

COGENMASTER 모형을 이용한 열병합발전 시스템 구성 및 경제성 분석

박 종진*, 조 인승, 김 창수, 권 영한
한국전기연구소

Configuration and Economic Analysis of Cogeneration
Systems using COGENMASTER model

J. J. Park*, I. S. Jo, C. S. Kim, Y. H. Kwun
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Recently, the energy situation in Korea has been significantly changed. Rapid increase in electricity demand, tremendous financial need for new power plant construction, and environmental problem have led to search for more efficient energy production and energy conservation technologies.

Due to the potential energy and cost savings to both electric utilities and industries, cogeneration will play an important role in the electric power and thermal energy supply in the future.

In this study, we present the COGENMASTER computer model for optimal system configuration and economic analysis of cogeneration system. We also present several case studies with this module to analyze Korean cogeneration market. The result of this study will be useful to utility and industrial cogeneration planners for rapid analysis of cogeneration's value under a broad range of scenarios.

1. 서론

최근 전력수요의 급증, 장기 전원계획상의 선비 확충에 따른 과도한 자금소요, 입지문제, 환경문제 등의 문제로 에너지의 효율적인 이용과 전력수급의 안정화가 국가에너지 정책에 있어 시급한 과제로 제기되고 있다. 이와 같은 문제의 해결방안의 하나로써 전원 분산효과에 따른 입지문제의 해결, 에너지의 효율적 이용에 따른 에너지 절약이 가능한 열병합 발전시스템의 확대 도입의 필요성이 증대하고 있다. 동시에 많은 산업체나, 밀당 등에서 열병합 발전 참여에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에 따른 기술적, 경제적 분석이나 전망을 위한 정보와 분석방법에 대한 필요성도 높아져 가고 있다.

본 연구에서는 앞으로 국내에서 보급 가능성이 높은 열병합발전 시스템에 대해서 그 구성 및 운전형태를 산업별 특성에 따라 분석하고 평가할 수 있는 실용적인 전산모형인 COGENMASTER 모형을 제시하며, 사례연구를 통해 열 및 전력수요에 기초하여 적정규모를 산정하고, 경제적 타당성을 분석해 보므로써 실제 열병합발전 사업추진시 효율적이고 경제적인 열병합발전 운용에 활용되게 하고자 한다.

2. COGENMASTER 모형

가. 개요

열병합발전은 에너지 효율성이 높을 뿐만아니라 산업체나 일

반 민생용으로 시설, 운전할 경우 경제적 이득 또한 상당히 크기 때문에 앞으로 입지 및 자금압박으로 전력수급사정이 악화되거나, 에너지 가격이 높아질 경우 민간 발전설비로서 열병합발전에 대한 관심은 더욱 커질 것으로 전망된다.

그러나, 열병합발전 사업을 착수하는 데는 초기 설비자금이 타 사업에 비해 상당히 크고, 투자 회수기간이 장기간인 바 충분한 타당성 분석이 뒤따라야 되며, 동시에 설비의 운전 또한 상당한 기술인력과 운전경험을 필요로 하는 바 이들에 대한 충분한 준비후에 사업에 착수해야 한다. 또한, 이러한 타당성 평가를 좌우하는 요소 중에는 향후의 연료가격, 전력요금, 열 및 전력수요 등 예측하기 어려운 요소가 포함되어 있으므로 이러한 제반 여건을 감안한 사업분석 도구가 필요하게 된다.

본 연구에서는 EPRI에서 개발한 열병합발전의 경제/기술적 분석 전산모형인 COGENMASTER 모형을 국내실정에 맞게 실용화하고, 사례연구를 통하여 앞으로 실무상에서 유용하게 활용할 수 있도록 하였다.

