

열병합발전시스템의 적 산정을 위한 투자

김

(*홍익대 전기제어공학과 교수, 홍익대 기계공학과 교수)

1. 서 론

현재 IMF로 인한 산업·사회활동의 위축으로 일시적으로 전력수요가 감소하였지만 이 위기를 극복하면 청년기적인 다시 전력수요 증가 추세로 돌아설 것이므로 에너지원의 97%를 수입에 의존하고 있는 우리나라에서 에너지원단위가 선진국보다 높은 현실을 감안하면 에너지의 합리적 이용에 대한 필요성은 중요한 과제라 할 수 있다.

열병합 발전 시스템은 이러한 에너지의 합리적 이용 측면에서 핵심적인 위치를 차지하는 설비로써 그 효율이 80~85%로 기존 발전 방식의 발전효율 40%정도에 비하여 우수한 특성을 갖고 있고 환경적인 측면에서도 우수하다. 따라서 열병합설비를 보급 장려함으로써 안정적인 전력 확보, 전력설비의 효율적인 활용, 에너지자원의 효율적인 활용, 환경개선 등 많은 효과를 거둘 수 있다. 우리와 비슷하게 열이 필요한 특성을 갖고 있는 선진국의 경우 총 발전량 중 열병합 발전이 차지하는 비율이 약 30%정도이고 이 중 민생용 비율이 높는데 반해 우리의 민생용 열병합은 총 발전량의 0.2%에도 미치지 못하고 있다. 이 원인은 설비 보급을 위한 각종 제도 및 지원이 부족하였기 때문이다. 이런 것들을 만들기 위해서는 무엇보다 먼저 열병합설비의 국가적인 관점, 각 경제주체 관점 및 전기소비자에 대한 경제성 분석할 수 있어야 하고, 적용 가능한 국내 대상건물의 조사와 이에 맞는 적정규모를 산정할 수 있어야 하며, 또 그 건물 기능에 맞는 설비의 조합을 여러 대안으로 제시하여야 할 수가 있어야 한다.

본 고에서는 이를 위하여 열병합발전의 기계적 최적 구성을 포함한 최적투자 모형을 설명하고, 현재 전력구조개편에 따라 변화하고 있는 법제도와 향후 도입될 열 네트워크에 대하여 소개한다.

2. 열병합발전 시스템의 최적 투자규모 산정

열병합발전 설비의 보급확대와 효과적인 이용을 위해서는 최적 운용 및 투자계획을 통하여 경제성을 확보하는 것이

중요하다. 따라서 열부하와 전기부하를 만족하며 총비용을 최소로 하는 장기적 안목의 최적 규모산정계획 수립이 필수적이라 할 수 있다.

열병합발전의 최적 투자규모를 산정하기 위한 경제성 분석에 접근하기 위해서는 먼저 총비용에 대한 성분을 정해야 하는데 총비용은 경제적인 개념에 따라 달라질 수 있다. 열병합 발전은 개인적인 투자이고 기술적인 발전의 구배가 높은 설비로 차후에 생산되는 설비이므로 기존의 설비와 기술적인 면에서 매우 큰 차이가 예상되기 때문에 열병합 설비에 대한 경제성 분석을 위한 고려기간은 한계기간 동안만 가동된다고 가정한다. 따라서 검토 대상 말기에 발생하는 잔존가치는 비용으로 환산하여 회수하게 된다. 한계기간 모형을 사용한 최적 투자규모산정을 위한 전체 흐름도는 그림 1에 나타내었으며 그에 대한 서술은 다음과 같다.

먼저 건물의 형태와 부하 자료 등의 입력자료를 기반으로 시스템의 구성과 설비 계획을 마련한다. 이때에는 기계적인 사항을 고려하여 건물의 형태나 면적에 따라 적합한 설비를 계획한다. 계획된 설비의 각 구성 요소들의 투자비를 자료공을 통하여 투자 단가를 계산하게 된다. 투자비를 가공하는 이유는 열병합발전 시스템의 최적운전상태를 결정하는데 선형계획법을 사용하기 때문이다. 계산된 투자단가를 바탕으로 경제적인 최적 규모를 계산하는 단계에서는 최적화 이론이 사용되고 이 알고리즘은 운전모형과 투자 모형 두 가지로 이루어져 있다. 운전 모형에서는 최적의 운전상태를 결정하여 열병합 발전 시스템의 운전비와 설비한계비용을 계산한다. 설비한계비용은 부하증가에 대비하여 적정 설비투자를 하는 경우 설비 한 단위를 증가시킬 때 생기는 이득으로, 토픽 사이클, 버토밍 사이클 두 경우에서 발생할 수 있는 모든 상태를 고려한다. 또한 설비한계비용은 투자모형에 입력되어 시스템의 사용가치와 한계투자수익을 계산하여 최적 투자량을 결정하게 된다. 경제적인 최적 투자규모가 계산된 후에는 기계적인 사항을 고려한 설비계획과 비교를 하게 된다. 이때 기계적인 설비계획과 경제적인 최적 용량에 차이가 있다면 시스템 설비계획을 수정하고 다시 자료가공 과정을 통해 최적용량을 계산하여 기계적인 설비계획과 비교를 하게 된다. 이러한 과정속에 기계적인 설비계획과 경제적인 사항을 고

