

열병합시스템의 열네트워크를 통한 경제성 분석 (I)

(Economic Analysis for heat network of co-generation system)

팀장 박용순 공학박사

송은영(한국지역난방공사 발전전략팀)

T : (0342)780-4280

1. 머리말

한국지역난방공사는 '87년 여의도에 최초 열공급을 시작한 이래 수도권 신도시 및 서울 강남 지역을 중심으로 지역난방 열공급을 지속적으로 확대하여 왔다. 안정적이고 경제적인 열공급을 위하여 분당, 고양 및 중앙의 "CHP"를 중심으로 연계배관망을 구성하였으며 '98년 기준 수도권 연계공급량이 총 공급량의 16%를 차지하게 되었다. 또한 장기적으로 본 공사는 열공급의 신뢰성 및 경제성 향상을 위하여 급열센타 설치를 비롯하여 종합적인 네트워크를 구성하여 운영할 계획이며 분당과 고양의 CHP를 기저부하로 삼아 피크수요를 감당할 소규모 분산형 열원을 설치하여 수도권 열공급을 확대하며 전 수도권을 지역난방 배관으로 네트워크화할 계획을 가지고 있다.

따라서, 구체적인 세부계획을 수립하기 위하여는 수도권 네트워크 사업의 장기적인 경제성 분석이 필수적이며 이러한 분석은 기존의 열원 및 열배관시설은 물론 향후 건설될 열원 및 배관, 수요개발전망 등 제반요소를 고려하여 종합적으로 이루어져야 한다.

본 연구는 이에 앞서 분당과 일산CHP를 독립된 수요범위를 갖는 열원으로 간주하여 각각의 CHP를 중심으로 열공급량의 증가에 따라 피크용 열원인 "HOB" 건설을 증가시킬 때의 경제성을 그 대상으로 하여 기본적인 모델을 제시하고 대략적인 추세를 파악하고자 하였다. 데이터는 본 공사 고양지사 및 분당지사의 '98 운영실적으로 기준으로 하였으며, 수도권 전체 네트워크를 대상으로 하는 실제 경제성 분석은 다음 과제로 계속 추진될 것이다.

2. 수도권 네트워크 개요

2.1 수도권 시설 및 열공급현황

2.1.1 시설현황

현재 수도권 열원시설 현황은 <표1>과 같으며 <그림1>과 같이 연계되어 있다.

1. CHP : Combined Heat and Power Plant (열병합발전소)

2. HOB : Heat Only Boiler (열전용보일러)

<표1 수도권 열원시설 현황>
(단위:Gcal/h)

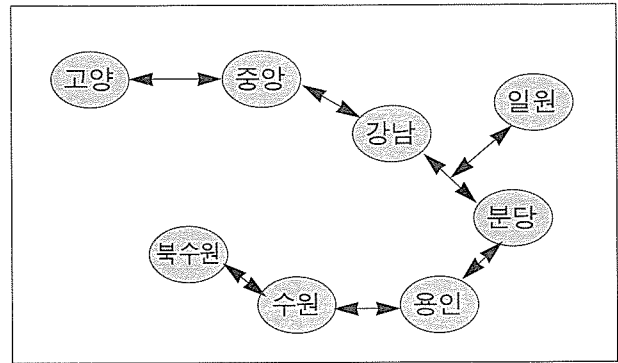
구 분	CHP	HOB	INC	ACC	Total
중 앙	387	0	0	52	439
강남 (일원포함)	0	510	(36)	97	607
분 당	697	306	0	160	1,163
안 양	344	102	9	90	545
고 양	476	102	16	170	764
부 천	357	102	9	98	566
계	2,261	1,122	34	667	4,084
구성비(%)	55.4	27.5	0.8	16.3	100.0

주1) CHP : Combined Heat and Power Plant(열병합발전소)
 HOB : Heat Only Boiler (열전용보일러)
 INC : Incinerator (소각로)
 ACC : Accumulator (축열조)

