

소형 열병합발전시스템 최적운전모드분석 프로그램 개발 및 적용에 관한 연구

손화승, 김동혁, 방효선(한국가스공사 연구개발원)

Wha Seung Sohn, Dong Hyuk Kim, Hyo Sun Pang(Korea Gas Corporation)

(Development and Application of Best Operation Mode Analysis Program for Co-generation Systems)

1. 서론

현재 세계적으로 화석 에너지 대량소비에서 비롯되는 지구온난화 문제 및 대기오염 문제등이 범세계적인 환경문제로 대두되면서 청정에너지의 사용확대, 환경 친화적인 고효율 에너지 기기의 개발 및 에너지 절약 기술의 개발 등에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 이와 같은 에너지 환경하에서 바람직한 해결책의 하나로 인식되고 있는 열병합 시스템은 환경 친화성, 에너지 절약성 및 에너지가 필요한 수요처에 열 및 전기에너지를 동시에 공급할 수 있다는 유연성 때문에 선진국을 중심으로 보급이 확대되고 있다.

본 연구에서는 소형 패키지타입 열병합발전시스템이 설치되어있는 건물에 대하여 열병합발전시스템과 관련 전력수전설비, 기타 냉난방설비를 효과적으로 운전하여 에너지절감을 극대화 시키기 위한 운전모드를 도출할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한 이에 필요한 기본 데이터로서 한 사무용 빌딩에 대한 98년도 시간별, 일별, 월별 전력 및 열에너지 부하 데이터를 수집하여 분석하였다.

2. 열병합발전 경제성 분석 프로그램 개발

2.1 에너지 시스템의 열과 전기흐름

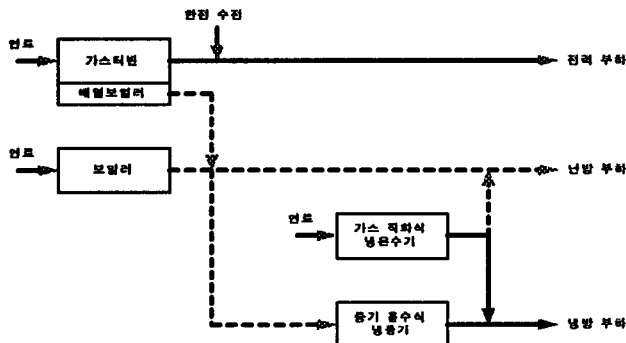
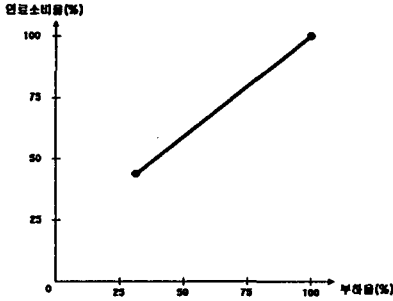


Fig. 1 Flow of heat and electricity for the object of energy system

Fig. 1은 본 프로그램의 대상이되는 사무용 빌딩의 에너지 계통을 나타낸 그림으로서 가스터빈, 보일러, 증기식 흡수식 냉동기, 직화식냉동기로 구성되어있으며 생산된 전력은 외부전력(한전)과 병렬로 연결되어있다.

2.2 각 기기의 성능 특성



최적 운전 해석시 먼저 각 구성기기의 특성을 입력해 주어야 하는데 각 구성기기의 운전특성의 정식화는 각 기기의 정지 상태 및 운전상태 및 연속변수의 변화로써 Fig. 2와 같이 선형적인 1차식으 근사화할 수 있으며 식으로 나타내 보면 다음과 같다.

Fig. 2 Characteristics of performance for the energy system

$$y = ax + b\delta \quad (1)$$

$$x\delta \leq x \leq \bar{x}\delta$$

여기서, x 는 입력량을 나타내고, y 는 출력량을 나타낸다. 식(1)에서 δ 는 0이나 1의 값을 갖는 0-1정수변수로써 각 기기의 운전 및 정지 상태를 나타내고 있다. 즉, $\delta=0$ 인 경우 식(1)에서 $x=y=0$ 가 되어 정지상태가 된다. $\delta=1$ 인 경우는 $y=ax+b\delta$ ($x\delta \leq x \leq \bar{x}\delta$)가 되고 x 변수는 하한값 x 와 상한값 \bar{x} 사이에서 연속적으로 변화하는 연속변수가 되어 운전상태를 나타낸다.