려한 최적용량과의 차이가 없게 되면 각종 보험료, 세제, 융자액을 고려하여 경제성 분석을 하게되며 열병합 설비가 아닌 기존의 시스템과의 비용 비교를 통한 투자비용 회수기간을 고려하여 경제적인 가치를 검토하게 된다.

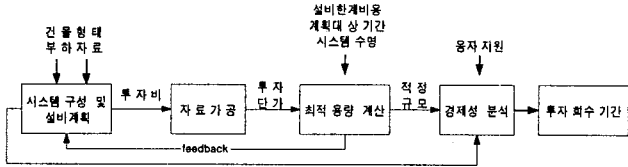


그림 1. 투자 규모 산정 개념

3. 기능성을 고려한 시스템 구성 및 설비계획과 단순 투자회수기간의 산정

우리 나라의 단위 건물용 열병합 시스템의 경제성을 평가하기 위하여 건물의 용도 및 면적에 따라 건물의 에너지 용량을 산정하고, 측정된 연간부하 패턴을 기준으로 운전 시물레이션을 수행한 결과를 그림 2에 나타내었다. 비열병합 에너지설비 및 열병합발전 설비의 투자비를 비교하였고, 이를 이용하여 단순투자회수기간을 예측하였다.

비열병합시스템의 경우에는 발전설비는 비상용 전원 및 예비 전원설비로써 대상건물의 수전설비 용량의 10~30%의 용량으로 엔진의 발전설비를 산정하였다. 엔진의 종류는 경제성과 활용도 등을 고려하여 많이 적용되고 있는 디젤엔진으로 선정하였다. 이때 시스템의 투자비는 비상용발전 엔진, 발전기, 냉동기, 보일러, 수전설비의 가격을 포함하여 계산한다. 열병합발전 설비의 투자비는 엔진, 발전기, 냉각수 열교환기, 배기가스 열교환기, 펌프, 보조보일러, 냉동기, 수전설비 등의 가격을 포함한다. 단위건물의 에너지설비로 검토되는 열병합발전시스템으로는 시스템의 소형화에 적합한 가스엔진시스템, 디젤엔진시스템, 가스터빈 시스템 등을 들 수 있는데 여기서는 가스엔진을 대상으로 하여 투자비를 계산하였다. 열병합발전 설비 중 엔진과 발전기는 국산으로 상용화된 제품이 없으므로 일본의 가격자료를 이용하였고, 나머지 설비는 국내물가자료를 이용하여 계산하였다.

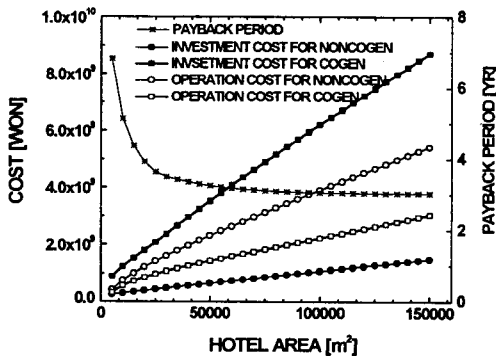


그림 2. 호텔의 면적에 따른 열병합발전 시스템의 투자비, 운전비 및 단순투자 회수기간

그림 2는 최대 전기수요에 대한 가스엔진 용량의 비율이 60%일 때의 호텔을 대상으로 한 계산결과로서, 여기서 연간 운전시간은 8,760시간이고, 열병합용 연료의 가격은 냉방용 가스가격으로 가정하고, 엔진대수는 1대로, 엔/원의 환율은 9/1로 하였다.