주2) CHP는 모드1 출력기준이며 ACC는 축방열용량 기준임

주3) 고양CHP 증설(119G/h 2기) 및 일원 소각로(36G/h)는 각각 '99. 11월말, 12월말 준공예정으로 미포함

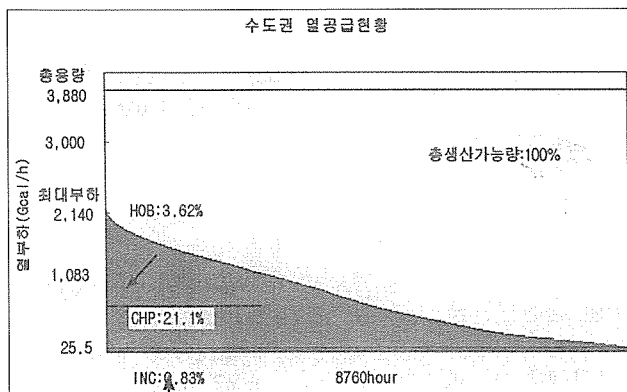
<그림1 수도권 연계배관망 현황>



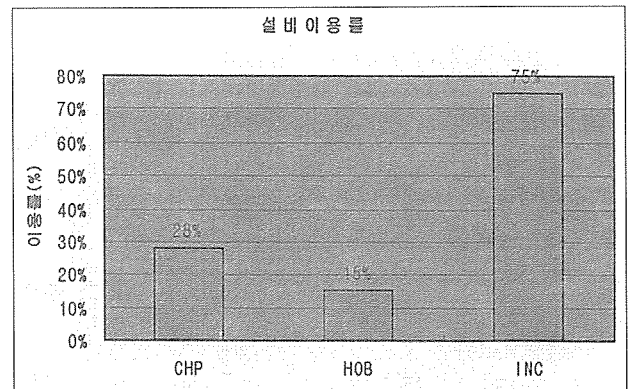
2.2 공급현황

3) <그림2>는 수도권 시간대별 열부하 누적곡선을 바탕으로 전체시설의 총생산가능량을 100%로 볼 때 열원별 열생산비율을 나타낸 것이다. 연간 생산능력을 기준으로 할 때 약 74%가 활용되지 못하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 동절기와 하절기 열수요의 현격한 차이로 인한 것으로, 열원시설은 피크부하를 감당할 수 있도록 건설되는데 비하여 연평균부하는 피크부하의 약 29%에 불과하기 때문이다. 열원설비별로 이용률을 살펴보면 소각로가 75%로 연중 기저부하로 활용되고 있으며 CHP는 28%, HOB는 15%의 이용률을 보이고 있다. 기저부하용 설비로서 CHP의 이용률이 매우 낮음을 알 수 있다.

<그림2 수도권 열공급현황>



<그림3 설비이용률>



3. 시간대별 열부하 누적곡선은 '98년 열공급량을 기준으로 '97년 누적곡선을 보정한 것이다.

3. 수도권 네트워크 개요

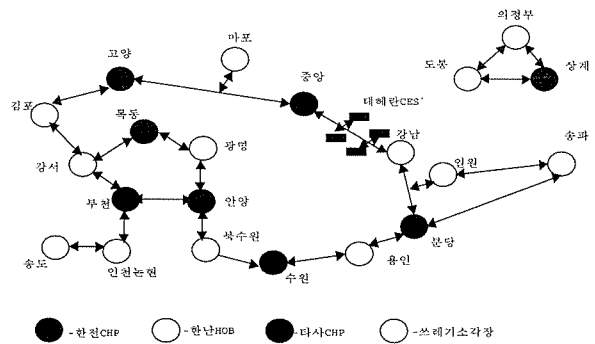
3.1 네트워크 구성의 목적

수도권 네트워크 구성은 궁극적으로 열공급시설간의 연계를 통하여 지역난방 열공급범위를 확대하고자 하는 것이다. 네트워크 구성을 통하여 독립된 지역 열원간의 경제적인 열수수, 열원간의 비상사고 발생시 안정적인 열공급이 가능하여 공급의 경제성과 안전성을 높일 수 있으며, 향후 발생하는 쓰레기소각장 및 ⁴CES등 소규모 분산형 열원을 피크부하용 시설로 하여 기저부하의 여유용량을 최대한 활용하여 집단에너지 사업영역을 확대하여 사업자의 수익성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 네트워크 구성안

연계배관 네트워크는 현행과 같이 고양, 분당, 중앙 CHP를 중심으로, 송파, 마포를 비롯하여 강서, 의정부, 일원등 향후 개발될 수도권 쓰레기소각장과 다른 사업자가 운영 중인 열원시설도 포함하여 수도권 전역을 포괄하는 루우프형 배관망으로 구성할 수 있다. 또한 테헤란로를 비롯하여 향후 건설될 CES도 배관망에 연계하여 피크부하를 담당하도록 한다. 이러한 네트워크 구성도는 <그림4>와 같다.

