

環境産業의 경제성평가 모델: 난방시스템을 中心으로

김 종 달* · 조 전 혁**

〈目 次〉

- | | |
|---------------|----------------|
| I. 머리말 | IV. 최적난방시스템 도출 |
| II. 경제성 평가 모델 | V. 결 론 |
| III. 실증분석 | |

요 약

본 연구는 다양한 변수에 따라 달라지는 환경산업의 경제성을 비교평가하는 모델을 개발한 것이다. 최근 환경산업으로 부각되고 있는 지역난방과 개별가스난방사업

· 본 연구는 '95학년도 경북대학교 공모과제 연구비의 지원으로 이루어졌음. 에너지경제연구원, 통산 산업부, 한국도시가스협회, 한국지역난방공사의 지원과 두 명의 논문 심사위원의 의견에 감사드린다.

* 경북대학교 경제통상학부 교수

** 인천대학교 경제학과 교수

을 사례로 모델을 실증적으로 적용하여 시뮬레이션하였다. 열병합발전과 보조보일러 및 쓰레기 소각로로 구성된 지역난방시스템과 소각로와 개별 가스보일러로 구성된 개별난방시스템을 각각 최적화하고 최저비용을 구하여 비교한 것이다. 분석대상에 쓰레기소각로를 첨가함으로써 매립에서 소각으로 바뀌는 쓰레기정책을 반영하였으나 소각로 규모는 사전에 열공급과는 무관하게 결정되므로 다른 시스템과 연계하여 최적화 하지 않고 600톤/일의 규모로 정하여 분석하였다. 최적화하는 경우는 훨씬 규모가 줄어드는 것으로 나타났다.

국가경제적인 측면에서 다양한 난방방식에 따른 규모별, 열원별, 지역별(기후별), 사용연료별로 경제성과 환경성을 비교평가함으로써 변수의 변화에 따른 합리적인 난방방식 및 사용연료를 선택하도록 하였다. 환경배출량도 동시에 비교하였으나 시나리오 간에 크게 차이가 나지않아 비교에는 포함시키지 않았다. 이 모델은 난방사업 뿐만 아니라 갈등이 예상되는 다른 환경산업들을 평가하는데도 용이하게 활용될 수 있도록 GAUSS프로그램으로 개발되어 있다.

I. 머 리 말

석유, 석탄과 같은 기존 화석연료의 사용증가에 따라 SO₂, NO_x 등과 같은 지역 대기오염문제와 CO₂ 증가로 인한 지구온난화현상이 심화됨에 따라 국내외적으로 이들 연료에 대한 규제가 강화되고 있다. 한국에서도 난방 및 급탕에 소비되는 석유, 석탄 연료사용을 대도시부터 규제하기 시작함에 따라 지역난방 또는 가스난방 방식이 크게 보급되고 있다.

지역난방사업은 목동 신시가지와 서울화력발전소 주변지역인 여의도, 동부이촌동, 반포지역의 아파트 등에 공급하기 시작하여 분당, 평촌, 산본, 일산, 중동 신도시와 서울의 수서, 가양 방화지구에 도입되어 열을 공급하고 있으며 대구, 청주를 시작으로 전국적으로 공급될 전망이다. 마찬가지로 中央集中暖房方式 共同住宅의 LNG 사용의무화와 천연가스공급망이 전국적으로 확산됨에 따라 개별가스난방 방식도 빠

른 속도로 보급되고 있다.

지역난방사업과 가스난방방식은 난방용 에너지需要處에의 공급을 둘러싸고 경쟁이 발생하고 있고, 특히 공급권역과 역할분담이 명확하지 않은 경우에는 더욱 심화될 것으로 예상되고 있다. 江南·瑞草地域이 도시가스공급망 공사를 하고 있는 도중에 새로이 지역난방 공급지역으로 지정됨으로써 동일지역에 난방용 공급배관의 二重設置가 이루어져 국가재원의 낭비가 발생했다. 부산 해운대지구와 광주 상무대신도시지역은 난방방식을 둘러싸고 지방자치단체와 중앙정부, 도시가스사업자와 지역난방사업자간에 입장이 크게 달라 사회적 갈등과 비용 발생을 초래했다.

난방시스템은 규모, 사용연료 및 다른 시스템(예, 쓰레기 소각로)과의 연계에 따라 매우 다양한 형태의 경우가 가능하다. 이러한 다양한 사업 중에서 현실적으로 가장 기본적이며 보편적일 것으로 예상되는 방안을 대상으로 경제성을 분석한다. 즉, 쓰레기소각로, 열병합발전(cogeneration)시설과 열전용보일러 시설로 구성된 지역난방시스템과 쓰레기소각로와 개별 난방이 설치되는 경우이다. 소각로는 지역난방에서는 열병합발전과 하나의 연계시스템을 이루고 개별난방의 경우는 분리되어 단순히 병존하여 소각열은 건물부문에 우선적으로 공급되고 나머지 열을 주택부문에 공급한다. 두 대안의 평면적인 분석이 아니고 각각 자체내에서 최적화를 이루고 난 후에 평가한다. 다만 쓰레기소각로는 최적화하지 않은 상태에서 사전에 규모가 쓰레기정책 차원에서 사전에 결정된 경우만 고려하여 지역난방이나 개별난방 공히 소각로의 규모는 동일하게 들어가는 것(600톤/일)으로 가정하였다. 소각로가 난방시스템에 첨가되는 경우는 현재는 모두 이런 방식으로 설치되고 있으나 목동의 경우와 같은 비효율성을 최소화하기 위해서는 사전에 최적화하는 작업이 반드시 필요한 실정이다. 최적화하면 규모가 많이 줄어드는 것으로 나타난다. 지역은 난방도일에서 대조적으로 차이가 나는 서울, 부산 등을 대상으로 분석한다.