그림 3은 전력설비의 20 - 100 %의 용량의 열병합 시스템의 투자회수기간을 호텔의 여러 면적에 대하여 나타내었다. 건물면적 40,000 m² 이하에서는 전력용량의 40 - 60 %에서 최저 투자회수기간을 얻을 수 있으나 그 이상의 면적에서는 엔진용량이 감소할수록 투자회수기간이 짧아짐을 보여 최저점을 찾기는 어려움을 보인다. 그러나 감소율이 매우 작으므로 20 - 40 % 정도의 용량이 적절함을 보인다. 그리고 앞서 예측한 바와 같이 30,000 - 40,000 m² 이하의 건물은 면적의 증가에 따라 투자회수기간이 급격히 감소하나, 그 이상에서는 투자회수기간의 감소가 미미하다. 현 상태로 판단하기는 경제성 있는 시스템이 되기 위하여는 투자회수기간이 최대 4-5년이내여야함으로 건물 면적이 최소 10,000 - 20,000 m²이상의 경우에만 열병합 설비의 투자가 바람직하다고 볼 수 있다. 업무용건물의 경우에도 호텔과 동일한 방법으로 단순투자회수기간을 그림 3과 같이 예측해보았다. 건물의 면적이 증가할수록 투자회수기간이 짧아지고, 또한 열병합발전 설비의 용량이 작아질수록 투자회수기간이 계속 줄어들음을 보인다. 따라서 사무소 건물에 열병합설비를 설치할 경우에는 가급적 작은 용량이 타당할 것으로 사료된다. 그러나 호텔 및 병원건물에 비하여 투자회수기간이 상당히 길어 경제성이 미흡함을 알 수 있다.

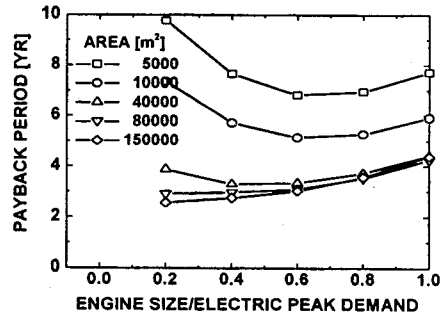


그림 3. 엔진용량의 전력수요 Peak에 대한 비율에 따른 투자회수기간 (호텔)

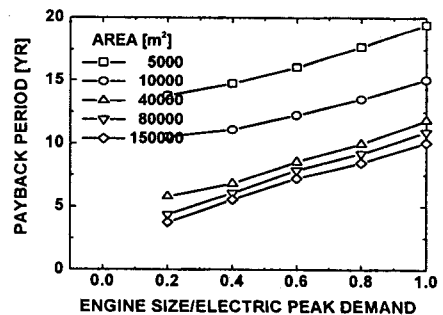


그림 4. 엔진용량의 전력수요 Peak에 대한 비율에 따른 투자회수기간 (업무용건물)

그림 2~4의 계산 예는 LNG의 연료가격이 냉방용 가격으로 계산한 결과이나, 모든 가격에 대하여 IMF이전의 가격으로 계산한 것이므로 투자회수기간이 비현실적으로 작게 산정되었다. IMF 이후 환율이 50 %이상 높아졌기에 대략 투자회수기간이 50 %이상 길어질 것으로 사료된다. IMF이전에도 소형 열병합발전 설비의 경제성이 미흡하여 보급에 있어서 어려움이 있었으나, 모든 것이 어려워진 현재에는 위의 계산에서와 같이 단일건물에 대한 열병합설비의 자발적 투자는 거의 불가능할 것이라 사료된다.

그러나, 외국에서의 소형 열병합발전 시스템의 적용 예를 보면, 우리도 외국과 같은 소형 열병합발전 시스템의 보급활성화를 위한 방향의 전환이 필요함을 알 수 있다. 예를 들면, 일본에서도 단위 업무용건물에 대한 열병합발전 설비의 투자회수기간이 상당히 길어, 이 경우 열병합발전 설비의 보급활성화는 매우 불투명한 상태이나, 복합기능 (쇼핑센터, 호텔, 사무소)을 가진 건물군에 대하여는 열병합발전 시스템의 경제적인 타당성이 인정되어, 이와 같은 건물군에 대한 열병합발전 이용 열 네트워크가 널리 보급되고 있다.

4. 경제성을 고려한 최적투자 산정 방법

열병합 발전 시스템을 설치·운용할 때 소요되는 비용은 대표적으로 투자비와 운전비를 들 수 있겠다. 그밖에도 고정비, 융자금, 융자상환액 등이 포함되지만 투자비와 운전비가 총비용에 끼치는 영향보다는 미비하다고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 투자비와 운전비의 산정에 대한 방법을 서술하고자 한다.

4.1 투자비용 산정

투자비란 열병합발전 시스템의 초기설치 혹은 수명이 다된 설비의 대체시 소요되는 비용을 말하며 소요되는 비용항목으로는 구성기기의 비용, 설치에 따른 공사비용, 인건비 등이 있다. 이 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 것이 구성기기의 비용이다. 또한 구성기기는 모두 수명기간이 다르므로 같은 대상기간에 대하여 일괄적으로 처리하기 위해서는 시스템 수명기간 동안 일어나는 재투자를 고려하여 투자단가를 계산해야 한다. 이 계산은 각 구성기기의 수명과 할인율을 이용하여 수행하며 이때 시스템 수명은 전체 시스템 가격중 비중을 많이 차지하며 다른 구성기기의 수명과 차이가 크지 않은 엔진 또는 발전기의 수명으로 하는 것이 가장 적합할 것이다. 경제적 수명을 고려하여 계산된 각 구성기기의 용량을 통해 전체 시스템의 투자단가 [원/kW]를 구할 수 있다.

