상의 문제가 발생하여 운전비 측면에서 절감액이 발생하지 않을 경우에는 경제성이 가장 열악한 난방방식으로 전략할 개연성이 충분하다고 볼 수 있으므로 현행 연료요금, 전력요금, 제도적 지원 방안 등을 감안한 최적의 설계 기법 및 기준안 마련이 시급하다 할 수 있다.

본 연구에서는 공동주택 및 단일건물에 대해 수요자 측면에서의 소형열병합발전 방식의 도입 타당성 분석이 가능한 최적 설계 프로그램 및 분석 기법을 소개하고자 하며 이를 통하여 건물 유형별 소형열병합발전 방식의 도입 타당성에 대한 기초 자료를 제공하고 보급촉진을 유인 할 수 있는 경제성 확보 방안에 대해 고찰해보고자 한다.

2. 소형열병합발전 시스템 시뮬레이션

2.1 시뮬레이터

본 연구에서 사용하고자 하는 소형열병합발전 시뮬레이터의 기본 구조를 간략히 기술하면 다음

과 같다



[그림 1] 시뮬레이터 기본 구조

시뮬레이션은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 크게 부하예측 모듈과 운전시뮬레이션 모듈, 그리고 경제성 분석 모듈로 구성되어 있으며 이는 최적 설계시 예상되는 여러 시나리오에 대한 광범위한 데이터의 효율적인 관리 및 분석이 감안되었다.

부하예측 모듈에서는 분석대상의 연면적 자료를 입력 자료로 하여 부하를 예측하는 예측모드와 실제 대상지구의 일별 부하자료의 입수가 가능한 경우, 이를 바탕으로 연간 시간별 부하를 예측하는 진단모드 기능을 구현하였다.

운전시뮬레이션 모듈에서는 기존의 가스엔진, 가스터빈 원동기 이외에 연료전지 CHP에 대한 분석이 가능하도록 모듈을 구성하였다. 특히 원동기별 부분부하 운전에 대한 실제적인 분석이 가능하도록 각 원동기별 부하율에 따른 운전특성 자료를 입수하여 반영함으로써 분석의 신뢰성을 높이고자 하였다. 이외에 운전모드(전기부하추종, 열부하추종)별 운전시뮬레이션 기능과 냉방방식(터보식, 흡수식, 빙축시스템)별 설비구성 옵션을 추가함으로써 냉난방을 포함한 포괄적 소형열병합발전 시스템 구축에 대한 분석이 가능한 특징이 있다.

경제성 분석 모듈에서는 앞서 운전시뮬레이션 모듈에서 계산된 물리적 값들(연료사용량, 전력생산량, 수전량 등)을 바탕으로 현행 요금체계를 적용 운전비 계산이 가능하도록 구성하였다. 또한 최근 설비비용 정보를 바탕으로 초기투자비, 운전비, 유지보수비 등을 종합적으로 반영하여 LCC 분석이 가능하도록 구성하였으며 에너지절감 효과 및 CDM 편익 분석에 대한 기능을 구현

하여 소형열병합발전 시스템 도입에 따른 타당성 분석이 용이하게 이루어질 수 있도록 프로그램을 구성하였다.

2.2 소형열병합발전 최적설계 시뮬레이션

본 연구에서는 소형열병합발전 최적 설계 시뮬레이션 분석을 위해 국내 소형열병합발전 시장의 주요 대상인 아파트 단지를 대상으로 삼고자 한다. 아파트 단지를 대상으로 수행한 시뮬레이션 분석 과정 및 결과를 간략히 기술하면 다음과 같다.