나. 모형의 특징 및 기능

이 모형은 각종 가능한 열병합발전 시스템의 구성 및 운용 옵션을 평가 분석할 수 있도록 설계되어 있다. 이 모형은 기술적, 재무적으로 같은 평가기준을 사용하여 열병합발전 옵션을 조사하는 screening 도구로 사용된다. 각 경우에 있어서, 열병합발전 시스템과 기존시스템 - 전력은 전력회사에서 구입하고 열에너지는 보일러를 사용하여 현장에서 생산하는 방식 - 이 비교된다. 여기서 옵션에는 여러가지 시스템구성 방식과 운전전략에 대한 분석 뿐만 아니라, 시스템을 누가 소유하느냐에 따른 분석도 가능하다. 분석의 형태는 각종 열병합발전 시스템의 기술적인 분석, 경제적 타당성 평가, 비용 및 재무분석이 포함된다.

다음은 모형의 주요기능이다.

- 특정 산업체 또는 업무용으로 적용가능한 열병합발전 시스템에 대한 기술적인 분석
- 대안별 시스템 규모 선정기준과 운전방식 분석
- 대안별 경제성, 재무적 타당성 분석
- 물가상승률과 운전전략 등에 따른 각종 민감도 분석

다. 모형의 구성

이 모형은 기술분석부분과 재무분석부분의 두 부분으로 나누어져 있으며, 각 부분에는 모두 시뮬레이션 모듈과 출력부분이 있다. 그림 1은 모형의 구성을 개략적으로 나타낸 것이다.

3. 사례연구

본 사례연구에서는 위의 모형을 활용하여 열병합발전 시스템에 대해 기술적, 경제적 타당성을 분석한다. 또한 규모 결정기

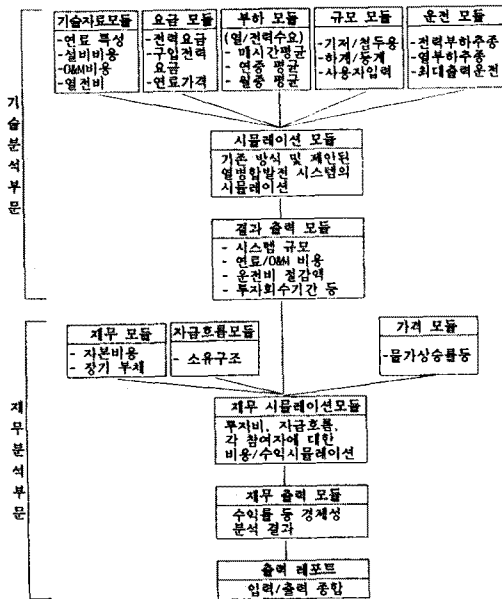


그림 1. COGENMASTER 모형의 구성

준, 운전패턴 등을 달리했을 경우 운전결과나 경제성에 어떤 영향을 주는지를 분석한다.

본 사례연구에서 대상으로 하는 열병합발전 시스템의 기본적인 가정은 아래와 같다.

- 평일과 주말의 전력부하와 증기부하의 차이가 큰 산업체를 가정한다(단, 월별, 계절별의 부하변동은 작다고 가정).
- 산업체의 증기수요는 자체 충당하며, 부족한 전력은 한전으로부터 구입하고, 잉여전력은 한전에 판매하는 것으로 가정한다.
- 기본방식(증기는 보일러를 통해 공급받고, 전력은 한전으로부터 구입하는 시스템)과 열병합발전 시스템을 비교분석한다.
- 시스템규모 결정 기준에 관계없이 열-전력 출력비는 동일하게 가정한다.

가. 대상시스템의 기술적 특성

1) 주요 기술자료

기술특성에는 사용연료, 연료변환효율, 연료 고위발열량, 터빈/발전기 규모와 설비비용, O&M 비용 계수, 전력출력/연료입력비율, 증기출력/연료입력 비율, 전력요금, 증기조건 등이 있다. 증기조건으로는 증기의 출구압력과 과열도 등이 사용된다.

표 1. 분석 대상시스템의 주요 기술특성

데이터	시스템	열병합발전 시스템	기본 시스템
사용연료		B-C유	B-C유
코efficient 연량(GJ/L)		0.042	0.042
시스템 최상유모(%)		18.3	21.0
설비비용(백만 \$)		1.3	4.37
시스템 최대규모(GJ/hr)		730	1260
설비비용(백만 \$)		52.0	26.2
입출력비	전력/연료	0.197	0
	증기/연료	0.404	0.8
전력요금		현행 한전의 열병합발전 구입전력 단가	
증기조건	출구압력	1,570 kPa	
	과열도	9.54 °C	

2) 부하특성

표 2는 첨두인, 평일 및 주말의 전력과 증기의 시간대별 평균 부하를 가정하여 나타낸 것이다.