<그림5 수도권 네트워크 구성도(안)>



4. 수도권 네트워크 경제성 분석

4.1 분석개요

위와 같은 네트워크 구성안을 장기적인 전망으로 한 수도권 네트워크에 따른 집단에너지사업의 경제성을 종합적으로 검토하기에 앞서, 본 분석에서는 몇가지 주요한 가정을 하고 분석대상도 분당과 고양의 열원시설에만 국한시켜 기본적인 분석모델과 대략적인 분석결과를 보여주고자 한다.

본 연구에서 사용한 주요 가정 및 산식은 다음과 같다

1. 기건설된 CHP를 중심으로 열공급을 확대해 나간다. 열공급이 확대되더라도 CHP용량은 불변이다.
2. 열원시설별로 비용을 배분하여 각 시설별 생산단가를 산정한다. 생산단가는 변동단가와 고정단가로 구성되며 열공급량의 증가에 따라 변하지 않는다. 열원시설가동을 증가에 따른 규모의 경제성 효과는 무시하며, HOB는 열공급량에 맞추어 기존의 투자비로 용량증가가 가능한 것으로 간주한다.

열생산원가의 구성은 아래와 같으며 이를 바탕으로 열원별 열생산원가를 산정한다.

열생산원가																	
변동비						고정비											
연료비(수열비)		전력비		용수비		인건비			감가상각비			수선유지비			기타비용		
연료비	수열비	HOB	공통	HOB	공통	CHP	HOB	공통	CHP	HOB	공통	CHP	HOB	공통	CHP	HOB	공통

4. CES(Community Energy System) : 주로 가스엔진 또는 가스터빈등의 열병합설비가동시 전력생산과정에서 발생하는 고온의 배기가스열을 폐열회수장치를 통해 증기 또는 온수 형태로 회수하여 사업주체가 다른 인근건물을 위주로 난방 및 냉방열과 전력을 공급하는 일종의 소규모지역난방시스템.

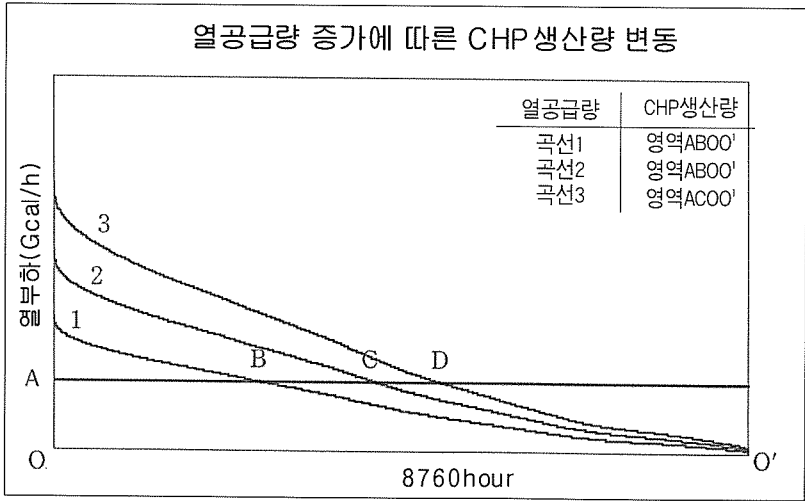
총생산량 = CHP생산량 + HOB생산량 + INC생산량이며,
 CHP생산(판매)비율 = CHP생산(판매)량/총생산(판매)량
 HOB생산(판매)비율 = HOB생산(판매)량/총생산(판매)량
 INC생산(판매)비율 = INC생산(판매)량/총생산(판매)량이라 두면

- CHP 열생산원가 = 한전수열비 + (공통전력비+공통용수비) CHP생산비율
 + 인건비 (CHP인원+총인원 CHP판매비율)/총인원수
 + 감가상각비 (CHP관련투자비+공통투자비 CHP판매비율)/총투자비
 + 수선유지비 CHP감가상각비/감가상각비
- HOB 열생산원가 = 연료비 + (HOB전력비 + 공통전력비 HOB생산비율)
 + (HOB용수비 + 공통용수비 CHP생산비율)
 + 인건비 (HOB인원+총인원 HOB판매비율)/총인원수
 + 감가상각비 (HOB관련투자비+공통투자비 HOB판매비율)/총투자비
 + 수선유지비 HOB감가상각비/감가상각비
- INC 열생산원가 = 소각로수열비 + (공통전력비+공통용수비) INC생산비율
 + 인건비 (총인원 INC판매비율)/총인원수
 + 감가상각비 (공통투자비 INC판매비율)/총투자비
 + 수선유지비 INC감가상각비/감가상각비
- 열원별 열생산단가 = 열원별 열생산원가/열원별 열생산량

3. 기존의 데이터를 이용하여 전체 열원설비의 연간 총생산가능량 대 CHP 및 HOB의 생산비율을 산정한다. 열공급이 확대되더라도 CHP생산량이 포화될 때까지 이 비율은 불변이다. (CHP생산량의 증가패턴은 <그림5>에 나타나 있다) 단, INC가 있을 경우에는 INC연간생산량을 고정값으로 간주하여 총생산가능량 대비 총생산량 비율을 일정하게 하는 범위내에서 CHP생산비율이 조정되며 HOB생산비율은 CHP 포화시까지 불변이다.