가스터빈의성능특성은 투입되는 연료소비량과 유효하게 생산되는 전력 에너지의 관계로 표현될 수 있다.

$$w_{G,n} = \begin{cases} a_{G,n}x_{G,n} + b_{G,n} & : X_{G,n} \leq x_{G,n} \leq \bar{X}_{G,n} \\ 0 & : x_{G,n} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

단, ($1 \leq n \leq N$)

여기서 $x_{G,n}$, $w_{G,n}$ 은 설치된 n 번째 가스터빈의 연료소비량, 발전출력량을 각각 나타내고 있다. 계수 $a_{G,n}$, $b_{G,n}$ 은 성능특성과 관계되는 매개변수를 나타낸다.

배열회수보일러, 보일러, 증기 흡수식 냉동기, 가스 직화식 냉온수기의 경우도 위 식과 같은 방식으로 표현할 수 있다.

2.3 최적 계획

주어진 에너지 수요조건에 맞게 구성된 기기에 대해 연간 변동 비용에 대한 목적함수는 가스터빈 열병합 시스템, 보일러와 가스 직화식 냉온수기의 연료소비량과 외부로부터 구입하는 전력에 대한 비용과 연간 최대 계약 전력 비용의 합수로 다음과 같이 표현된다.

$$Z_r = \sum_{m=1}^M (C_G x_C^m + C_A x_A^m + C_{RF} x_{RF}^m + C_P w_P^m) T_D^m + \overline{C}_P \overline{w}_P \quad (3)$$

단, Z_r : 연간 변동 비용(원/yr) , C_G : 열병합용 연료 단가(원/Nm³)

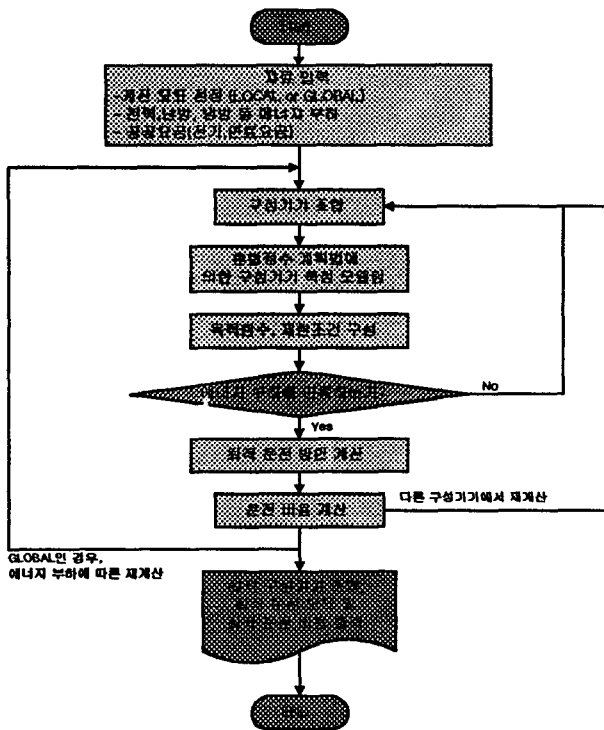
C_A : 보일러용 연료 단가(원/Nm³), C_{RF} : 냉방용 연료의 단가(원/Nm³)

C_P : 사용 전력의 단가(원/kWh), \overline{C}_P : 전력 기본 요금(원/kW)

T_D^m : m번째 부하패턴의 운전시간(hr)

최적 운용계획을 수립한다는 것은 결국 목적함수 Z_r 를 최소화하는 것이라 할 수 있다.

2.4 프로그램 구성



본 연구에서 개발한 프로그램은 자료입력부분, 최적 운전해석부분, 해석결과 출력부분 등의 세가지부분을 기본 골격으로 하고 있다. 최적 운전 해석부분은 하나의 에너지 부하에 대한 최적 운전 모드 해석을 수행하는 기능과 다수의 에너지 부하에 대한 최적 운전 모드 해석을 수행하는 기능으로 구성되어 있어 본 프로그램을 사용하는 사용자에게 순시 운전 방안 제안과 주간, 월간등 장기간의 운전 방안 제안등이 가능하도록 하였다. 본 프로그램의 계산 순서를 그림으로 나타내 보면 다음 Fig. 3과 같다.