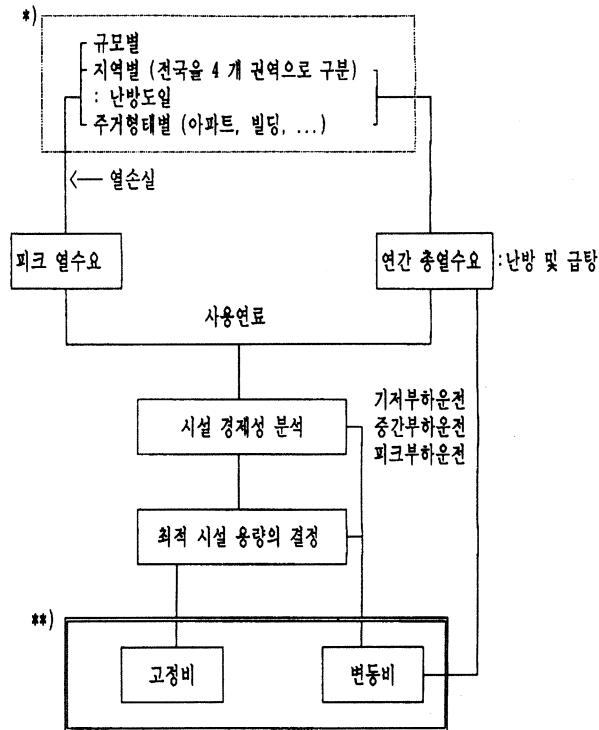
II. 경제성 평가 모델

1. 경제성분석방법론

경제성분석은 일정규모의 시설에 요구되는 지역난방사업 및 개별난방사업의 열수요를 만족시키기 위한 변동비 및 고정비를 구하여 현재가치로 연금화하여 이들 각각의 총비용과 평균비용을 비교한다. 개발면적, 밀도, 토지이용구성 및 기후조건에 따른 시간대별, 연간 열수요곡선을 구한 다음 이 열수요를 만족시키는 시스템별로 최적의 열발생설비의 조합을 구하여 경제성분석을 실시한다. 난방시스템은 다양한 난방방식, 열발생시설, 열원구성, 사용연료, 지역의 기온변화에 따른 열수요량 등이 존재함에 따라 시스템별로 최적화하면서 모든 비용을 각각 산출하여 비교한다는 것은 어려운 과제다. 따라서, 시나리오별로 경제성을 평가하기 위해서는 우선 난방지역의 기후조건 등을 감안하여 최적(최소비용)의 지역난방시스템과 개별난방시스템이 무엇인지를 결정한 후, 이들을 기준으로 비교하는 평가모델을 개발한다. 이 모델을 변형시키면서 다양한 시나리오들을 평가하도록 하여 시나리오의 조건에 따른 최적대안을 선별한다.

경제성분석 흐름도를 보면 먼저 최대열공급량을 결정하는데 있어서 지역별 난방도일(Heating Degree Days) 자료와 열공급 검토지역의 규모 및 주거형태에 따라 외기온도가 가장 낮은 날의 열공급 필요량으로 계산한다. 이러한 최대열공급량을 토대로 난방 시스템의 전체시설규모가 정하여진다. 이와 같이 전체시스템의 규모가 정하여지면 시설비와 변동비를 고려한 각 열발생설비의 최적시설용량이 결정된다.

<그림 1> 경제성 분석 개요도



*) + **) ==> 검토지역에서의 총열생산비용 및 평균비용 계산

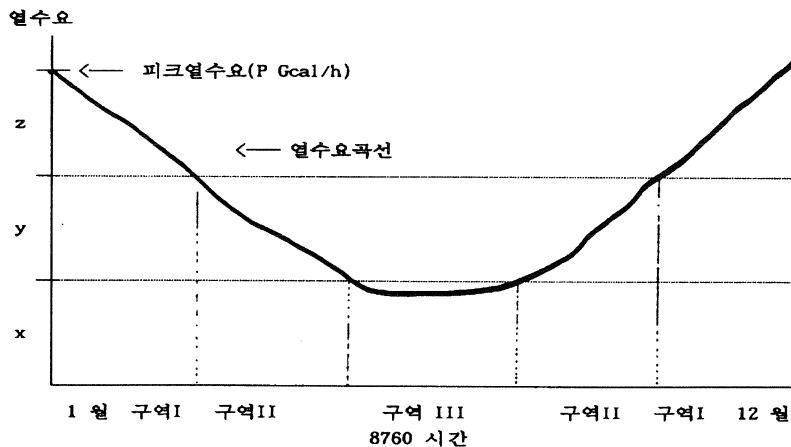
2. 최적 지역난방시스템

지역난방시스템을 구성하고 있는 일반적인 열원설비는 열병합발전시설, 쓰레기소각로 그리고 열전용보일러의 세가지로 구성된다. 이들 중 쓰레기소각로는 연중 가동되므로 基底熱負荷 運轉의 용도로, 열병합발전은 연중 가동되나 여름철은 배열을 스팀터빈발전용으로 조정 사용될 수 있으므로 中間熱負荷 용도로 사용된다. 마지막으로 열전용보일러는 겨울철과 같이 열수요가 가장 많은 겨울에 추가로 필요시 이

용되는 尖頭(peak)熱負荷 운전용도로 가동된다.

지역난방시스템의 열원설비 구성은 첨두열부하를 만족시키는 규모에서 결정되어야 한다. 최대수요의 발생은 난방면적의 규모, 개발밀도, 토지이용 구성(주거, 산업, 상업용지 등)에 따라 다르며 계절별, 시간대 별로도 달리 발생한다. 이들 변수의 변화에 따른 열수요, 즉 최대수요를 추정하여 여기에 따라 각각 열발생설비가 열공급을 담당하여야 하는 비율로 배분한다. 이 용량을 만족시키면서 열설비 규모의 경제성, 내구연수, 변동비용 등을 모두 고려한 경제성차원에서 가장 뛰어난 열원의 조합을 찾아낸다. 주어진 열수요곡선을 만족하면서 고정비 및 변동비를 모두 고려한 총비용을 극소화시키는 열원구성의 산출방법을 택하고 열원설비구성(내구연수)에 따라 달라지는 비용의 흐름을 연금화(annualize)하고 이러한 연금화된 총비용을 극소화하는 열원구성의 최적비율을 산출하는 방법을 택한다. 이때 각 조합별 환경성(오염물질별 총배출량)을 비교할 수 있도록 한다. 우리나라의 외기온도의 계절적 패턴을 고려하면 열수요는 <그림 2>와 같은 형태를 보인다.