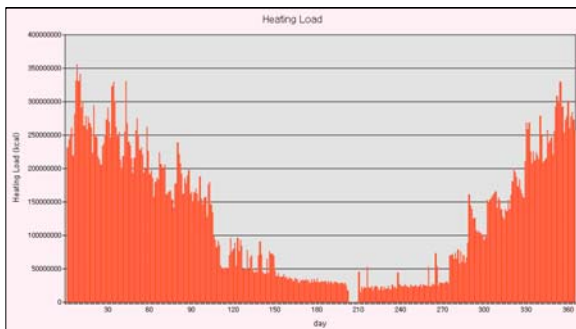
1) 부하예측

소형열병합발전 시뮬레이션 프로그램의 부하분석 모듈을 통해 해당 아파트단지에 대한 연간 부하분석을 수행하였으며 분석 수행에 필요한 해당 아파트단지의 건물 개요를 정리하면 다음과 같다.

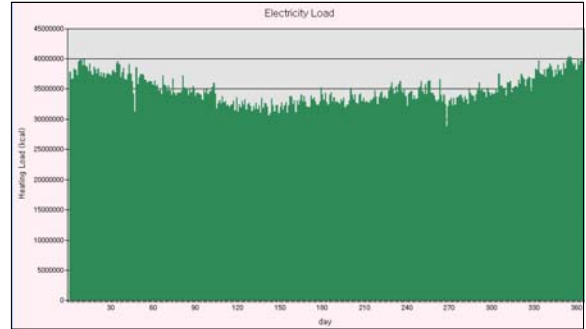
<표 1> 분석대상 건물 개요

종별	건축연면적 [m2]	세대수	냉방방식
공동주택	630,000	4,000	개별냉방

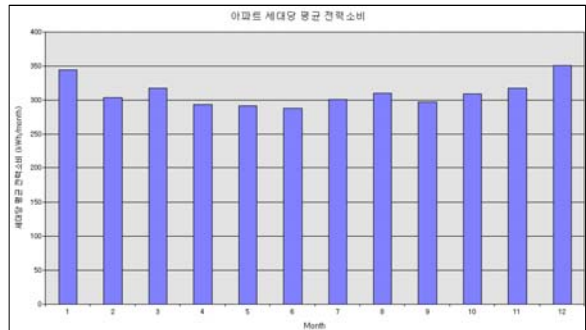
전력부하의 경우 단위부하 모델로부터 계산된 전력부하를 기준으로 해당 평균 전력사용량을 맞추기 위해 전력사용패턴은 기존의 형태를 유지하고 전력사용량을 Shift up-down 하는 보정방법을 사용하였음에 유의하기 바란다. 부하 시뮬레이션을 통해 해당 아파트단지에 대한 연간, 시각별 에너지부하(난방, 전력)를 정리하면 다음과 같다.



[그림 2] 연간 시각별 난방부하



[그림 3] 연간 시각별 전력부하



[그림 4] 연간 월별 전력부하

2) 운전시뮬레이션

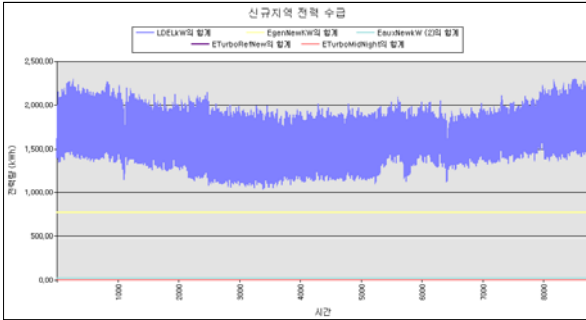
상기한 에너지부하 예측 결과를 바탕으로 여러 원동기별, 용량별 소형열병합발전시스템 구성에 대한 운전시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

<표 2> 운전시나리오

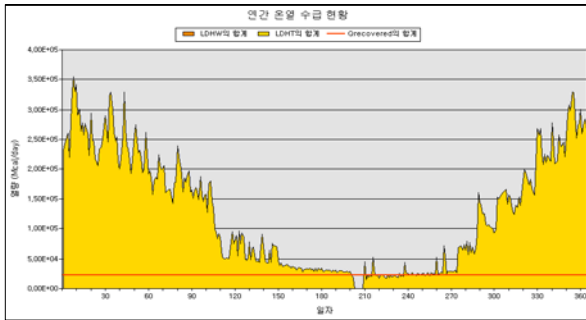
시나리오	발전기 용량	장치 부하율	대수	
NOCGS-HOB (개별난방방식)	-	-	4,000 (세대수)	
가스엔진 (전기추중)	구성1	698kW	25%	1
	구성2	380kW	30%	2
	구성3	1,000kW	35%	1
연료전지 (전기추중)	구성4	100kW	30%	7
연료전지 (열추중)	구성5	200kW	30%	7