각 구성기기의 재투자를 고려한 투자 단가의 계산과정은 다음과 같다.

- 1) 각 구성기기의 초기 투자 단가를 연투자 단가로 환산
- 2) 시스템 수명기간동안 연투자비의 발생횟수 계산
- 3) 시스템 수명기간에 대한 각 기기의 투자 단가를 구함
- 4) 각 구성기기의 투자 단가를 합하여 시스템 투자단가 계산

따라서 시스템의 투자단가는 초기 투자비에 현가화된 재투자비를 더한 것으로 볼 수 있으며 참고로 구성기기의 수명은 다음 표와 같다.

표 1. 열병합발전 시스템 각 구성기기의 수명기간

기기	엔진	발전기	보일러	열교환기	냉동기
수명(년)	15	15	20	10	13

4.2 운전비용 산정

열병합 발전 시스템의 운전비용을 산정하기 위해 기존의 발전시스템과는 달리 전기와 열을 함께 공급하는 운전을 하기 때문에 그에 대한 개념부터 살펴보기로 한다. 그림 5는 열병합 발전 시스템의 전기와 열의 흐름을 나타낸 것으로 전기부하를 추종하는 토폰 사이클과 열부하를 추종하는 버토폰 사이클 모두에 해당한다.

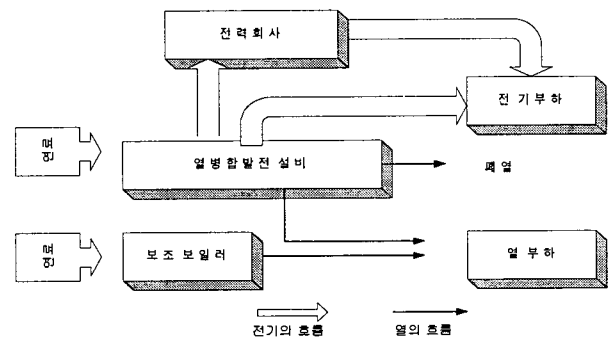


그림 5. 열병합발전 시스템의 전기와 열흐름도

먼저 전기부하를 추종하는 열병합 설비는 전기를 생산하여 전기부하에 보내고 잉여전기를 전력회사에 판매를 하며, 발전 후 남은 열은 열 부하에 공급하게 된다. 열이 부족한 경우에는 보조 보일러를 가동하여 열부하에 공급하게 된다. 열이 부족한 경우에는 보조 보일러를 가동하여 열부하에 공급하고, 열이 남는 경우에는 폐열로 배출한다. 그리고 열부하를 추종하는 열병합설비는 부하에 열을 먼저 공급한 후 남은 열로 발전을 하여 전기를 공급하는데 전기가 부족하면 전력회사에서 구매를 하고 남은 전기가 발생하면 전력회사에 판매를 한다. 열이 부족한 경우에는 보조보일러를 가동하여 부하에 공급하는데 폐열을 발생하지 않는다. 이러한 운전양상에 대한 열병합발전 시스템의 운전비용은 다음과 같다.

$$\text{운전비} = \text{열병합 연료비} + \text{보조보일러 연료비} + \text{전기구매비} - \text{전기판매비} + \text{열공급지장비}$$

여기서 열공급지장비란 열병합발전기와 보조보일러를 모두 가동해도 열부하를 충족시키지 못하는 경우에 발생하는 직·간접적인 피해를 비용화한 것을 말한다. 또한 열병합 발전 설비가 전기수요를 공급하지 못했을 경우 외부 전력회사로부터 구입을 해야하며, 이때 발생하는 비용이 전기구매비

이다. 그 반면에 전기를 공급하고 잉여 전력이 남았다면 전력회사에 전기를 판매할 수 있어 이득을 얻을 수 있다. 당연히 이 두 가지의 경우는 동시에 발생하지 않는다.

4.3 경제성 분석

열병합 발전 시스템의 경제성 평가는 열병합 발전으로 인해 얻을 수 있는 효과를 분석하는 것이다. 열병합발전의 효과를 분석하는 것은 먼저 열병합 발전이 아닌 기존의 발전 시스템과 열병합 발전 시스템의 비용을 비교하여 열병합 발전 시스템의 경제적인 이득을 분석하는 방법이 있다. 이러한 방법 외에도 열병합발전은 앞서 언급한 바와 같이 가스 엔진을 사용하는 경우에 환경적합성이 뛰어나 기존의 발전기들에 비하여 환경적인 잇점을 가질 수 있는 장점도 있으나 그러한 이득의 경우 비용으로 환산하는데 어려움이 따른다.