<그림 2> 연간열수요 곡선



<그림 2>에서 종축은 열수요의 크기를 표시하며 횡축은 일년의 기간을 시간으로

나타낸 것이다. 따라서 열수요곡선의 아래 부분의 합은 연간 총열수요량이 된다. 열수요곡선으로부터 얻어진 침두열수요량은 P Gcal/h라고 하자. 침두열수요량을 만족하는 쓰레기소각로, 열병합발전 및 보조보일러의 구성비율을 각각 x, y, z라고 한다면,²⁾ 이들 열원설비의 용량은 각각 Px Gcal/h, Py Gcal/h 그리고 Pz Gcal/h가 될 것이다. 각 열원설비의 용량이 결정되면 열원설비의 조합에 대한 고정비용은 명시적으로 산출된다.

한편, 주어진 열원장치의 조합에 따른 변동비는 열수요에 따른 운전양식에 따라 결정된다. 그림-1의 구역Ⅰ에서는 쓰레기소각로, 열병합발전 그리고 보일러가 모두 운전된다. 구역Ⅱ에서는 쓰레기소각로와 열병합발전, 두 가지의 열원장치가 그리고 구역Ⅲ에서는 쓰레기 소각로만 운전된다. 이러한 운전양식에 따라 우리는 각 시점에서 각각의 열원장치가 주어진 난방수요를 만족시키기 위하여 발생하는 변동비용을 계산할 수 있다.

따라서 고정비용과 변동비용을 현가화된 연간비용의 개념으로 정리함으로써 비교 가능한 총비용을 계산할 수 있다. 현가화된 연간총비용(Present Value of Annualized Total Cost : PVATC)을 수학적인 기호로 표시하면 다음과 같다.

$$PVATC = FC_1(Px) + FC_2(Py) + FC_3(Pz) + \sum_{t=1}^{8760} [VC_1(\min[Px, g(t)]) + VC_2(\min[Py, \max[g(t) - Px, 0]]) + VC_3(\min[Pz, \max[g(t) - Px - Py, 0]])]$$

이 식에서 $FC_1(Px)$, $FC_2(Py)$, $FC_3(Pz)$ 는 각각 용량 Px , Py , Pz 의 쓰레기 소각로, 열병합발전, 보조보일러를 설치하는데 드는 고정비용을 표시한다. 한편, $VC_1(\min[Px, g(t)])$, $VC_2(\min[Py, \max[g(t) - Px, 0]])$, $VC_3(\min[Pz, \max[g(t) - Px - Py, 0]])$ 는 각각의 열설비들을 운전할 때 발생하는 변동비용을 표시한다. 여기에서 $g(t)$ 는 각각의 시점에 있어서 열수요를 나타내는 것으로 <그림 2>의 열수요곡선의 높이에 해당한다.

2) 여기에서 $x+y+z=1$ 이 성립된다.

지역난방시스템의 변동비용산식은 약간 복잡한데 이는 몇 가지의 경우의 수를 고려하여야 하기 때문이다. 가장 간단한 경우로 임의의 시점 t 의 열수요가 쓰레기소각장 운전으로 충분한 경우가 있다. 이 경우는 $g(t) \leq P_x$ 에 해당하는데(그림의 구역 III) 쓰레기소각장 외에 다른 열설비는 운전되지 않는 경우이다. 이 때의 변동비용은 $VC_1(g(t))$ 가 된다. 다음으로 고려되는 경우는 쓰레기소각장과 열병합발전으로 열수요를 감당할 수 있는 경우이다. 이를 수식으로 표시하면 $P_x < g(t) \leq P_x + P_y$ 인 경우인데(그림의 구역 II), 이 때에도 쓰레기소각장은 100% 운전되며 열병합발전은 그 나머지의 열수요를 충당하기 위하여 운전된다.

마지막으로 모든 열원설비들이 운전되어야 할 경우인데 이를 수식으로 표시하면 $P_x + P_y < g(t) \leq P_x + P_y + P_z$ 의 경우이다. 이 경우의 변동비용은 $VC_1(P_x) + VC_2(P_y) + VC_3(g(t) - P_x - P_y)$ 가 된다. 이러한 경우를 고려할 때 임의의 시점 t 에서의 변동비용함수는 앞의 식에서 처럼

$$VC_1(\min[P_x, g(t)]) + VC_2(\min[P_y, \max[g(t) - P_x, 0]]) \\ + VC_3(\min[P_z, \max[g(t) - P_x - P_y, 0]])$$

와 같이 유도된다.

위 식에서 보면 열수요곡선 $g(t)$ 는 각 시점에서 주어진 파라미터이며 각 열원설비의 가동량은 그 열원설비의 용량(P_x, P_y, P_z)과 열수요곡선을 비교하여 결정한다. $P_x = x \cdot P, P_y = y \cdot P, P_z = z \cdot P$ 임을 감안하면 허가화된 연간총비용(PVATC)은 각 열원설비의 열수요부담가중치 x, y, z 의 함수, PVATC(x, y, z)임을 알 수 있다.

따라서 우리가 앞에서 설명한 최적지역난방시스템의 구성을 위한 열발생장치들의 최적조합을 결정하는 문제를 수학적으로 표시하면 다음과 같은 제약조건하에서 비용극소화의 문제로 요약된다.

$$\text{Minimize } PVATC(x, y, z) \\ \text{s.t. } x + y + z = 1$$

이 문제는 경제학적으로는 결합생산의 비용극소화 문제와 동일한 구조를 가진다. 따라서 수학적으로 이 최적화문제는 유일한 해를 가진다. 이 문제의 해를 구하기 위해서는 주어진 열수요곡선하에서 각각의 열원설비의 비율 x, y, z 를 일정율로 변화시키는데 따라 계산되는 연간총비용을 추정하는 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다.

이상의 비용극소화 문제의 해를 (x^*, y^*, z^*) 라고 할 때 最低 現價年間固定費用 $FC_1(Px^*), FC_2(Py^*), FC_3(Pz^*)$ 는 무엇보다도 첨두열수요에 큰 의존성을 보인다. 한편, 最低現價年間變動費用 $VC_1(\min[Px, g(t)], VC_2(\min[Py, \max[g(t) - Px, 0]]), VC_3(\min[Pz, \max[g(t) - Px - Py, 0]])$ 는 첨두열수요 P 와 열수요곡선의 모양을 나타내는 파라미터인 $g(t)$, $i=1, 2, 3$ 에 큰 의존성을 가진다. 물론 이들 최저 현가고정비용 및 변동비용은 각각의 비용항목들이 가진 고유한 파라미터들과 서로 공유하고 있는 파라미터들, 예를 들어 연료비, 수송손실율, 할인율 등의 요인에도 영향을 받는다.