표 2. 부하 데이터(일부)

시간	구분	(단위 : kW, kg)					
		첨두인		평일		주말	
0 - 1		전력	증기	전력	증기	전력	증기
4 - 5		20000	65000	16000	52000	4800	15600
8 - 9		22500	69000	17500	54000	5800	16100
12 - 13		25500	71000	19000	56000	6300	16500
13 - 14		27500	73000	21000	57000	6500	16800
17 - 18		28000	74000	21500	57500	6500	16800
21 - 22		26000	72000	21500	56000	6200	16400
		23500	68000	19000	53000	5200	15700

3) 규모결정 기준

본 사례연구에서는 규모 결정기준으로 다음과 같이 두가지 경우를 고려하여 분석한다.

- 첫째, 년중 첨두 열부하를 충족시킬 수 있는 규모로 시스템을 구성하여 보조보일러를 가급적 운전하지 않고, 전력생산량도 비교적 많도록 하는 경우
- 둘째, 가능한한 설비이용률을 높이기 위하여, 첨두수요보다 약간 낮게 열병합발전 시스템 규모를 결정하고, 시스템 용량 이상의 부하발생시는 보조보일러를 가동하여 수요를 충족시키는 경우. 예로서 SXT/h 를 가정

4) 운전패턴

운전패턴에는 전력부하추종, 열부하추종, 최대출력운전 방식이 있으며, 본 사례연구에서는 이들 각각을 분석한다.

나. 재무, 경제적 특성

표 3은 재무분석부분을 위해 가정한 주요자료이다.

표 3. 재무분석부분 주요 자료

항목	자료	항목	자료
관상기간(년)	2	투자비 공제비율(%)	10(1차년도)
자본비용상승률(%)	0	감가상각방법	정액, 15년
장기채무비중(%)	30	일반관리비 비중(%)	2
장기채무이자율(%)	10	법인세율(%)	15
장기채무기간(년)	8	세산세 및 보험(%)	0.55
경제수명기간(년)	20	요금 상승률(%)	5
가치기준년도(년)	1992	연료가격 상승률(%)	5

다. 기술부분 분석결과

표 4 ~ 표 6은 기술분석부분에서 출력된 2가지 경우의 산업체 열병합발전 시스템과 기존시스템의 규모, 에너지 사용, 비용에 대한 결과를 비교분석한 것이다.

표 4에서는 열병합발전 시스템의 구성결과를 보여준다. 여기서 첨두열부하를 기준으로 설계시 가장 많은 설비비용이 소요된다. 표 5는 에너지 사용결과로서 총 열출력은 같으나 열병합발전 시스템의 경우 전력수요의 약 80%에 이상에 해당하는 전력을 열병합 발전을 통하여 충당할 수 있으며, 따라서 연료사용량은 상당히 증가한다. 표 6은 설비비용을 제외한 에너지비용 결과로서 총 운전비용은 전력요금의 대폭절감으로 기존 방식에 비해 약 34.6%에서 36.2%까지 절감이 되는 것으로 나타났다.

표 4. 시스템 입출력에너지 및 규모 분석결과

항목	설비	첨두 열부하 기준	평일 열부하 기준	기본시스템
입력연료량(GJ/h)		455,350	356,893	229,952
최대 전력출력(kW)		24,920	19,532	0
최대 열출력(GJ/h)		183,961	144,185	183,961
Unit 대수		1	1	1
총설비비용(\$)		37,199,712	30,189,924	4,780,809
설비단가(\$/kW)		1,301	1,301	0
O&M 비용(\$)		629,708	524,561	71,712

