

소형 열병합 시스템의 최적 계획 방안에 관한 연구

강찬구, 권용호, 오시덕, 한 대희, 손화승*, 방효선*
(효성중공업(주) 기술연구소 에너지팀 *한국가스공사 연구개발원)

요약

기존에 이용하고 있는 에너지 시스템 도입 검토 방법은 발전시스템에서 생산된 에너지는 어떤 형태로든 수요처에서 모두 소비할 수 있다는 가정을 전제로 하고 있다. 본 연구에서는 기존의 방법으로 열병합 시스템을 도입 검토할 경우의 문제점을 알아보고, 에너지 수요 변동 패턴에 따라서 에너지 시스템을 선정하는 열병합 시스템 최적 계획 프로그램을 이용하여 전력, 난방, 냉방 부하 패턴을 동시에 고려할 때, 대상 수요처에 적절한 용량과 경제성이 있는 에너지 시스템을 도입할 수 있다는 것을 보여 주었다. 본 연구에서 대상수요처로서 전력수요 4.2 MW, 난방수요 15.4MW, 냉방수요 13.01 MW의 최대 부하량을 갖는 모병원을 선정하였다.

기존의 열설계 방법을 이용하여 열설계를 수행할 때, 회수가 가능한 총폐열회수량은 26,894,930Mcal(부하율을 85%로 가정)이지만, 대상 수요처에서 필요로 하는 온열량은 9,675,818 Mcal 로 회수된 열량을 100% 사용한다는 가정과는 달리 17,219,112 Mcal(전체의 64%)에 해당되는 열량이 실제로는 사용되지 않을 뿐만 아니라, 실제 부하율을 계산해 본 결과 부하율이 40.6%로 먼저 가정한 85%는 과잉 가정된 것임을 알 수 있었다. 또한, 대상 수요처의 에너지 부하 패턴을 고려하여 본 시스템에 대한 경제성 평가를 수행한 결과, 단순 투자 회수 기간이 12년에서 11.2년으로 늘어났으며, 고려되어지는 냉동기 종류에 따라 에너지 시스템을 산정하였을 때, 증기 흡수식 냉동기를 사용할 경우에는 폐열 발생량이 많은 원동기와 큰 용량의 보일러를 선정하고, 가스 흡수식 냉동수기의 경우는 난방용으로도 사용 가능하므로 상대적으로 작은 용량의 보일러를 선정함을 알 수 있었다. 고려되어지는 냉동기 종류에 따라 최적 에너지 시스템의 구성 기기가 변한다는 사실은 각각의 에너지를 분리하여 에너지 시스템을 산정하는 것이 아니라, 모든 에너지 부하를 동시에 고려할 때

적절한 용량과 경제성 있는 최적 에너지 시스템을 도입할 수 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다.

1. 서론

우리 나라는 도시화 추세가 뚜렷하고 대도시를 중심으로 건물의 고층화가 지속적으로 이루어지고 있어, 전력소비가 계속 증가하고 있는 현실이다. 뿐만 아니라, 최근에는 전력 및 열부하가 큰 오피스텔, 호텔, 병원, 백화점 및 복합 건물 건설이 증가하고 있으며 에너지 집중율이 큰 건물이 건설됨으로써 전력부하의 부담과 피크 시간대의 전력부하 제어에 큰 어려움이 있을 것으로 예상된다. 이러한 전력수요의 급격한 증가는 전력수급 사정을 악화시켜 새로운 발전소 건설을 필요로 한다. 하지만, 새로운 발전소의 건설은 막대한 설비투자 재원의 조달, 발전소를 건설할 지역 및 위치 선정의 어려움, 환경문제 등 많은 제약이 따른다. 이러한 관점에서 소형 열병합 발전은 에너지의 효율적인 이용뿐만 아니라 전력수급의 안정화에도 기여할 수 있을 것이다[1].

소형 열병합 시스템의 도입을 검토하는 경우, 수요자는 도입 목적, 사용 조건에 적합하면서 가장 경제적인 시스템에 관심을 가지게 되는데 이는 열병합 시스템의 에너지 절약성이 뛰어나더라도 시스템을 도입·운전하여 얻는 경제적 이득이 적으면 열병합 시스템을 도입하지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 시스템 용량의 결정, 경제성 검토 등을 포함하는 열병합 시스템의 도입 계획은 열병합 시스템 도입의 승패를 좌우하는 대단히 중요한 절차 중의 하나이다.

종래에는 수요처의 전력부하, 난방부하, 냉방부하의 패턴은 고려하지 않고 최대 전력부하를 기준으로 가동률 및 부하율을 가정하여 시행 착오 및 경험에 의해 열병합 시스템의 도입 계획이 검토되었는데 이는 발전시스템에서 생산되는 에너지는 어떤

형태로든 수요처에서 모두 소비할 수 있다는 대형 발전 설비의 도입 계획 개념과 유사하다[2]. 때문에 원동기의 과잉 용량산정 및 운전 방안을 무시한 대수 분할 등으로 실제로 열병합 시스템을 도입하여 운전하는 경우 예상했던 도입 효과를 얻지 못하는 경우가 많았다. 특히 민생용 소형 열병합 시스템의 도입 실적이 전무한 우리 나라의 경우 그 경향이 더욱 두드러지리라고 판단된다.