첨두열수요 및 열수요곡선은 난방을 고려하는 열밀도, 토지이용구성과 기상자료로부터 비교적 정확하게 얻어진다. 이들 자료와 각각의 열원설비를 운전할 때 투입되는 투입물의 비용을 이상에서 구한 현가연간총비용함수의 파라미터로 산입한 후 최적화문제를 풀 경우, 특정한 난방고려지역에서의 최적현가연간총비용함수, $PVATC(x^*, y^*, z^*)$ 를 구할 수 있다.

3. 최적 개별난방시스템

개별 난방시스템의 구성은 상대적으로 단순하다. 특히, 조합이 단 한 가지뿐일 경우, 즉, 아파트 또는 기타 상업용, 공공용 건물들이 모두 개별보일러에 의하여 난방 또는 취사를 할 경우는 난방시스템의 비용계산이 간단하다. 그러나 쓰레기 소각로가 첨가되어 소각열로 아파트 이외의 건물에 난방을 제공할 경우에는 건물에 개별적으로 보일러를 설치할 경우와 소각열을 이용하는 경우를 비교하여 비용을 최소화하는 소각로 규모 및 건물보일러 규모를 도출하여야 한다. 그러나 이러한 최적화 방법은

기본적으로 최적지역난방 방식의 선택문제와 동일하다. 즉, 첨두열수요량 P Gcal/h 를 만족하는 쓰레기소각로, 개별보일러의 구성비율을 각각 x, y , 라고 한다면, 이들 열원설비의 용량은 각각 Px Gcal/h 그리고 Py Gcal/h가 된다. 쓰레기 소각열이 기저부하를 담당하며 나머지 열수요를 개별난방이 모두 담당하는 것이 된다. 각 열원설비의 용량이 결정되면 열원설비의 조합에 대한 고정비용은 명시적으로 산출된다. 여기에서도 개별난방시스템의 열원장치 운전에 따른 총비용을 현가화된 연금개념으로 파악한다. 식으로 표현하면,

$$PVATC = FC_1(Px) + FC_2(Py) + \sum_{t=1}^{8760} [VC_1(\min[Px, g(t)]) + VC_2(\min[Py, \max[g(t) - Px, 0])]$$

이 식에서 $FC_1(Px)$, $FC_2(Py)$, 는 각각 용량 Px, Py , 의 쓰레기 소각로, 개별보일러를 설치하는데 드는 고정비용을 $VC_1(\min[Px, g(t)])$, $VC_2(\min[Py, \max[g(t) - Px, 0])$ 는 변동비용을 표시한다. 따라서 앞에서 설명한 최적지역난방시스템의 구성을 위한 열발생장치들의 최적조합을 결정하는 문제를 수학적으로 표시한 것과 동일하게 여기에서도 다음과 같은 제약조건하에서 비용극소화의 문제로 요약된다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } PVATC(x, y) \\ & \text{s.t. } x + y = 1 \end{aligned}$$

개별난방의 경우 소각열에 의한 아파트 이외의 건물에 난방을 할 경우는 주어진 소각열을 이용하고 난 나머지 건물에 대하여 개별 건물보일러가 설치되는 것을 전제로 하여 최소비용이 도출 된다. 개별난방의 고정비 계산은 건물용도를 사용하는 보일러의 종류에 따라 크게 아파트와 기타 용도 건물로 구분하고 각각의 경우에 대해 초기투자비용을 계산한다. 먼저 아파트의 경우는 가정용 가스보일러를 사용하며 평균적으로 아파트의 평수를 33평(100m²)으로 간주하여 개발지역의 가구 수를 구한 후 평균 보일러 가격을 곱하여 아파트의 초기투자비를 구하고 가정용 가스보일러의 내구연한(10년)을 고려하여 이를 연금화 하여 연간 고정비를 구한다. 기타 건

물의 경우에는 평균적으로 약 38만 Kcal 당 건물용 가스보일러 한대를 설치하는 방법으로 건물별 Peak 열부하에 대해 초기투자비용을 구하고 건물용 가스보일러의 내구연한(15년)을 고려하여 이를 연금화하여 연간 고정비용을 구한다.

개별난방의 변동비의 계산에 있어서도 아파트와 기타용도의 건물에서 고려해야하는 비용요인이 차이가 있기 때문에 이를 구분하여 Gcal 당 변동비용을 계산하고 연간 열수요량을 고려하여 연간 총변동비용을 계산한다. 이상에서 계산된 연금화된 고정비용과 연간 총변동비용을 합하여 개별난방의 연간 총비용을 구하고 이를 연간 열수요량으로 나누어 연간 평균비용을 구한다.

이상에서 서술한 방법을 통하여 지역난방시스템과 개별난방시스템에 있어서 각각의 최적 현가연간총비용을 구한 후 이를 비교하는 방식으로 두 난방시스템의 경제성 분석을 한다.

Ⅲ. 실증분석

1. 열수요곡선의 추정

열수요는 연간 총수요 및 피크열수요로 구분하여 추정하며, 공급시설규모의 결정(고정비 추정)은 피크수요에 따라 이루어진다. 이들 열수요곡선의 도출은 여러 단계에 걸쳐 일어난다. 첨두 열부하(PK) 및 공급 열부하(SPL)를 식으로 표시하면 아래와 같다.

$$PK = \text{sum}(BPL) \quad (1)$$

$$BPL = CP \times BR \times HR \times UH \quad (2)$$

BPL: 각 건물의 첨두 열부하

CP: 건축 연면적 (토지이용구성에 따라 달라지며 용도별로 구분하여 계산)

BR: 용도별 난방 면적률(난방면적 = 건물용도별 건축연면적 X 난방면적률이 됨)

HR: 용도별 열 부하율

UH: 용도별 단위 열부하

단위 열부하는 난방부하와 급탕부하로 구분되며 건물용도별 기준을 달리 적용한다. 난방부하는 설계기준 외기온도에서 설계기준 실내 온도를 유지시키는데 필요한 열량을 의미하며 급탕부하는 급탕용 온수공급을 위해 필요한 열량을 의미한다.

$$SPL = (PK \times CP / (1 - HL)) \quad (3)$$

CP: 동시부하율

HL: 수송열 손실율

개별난방의경우 동시부하율을 적용할 수 없으므로 공급열부하는 첨두열부하와 동일하다.