- 총생산가능량(Gcal/y) = (CHP생산용량(Gcal/h)+HOB생산용량(Gcal/h)+INC생산용량(Gcal/h)) 8760h/y
- 총생산비율 = 연간 총생산량(Gcal/y) / 총생산가능량(Gcal/y)
- CHP생산비율 = CHP연간생산량(Gcal/y) / 총생산가능량(Gcal/y)
- HOB생산비율 = HOB연간생산량(Gcal/y) / 총생산가능량(Gcal/y)

<그림5>



4. 열공급량의 증가에 따라 HOB의 용량도 증가한다. HOB는 피크부하용이며 수요개발로 인하여 열공급량이 증가할 경우 피크부하도 증가하므로 그에 따라 HOB의 용량도 증가하여야 한다.

열공급량이 Qt일 때

- 총 생산 용량 = 총생산가능용량 8760이며,
총생산가능용량 = Qt 총생산비율이며, CHP, INC 생산용량은 불변이므로
- HOB생산용량 = 총생산용량 - CHP생산용량 - INC생산용량
= Qt 총생산비율 8760 - CHP생산용량 - INC생산용량

5. 열공급량의 증가에 따라 CHP 및 HOB의 생산량도 증가한다. 단, INC의 생산량은 일정한 것으로 간주한다.

각 열원별 생산량은 총생산가능량 열원별 생산비율이므로

- CHP생산량 = 총생산용량 8760 CHP생산비율
- HOB생산량 = 총생산용량 8760 HOB생산비율

단, INC가 있을 경우

- CHP생산량 = 열공급량 - HOB생산량 - INC생산량

따라서, 열공급량의 증가에 따라 CHP생산비율은 증가하게 된다.

6. 열판매손익은 열원별 가동손익의 합으로 계산한다. 현재 열판매요금은 계절별, 용도별로 차등적용되고 있으나 열공급이 증가하더라도 계절별 사용비율, 용도별 구성비율은 일정하다고 간주하고 총판매금액을 총판매량으로 나눈 연평균판매단가를 열판매단가로 적용한다. 또한 열손실을 무시하여 열생산량과 열판매량이 동일하다고 간주한다.

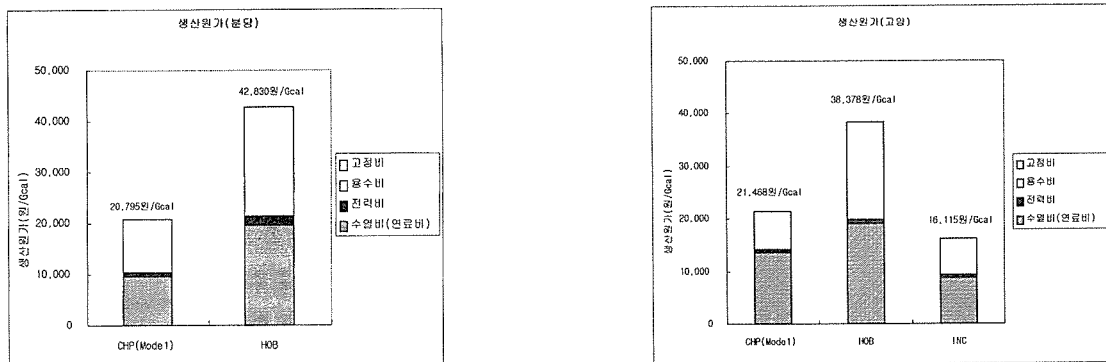
- CHP가동손익 = CHP생산량 CHP생산단위당손익 = CHP생산량 (열판매단가-CHP열생산단가) (HOB 및 INC가동손익 산정도 동일한 식에 의함)
- 열판매손익 = CHP가동손익 + HOB가동손익 + INC가동손익

4.2 분당 및 고양 CHP대상 분석사례

4.2.1 열원별 열생산단가

분당과 고양의 '98 실적을 기준으로 산정한 열원별 열생산원가는 <그림6>과 같다.