Fig. 3 Flow chart of analysis for the best operation mode

2.4 프로그램의 입력 항목

Table 1. Input variables of cogeneration system

| 항 목 | | 최대값 | 최소값 |
|------------|---------------------------|-------|-------|
| 열병합 시스템 | 출력(kW) | 1,000 | 0 |
| | 연료소모량(Nm ³ /h) | 383.6 | 141.6 |
| | 배열회수량(ton/h) | 3.18 | 0.16 |
| 보일러 | 증기발생량(ton/h) | 1.5 | 0.15 |
| | 연료소모량(Nm ³ /h) | 97.31 | 9.73 |
| 냉동기 | 냉방능력(USRT) | 320 | 32 |
| | 증기소모량(ton/h) | 1.462 | 0.147 |

여기서는 열병합발전시스템을 포함한 기타 냉공조설비 등 건물의 모든 에너지시스템에 대한 입력자료를 설명하고 있다. 여기서 입력하는 값들은 분석대상 건물에 기 설치된 에너지 시스템을 기준하여 실례로 나타내고 있으며 프로그램에 입력해준 값들은 다음 Table 1.

과 같다.

3. 대상건물의 에너지 부하데이터

3.1 건물의 냉난방 부하패턴

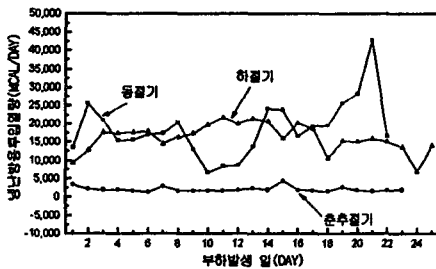


Fig. 4 Daily pattern of cooling/heating load

건물의 냉난방 부하데이터는 흡수식 냉동기의 냉수 출구와 보일러 출구에 유량계, 온도계, 압력계를 비롯한 각종 sensor를 부착하여 수집하는것은 현실적으로 불가능하기 때문에 흡수식 냉동기 및 보일러에 공급되는 가스유량계의 시간별 유량에 효율을 감안하는 역계산하는 방법으로 냉난방 부하자료를 산출하였다. Fig. 4는 건물의 일별 냉난방 부하를 동절기 및 춘추절기로 구분하여 나타낸 것이다. 건물에 대한 시간별 냉난방부하

데이터도 당초에는 수집할 계획이었으나 현장여건상 매 시간마다 기록하는 것은 현실적으로 불가능하여 수집하지 못하였으며 단지 하루에 1회씩 일별 가스사용량만 수집하였다.

3.2 건물의 전력부하패턴

사무용 빌딩의 전력부하는 2시간별로 전력설비에 부착된 계측장비를 이용하여 사람이 기록하는 방법으로 수집하였다. 수집된 데이터는 적산전력계에 의하여 측정되는 1개월의 전력량과 비교하면 측정결과의 정확성을 판단할 수 있다. 전력부하 데이터에서 열병합발전설비가 가동된 '98년 8월의 전력부하는 한전으로부터의 수전전력(량)과, 열병합발전 설비의 생산량을 합산하여 건물의 총 전력부하를

산출한 결과이다.

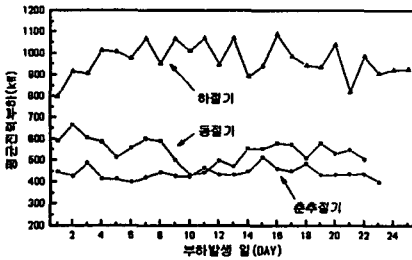


Fig. 5 Daily pattern of electric load

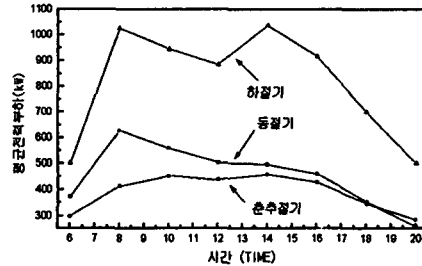


Fig. 6 Timely pattern of electric load

Fig. 6은 시간별 전력부하를 평균한 data로서 건물의 시간별 전력부하 상태를 나타내고 있으며 열병합의 운전 가능한 시간을 분석하는데 필요한 자료이다. 동절기의 경우 근무시간이 시작되는 07시경부터 부하가 발생하기 시작하여 08시경이 peak를 나타내고 08시 이후부터는 다소 감소하는 것으로 나타나고 있다. 반면 춘추절기에는 근무시간인 07시 이후부터 근무종료시점인 16시까지 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타나고 있다. 하절기 냉방이 시작되는 6월의 경우 오전에는 4,5월과 유사한 약 450kW의 부하가 발생하기 시작하여 냉방동력이 작동되는 오후시간대에는 급격히 상승하여 약 611kW까지 상승하는 것으로 나타나고 있다. 8월의 경우에는 약 950kW에서 1050kW의 전력부하가 근무시간 내내 유지되는 것으로 나타나고 있다.