연간 열수요(AHD)아래 식과 같이 추정하였다. 연간 열수요량이 변동비의 크기를 결정한다.

$$AHD = \text{sum}(MSPL) + BL$$

MSPL: 각 건물의 외기온도별 열수요량

BL: 기저 급탕용 열수요량

(난방을 사용하지 않는 하절기에도 급탕용 열수요는 발생하므로 이를 고려)

$$MSPL = [(\ln Tmp - \text{OutTmp}) / (\ln Tmp - \text{MinTmp})] \times TmpHr \times PK$$

InTmp: 설계기준 실내온도

OutTmp: 외기온도

MinTmp: 설계기준 외기온도

TmpHr: 연간 열공급시간(외기온도일수 X 24)

일년을 8,760시간으로 환산 최근 10년간의 기상자료를 이용하여 외기온도별 열부하의 PEAK열 부하에 대한 백분율을 적용한다. 이와같은 방법으로 피크 열수요 과 연간 열수요를 구하여 그림으로 표현하면 <그림 2>와 같다. 열수요곡선의 실증

추정에 이용된 주요 자료와 계산방법은 아래와 같다.

난방면적은 건축연면적을 기준으로 용도별 건축물의 난방면적 비율을 곱하여 구한다. 건축연면적은 신규 택지개발지구의 경우 토지이용계획에 따라 건축연면적을 추정하기 위해 한국토지개발공사, 대한주택공사 등 택지개발사업자의 “택지개발계획 관련서류”상에 명시되어 있는 건축용도별 용적율을 기준으로 한다. 개발면적에 따라 토지이용의 구성이 다르며 최대 열수요 및 연간 열수요량에 영향을 미친다. 토지이용의 구성은 일반적으로 100㎡, 1000㎡ 를 기준으로 달라지며 분석에 적용된 개발면적규모별 토지이용 구성율은 <표 2>와 같다. 개발면적이 커질수록 주택건설 용지는 감소하고 상업업무시설이나 기타용지면적은 늘어나는 경향을 알 수 있다. 한 개 지역을 대상으로 구체적으로 분석을 하려면 아래표와 다른 토지이용구성율을 적용하면 된다. 토지이용구성은 열밀도에 영향을 미치므로 적정 토지이용의 구성은 열원구성의 경제성에 많은 영향을 미친다. 또한 토지이용형태에 따라 교통수요도 달라진다. 적절한 토지이용구성은 에너지절약을 원천적으로 달성시킬 수 있는 주요한 수단이 된다. 이러한 토지이용구성율 및 용적율을 기준하여 난방면적을 산출한다.

난방 설계기준 외기온도는 열부하를 분석하는데 가장 주요한 요소로서 낮게 설정할수록 안전하지만, 빈도가 낮게 나타나는 저온도를 설계기준 외기온도로 정했을 경우 난방부하를 과도하게 증가시킬 우려가 있다. 건설부 고시에 나타난 건축물 에너지절약 설계기준을 적용한다.

<표 1> 토지이용 구성을

(단위 : %)

구 분		10,000,000m ² 이상	1,000,000- 10,000,000m ²	1,000,000m ² 이하	비 고
주택 건설 용지	단독주택	6.1	3.6	5.4	*연립주 택포함
	연립주택	4.9	-	-	
	아파트	23.3	*44.8	*55.9	
소 계		34.2			
상업 업무 용지	근린생활시설	0.5	0.3	2.0	
	상업시설	4.4	3.9	-	
	업무시설	5.2	-	-	
소 계		10.1	4.2	2.0	
공공 시설 용지	교육시설	4.0	8.6	6.0	
	종교시설	0.5	0.5	-	
	공용의 청사	0.9	1.6	6.0	
	자동차정류장	0.3	0.6	-	
	문화시설	0.2	0.5	-	
	종합병원	0.3	-	-	
소 계		6.2	11.8	6.6	
기타	도 로	19.2	17.1	16.9	
	광 장	0.5	0.5	-	
	공원·녹지	19.1	11.1	9.3	
	기 타	10.7	6.9	3.9	
소 계		49.5	35.6	30.1	
합 계		100.0	100.0	100.0	
참 고		분 당 일 산	고양 능곡 고양 행신 고양 화장 수 서	고양 탄현 고양 성사 고양 증산	

<표 2> 난방설계 기준 외기온도

지 명	서 울	부 산	대 전	대 구
온 도	-12.0℃	-5.3℃	-9.0℃	-8.2℃

* 자료 : 사무소 건축물의 에너지 절약 설계기준: 건설부 고시 제 695호, 1988. 12. 20.

난방도일은 설계기준 실내온도와 일평균 외기온도와의 차를 전 난방기간에 걸쳐 누산한 값으로 D18-18은 외기온도가 18℃이하가 되면 18℃까지 난방되어야 한다는 개념이며, D20-16도 마찬가지이다. 전자는 간헐난방의 경우에, 후자는 연속난방의 경우에 주로 사용된다.

$$\text{난방도일 (HDD)} = \sum(18 - \text{일평균 기온}), (\text{일평균 기온} < 18\text{도인 경우})$$

난방도일 계산의 기본은 일평균기온인데 일평균기온 측정방법에 따라 많은 차이가 나기때문에 난방도일에 대한 정확한 개념이 아직 정립되어 있지 않다. 종래는 하루 최고, 최저기온의 합을 나눈값을 사용해 오고 있으나 정확도가 많이 떨어진다. 본 연구에서는 6시간 간격으로 측정한 값을 산술평균하여 일일 평균기온을 구하였다. 일평균 외기온도는 1983-1990년 8년간을 누계로 합산한 값을 평균하여 1년에 대한 값으로 환산하여 이용하였다. 자료에 나타나 있는 빈도일수에 기초하여 난방도일을 구하였다.

단위 열부하는 설계기준 외기온도에서 설계기준 실내온도를 유지시키는데 소요되는 단위면적당, 단위시간당 필요열량으로 단위 난방부하와 단위급탕부하로 구별할 수 있다. 서울지역을 기준으로 하여 각 지역별로 <표 7>의 값을 이용한다.