본 연구에서는 최대전력부하를 이용한 기존의 방법으로 열병합 시스템을 도입 검토할 경우의 문제점을 알아보고, 에너지 수요 변동 패턴에 따라서 에너지 시스템을 선정하는 열병합 시스템 최적 계획 프로그램을 이용하여 전력, 난방, 냉방 부하 패턴을 동시에 고려할 경우에, 대상 수요처에 적절한 용량과 경제성이 있는 에너지 시스템을 도입할 수 있음을 보여주고자 한다.

2. 대상 수요처의 에너지 부하

에너지 시스템 최적 계획 대상으로 모병원을 선정하였다. Fig.1은 최적 계획 대상인 모병원의 연중 에너지 부하(전력 수요, 난방 수요, 냉방 수요)를 나

타내고 있다. 각 수요별로 최대부하를 살펴보면 전력수요는 4.2MW, 난방수요는 15.4MW, 냉방수요는 13.01MW 이다.

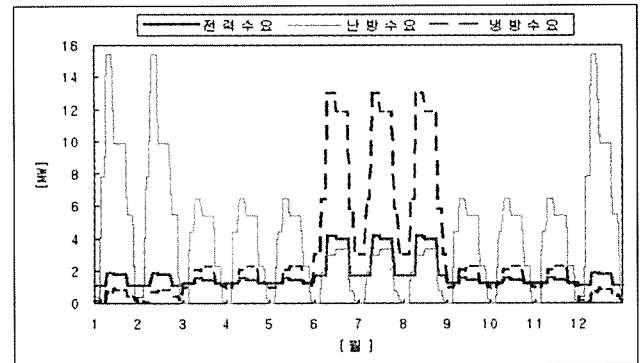


Fig. 대상 수요처에 대한 연중 에너지 부하

3. 기존 방법을 이용하여 설계하는 경우

현재까지 일반적으로 사용되는 발전 설비 용량 선정 방법은 수요처의 난방, 냉방 등의 에너지 수요 패턴은 고려하지 않고 최대 전력부하만을 기준으로 가동률 및 부하율을 가정하여 시행 착오 및 경험에 의해 시스템의 도입 계획이 검토된다. 그리고, 발전 시스템으로부터 회수하여 생산되는 열에너지는 어떤 형태로든 수요처에서 모두 소비할 수 있다는 대

Table. 1 기존 방법에 의한 경제성 검토

(단위 : 천원)

항 목		기존 방법	적용 방법	비 고	
투 자 비		2,184,000	좌동		
발전 용량(kW)		4,320	좌동	G/E : 2,160 kW × 2 Sets	
년 간 생산량	전력 생산량(kWh)	32,166,720	15,368,720		
	폐열 생산량(Mcal)	26,894,930	9,675,818		
이 익 금 액	전기요금 절감액	2,331,778	1,283,559	기본요금+사용요금	
	폐열회수를 통한 이익	857,447	308,478		
소 계		3,189,225	1,592,037	①	
년 간 비 용	고정비	감가상각비	131,040	131,040	15년 균등상각, 잔존가치 10%
		보험 및 세제	32,760	32,760	
		이 자	240,240	240,240	
		인건비	45,000	45,000	
	변동비	소 계	449,040	449,040	
		연료비	911,390	870,855	
		수선유지비	76,440	76,440	
소 계		987,830	947,295		
소 계		1,436,870	1,396,335	②	
년간 에너지 절감액		1,752,355	195,702	① - ②	
발 전 단 가(원/kWh)		18.0	70.8	(연간비용-폐열회수이익)/전력생산량	
		44.7	90.9	연간비용/전력생산량	
년간 에너지 절감율(%)		69.0	40.5	(이익금액-변동비)/이익금액	
열 전 비		1.0	1.36	폐열생산량/전력생산량	
투자 회수 기간		1.2	11.2	투자비/년간 에너지 절감액	

형 발전 설비 도입 계획의 개념과 유사하다. 이러한 기존 방법을 이용하여 열설계 및 경제성 검토를 수행한 것을 Table. 1에 나타내었다. 현재 대상 수요처의 최대 전력 부하를 충족할 수 있는 원동기 모델이 시중에 많이 있지만, 본 연구에서는 2,160 kW급 가스엔진 2대를 이용한 한가지 경우에 대해서만 최적계획을 검토하였다. 연간 운전시간은 8,760시간으로, 운전 부하율은 85%, 회수된 폐열의 열이용율은 100%라고 가정한 뒤 계산을 수행하였다. 폐열 회수 단가는 노통 연관식 보일러를 설치하였을 때의 증

기생산단가인 21,124원/ton을 적용하였다. 적용 전기 요금, 가스 요금, 기타 경비 가격 기준 등은 Table. 4~6 에 나타내었다.

Table. 1에 나타나 있듯이 본 발전 시스템은 연간 운전비용으로 1,436,870,000 원을 사용하지만, 발전과 증기 생산을 통하여 3,189,225,000 원/년의 이익을 얻을 수 있으므로 시스템 설치에 따른 연간 이익액은 1,752,355,000원 이다. 따라서, 총투자비용인 2,184,000,000원을 1.2년안에 회수할 수 있다고 할 수 있다.