4.3.1 열병합 발전 시스템의 비용 항목

열병합 발전 시스템의 설치시 총비용은 앞서 말한 바와 같이 구성기기의 투자비와 운전비가 대부분을 차지하겠지만 그 외에 제세, 보험료 인건비 등의 고정비가 포함된다. 그리고 설치에 의해 발생하는 부대비용으로 계획관련 비용, 설치용역비, 주변장치 비용 등이 있으며 운전에 의해서는 연료비 외에 운전노무, 관리비용 등이 발생한다. 또한 투자비의 용자를 고려하는 경우는 용자에 대한 이자액이 비용으로 발생하며 이를 위해서는 별도의 계산이 필요하다. 이러한 모든 것을 고려한 총비용은 다음과 같다.

$$\text{총비용} = \text{총 공사비} - \text{공제세액} + \text{고정비} + \text{용자에 대한 이자} \quad (1)$$

총비용 항목 각각의 것들은 할인율에 의한 현가화로서 한시점의 비용으로 환산하게 된다.

4.3.2 기존 발전 시스템의 비용 항목

열병합발전 시스템을 설치하지 않은 경우는 건물의 필요한 전기부하는 전력회사에서 전량 구입하며, 열부하는 보일러를 설치하여 공급한다. 단, 건물의 예비전원 확보를 위하여 비상발전기를 설치한다. 열병합발전 시스템을 설치하지 않는 경우 전력 설비와 열기기, 냉방기기, 설치시 투입되는 초기투자비와 각 설비의 운전에 따른 제반비용이 발생하므로 총비용을 구하면

$$\text{총비용} = \text{투자비} + \text{운전비} + \text{고정비} \quad (2)$$

와 같다. 여기서 투자비에는 보일러, 비상발전기, 냉동기의 구입 및 설치에 따른 비용이고 운전비는 연료비와 전기 구입비에 소요되는 비용이다. 마지막으로 고정비는 인건비, 유지비 제세보험료, 감가상각비 등의 비용이다.

4.3.3 회수기간의 계산

회수기간의 계산은 투자액에 대한 관점에 따라 두 가지

방법으로 고려해 볼 수 있는데 첫 번째 방법은 열병합발전 을 설치하는데 들어가는 총비용을 투자비로 보는 것이다. 이러한 경우 회수기간은 열병합발전 시스템의 설치에 의한 수익(기존 방식의 운전비 - 열병합발전의 운전비)에 의해 열병합발전의 설치비용이 회수되는 기간이 되며 이를 다음과 같이 계산한다.

$$\text{투자회수기간} = \frac{\text{열병합시스템 투자비}}{\text{연간 이익금액(운전비차액)}} \quad (3)$$

두 번째 방법은 투자비를 열병합발전의 투자비와 기존 방식의 투자비 차액으로 보는 것이다. 이러한 경우 회수기간이 앞의 경우보다 더욱 양호하게 평가되며 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$\text{투자회수기간} = \frac{\text{열병합시스템 투자비} - \text{기존방식의 투자비}}{\text{연간 이익금액(운전비차액)}} \quad (4)$$

4.3.4 사례연구

앞서와 같은 방법론을 적용하여 실시한 사례연구는 여러 가지 용량에 대해서 최적 규모를 산정하여 보았다. 시스템 입력자료는 정격운전상태를 가정하였고 부하 그림 6과 같이 대상건물의 계절별 부하패턴을 이용하였다. 또한 냉방에는 흡수식 냉동기를 사용한다고 가정하였다.

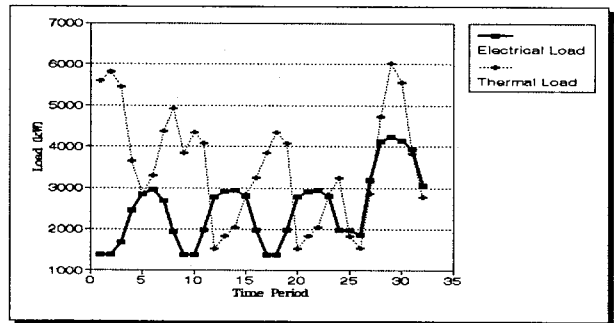


그림 6. 각 구간의 전기부하와 열부하

표 2는 사례연구 결과인 각 용량별 최적규모를 나타낸다. 표 2에서 최적정수규모는 현실성있는 투자규모를 산정하기 위해 분지한정법을 도입하여 계산하였다. 이와 같은 최적규모를 바탕으로 설계한 시스템과 경제성분석에 관한 결과는 표 3, 4와 같다.