<표 3> 단위 열부하

(단위 : Kcal/hm²)

건물용도	단위난방 부 하	단위급탕 부 하	단위열 부 하 (서울)	단위열 부 하 (대전) *	단위열 부 하 (대구) *	단위열 부 하 (부산) *
공동주택	49 55	15	64 70	58 63	56 62	51 55
유치원	76	10	86	78	76	68
상업시설	102	5	107	97	94	85
공공건물	86	13	99	90	87	78
업무시설	86	13	99	90	87	78
호 텔	94	51	145	131	128	115
병 원	105	14	119	108	105	94
학 교	89	2	91	82	80	72
극 장, 집회소	145	1	146	132	129	115
목욕탕	110	80	190	172	167	150

* : 서울지역 단위열부하 × (실내 난방온도-지역별 설계외기온도)/32 에 의해 구한 값임

2. 총비용의 흐름

<그림 2>에서 처럼 첨두 열부하 및 연간 열수요량을 담당하기 위한 열원시설의 조합과 각 열원시설의 규모와 연간 생산량을 구하면 이에 따라 고정비 및 변동비를 구할 수 있게 된다. 각 시스템의 고정비와 변동비를 합하여 현재가치화 한 것이 총비용이 되며 이것을 각각 비교하게 된다. 실제 계산에 사용된 자료는 부록과 같으며 비용계산의 흐름은 아래 그림과 같다.

IV. 최적 난방시스템 도출

열원구성, 사용연료 및 열수요 규모에 따라 각 난방시스템 시나리오의 경제성을 분석하였다. 모든 사업을 사례별로 따로 분석하지 않더라도 본 연구결과만 가지고도 비교평가가 가능하도록 하기 위하여 여러 변수(개발규모, 피크수요, 사용연료, 기온)의 따라 경제성이 변화되는 탄력적인 시물레이션을 실시하였다. 즉, 비용계산은 일정 시설규모를 기준으로하여 규모가 변함에 따라 비용도 달라지는 것으로 시물레이션을 하는데 개발규모가 매우 적은 경우는 모든 시설규모와 고정비나 운영비가 근본적으로 달라질 것이므로 기준 시설자체를 달리하여 비용계산을 한다. 중앙난방과 지역난방시설을 분리하여 비용계산을 달리한 것이 한 예가 된다. 지역난방의 경우는 사용연료를 구분하여 분석하였으나 개별난방의 경우는 천연가스를 사용하는 경우만을 대상으로 분석하였다. 개별난방의 경우도 유류를 사용하는 경우도 많으나 분석대상이 일반주택이 아닌 아파트만을 상정하였기때문에 분석에서 제외시켰다.

시물레이션에 사용된 자료는 각 난방공급회사(예, 지역난방공사, 도시가스회사 등), 여러 관련 엔지니어링회사와 실제 운영되고 있는 사례지역의 시설비 등을 대상으로 구체적으로 분석한 수치들이 이용되었다. 그리고 관련 회사, 정부기관과 여러 번에 걸친 회의에 걸쳐서 최종적으로 타당성있다고 의견일치를 본 후 수치를 컴퓨터 프로그램에 입력하였다.

실제 분석결과는 시나리오별, 지역별로 다양하게 도출하였으나 여기서는 현실성이 가장 높은 시스템의 경우와 서울, 부산의 경우만 소개한다. 즉, 지역난방의 경우는 소각로, 열병합발전, 보조보일러로 구성되나 소각로의 규모가 사전에 주어진 경우(600톤/일 = 21.6563 Gcal/H)이다. 개별난방의 경우도 소각로가 들어오는 경우이며 이 때 규모는 지역난방과 동일하게 가정되었다.

1. 서울

분석결과에 따르면 사용연료가 유류일 경우는 차이가 많이나지 않는데, 서울의 경

우 B-C유와 LSWR의 경우 각각 120만m², 140만m²가 경제성의 분기점으로 나타난다. 이때 총비용은 연료별 각각 50.29억원, 59.72억원(지역난방기준)에 이르며 연간 Gcal당 평균비용은 30,525원, 29,593원에 이른다. 침두부하는 사용연료별로 각각 83.73Gcal/H, 97.68Gcal/H이며 연간 총열수요량은 16만5천 Gcal, 20만2천 Gcal 일 것으로 예상된다.

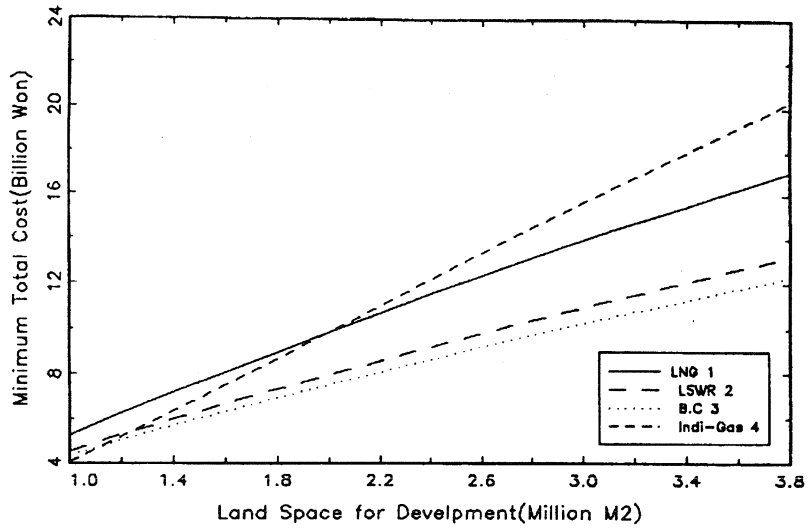
천연가스의 경우 경제성분기점은 유류보다 상당히 높은 개발면적 200만m²이며 이때 총비용과 평균비용은 유류보다는 비싼 98.13억원, 31,362원이다. 예상 침두부하와 연간 열수요량은 139.55Gcal/H, 31만3천 Gcal(그림 6, 7참조)이다. 이때 600TON/일 소각로에서 나오는 소각열이 전체 열수요량에 차지하는 구성비는 지역난방이나 개별난방의 경우에 모두 4%에서 10%범위 내에서 차지하게 된다.