하지만, 앞에서 언급하였듯이 본 경제성 평가 방법에는 발전되는 전력과 회수되는 열량의 전부를 사용한다는 가정을 전제로 하고 있다. Fig.2는 대상 수요처의 연중 난방 부하 패턴과 기존 방법을 이용하였을 경우에 원동기로부터 얻을 수 있는 배열량을 나타내고 있다. 기존 방법을 사용할 경우에는 원동기로부터 얻어진 배열이 난방수요가 불필요하거나, 얻을 수 있는 배열보다 난방 수요가 작은 계절에는 폐열 회수 열량이 난방 부하를 초과하고 있음을 알 수 있다. 이는 발전시스템에서 얻어지는 열이 모두 사용되지 못하고 과잉 생산된 열량은 외부로 버려야 함을 나타내는 것이므로 원동기로부터 발생

하는 열에너지는 어떤 형태로든지 모두 이용한다는 가정이 잘못되었음을 알 수 있다. 대상 수요처의 전력 부하와 난방 부하 패턴을 고려하여 가장 경제적인 연간 운전 형태를 산정 하는 본 프로그램에 기존 방법을 통하여 선정된 동일한 용량의 원동기를 적용하였을 경우 원동기로부터 얻을 수 있는 배열량도 Fig.2 에 나타내었다.

Table.2 원동기로부터 얻을 수 있는 증기이익금

계절	실부하 [kW]	생인부하 [kW]	증기 [t/ohr]	운전시간 [hr]	증기생산량 [ton]	증기단가 [원/ton]	이익금 [원]	사모스트 [원]	실제 이익금 [원]
대 여 철	0.35	3.57	4.63	360	1668.13	21,124	35,237,537	0.35	3,454,661
	7.01	3.57	4.63	270	1251.10	21,124	26,428,159	1.06	7,965,071
	15.4	3.57	4.63	360	1668.13	21,124	35,237,537	1.80	17,766,825
	9.66	3.57	4.63	630	2919.22	21,124	61,885,694	1.74	30,055,546
	5.44	3.57	4.63	360	1668.13	21,124	35,237,537	1.06	10,660,095
	0.37	3.57	4.63	180	834.06	21,124	17,618,769	0.37	1,826,095
대 여 철	0	3.57	4.63	360	1705.20	21,124	36,000,594	0.00	0
	1.65	3.57	4.63	276	1278.90	21,124	27,015,445	1.66	12,561,804
	2.90	3.57	4.63	460	2191.90	21,124	46,065,742	2.92	36,827,778
	3.33	3.57	4.63	644	2994.10	21,124	63,066,039	3.33	58,799,322
	0.76	3.57	4.63	276	1278.90	21,124	27,015,445	0.76	5,751,167
	0.11	3.57	4.63	184	862.60	21,124	18,010,297	0.11	564,339
봄 가 울 린	0	3.57	4.63	732	3391.86	21,124	71,649,659	0.00	0
	4.36	3.57	4.63	549	2543.90	21,124	53,737,244	1.20	18,062,939
	6.4	3.57	4.63	732	3391.86	21,124	71,649,659	1.51	30,316,598
	5.38	3.57	4.63	1281	5935.76	21,124	125,366,903	1.38	48,468,887
	2.29	3.57	4.63	732	3391.86	21,124	71,649,659	1.20	24,069,919
	0.13	3.57	4.63	366	1695.93	21,124	35,824,633	0.13	1,304,546
합 계							857,446,739		308,478,153

Table. 2에서는 노통 연관식 보일러의 증기 생산 단가(21,124원/ton)를 이용하여 기존방법에 의해 설계된 원동기의 배열을 이용하여 얻을 수 있는 증기량을 금액으로 환산한 증기 발생 이익과 실제 부하 패턴에 따른 원동기로부터 얻을 수 있는 증기 발생분에 대한 이익을 서로 비교하여 나타내고 있다. 원동기로부터 얻을 수 있는 배열을 어떤 용도로든지 모두 사용한다면 그 이익금이 857,446,739 원이라 할 수 있지만, 원동기로부터 얻을 수 있는 배열이 실제 수요처에서 필요로 하는 난방부하만을 충족한다면, 난방부하를 초과하여 생산된 증기는 외기로 버려지기 때문에 이익금이라 할 수 없다. 대상 수요처에서 사용되는 난방부하로 이용할 수 있는 증기량만을 증기 발생 이익금이라고 가정하고 그 이익금을 계산하면, Table. 2에 나타나 있는 것처럼 308,478,153 원이다. 이와 같이 배열을 모두 사용한다는 가정과는 달리 실제로는 생산열량이 부분적으로 사용되기 때문에 548,968,586 원(폐열생산효과의 64%)에 해당되는 금액이 실제로는 이익 금액이 될 수 없다.

기존방법을 통하여 선정된 원동기를 이용하여 대상 수요처의 에너지 부하 패턴을 고려하여 원동기를 운전하였을 경우에 대한 경제성 검토 결과를

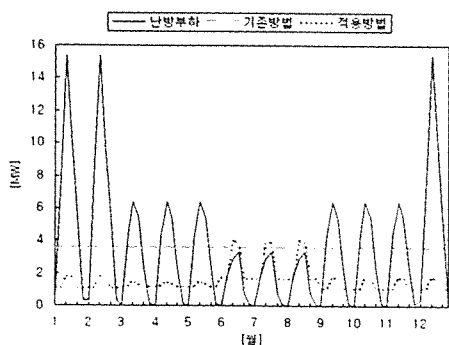


Fig.2 난방부하와 원동기로부터 얻을 수 있는 배열량 비교

Table. 1에 함께 나타내었다. 이 결과에 따르면 본 시스템의 에너지 절약 효과금액이 195,702,000원으로 기존방법으로 구한 1,752,355,000 원의 11.7%에 불과하다. 그리고, 단순 투자 회수 기간의 경우도 1.2년에서 11.2년으로 늘어남을 알 수 있다.