표 2. 시스템 최적규모 산정결과

부하 (kW)	최적정수 (kW)	정수 (kW)	정수 (kW)	정수 (kW)	정수 (kW)
400	2038.89	5.09	5	2000	22,514
750	2509.05	3.46	3	2250	21,154
950	2988.90	3.14	3	2850	21,640
1,200	2992.56	2.49	2	2400	20,632
1,600	3090.02	1.93	1	1600	19,600
1,800	3008.18	1.67	1	1800	19,701
2,200	3221.13	1.46	1	2200	19,972
2,400	3227.13	1.34	1	2400	20,133
3,000	3582.42	1.19	1	3000	20,792



표 3. 최적규모에 따른 시스템 설계결과

	열병합 시스템	기존 방식
엔진	1,777 [kW]	996 [kW]
발전기	1,600 [kW]	897 [kW]
열교환기1	1.42e+08 [kcal/h]	0 [kcal/h]
열교환기2	1.11e+08 [kcal/h]	0 [kcal/h]
보일러	7.26e+06 [kcal/h]	1.101e+07 [kcal/h]
냉동기	6.71e+02 [RT]	1.07e+07 [RT]
시스템 투자비	3,760 [백만원]	3,380 [백만원]
연간 운전비	1,203 [백만원]	2,405 [백만원]

표 4. 경제성분석 결과

	투자비 (백만원)	연간운전비 (백만원)	이자지불액 (백만원)	총비용 (백만원)	연간편의 (백만원)	회수기간 (년)
열병합 시스템	3,760	1,208	516	12,266	633	6.52
기존 시스템	3,380	2,405	0	18,589		

5. 향후 고려해야할 사항

5.1 구조개편으로 인한 열병합 사업의 변화

현재 전력사업은 사업의 효율화를 위하여 세계적으로 구조개편이 활발하게 이루어지고 있는 실정이며 우리 나라도 한국전력공사의 독점체제에서 경쟁체제로의 전환을 이미 공표하였고, 4단계를 통하여 완전경쟁체제로 전환할 예정이다. 구조 개편은 대체적으로 규제 완화 혹은 철폐, 발전·송전·배전 등 전력산업 전 분야에 걸쳐 경쟁의 도입, 독립적 발전시장의 육성 등이 주요 골자이다. 전통적으로 전력사업은 규모의 경제로 인한 자연 독점의 특성 때문에 시장원리의 도입이 어려운 산업으로 인식되어 왔으나 1980년대 들어 이러한 인식이 바뀌기 시작했다. 이것은 대단위 용량의 발전 시설이 최소발전단가를 실현하는 적정규모가 아니라는 경험적 사실에 기인한다.

이러한 배경하에 특정전기사업제도의 도입으로 인해 열병합 발전에 대한 활성화가 이루어질 전망이다. 우선 특정전기사업제란 지금까지의 한국전력공사가 담당하고 있던 소비자에 대한 전기공급 측면에서 경쟁도입을 하는 차원에서 도입된 제도로서 특정한 부분에 한하여 전기를 공급할 수 있는 제도이다. 특정전기사업을 하는 특정전기사업자는 일반전기사업자 즉, 한국전력공사의 계통을 이용한 탁송에 의해서도 전기공급이 가능하게 되었다. 때문에 특정전기사업자가 특정지점에 대한 전기 공급에 있어 현재 열병합사업은 생산된 열로 대단위지역난방을 하고 있고 생산된 전기는 한전에 판매를 하고 있는데 지역 난방을 하고 있는 지역을 특정지점으로 계약을 맺고 생산된 전기를 공급할 수 있다는 점에서 열병합 사업자의 특정전기사업자로의 전환이 가능성이 높다. 따라서 특정전기사업자로 참여 가능한 것은 열병합사업자가 될 수밖에 없는 상태이다. 이 제도를 도입한 일본의 경우에서 그 예를 볼 수 있다. 작년 12월에 제정된 법에 의

하면 집단에너지사업법에 의한 열병합 사업자는 특정전기사업자로 변신하도록 되어 있어 법 차원에서 열병합 발전을 장려하고 있다.

특정전기사업자로의 전환을 위해서는 안정적인 전기를 공급할 수 있는 설비의 유지와 잉여전력의 발생시 한전과의 계약에 의한 잉여전력 판매가 있어야 한다. 기존의 열병합사업자는 열추종방식으로 지역 난방을 우선시 하여 부수적인 전기를 전량 또는 대부분을 한전에 판매하고 있는데 한전의 입장에서는 현재 산업용 전력에 해당하는 요금으로 구매하고 있는 열병합사업자들의 잉여전력에 대한 구매의무는 없으나 국가적인 차원의 에너지 이용합리화를 위하여 구매를 하고 있는 실정이다. 전력요금은 일반전기사업자의 요금에 비하여 열 생산에 부수적인 전기 생산이라는 측면에서 좀더싼 가격으로 특정지점에 공급할 수 있어 경쟁력이 우위에 있다고 할 수 있다. 만일 발전기의 사고, 검사, 보수에 의한 전기공급이 중단되더라도 한국전력과의 보완공급약관 체결에 의하여 전력을 공급받을 수 있어서 안정성에서도 문제없다.