이중 가장 일반적으로 적용되는 가스엔진으로 구

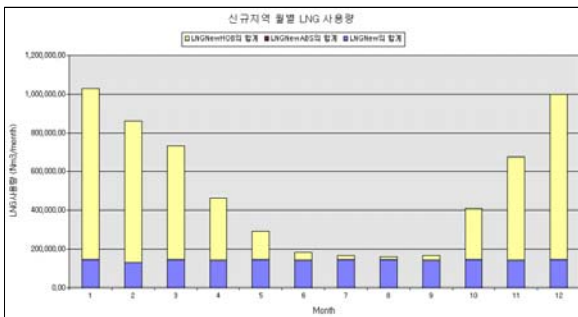
성된 시나리오(구성1)에 대한 분석결과 예를 간략히 정리하면 다음과 같다.



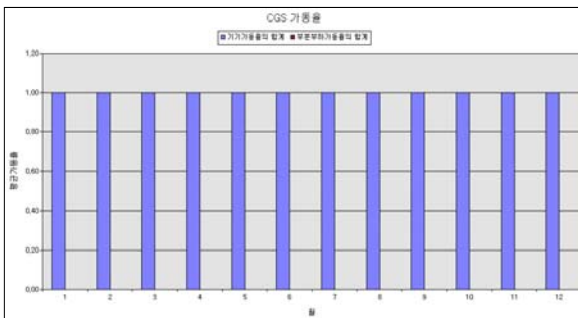
[그림 5] 연간 시각별 전력수급



[그림 6] 연간 월별 온열수급



[그림 7] 연간 월별 가스사용량

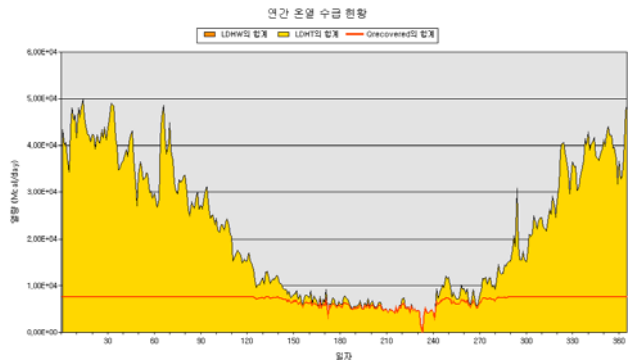


[그림 8] 연간 CGS 가동률

<표 2>에서 보는 바와 같이 구성1의 경우는 최대 전력부하의 25% 수준의 원동기 용량이 선정되어 전기부하추종 운전모드로 운전 되는 경우 이므로 [그림 5]와 같이 소형열병합발전 설비가 연간 가동되고 있음을 보여주고 있으며 부족분은 한전으로부터 수전을 통해 감당하고 있음을 의미한다.