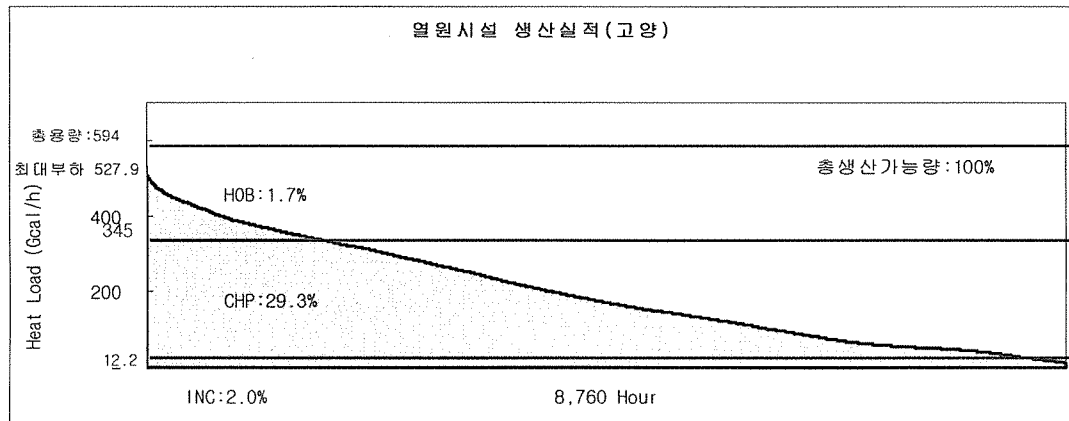
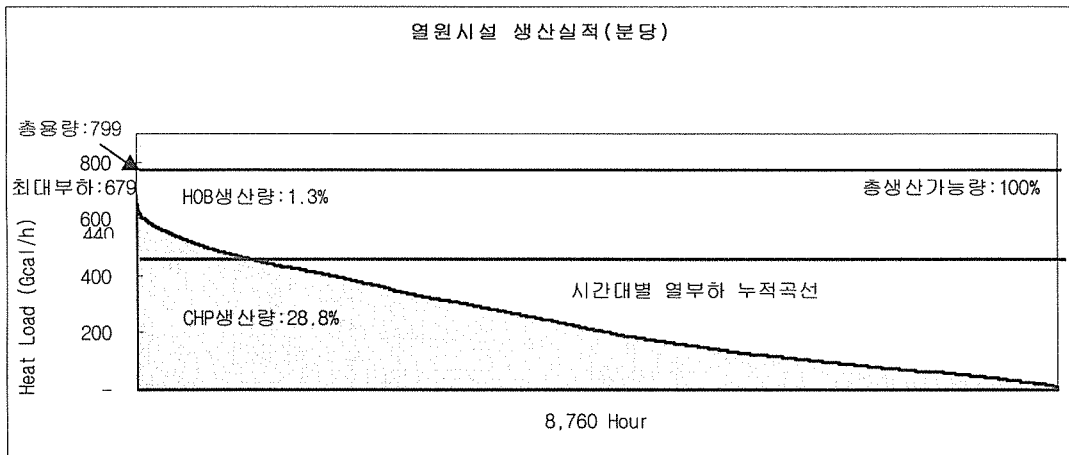
<그림6 열원별 생산원가>



4.2.2 열원별 생산현황

분당과 고양지사는 한전의 CHP와 본공사의 HOB를 포함한 열원시설로 구성되어 있으며 생산단가가 싼 CHP를 기저부하로 하고, 첨두 및 비상용으로 HOB를 운전하고 있다. 고양지사는 인근 소각장에서 소각열을 수열받아 CHP와 함께 기저부하로 활용하고 있다. 현재 HOB는 주로 CHP 유지보수 및 돌발고장시, 한전의 경제급전 운영시 운전되고 있다. 각 지사의 '98년도 열원시설 생산실적은 <그림7>과 같다.