4. 최적 열설계 프로그램을 이용하여 에너지 부하 패턴에 따라 열설계하는 경우

가. 열병합 시스템 최적 계획 프로그램[3][4][5]

최적 계획 프로그램은 최대 전력 부하만을 고려하여 발전시스템을 열설계 하던 기존방법과는 달리 주어진 각각의 에너지 수요에 대하여 연간 운전비용 및 각 기기의 초기투자비를 포함하는 경제비용이 최소가 되는 최적의 설비 구성, 용량 결정뿐만 아니라 각 수요 조건에 최적인 운전 방안을 수립하는 프로그램이다. 입력조건으로는 대상 수요처의 에너지 부하와 원동기, 보일러등 각 구성 기기의 용량, 연료 소모량, 설비비 등이 있다. 본 프로그램에서 고려되어지는 구성 기기들은 Fig.3과 같이 원동기/폐열보일러, 보조보일러, 터보냉동기, 증기 흡수식 냉동기, 가스 직화식 냉온수기가 있는데, 각각 구성 기기 별로 최대 3대까지 설치 가능하도록 프로그램이 개발되어 있다.

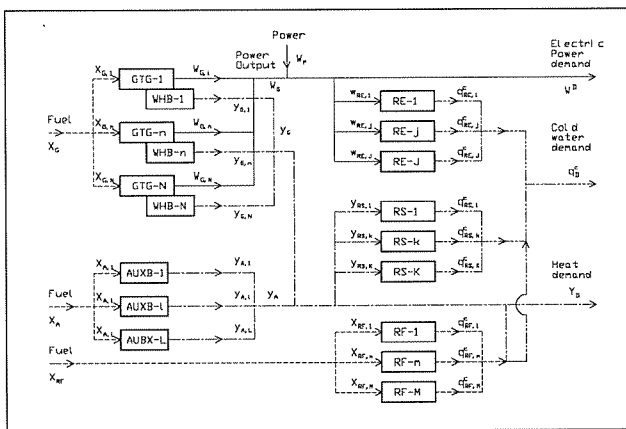


Fig.3 최적계획시 고려되는 각 구성 기기

본 프로그램에서는 연간 고정 비용과 연간 변동비용의 합인 연간 운전비용이 가장 저렴한 에너지 시스템을 대상 수요처에 대한 최적 에너지 시스템이라고 선정한다. 연간 고정 비용은 다음 식과

같이 각 설비의 초기 자본 비용에 각 설비의 자

본 회수율을 곱함으로써 구할 수 있다.

$$Z_f = \sum_{n=1}^N R_G I_{G,n} + \sum_{l=1}^L R_A I_{A,l} + \sum_{j=1}^J R_{RE} I_{RE,j} + \sum_{k=1}^K R_{RS} I_{RS,k} + \gamma \left(\sum_{n=1}^N I_{G,n} + \sum_{l=1}^L I_{A,l} + \sum_{j=1}^J I_{RE,j} + \sum_{k=1}^K I_{RS,k} + \sum_{m=1}^M I_{RF,m} \right) + \sum_{m=1}^M R_{RF} I_{RF,m} + \dots \quad (1)$$

단, Z_f

$I_{G,n}, I_{A,l}, I_{RE,j}, I_{RS,k}, I_{RF,m}$

$R_G, R_A, R_{RE}, R_{RS}, R_{RF}$

γ

- ① 시스템에 대한 연간 고정 비용 [원/년]
- ② 각 구성 기기에 대한 초기 설비 비용 [원]
- ③ 설치된 각 기기에 대한 상환율 [1/yr]
- ④ 연간 보수 유지비용 대 초기 설비비 비용의 비율 [1/yr]

여기서 자본 상환율은 다음 식과 같이 각 설비의 유효 수명과 이자율로부터 구할 수 있다.

$$R_G = \gamma \{1 - \rho(1 + \gamma)^{-\tau_G}\} / \{1 - (1 + \gamma)^{-\tau_G}\} \quad \dots (2)$$

단, τ_G : GTG/WHB의 경제적 유효 수명 및 상각 년수

γ : 연간 이자율

ρ : 감가 상각 후의 잔존 가치

연간 변동비용을 구하는 식은 다음 식과 같다.

$$Z_v = \sum_{m=1}^M (C_G X_G^m + C_A X_A^m + C_{RF} X_{RF}^m + C_P X_P^m - C_S X_S^m) T_D^m + \overline{C_P} \overline{W_P} \quad \dots (3)$$

단, Z_v : 시스템에 대한 연간 변동비용 [원/년]

C_G, C_A, C_{RF} : 구성기기에 사용되는 연료 단가 [원/Nm³]

C_P : 구입 전력의 단가 [원/kWh]

C_S : 판매 전력의 단가 [원/kWh]

T_D^m : 에너지 패턴에 대한 연간 운전 시간 [hr/년]

$\overline{C_P}$: 구입 전력의 기본 요금 단가 [원/kW/년]

$\overline{W_P}$: 최대 계약 전력량 [kW/년]

에너지 시스템의 최적 운용 계획을 수립한다는

것은 바로 식(1)로부터 구한 연간 고정 비용과 식 (3)으로부터 구한 연간변동 비용을 합한 총비용을 최소화한다는 것이다.