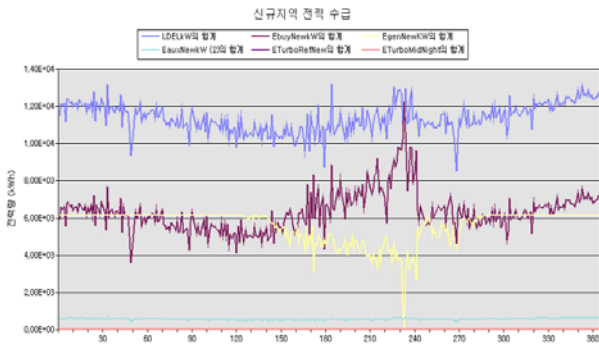
[그림 6]은 연간 일별 온열 수급 결과를 보여주고 있는데 하절기의 일부 기간을 제외하고는 가스엔진의 배열회수를 통한 온열 수급으로는 전체 열부하를 감당하기에 부족하므로 별도의 보일러 가동이 불가피하게 이루어져야 함을 알 수 있다. 일반적으로 공동주택을 대상으로 하는 소형 열병합발전 설비의 경우 하절기 발전 배열이 대상 단지의 급탕 수준, 혹은 약간 상회할 정도의 용량으로 선정하는 것이 경제성 확보 측면에서 가장 무난한 것으로 알려져 있다.

[그림 7]은 상기 운전시물레이션을 통해 열원 설비별(가스엔진 열병합발전시스템, 보일러) 연료 사용량을 월별 통계로 보여주고 있으며 [그림 8]은 가스엔진 열병합발전 설비의 연간 월별 가동률을 나타내고 있는데 앞서 언급한 바와 같이 적은 용량(최대 전력부하의 25%)의 원동기 용량을 선정한 관계로 연간 가동률이 100%로 운전되고 있음을 나타내고 있다.

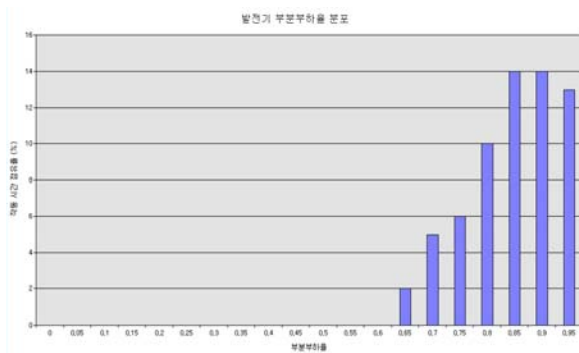


[그림 9] 연간 일별 온열수급(열부하추종 운전)

그러나 일반적으로 적정 용량에 비해 과도한 용량으로 설계가 이루어질 경우, 혹은 열부하추종 운전시 소형열병합발전 설비의 운영에 있어 부분 부하 운전, 혹은 원동기 가동의 중단과 같은 결과가 발생하게 되며 앞서 언급한 바와 같이 본 시물레이션 프로그램에서는 이러한 현상을 시각별 운전시물레이션을 통해 반영할 수 있도록 하였다.



[그림 10] 연간 일별 전력수급(열부하추중 운전)



[그림 11] 부분부하 운전율

[그림 9], [그림 10]은 열부하추중 운전시 열 및 전력부하 운전 특성을 나타내고 있는데 전기부하 추중운전에 비해 다소 복잡한 운전 특성을 나타내고 있음을 볼 수 있으며, [그림 11]에서 보는 바와 같이 원동기의 부분부하율 운전 비율이 전기부하추중 운전과 다른 양상으로 진행되고 있음을 보여주고 있음을 알 수 있다.

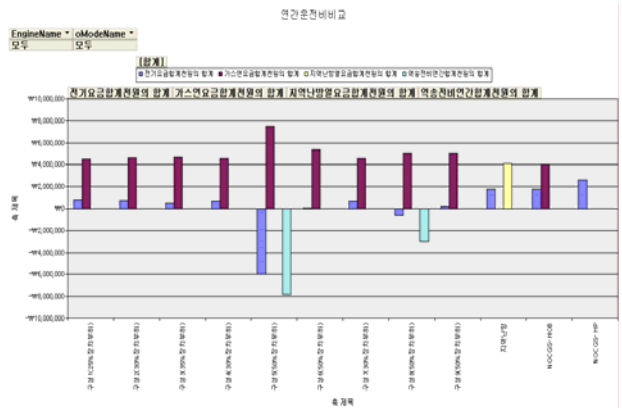
3) 경제성 분석

상기 운전시물레이션을 통해 얻은 물리적인 데이터(연료사용량, 전력량(수전, 자가발전) 등)를 바탕으로 도입 타당성과 관련한 경제성 분석을 수행하였다. 경제성 분석 지표로는 초기투자비와 연간 절감액을 바탕으로 계산되는 단순투자회수 기간과 LCC 분석을 통한 NPV(순현재가치) 혹은 IRR(내부수익율)를 사용하기로 한다. 시나리오별 경제성 분석 결과의 예를 아래 간략히 정리하였다.