<표 8> 경제성 비교(서울)

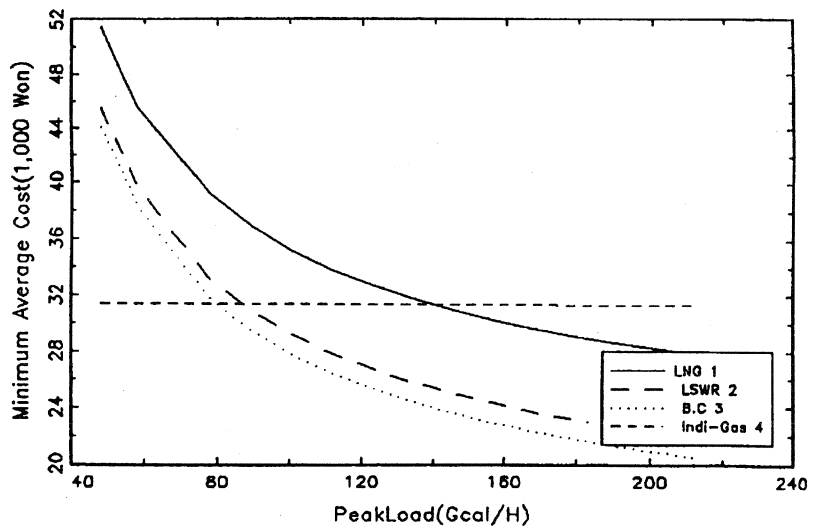
개발면적 백만 m ²	침두 부하 Gcal/H	열수요량 천Gcal/ 년	총비용(백만원)				평균비용(원)			
			지역난방 (LNG)	지역 난방 (LSWR)	지역 난방 (B-C)	개별 난방	지역 난방 (LNG)	지역 난방 (LSWR)	지역 난방 (B-C)	개별 난방
1.00	69.77	128	5,264	4,502	4,325	4,007	41,220	35,251	33,863	31,371
1.20	83.73	165	6,239	5,257	5,029	5,168	37,869	31,911	30,525	31,370
1.40	97.68	202	7,173	5,972	5,692	6,330	35,545	29,593	28,209	31,368
1.60	111.64	239	8,075	6,655	6,325	7,492	33,813	27,865	26,482	31,368
1.80	125.59	276	8,954	7,314	6,933	8,653	32,458	26,514	25,132	31,367
2.00	139.55	313	9,813	7,954	7,522	9,315	31,362	25,420	24,038	31,367
2.20	153.50	350	10,656	8,577	8,094	10,976	30,451	24,510	23,129	31,366
2.40	167.45	387	11,485	9,187	8,652	12,138	29,678	23,739	22,358	31,366
2.60	181.41	424	12,301	9,784	9,198	13,300	29,011	23,074	21,693	31,366
2.80	195.36	461	13,107	10,370	9,734	14,461	28,429	22,492	21,112	31,365
3.00	209.32	498	13,904	10,947	10,259	15,623	27,914	21,978	20,598	31,365
3.20	223.27	535	14,692	11,516	10,777	16,785	27,454	21,519	20,139	31,365
3.40	237.23	572	15,472	12,077	11,287	17,946	27,041	21,107	19,727	31,365
3.60	251.18	609	16,246	12,631	11,790	19,108	26,666	20,733	19,353	31,365
3.80	265.14	646	17,012	13,178	12,287	20,270	26,325	20,392	19,012	31,365

環境産業の 경제성평가 모델: 난방시스템을 中心으로

<그림 6> CHP, Auxi. Boiler VS Indi. Gas Boiler with 600ton INC, Busan



<그림 7> CHP, Auxi. Boiler VS Indi. Gas Boiler with 600ton INC, Busan



2. 부 산

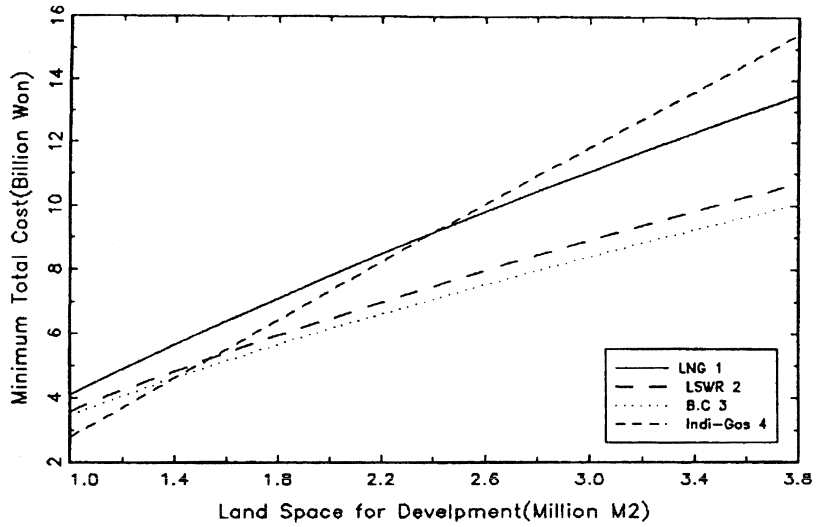
분석결과에 따르면 사용연료가 B-C유와 LSWR의 경우 동일하게 160만m²가 경제성의 분기점의 개발면적으로 나타난다. 이 때 총비용은 연료별 각각 51.41억원, 53.73억원(지역난방기준)에 이르며 연간 Gcal당 평균비용은 30,267원, 31,634원에 이른다. 첨두부하는 유류는 모두 87.22Gcal/H이며 연간 총열수요량은 17만Gcal일 것으로 예상된다.

천연가스의 경우 경제성분기점은 유류 보다 상당히 높은 개발면적 260만m²이며 이 때 총비용과 평균비용은 97.22억원, 31,413원이다. 예상 첨두부하와 연간 열수요량은 141.73Gcal/H, 31만1천 Gcal이다<표 9>, <그림 8, 9 참조>. 이 때 600TON/일 소각로에서 나오는 소각열이 전체 열수요량에 차지하는 구성비는 지역난방이나 개별난방의 경우에 모두 4%에서 10%범위 내에서 차지하게 된다.