표 5. 에너지 사용 분석결과

항목	설비	첨두 열부하 기준	평일 열부하 기준	기준시스템
총열부하 (GJ)		1,086,733	1,086,733	1,086,733
열병합발전의 열출력(GJ)		978,060	970,271	-
보일러의 열출력 (GJ)		108,673	116,462	1,086,733
이용가능한 잉여열(GJ)		0	0	0
연료사용량(GJ)		2,556,787	2,547,242	1,358,417
구입전력 : 최대부하(kW)		3,080	8,468	28,000
구입전력 : 에너지(kWh)		22,809,972	23,797,038	153,138,800
생산전력(kWh)		132,453,032	131,397,832	0
판매전력(kWh)		2,124,129	2,056,322	0

표 6. 에너지 비용 분석결과

항목	설비	첨두 열부하 기준	평일 열부하 기준	기준시스템
총연료 비용 (\$)		5,484,960	5,464,485	2,914,155
전력 요금	기본요금 (\$)	150,150	412,866	1,365,168
	에너지요금(\$)	1,107,843	1,156,125	7,104,535
	계 (\$)	1,257,993	1,568,991	8,469,733
판매 수입	전력 판매 (\$)	67,258	65,113	0
	잉여열 판매 (\$)	0	0	0
	총판매 수입 (\$)	67,258	65,113	0
총에너지 비용 (\$)		6,675,695	6,968,362	11,383,888

라. 재무부문 분석결과

표 7은 사례연구 분석대상 시스템의 경제적 타당성 분석결과를 요약한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 기존시스템을 열병합발전 시스템으로 대체할 경우, NPV에서나 IRP 등 각종 재무지표에서 경제적 타당성이 있으며, 특히 설비규모를 최대열부하보다 약간 낮은 값에서 최적화할 때 경제성이 보다 우수한 것으로 나타났다.

표 7. 대안 시스템의 경제적 타당성 분석결과

항목	대안 설비	첨두 열부하 기준	평일 열부하 기준
설비비용 증가액		\$ 32,418,903	\$ 25,409,115
운전절감액 (\$)		\$ 4,150,197	\$ 3,932,677
순현재가치(NPV)		\$ 3,344,000	\$ 8,646,000
내부수익률(IRR)		15.5 %	19.3 %
세후 투자회수기간		8.1 년	6.4 년
첫해 부채상환능력비율		4.02	4.89

다. 운전패턴에 따른 분석

표 8~표 10은 시스템 규모는 첨두 열부하를 충족하는 규모로 하되, 운전패턴을 열부하 추종운전 이외에, 전력부하 추종운전, 그리고 전력·열부하와 관련없이 항상 시스템 최대출력으로 계속 운전하는 경우를 각각 선정하여, 시뮬레이션하므로써 운전패턴이 연료, 구입전력 및 판매전력 등의 에너지 입출력과 비용에 어떠한 영향을 미치며, 어떤 운전패턴이 경제적으로 유리한지를 비교분석한 결과이다.

표 8. 에너지 사용 분석결과

항목	운전패턴	열부하 추종	전력부하 추종	최대출력운전
총열부하 (GJ)		1,086,733	1,086,733	1,086,733
열병합발전의 열출력(GJ)		978,060	1,016,136	1,450,770
보일러의 열출력 (GJ)		108,678	124,358	108,673
이용가능한 잉여열(GJ)		0	53,761	472,720
연료사용량(GJ)		2,556,787	2,670,638	3,726,881
구입전력 : 최대부하(kW)		3,080	3,080	3,080
구입전력 : 에너지(kWh)		22,809,972	15,529,448	15,529,448
생산전력(kWh)		132,453,032	137,609,728	196,470,976
판매전력(kWh)		2,124,129	0	59,859,956

표 9. 에너지 비용 분석결과

항목	운전패턴	열부하 추종	전력부하 추종	최대출력운전
총연료 비용 (\$)		5,484,960	5,729,206	7,995,068
전력 요금	기본요금 (\$)	150,150	150,169	150,169
	에너지요금(\$)	1,107,843	704,956	704,956
	계 (\$)	1,257,993	855,125	855,125
판매 수입	전력 판매 (\$)	67,258	0	2,476,732
	잉여열 판매 (\$)	0	0	0
	총판매 수입 (\$)	67,258	0	2,476,732
총에너지 비용 (\$)		6,675,695	6,584,331	6,373,461