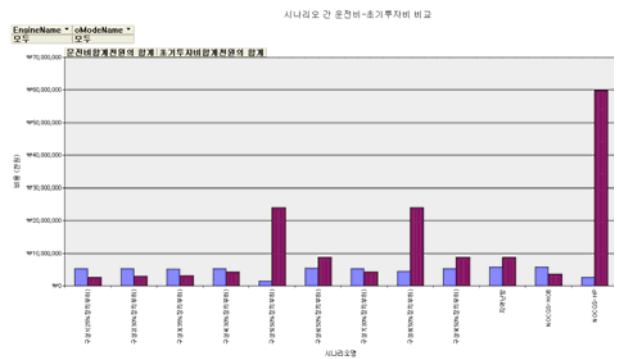
[그림 12]는 시나리오별 연간 운전비를 보여주고 있는데 시나리오 구성에 따라 전기요금, 가스요금의 합계, 지역난방 열요금의 합계, 역송시 역송전 비용의 합계 등을 일목요연하게 확인 할 수

있도록 구성하였다.

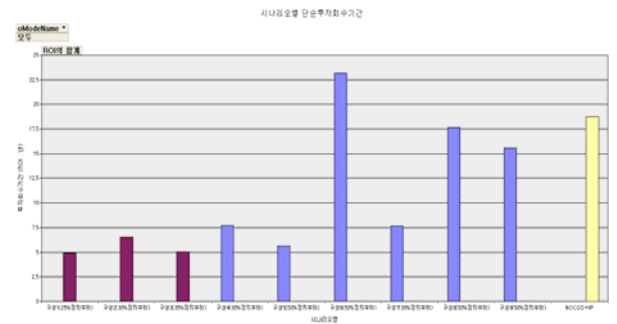
[그림 13]은 시나리오별 운전비의 총합과 해당 설비에 대한 초기투자비를 비교하고 있으며 [그림 14]는 초기투자비를 기준 시나리오 대비 발생하는 연간절감액으로 나눈 값으로 정의되는 단순 투자회수 기간을 보여주고 있다.



[그림 12] 시나리오별 연간 운전비 비교



[그림 13] 시나리오간 운전비 합계-초기투자비 비교



[그림 14] 시나리오별 단순투자회수기간

상기의 결과를 통해 소형열병합발전 최적 설계 시나리오에 대한 대략적인 타당성 분석이 가능하나 보다 정확하고 신뢰성 있는 분석이 이루어지

기 위해서는 LCC 분석이 병행되어야 한다. 앞서 기술한 바와 같이 본 연구에서는 초기투자비, 운영비(고정비, 변동비) 등을 종합적으로 고려한 LCC 분석이 경제성 분석 모듈에서 연동되어 이루어질 수 있도록 프로그램을 구성하였으며 LCC 분석의 예를 [그림 15]에 나타내었다.