나. 입력 자료

(1) 대상 에너지 시스템의 사양

대상 수요처의 전력, 난방, 냉방 공급을 위한 에너지 시스템 전체를 경제성 검토의 대상으로 하기 때문에 각 구성 기기마다 다양한 용량의 대상 시스템을 선정하여 최적 에너지 시스템 해석 자료로 활용한다. 각각의 해석 대상 에너지 시스템의 사양을 정리하면 Table. 3과 같다.

Table.3 최적 열설계에 사용한 각 구성 기기의 용량 및 가격

설비 형태		1	2	3
원동기/폐열보일러	전기출력(MW)	1.85	2.16	-
	열출력(MW)	7.51	2	-
	초기 설비비(억원)	11.11	10.92	-
보조 보일러	열출력(MW)	6.17	7.72	11.58
	초기 설비비(억원)	1.07	1.48	1.88
터보 냉동기	냉방출력(MW)	4.92	6.05	6.65
	초기 설비비(억원)	2.93	3.33	3.48
증기흡수식냉동기	냉방출력(MW)	4.36	5.45	6.57
	초기 설비비(억원)	3.47	4.57	5.27
가스직화식냉온수기	냉·난방출력(MW)	5.63	6.33	7.03
	초기 설비비(억원)	4.67	5.31	5.80

(2) 경제 변수

최적 에너지 시스템의 해석 및 경제성 검토에 적용한 전기 요금 및 가스 요금 기준과 금리, 감가 상각 등의 경비 기준은 Table. 4~6과 같다(경제성 평가시에 적용된 전기요금은 평균인상율인 5.9%를 적용한 요금을 사용하였다).

Table. 4 전기 요금 기준

구 분	기본요금 (kW당)	전력량 요금(kWh당)			
		시간대	여름철	봄·가을철	겨울철
선택(Ⅲ)요금 고압A	5,200	경부하	35.4	35.4	35.4
		중간부하	74.7	56.0	63.9
		최대부하	112.3	74.7	86.9

Table. 5 가스 요금 기준

품 명	규 격	단 위	가 격
도시가스(LNG)	열병합용	원/m ³	240원
	난 방 용		240원
	냉 방 용		166원

Table 6. 경비의 적용 기준

구 분	적용 기준
금 리	시설비 100% : 연리 11%
감가 상각	15년 균등상각, 잔존가치 10%
보험 세제	설비비의 1.5%
제 잡 비	설비비의 0.5%
수 선 비	설비비의 2.5%
간 접 비	설비비의 0.5%
인 건 비	450,000,000원

최적 계획 대상인 열병합 시스템의 경제성 평가를 위하여 비교 대상으로 선정된 비열병합 시스템 구성 기기 사양은 Table. 7과 같다. 대상 수요처에서 열병합 시스템을 도입하였을 경우의 설비비, 연간운전비용과 Table. 7과 같은 비열병합 시스템을 도입하였을 경우의 설비비, 연간운전비용을 비교하여 대상 열병합 시스템의 투자회수기간과 내부수익율을 산정함으로써 열병합 시스템의 경제성 평가를 수행하였다.

Table. 7 비열병합 시스템의 구성 기기

설 비 명	규격 및 대수	가격(억원)	비고
보 일 러	9.26 MW 급 × 2대	2.96	
증기 흡수식 냉동기	6.57 MW 급 × 2대	10.54	
시스템 총비용		13.50	

다. 전 에너지 부하 패턴을 고려한 에너지 시스템 최적 계획

본 프로그램을 이용한 에너지 시스템 최적 계획 시 고려되고 있는 구성 기기 중 냉동기 종류를 달리하면서 대상 수요처에 적절하고 경제성 있는 에너지 시스템을 선정하였다. 냉동기의 경우에는 냉동기를 구동하기 위한 열원이 전기, 증기, 가스 등으로 다양하다. 게다가, 가스 직화식 냉온수기의 경우에는 냉방용뿐만 아니라 난방용으로도 사용할 수 있는 특징을 가지고 있다.

최적 에너지 시스템 설비와 구성 기기들의 연중 운전 모드의 상호 비교를 위하여 고려 대상 냉동기 종류를 Table. 8과 같이 3가지 Case로 나누어 계산을 수행하였다.

원동기, 보일러 등의 구성 기기 사양과 가스값, 전기요금, 기타 경비 등의 경제변수는 Table. 4~6에 나타나 있는 값들을 적용하였다.