표 10. 경제성 분석결과

항목	운전패턴	열부하 추종	전력부하 추종	최대출력운전
중분설비비용				
운전 비용		\$ 32,418,904	\$ 32,418,904	\$ 32,418,904
절감	O&M 비용 증가	\$ 557,996	\$ 557,996	\$ 557,996
	에너지비용 감소	\$ 4,708,193	\$ 4,799,558	\$ 5,010,428
순현재가치		\$ 4,150,197	\$ 4,241,562	\$ 4,452,432
내부 수익률		15.6%	16.0%	16.8%
세후투자회수기간		8.10 년	7.94 년	7.47 년
첫해 부채상환능력비율		4.02	4.11	4.31

앞의 표 8에서 보는 바와 같이 연료사용량은 시스템 가동 정도에 따라 최대출력 운전, 전력부하 추종운전, 열부하 추종운전의 순서로 많으며, 최대출력 운전의 경우 열부하 추종운전보다 40% 이상 많은 연료사용량을 나타내고 있다.

구입전력은 열부하 추종운전시는 전력생산량이 다른 방식보다 작아 구입량이 많으며, 전력부하 추종운전과 최대 출력운전의 경우는 열병합발전 시스템 정지시만 구입하는 것으로 나타났다.

표 9의 에너지 비용에 대한 표를 보면, 총에너지 비용은 최대출력운전, 전력부하 추종운전, 열부하 추종운전의 순서로 낮아진다. 가정된 입력자료 조건하에서는, 시스템을 최대한 운전하여 가동률을 높혀 가능한 한 전력을 많이 생산하고, 전력회사에 역 판매하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

표 10에서 순현재가치, 내부수익률, 투자 회수율, 부채상환능력 등의 지표로 볼 때, 운전패턴별로 크게 차이는 나지 않으나, 그 중 최대출력운전이 경제성과 재무적 타당성이 가장 좋게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 열병합발전을 도입하고자 할 때, 포괄적이며 간략하고 빠르게 시스템의 구성과 경제적 타당성을 평가할 수 있는 COGENMASTER 모형을 국내실정에 맞게 실용화하였다. 또한 사례연구를 통하여 각 대안시스템의 구성과 경제성을 분석해보므로써 열병합발전 사업추진이나 운전시 효율적이고 경제적인 열병합발전에 활용할 수 있게 하였다.

본 연구의 사례분석은 자료취득상의 어려움으로 많은 입력 자료를 대략적으로 가정하여 분석하였다. 그러나 이러한 사례연구를 통하여 각종 다양한 기술적인 분석, 경제·재무적 분석이 가능함을 확인하였다.

앞으로 본 연구에서의 분석내용을 토대로 실무문제 활용시 보다 정확한 자료취득과 다양한 경우를 고려하여 활용한다면, 실무적인 사업분석이나 열병합발전의 최적활용을 위한 검토를 하는데 상당한 기여를 할 것이며, 보다 효율적이고 경제적인 열병합발전 운용방안을 마련하는 토대가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

한국산업경제연구원, 한국전기연구원, 한진, 자가발전의 전망과 대응발전에 관한 연구, 1989.4.
 한국전기연구원, 한진, 구입전력의 적정수준과 요율에 관한 연구, 1993.11.
 Kevin A. Kirby, John F.Rich and Paul J. Mahoney, "Cogeneration Systems Evaluation : A Case Study", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-100, No. 6, June 1981.
 Kwun, Y.H., Baughman, M.L., "Joint Optimal Planning of Industrial Cogeneration and Conventional Electricity Systems", Operations Research, Vol. 39, No. 5, Sep.-Oct. 1991
 Mha Tomsic and Fouad Al-Mansoury, "Optimal Operation of Cogeneration Plants in Industry", Energy, Vol. 14, No. 8, pp. 483-490, 1989
 SRC, COGENMASTER : A Cogeneration Options Evaluation Model, Vol. 1, 2, Sep. 1989.