<그림7 : 열원시설 생산실적>



4.2.3 분석결과

위와 같은 모델을 바탕으로 하여 열공급량을 단계적으로 증가시켜 손익변동추이를 분석해보면 열판매단가가 HOB생산원가를 초과하지 않을 경우 손익이 최대가 되는 열공급량은 다른 요인에 상관없이 전적으로 CHP의 용량에 의하여 결정되어짐을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{열판매손익} &= \text{열판매수입} - \text{열생산비용} \\ &= \text{열판매량 열판매단가} - \text{열생산량 열생산단가} \end{aligned}$$

열판매량 = 열생산량, 열생산량 = CHP생산량 + HOB생산량 + INC생산량이므로

$$\begin{aligned} \circ \text{열판매손익} &= \text{CHP열생산량} \times (\text{열판매단가} - \text{CHP열생산단가}) + \text{HOB열생산량} \\ &\quad \times (\text{열판매단가} - \text{HOB열생산단가}) + \text{INC열생산량} \times (\text{열판매단가} - \text{INC열생산단가}) \\ &= \text{CHP가동손익} + \text{HOB가동손익} + \text{INC가동손익} \end{aligned}$$

CHP 열생산량 = Q1, HOB 열생산량 = Q2, INC 열생산량 = Q3
 열판매단가-CHP열생산단가 = CHP 생산단위당 손익 = R1
 열판매단가-HOB열생산단가 = HOB 생산단위당 손익 = R2
 열판매단가-INC열생산단가 = INC 생산단위당 손익 = R3 라 두면,
 R1, R2, R3 및 Q3는 열공급량에 따라 변함이 없으므로

$$\begin{aligned} \circ \text{총 열판매손익 } R &= Q_1 \times R_1 + Q_2 \times R_2 + Q_3 \times R_3 \\ \circ \text{열판매 손익증감 } \Delta R &= \Delta Q_1 \times R_1 + \Delta Q_2 \times R_2 \quad \text{--- (1)} \end{aligned}$$

총생산가능량 = QP,
 CHP 열생산담당비율 = α ,
 HOB 열생산담당비율 = β ,
 INC 열생산담당비율 = γ 라 두면
 CHP 생산능력이 포화상태에 도달할 때까지 HOB의 생산담당비율은 일정하므로

$$\begin{aligned} \circ Q_2 &= \beta \times Q_P \\ \circ \Delta Q_2 &= \beta \times \Delta Q_P \quad \text{--- (2)} \end{aligned}$$

총생산비율은 일정하므로 $\alpha + \beta + \gamma = C$ (일정).
 $\alpha = Q_1/Q_P$, $\beta = Q_2/Q_P$, $\gamma = Q_3/Q_P$ 이며, β 및 Q_3 는 일정하므로

$$\begin{aligned} \circ Q_1 &= C \times Q_P - \beta \times Q_P - Q_3 \quad \text{--- (3)} \\ \circ \Delta Q_1 &= C \times \Delta Q_P - \beta \times \Delta Q_P = (\alpha + \gamma) \times \Delta Q_P \quad \text{--- (4)} \end{aligned}$$

(2), (4)를 (1)에 대입하여 정리하면,

$$\begin{aligned} \circ \Delta R &= (\alpha + \beta) \Delta Q_P \times R_1 + \beta \times \Delta Q_P \times R_2 \\ &= \Delta Q_P ((\alpha + \gamma) R_1 + \beta \times R_2) \quad \text{--- (5)} \end{aligned}$$

(4)에서
 $\Delta Q_P = \Delta Q_1 / (\alpha + \gamma)$ 이므로

$$\circ \Delta R = \Delta Q_1 (R_1 + \beta / (\alpha + \gamma) R_2)$$

따라서, $(R_1 + \beta / (\alpha + \gamma) R_2) > 0$ 일 때, 즉, CHP생산량의 증가에 따른 수익의 증가량이 HOB 생산량의 증가에 따른 수익의 감소량보다 클 경우, 열판매손익은 CHP생산량 증가에 비례하며 CHP 생산량은 생산용량에 의하여 제한되므로 CHP를 최대한 가동하였을 때 열판매손익은 최대가 된다.

이 때의 열공급량 $Q = Q_P / (\alpha + \beta + \gamma)$, 식(3)에서 $Q_P = (Q_1 + Q_3) / (C - \beta)$, $Q_1 = \text{CHP용량(G/h)} \times 8760\text{h/y}$,

$$\circ Q = (\text{CHP용량(G/h)} \times 8760\text{h/y} + Q_3) / (C - \beta), \text{ 여기서 } C = \alpha + \beta + \gamma$$