Table. 8 Case마다의 고려대상 냉동기 구성 기기 현황

	터보냉동기	증기흡수식냉동기	가스직화식냉온수기
Case 1	×	○	○
Case 2	○	○	×
Case 3	○	×	○

Table. 9 각 Case 별 최적 계획 구성 기기

Case	설비명	규격 및 대수	가격(억원)	비고
1	원동기	2.16MW급×2대	21.84	G/E
	보조보일러	7.72MW급×1대	1.17	
	증기흡수식냉동기	4.36MW급×1대	3.47	
	가스직화식냉온수기	5.63MW급×1대	4.67	
		6.33MW급×1대	5.31	
시스템 총비용			36.46	
2	원동기	1.85MW급×1대	11.11	G/T
		2.16MW급×1대	10.92	
	보조보일러	11.58MW급×1대	1.88	
	터보냉동기	6.05MW급×1대	3.33	
	증기흡수식냉동기	4.36MW급×2대	6.94	
시스템 총비용			34.18	
3	원동기	2.16MW급×2대	21.84	G/E
	보조보일러	6.17MW급×1대	1.07	
	터보냉동기	6.05MW급×1대	3.33	
	가스직화식냉온수기	5.63MW급×1대	4.67	
		6.33MW급×1대	5.31	
시스템 총비용			36.22	

본 프로그램을 이용하여 각 Case 별로 선정된 최적 에너지 시스템은 Table. 9와 같고, 각각의 최적 에너지 시스템에 대한 연간 고정 비용, 연간 변동 비용 등은 Table. 10에 나타나 있다. Table. 9는 고려된 냉동기 종류에 따라 선정된 최적의 에너지 시스템 구성기기 사양과 초기 투자 설비비를 Case별로 나타내었다. Case 2의 경우를 보면, 선정된 원동기의 용량은 다른 Case에 비해 상대적으로 작지만, 증기 생산량이 많은 원동기와 용량이 큰 보조보일러를 선정되었음을 알 수 있다. 이것은 다른 경우들과 달리 증기를 열원으로 하는 증기 흡수식 냉동기를 사용하기 때문이다. Case 1의 경우에도 증기 흡수식 냉동기를 냉방부하 충족을 위하여 사용하지만, 가스 직화식 냉온수기에 의해 냉방과 난방 두 부분이 동시에 역할 분담이 되기 때문에 Case 2와 같이 원동기와 보조보일러 용량이 크지 않으며 Case 3의 경우는 가스 직화식 냉온수기가 냉방과 난방을 동시에 담당하고, Case 2와 달리 증기 흡수식 냉동기 대신에 전기를 소모하는 터보냉동기를 사용하기 때문에 다른 Case보다 보조보일러 용량이 적게 산정됨을 알 수 있다.

Table. 10 Case 별 연간 비용 비교

	연간고정비용	연간변동비용	연간운전비용	초기투자비
Case1	8.47억원	18.10억원	26.57억원	36.46억원
Case2	7.97억원	19.35억원	27.32억원	34.18억원
Case3	8.42억원	17.43억원	25.85억원	36.22억원

Table. 11 Case 별 투자 회수 기간과 내부 수익률 비교

	단순투자회수기간(년)	내부수익률(%)	비고
Case1	3.60	35	
Case2	3.57	35	
Case 3	3.20	39	

선정된 최적 에너지 시스템 설비 중 Case 2의 경우에 초기 투자비는 저렴하지만, 연간 운전비용은 Case 3의 경우가 가장 저렴함을 알 수 있다. 하지만, 운전 비용이나 초기 투자비를 이용하여 대상 에너지 시스템의 경제성을 평가하기는 어렵다.