4. 경제성 분석결과

위에서 언급한 사무용 빌딩의 부하조건 하에서 1MW급 가스터빈 열병합시스템을 98년도 전체에 걸쳐 운전(건물 수전량 200kW)했을때와 운전하지 않고 기존 방식(전력 100% 수전, 직화식 가스냉난방)만으로 건물에 에너지를 공급했을 경우 각각의 에너지비용을 계산한 후 그 차이를 비교하므로써 열병합발전 시스템의 운전에 따른 에너지 절감액을 도출하였다. 여기서 총 에너지 사용액이란 건물의 전력 및 냉난방 에너지 사용 비용으로서 한전 전력사용액, 냉난방용 가스사용액, 열병합용 가스사용액을 포함한다.

위의 부하조건에서 경제성을 분석한 결과 Fig. 7 및 Fig. 8과 같이 나타났다. Fig. 7은 기존방식 만으로 건물에 전력 및 냉난방에너지를 공급했을 경우 지출되는 비용과 열병합발전방식을 일년내내 운전했을 경우에 지출되는 비용을 나타내고 있으며 Fig. 8은 두가지의 에너지 비용차이를 나타내는 그림으로서 경제성분석 결과로서 7월의 경우 513천원, 8월은 6,888천원 정도의 에너지 절감효과가 있으나, 기타 계절에는 운전하므로써 오히려 에너지 비용을 낭비하는 결과를 나타내고 있다.

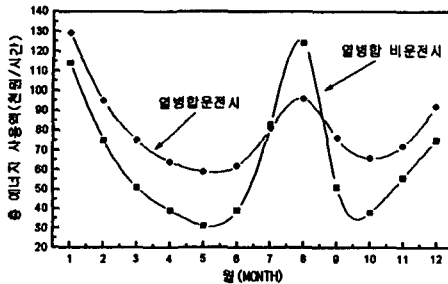


Fig. 9 Energy cost of co-generation and conventional operation

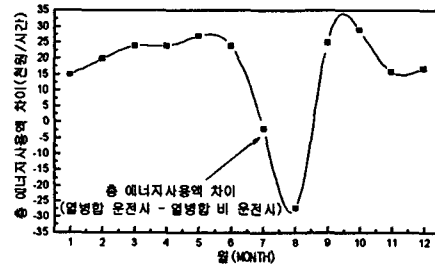


Fig. 10 Energy cost difference (co-generation - conventional)

5. 결론

(1) 본 연구에서는 기 설치된 건물 열병합발전 시스템과 기타 냉난방 기기, 전력설비 등이 갖추어져 있는 경우 이러한 설비에 대하여 최적화 기법을 이용하여 최적운전모드를 분석함과 동시에 운전결과에 따른 에너지 절감효과를 도출할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

(2) 또한 1MW급 가스터빈 열병합발전 시스템이 설치되어 있는 사무용빌딩에 대하여 약 1년간의 전력, 냉난방 부하데이터를 수집하여 건물부하 패턴을 분석하였으며 수집 데이터를 개발한 프로그램을 이용하여 최적운전모드에 의한 경제성 분석을 실시하였다.

(3) 본 대상으로한 건물의 경제성 분석결과 하절기에 열병합발전시스템을 적절히 운전하여 peak 전력을 700kW로 유지한다면 기본요금 절감액 32,206천원/년 7,8월 에너지 절감액 7,401천원으로 총 연간 약 40,000천원의 에너지 절감이 가능할 것으로 나타났다.

(4) 본 건물의 열병합발전 시스템은 현재의 전력 및 가스요금체제와 건물부하 조건상 하절기에만 경제성이 있으므로 하절기를 중심으로 열병합발전 시스템을 가동하여 전력 peak cut에 의한 기본요금 절감효과를 극대화하도록 운전하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Land, A. H., Doig, A. G., 1960, "An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problem", *Econometrica*, Vol28, pp.497~520
- (2) Kuester, J. L., Mize, J. H., 1973, "Optimization Techniques with Fortran", *McGraw-Hill*, pp.66~90
- (3) 飯寸豊雄, "ベック-ジ型ガスコ-ジェネレーション設計マニュアル書", 東京, 1989
- (4) 한국에너지기술연구소, "에너지절약 기술 Work - shop 논문집", 1995. 1997.
- (5) 한국에너지기술연구소, "소형열병합발전 시스템 최적화 연구에 관한 연구 최종보고서", 통상산업부, 1996. 12