CHP생산이 한계에 달한 후 CHP생산량은 그대로 둔채 HOB생산량만을 증가시켜 나갈 경우
 $\Delta Q_1 = 0$ 이므로 식(2)에서

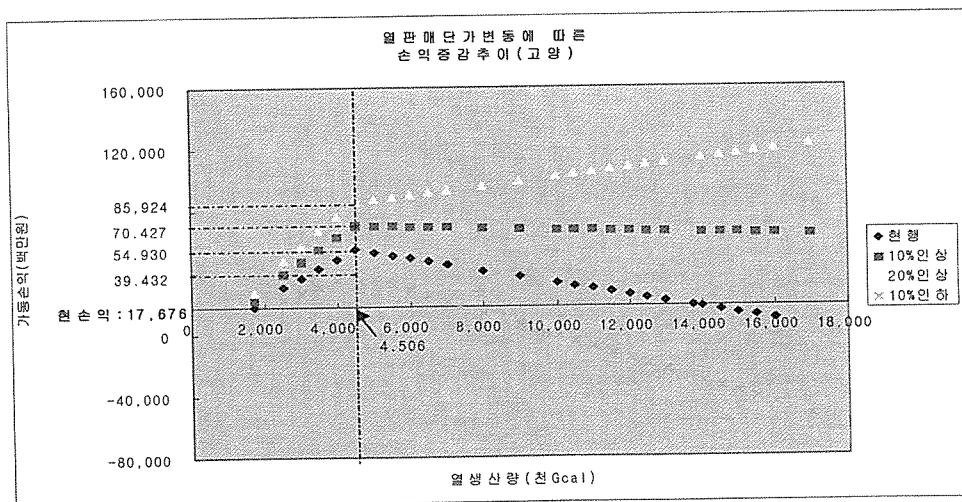
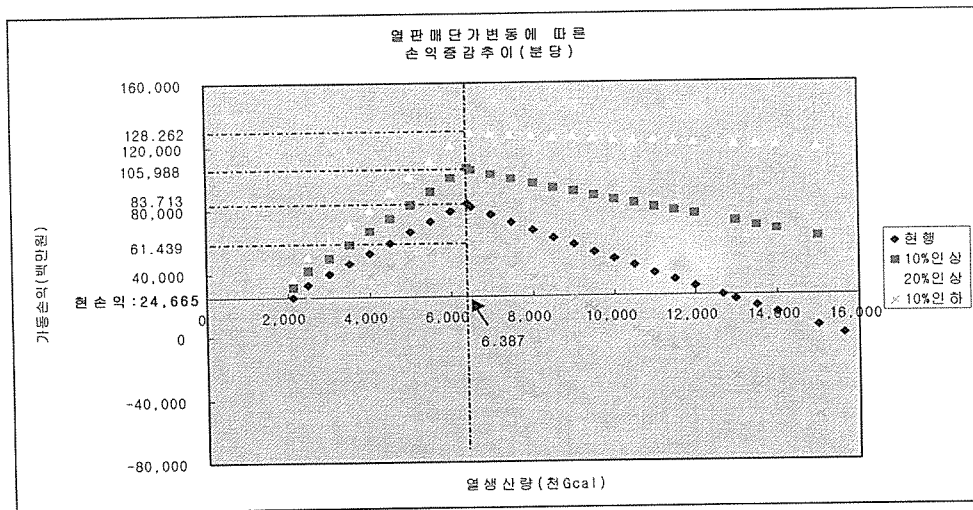
$$\Delta R = \Delta Q_2 \times R_2$$

따라서 $R_2 > 0$ 일 경우 HOB생산량 증가에 비례하여 열판매 손익이 증가하게 되며 $R_2 < 0$ 일 경우는 HOB생산량이 증가할수록 손익은 감소하게 된다.