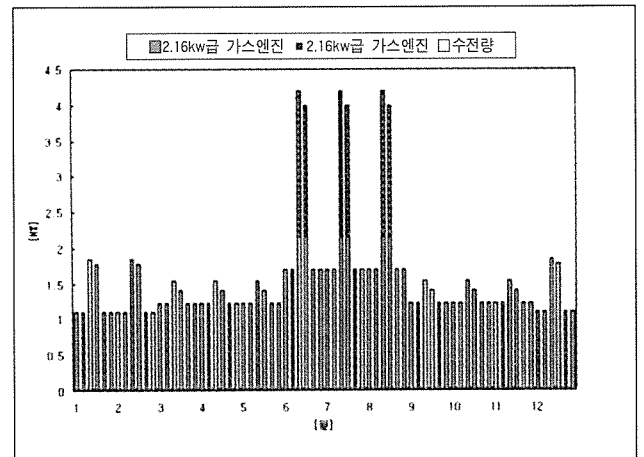


Fig.4 Case 1일 경우 전력부하에 대한 연간 운전 모드

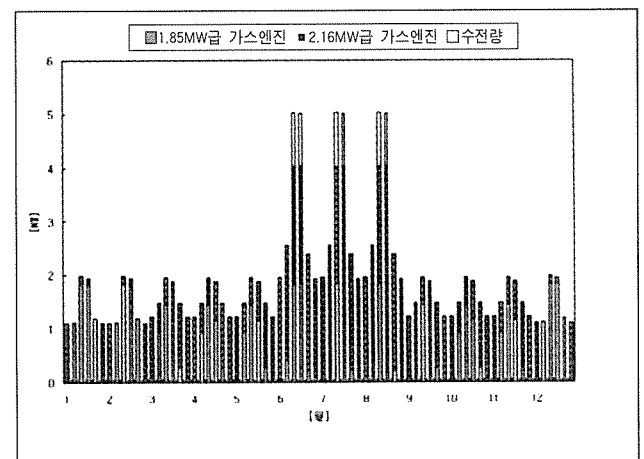


Fig.5 Case 2일 경우 전력부하에 대한 연간 운전 모드

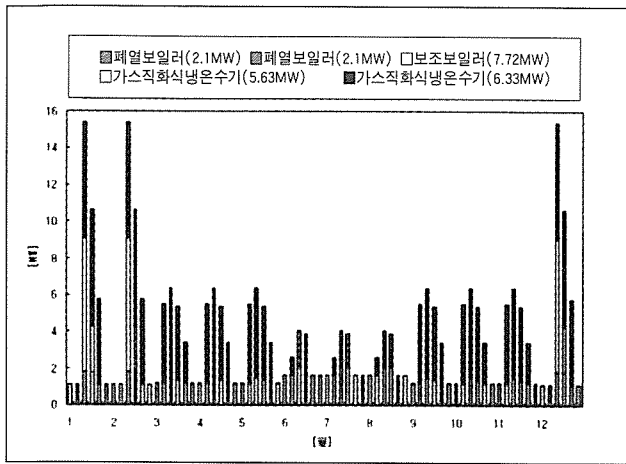


Fig.6 Case 1일 경우 난방부하에 대한 연간 운전 모드

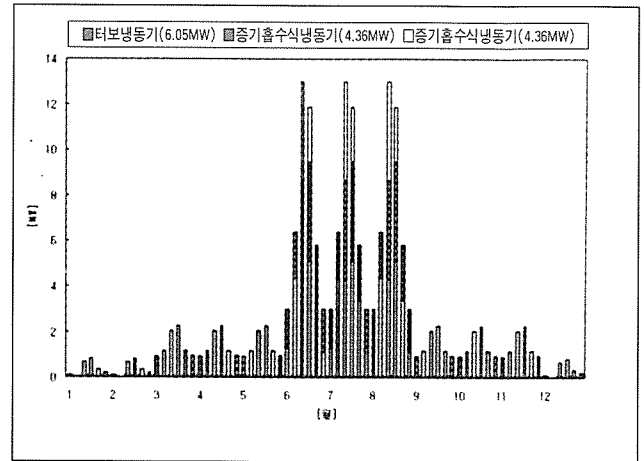


Fig.9 Case 2일 경우 냉방부하에 대한 연간 운전 모드

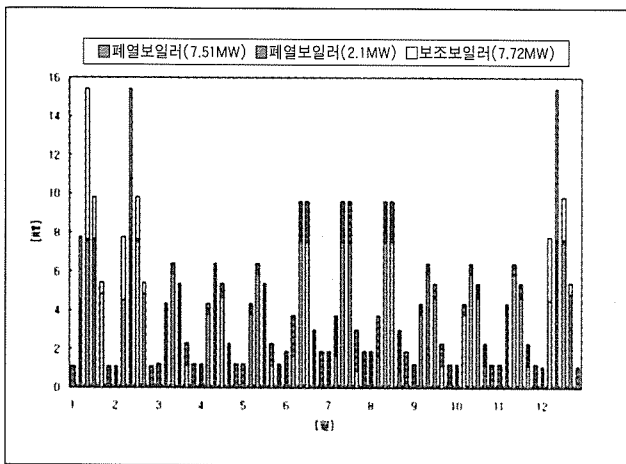


Fig.7 Case 2일 경우 난방부하에 대한 연간 운전 모드

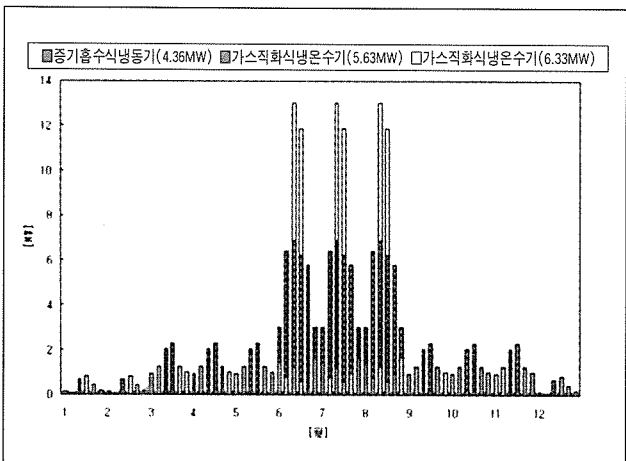


Fig.8 Case 1일 경우 냉방부하에 대한 연간 운전 모드

본 연구에서는 대상 에너지 시스템에 대한 경제성 평가를 위하여 Table. 11에 나타낸 것처럼 단순 투자 회수 기간과 내부 수익율을 이용하였다. Table. 11에 의하면, Case 3의 경우가 가장 경제성 있는 에너지 시스템을 알 수 있다(보통 내부 수익율의 경우는 도입을 검토하는 수요처마다 기준이 다르다. 본 연구에는 정부기준 12%를 기준으로 경제성 여부를 판단 하였다[6].).

Fig.4~9는 Case 1과 2의 경우에 대하여 전력, 난방, 냉방부하별로 연간 운전모드를 비교하여 나타낸 것이다. Case 1의 경우는 전기값이 비싼 여름철에 외부로부터 전력을 사오지 않는 운전을 택한 반면에, Case 2의 경우는 여름철에 증기 흡수식 냉동기 가동을 위하여 전력생산량은 작지만, 증기발생량이 많은 원동기를 선정하고, 전력 부족분은 외부 전력 회사로부터 사오는 운전을 보이고 있다. 물론, Case 1의 경우도 증기 흡수식 냉동기를 사용하지만, Fig. 8에서 알 수 있듯이 원동기와 보일러에서 전력, 난방부하를 충족시킨 후 남는 열량을 효과적으로 사용하기 위하여 설치, 사용되었기 때문에 Case 2처럼 원동기 용량이나 보조보일러 용량선정에 영향을 별로 미치지 못하고 있는 것이다. Case 1에서 겨울철의 난방 수요를 충족하기 위하여 가스 직화식 냉온수기가 운전됨을 알 수 있다.