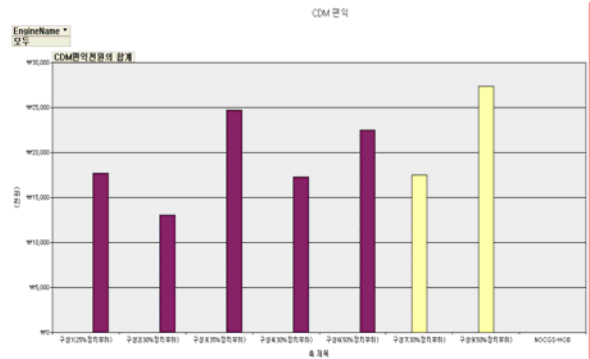
[그림 15] LCC 분석 창



검토인자	변화율(%)	값	IRR	민감도	PRP(년)	민감도
투자비 2621.7003	20%	3,146.0	6.23%	0.13	10.46	2.91
	10%	2,883.9	7.42%	0.14	9.76	6.94
	-10%	2,359.5	10.42%	0.16	8.37	7.12
연료비 지출 (연료비 단가) 4508.7455	20%	5,410.5	#DIV/0!	#DIV/0!	-4.50	67.86
	0%	4,959.6	8.80%	0.18	7.64	7.22
	-10%	4,508.7	12.36%	0.19	7.64	7.22
전기판매수입 (전기요금) 978.95725	20%	1,174.7	13.31%	0.23	7.33	8.79
	10%	1,076.9	11.11%	0.23	8.10	9.86
	0%	979.0	8.80%	0.25	10.39	13.04
열판매수입 (열판매 단가) 4041.4398	20%	4,849.7	25.65%	0.84	4.77	21.60
	10%	4,445.6	17.71%	0.89	6.14	29.47
	0%	4,041.4	8.80%	1.23	9.09	114.37
	-10%	3,637.3	#DIV/0!	#DIV/0!	123.72	1146.37
	-20%	3,233.2	#DIV/0!	#DIV/0!	-5.85	74.68

[그림 16] 민감도 분석(LCC)

[그림 16]은 초기투자비, 연료비, 전기판매 요금, 열판매 요금 등 비용변화에 따른 민감도 분석 결과의 예를 보여주고 있다.



[그림 18] 시나리오별 CDM 편익 분석 결과

본 시뮬레이션 프로그램에서는 또한 각 시나리오별 에너지 절감 및 환경개선 영향을 종합적으로 평가 할 수 있는 기능을 추가함으로써 소형열병합발전 시스템의 최적 설계에 있어 기후변화 협약에 대한 대응성에 대해 고찰해 볼 수 있도록 구성하였다.

[그림 17], [그림 18]은 기준시나리오 대비 각 시나리오에 대한 에너지절감 및 CDM 편익에 대한 분석 결과의 예를 보여주고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 소형열병합발전 시스템의 최적 설계를 위한 시뮬레이션 분석 방법 및 이를 위한 프로그램의 분석 과정에 대해 간략히 소개하였다.

특히 실제 수요처를 대상으로 한 분석결과의 신뢰성을 향상시키기 위해 분석대상의 에너지 부하 사용 자료를 직접 활용할 수 있는 부하예측 진단모드를 추가로 구현하였으며 원동기 운전 시뮬레이션에서는 부분부하 운전에 대한 시뮬레이션 기능 추가, 다양한 원동기 형식 구현 등을 통해 최적 설계를 위해 고려할 수 있는 옵션의 다양화 등을 꾀하였다. 또한 소형열병합발전 시스템의 실질적인 도입 타당성 검토에 있어 가장 중요한 요소로 작용하는 경제성 측면에 있어서도 LCC 분석을 기반으로 한 체계적인 검토가 손쉽게 이루어질 수 있도록 배려하였다.

[그림 17] 시나리오별 에너지절감 효과

본 연구에서는 상기한 기능들을 조합하여 체계적이고 실질적인 최적 설계 도구로서 역할을 수행할 수 있는 프로그램 개발에 대해 기술하였으며 추후 다양한 사례에 대한 분석 결과를 통해 소형열병합발전 시스템의 보급 확산에 기여할 수 있는 기초 자료를 제공할 예정이다.

참고문헌

1. 박화춘 외, '소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이션 개발', 2004
2. 임용훈 외, '소형열병합발전 최적시스템 구축 및 운영기준(안) 연구', 에너지관리공단, 2008
3. 임용훈 외, '소규모 지역냉난방 시스템 최적설계 시뮬레이션', 태양에너지추계학술대회, 2008