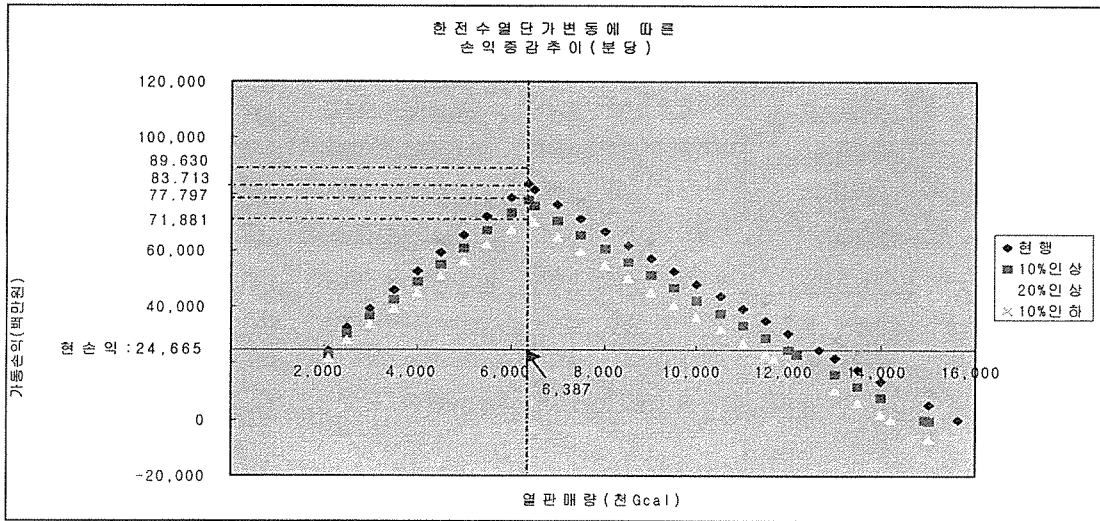
결론적으로 열판매단가가 HOB생산단가보다 더 클 경우에는 CHP생산용량에 상관없이 생산량이 증가할수록 이익이 크나, 열판매단가가 현행처럼 CHP생산단가와 HOB생산단가의 사이에 위치할 경우에는 CHP생산량의 증가에 따른 수익의 증가량이 HOB 생산량의 증가에 따른 수익의 감소량보다 클 경우 CHP를 최대한 가동하여 생산하였을 때 열판매손익은 최대가 되며 그렇지 못할 경우에는 생산량의 증가가 도리어 손익의 감소를 가져온다.

<그림8>, <그림9>은 각각 분당과 일산 CHP를 대상으로 손익의 주요결정요인인 열판매단가, 한전수열단가, HOB 연료단가에 따른 손익변동추이를 나타낸 것이다. 열판매단가가 HOB생산단가보다 높을 경우를 제외하고는 손익의 크기에는 차이가 있으나 손익이 최대가 되는 열공급량은 모두 동일함을 알 수있다. 이 경우 손익이 최대가 되는 열공급량은 분당이 6,837천Gcal, 고양이가 4,506천Gcal로 산정되며 이 값은 현재 열공급량의 약3배수준이다.

<그림8 열판매단가변동에 따른 손익증감추이>



<그림9 한전수열단가변동에 따른 손익증감추이>



4. 맺음말

현재의 집단에너지 사업추진 여건은 '90년대초 수도권 신도시사업 추진때와는 많이 달라졌다. 대규모민지개발이 감소함에 따라 택지개발도 소규모로 이루어지는 추세이며 환경에 대한 관심고조와 그에 따른 낭비현상으로 열원시설입지가 점점 어려워지고 있으며 단독으로 CHP건설 등 막대한 투자비가 적자의 원인이 되고 있다. 이에 따라 일각에서는 집단에너지사업의 확대보급이 한계에 달했다는 분석도 나오고 있다.

그러나, 대규모 신규택지구 위주의 기존의 사업확대 방식을 탈피하여 기건설된 시설을 활용하여 열수요 밀집지역에 열공급을 확대하는 방향으로 눈을 돌린다면 이러한 문제점을 극복하고 집단에너지 보급에 따른 공해감소와 에너지절감 및 사용자 편익증진 등 여러효과를 얻을 수 있다. 기건설된 CHP를 중심으로 한 네트워크에 쓰레기소각장 및 빌딩군 CES와 연계하여 향후 소규모택지개발, 도심 재개발사업지역에 공급하는 등 확대보급의 여지는 충분하다. 피크부하가 분산됨에 따라 건설투자비가 감소하며 소규모 수요지역 인접시설 건설로 낭비현상완화도 가능하다.

또한 대략적인 위 분석에 따르면 수도권 지역의 CHP의 기저부하 공급능력은 현재 공급량의 약3배로서 추가적인 수요개발은 곧 집단에너지사업자의 수익증가로 이어진다고 볼 수 있다.

향후 본 분석은 현실적인 투자비 고려, 생산량 증가에 따른 규모의 경제 및 네트워크를 통한 열원시설간 연계 등의 효과를 반영하여 보강되어야 하겠지만 기본적인 결론에는 변함이 없을 것이다. 수도권 네트워크화는 공급의 경제성과 안정성을 보장함은 물론 기존시설의 이용률을 높여 열수요 밀집지역에 집단에너지 확대공급을 가능하게 하여 환경친화적이며 편리한 에너지보급으로 국가적인 이익에 기여하며 집단에너지사업자의 수익성도 향상시키므로 장기적인 전망을 가지고 단계적으로 추진해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. '91~'97년도 운영실적 통계, 한국지역난방공사 시설운영처, 1998
2. 1999년도판 경영통계, 한국지역난방공사, 1999