가스 직화식 냉온수기는 냉동기, 온수기로 서로 바꾸어서 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 여름철에는 냉방기로, 봄·가을·겨울철에는 냉방기나 난방기로 사용되어짐이 Fig. 6과 8에 나타나 있다. Case 2의 경우에 주냉동기로 사용되는 증

기 흡수식 냉동기의 운전을 위하여 여름철에도 열 수요량이 많음을 알 수 있다. 증기 흡수식 냉동기의 열원으로 사용될 증기를 폐열보일러를 사용하여 생산하거나 보조보일러를 사용하여 생산할 수 있는데 Fig. 7을 보면 Case 2의 경우에는 폐열보일러를 이용하여 증기를 생산하는 것이 경제적인 결과를 보여주고 있다. Case 1의 경우에 가스 직화식 냉온수기를 겨울철 난방용으로 사용할 수 있는 것은 보일러를 이용하여 난방부하를 충족하는 것보다 경제적이기 때문이다.

이처럼 대상수요처의 전력, 난방, 냉방부하를 만족하면서 경제성이 있는 에너지 시스템을 선정하기 위하여 적절한 구성 기기, 에너지 부하패턴에 따른 각 구성 기기의 적정 운전 방법 등이 열계산을 통하여 결정됨을 알 수 있다.

5. 결론

1) 기존방법을 이용한 열설계

임의의 수요처를 대상으로 기존의 열병합 시스템 도입 검토 방법은 원동기로부터 생산된 전기와 열을 100% 이용한다는 전제와 최대 전력 부하를 기준으로 경험 및 시행착오법에 의한 부하율의 선정에서 비롯되는 가동율의 과잉 추정때문에 선정된 원동기를 이용하여 대상 수요처의 에너지 부하 패턴을 고려하여 경제성 평가를 실시하면 단순 투자 회수 기간이 11.2년임에도 불구하고 기존 방법의 경우에는 단순 투자 회수 기간이 1.2년으로 현실성이 결여된 결과가 산출됨을 확인할 수 있었다.

2) 전력, 난방, 냉방 등의 전 에너지 부하를 고려한 열설계

에너지 시스템 최적 계획시 중요한 점은 경제적이면서 적절한 용량의 에너지 시스템을 선정하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 전력, 난방, 냉방부하의 에너지 부하가 동시에 고려되어야함을 본 연구에서는 대상 냉동기 종류를 다르게 하면서 알아보았다. 즉, 고려대상 냉동기가 다름에 따라 전력, 난방 등의 다른 에너지 부하를 충족시키는 구성 기기들의 구성이 달라지거나 선정된 각 구성 기기들의 부하에 따른 적정 운전 방법이 달라지는 등

의 영향을 조사 검토함으로 모든 에너지 부하는 동시에 고려되어야 함을 알아보았다. 냉동기의 경우 열원으로 전기, 가스, 증기 등을 이용하기 때문에 주냉동기로 증기 흡수식 냉동기를 사용할 경우 선택되는 원동기는 증기 생산량이 상대적으로 많고, 큰 용량의 보일러가 선정되는 반면, 가스 직화식 냉온수기를 사용할 경우에는 가스 직화식 냉온수기가 냉동기로 사용되지 않을 때에는 난방기로 대체 사용될 수 있으므로 보일러 용량이 상대적으로 작아도 되는 등 고려대상이 되는 에너지 시스템 설비 종류에 따라 최적 에너지 시스템 설비가 달라진다. 그리고, 터보냉동기의 경우에는 전기를 사용하여 구동하는 데, 전기는 외부로부터 사올 수도 있고, 원동기로부터 생산할 수 있다. 즉, 어떤 방법, 어떤 열원, 어느 정도로 터보냉동기를 운전할 지에 따라 구성 기기 구성과 각 구성 기기의 운전 방법이 달라짐을 알 수 있었다.

이처럼 각각의 구성 기기가 서로 연관지어져 있기 때문에 각각의 에너지 부하별로 에너지 시스템을 산정할 경우에는 적절하거나 저렴한 용량의 시스템을 산정하기가 어려울뿐만 아니라 타당성도 결여될 수 있음을 알 수 있다. 궁극적으로 에너지 부하가 동시에 고려되어야 할 때 적절한 용량과 경제성 있는 최적 에너지 시스템을 도입할 수 있다.

본 연구를 통하여 기존의 방법은 간단하다는 장점을 가지고 있지만, 전제 가정의 오류로 인하여 현실성이 결여된 방법임을 알아보았다. 그리고, 에너지 시스템을 구성하고 있는 구성 기기들은 시스템에 따라서 연료, 증기, 전기 등 서로 다른 에너지를 사용하지만, 동일한 에너지 부하를 충족하는 등 서로 상호 영향을 주고 있기 때문에 전력, 난방, 냉방 부하를 동시에 고려하여 열병합 시스템의 도입 유무를 검토하는 것이 대상 수요처에 적절하고 경제성 있는 최적 에너지 시스템 선정을 위한 합리적인 방법임을 알 수 있었다.

■ 사용 기호

A : 보조 보일러	G : 원동기
RE : 터보 냉동기	RF : 가스 직화식 냉온수기
RS : 증기 흡수식 냉동기	WHB: 폐열 보일러