그러나 열병합발전의 전용 가스 요금 체계가 구축되지 않아 외국에 비하여 비싼 가스요금을 부담하고 있으며, 열병합 핵심 설비인 가스터빈과 가스엔진을 수입하여야 하는 실정이고 열병합발전의 특성상 가동시간이 길어야 된다. 이러한 요인들에 고가의 투자비용으로 열병합발전의 활성화가 어려워 특정전기사업으로의 자발적인 전환가능성은 희박한 상태이다. 따라서 특정전기사업자로의 전환을 위하여 열병합 기기의 국산화, 금융지원, 세제지원과 비상용발전기의 대체조항 신설이 시급하다고 할 수 있다.

5.2 소형열병합발전과 열 네트워크

5.2.1 일본

일본에서의 첫 번째 열 에너지 네트워크(heat network)는 1970년에 오오사카 만국박람회를 위하여 건설되었지만, 최근에 이르러서야 비로서 활발해지고 있다. 이 네트워크는 최근의 수년동안 상당한 발전을 하고 있는데 그 이유는 ANRE (the Agency for National Resources and Energy)에서 냉·난방(heat & cold) 네트워크의 개발을 최우선 과제의 위치에 올려놓았기 때문이다. ANRE는 냉·난방(heat & cold) 네트워크의 보급을 통하여 27-36%의 에너지 절약뿐만 아니라 NOx의 배출을 60-70% 가량, CO₂의 배출을 50%가량으로 낮출수 있으리라 평가하고 있다.

350 개소의 네트워크를 운영하고 있는 프랑스와 비교하면 116개소의 일본은 아직 더 개발할 여지가 많다. 일본에서의 열 네트워크는 에너지와 공간을 합리적으로 사용할 수 있는 대책으로 인정되어 1993-2000년 기간동안 54 열 네트워크가 더 건설되는 것을 목표로 세웠다.

열 네트워크에 주로 참여하고 있는 회사는 Tokyo Gas와 Tokyo Electric Power Real Estate Maintenance사이다. Tokyo Gas가 설치한 열 네트워크 중 대표적인 적이 신주쿠의 중심가의 동경시청의 신청사를 포함한 15개의 대형 건물군에 에너지를 공급하는 시스템인데 세계적인 대규모 설비

열병합발전 시스템의 적정규모 산정을 위한 투자모형 수립

중의 하나로 꼽히고 있다. 이 네트워크는 이중효율흡수식 냉방시스템, 4000kW급의 가스터빈구동 열병합발전 시스템 2 set, 증기 및 액체 암모니아 탈질설비(NOx 배출은 30 ppm 이하)로 구성되어 있다.

열 네트워크는 MITI의 중단기 프로젝트 및 장기 프로젝트로 선정되어 2001년까지 수행될 예정이고, 일본 전체에서 사용되는 에너지의 약 60%를 절약할 것으로 예상되고 있다.

5.2.2 미국과 유럽

열병합발전의 에너지 절약 잠재성을 분석하기 위하여 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)은 미국 내 5개 지역의 다수 빌딩시설을 선택하여 열병합발전 에너지네트워크에 의한 경우와 개별설비(비열병합시스템)와의 경우를 비교하였다. 연구를 위하여 선정된 시설은 복합면적 37,000m² 이고, 16개의 빌딩으로 이루어졌다. 빌딩들은 높이가 2층에서 3층의 범위이고 운동시설, 기숙사, 본관, 식당, 약국 또는 병원 등을 포함하고 있다. 이 계획은 에너지정보국의 "다수 빌딩 시설에서의 에너지 사용평가"에 따른 것이다. 결과에 따르면 열병합 발전 에너지네트워크는 개별보일러 및 냉동기들에 의해 소비된 1차에너지의 49% 만을 소비하는 것으로 나타났고, CO₂ 및 NOx의 발생감소도 보여졌다. 이를 표 7에 요약하였다.

표 7. 열병합발전 열 네트워크와 개별설비(비열병합설비)의 비교

항목	열병합발전 에너지네트워크	비열병합발전 개별설비
1차에너지배출량(GJ/m ² yr)	0.149	0.305
CO ₂ 배출(kg/m ² yr)	7.5	15.1
NOx 배출(kg/m ² yr)	0.004	0.008

5.2.3 열 네트워크의 해석방법

열 네트워크는 거시적으로는 지역난방과 유사한 개념이지만 소형 열병합발전시스템과 연계하여서는 국내에서 연구된 바 없고, 단지 여러 연구보고서에 열병합발전의 보급확대를 위한 연구의 하나로 인식되어 앞으로의 연구를 기다리고 있는 상태이다. 이는 열병합발전 시스템의 보급을 생산자적인 측면보다는 소비자의 입장을 고려하는 연구로 에너지소비의 균일화를 달성하여 열병합시스템의 경제성을 높이는 데 그 목적이 있고, 또한 최소에너지의 사용을 위하여 최적 열 네트워크를 구성하는데 학술적이고 범용적인 기법인 핀치해석 기법과 엑서지해석기법을 도입하는데 있다.

엑서지 해석기법은 앞서 언급한 예와 같이 실질적이기보다는 각 설비의 비가역 특성을 이해하여 성능의 향상을 위한 방법론을 제시하고 있다. 그런데, 핀치해석은 보다 실질적인 설계자료를 제공할 수 있다. 단순한 경우에 대한 예를 들면 표 8과 같이 고온의 폐열흐름과 가열대상의 저온흐름이 주어질 경우에 대하여 핀치해석을 수행하면 그림 7과 같은 최적 열교환기망을 설계할 수 있다. 핀치해석 결과는 고온 및 저온의 열흐름 사이에 열교환기 1-3을 설치하면 가열기의 열부하를 470에서 67.5로 줄이고, 냉각설비의 냉각부하

를 510에서 27.5로 줄일 수 있어 가열기와 냉각설비의 투자비 및 운전비를 크게 줄일 수 있어 경제성을 직접적으로 인식하게 하고, 또한 설비의 구성을 가시적으로 보여준다.

표 8. 고온의 폐열흐름 (hot)과 가열대상의 저온흐름 (cold)의 열 특성

순서	유체	유량 (kg/s)	온도 (°C)	열용량 (kJ/kg°C)	열흐름 (kW)
(1)	cold	2	20	135	230
(2)	hot	3	170	60	-330
(3)	cold	4	80	140	240
(4)	hot	1.5	150	30	-180

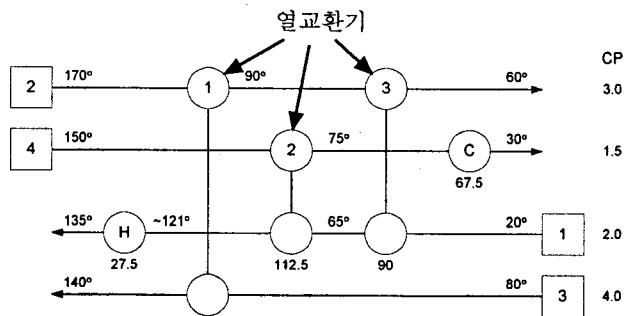


그림 7. 표 2의 열흐름에 대하여 핀치해석을 수행하여 설계한 열에너지 네트워크 (H: 고온 열원, C: 저온 열원)

6. 결론

우리 나라는 전력산업 구조개편이라는 현 상황과 환경규제라는 미래 상황에 대비하여 전기에너지 문제를 해결해야 한다. 이에 따라 등장한 열병합 발전의 필요성은 국가적인 관점에서의 심사모델, 국내 설치 대상 지역 또는 건물의 선정, 적절한 규모산정 모델, 대상에너지 필요에 따른 시스템 선정 및 설비계획 등의 일련의 과정을 통해 구체화될 것이다.

구체화된 열병합발전 시스템의 구성 계획으로 국내 실정에 적당하고 경제적 기술적으로도 최적의 규모를 예측할 수 있게 되어 기술개발이나 국내 도입시 국가적으로 기술 경쟁력을 확보할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 보인다. 또한 향후 열병합발전 사업자의 특정전기사업자로의 전환과 열 네트워크의 구성으로 국가적인 에너지 이용합리화를 꾀할 수 있다. 이렇게 다양한 제도와 정책으로 열병합발전의 보급을 장려한다면 국가 에너지정책에 이바지됨은 물론 우수한 환경적 특성으로 기후변화협약에 조그마한 대응책이 될 것으로 기대되는 바이다.

참고문헌

- [1] 통상산업부 "소형열병합발전시스템 최적화 연구에 관한 최종보고서", 1996. 12.
- [2] 통상산업부 "소형 열병합시스템 보급촉진을 위한 전략수립 연구에 관한 최종보고서", 1997. 2.

저 자 소 개



김정훈(金正勳)

1955년 9월 13일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~1989년 미국 Penn State Univ. 방문교수. 현재 홍익대 공대 전기제어공학과 교수.



박승호(朴丞鎬)

1958년 9월 8일생. 1981년 서울대 공대 기계공학과 졸업. 1983년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1989년 U.C. Berkeley 기계공학과 졸업(Ph.D). 현재 홍익대 공대 기계공학과 부교수.