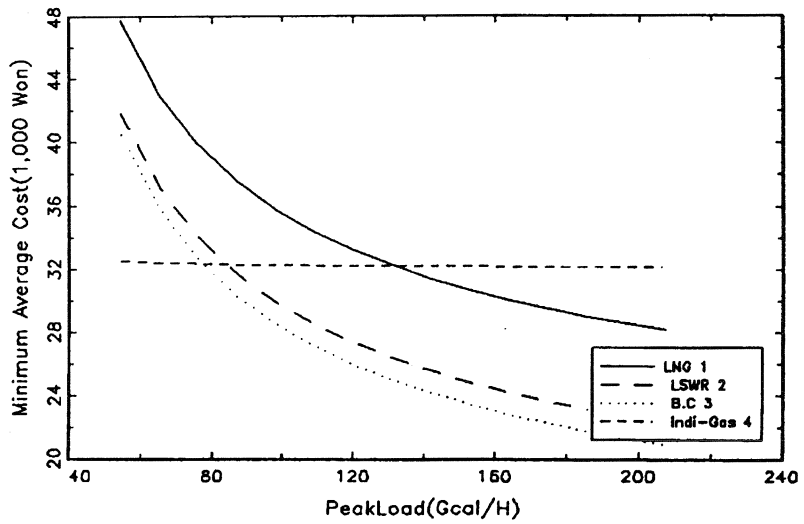
<표 9> 경제성비교(부산)

개발 면적 백만 m ²	첨두 부하 Gcal/H	열수 요량 천Gcal /년	총비용(백만원)				평균비용(원)			
			지역 난방 (LNG)	지역 난방 (LSWR)	지역 난방 (B-C)	개별 난방	지역 난방 (LNG)	지역 난방 (LSWR)	지역 난방 (B-C)	개별 난방
1.00	54.51	85	4,066	3,564	3,447	2,768	47,773	41,871	40,499	32,515
1.20	65.41	113	4,872	4,205	4,049	3,673	42,981	37,091	35,722	32,404
1.40	76.31	142	5,637	4,804	4,610	4,579	39,808	33,925	32,557	32,337
1.60	87.22	170	6,371	5,373	5,141	5,485	37,513	31,634	30,267	32,293
1.80	98.12	198	7,083	5,919	5,648	6,391	35,756	29,880	28,514	32,261
2.00	109.02	226	7,776	6,447	6,137	7,296	34,355	28,482	27,116	32,237
2.20	119.92	255	8,453	6,959	6,611	8,202	33,205	27,334	25,969	32,219
2.40	130.82	283	9,118	7,458	7,072	9,108	32,239	26,369	25,005	32,204
2.60	141.73	311	9,772	7,946	7,522	10,014	31,413	25,544	24,180	32,192
2.80	152.63	339	10,416	8,424	7,961	10,920	30,696	24,828	23,463	32,181
3.00	163.53	368	11,051	8,894	8,393	11,825	30,065	24,198	22,834	32,173
3.20	174.43	396	11,678	9,356	8,816	12,731	29,505	23,639	22,275	32,166
3.40	185.33	424	12,299	9,811	9,233	13,637	29,004	23,138	21,774	32,159
3.60	196.24	452	12,913	10,260	9,643	14,543	28,551	22,685	21,321	32,154
3.80	207.14	481	13,522	10,703	10,048	15,449	28,139	22,274	20,910	32,149

<그림 8> CHP, Auxi. Boiler VS Indi. Gas Boiler with 600ton INC, Busan



<그림 9> CHP, Auxi. Boiler VS Indi. Gas Boiler with 600ton INC, Busan



V. 결 론

지역난방이나 개별가스난방 모두 환경친화적인 산업으로 부각되어 우리나라에서 급속히 증가되고 있는 추세이다. 지역난방은 집단공급으로 인한 규모의 경제효과와 쓰레기소각로, 열병합발전, 산업체 등에서 나오는 폐열을 이용할 수 있어 에너지이용효율을 높일 수 있는 반면, 개별가스난방은 가스를 사용한다는 점에서 각각의 장점이 있다.

우리나라는 대규모 주택건설이 많이 이루어지고 아파트의 밀도도 높기때문에 지역난방의 경제성은 높은 편이라 할 수 있다. 그러나, 집단에너지사업이 당연히 경제적인 에너지공급방식이 되는 것이 아니고 사업이 효율적으로 계획되고 실시될 때만 국가적으로 편익을 발생시킬 수 있다. 덴마크나 북부유럽국가들과 같이 국가에 의해 집단에너지공급지역과 천연가스공급지역이 사전에 구분되어지는 체계적인 계획이 수립되어 이중투자가 방지되고, 오랫동안 설치, 사용되어 오던 파이프라인들이 효율적으로 활용된다면 집단에너지사업이 다른 열공급방법보다 더 경제적인 방법이 될 수 있다.

본 연구에서는 적정열공급시설의 구성과 규모를 최적화시킬 때의 지역난방사업비, 중앙난방, 개별난방사업비를 비교하여 어느 정도의 개발면적, 최대열수요, 연간열수요 등에서 어떤 사업이 경제성이 있는지를 규명하였다. 또한 외기온도에 따라 난방사업은 영향을 받기 때문에 서울, 부산 지역으로 구분하여 분석하였다. 단지의 지반여건과 같은 특수한 사항들까지는 모두 고려하지 못하였으나 보편적으로 감안할 수 있는 모든 항목들을 포함시켜 분석하였다.

열원구성, 사용연료, 외기온도(지역)와 같은 주요 변수에 따라 경제성 분기점을 도출할 수 있었다. 이 연구결과를 이용하여 정부는 지역난방사업 지정기준을 마련하여 시행해 오고 있다. 열구성방법, 사업주체, 사용연료 등에 따라 사업 시작전에 경제적인 열공급방식을 판단할 수 있도록 하므로써 사업자간에 지역난방과 가스간의 역할 분담이 이루어질 수 있으며 이중투자 등을 줄일 수 있다. 물론 독일의 경우처럼 경쟁관계를 유지할 때는 경쟁으로 얻는 편익과 함께 선발투자, 이중투자, 분쟁 등의

어려움은 당연히 뒤따를 것이다.

아파트나 건물의 난방방식은 한번 설치하면 변경하기가 어렵고 건물의 수명이 다할 때까지 오랫동안 에너지사용패턴이 결정된다. 따라서, 효율적인 난방방식의 채택은 경제, 환경정책의 주요한 부분이 된다. 실제 시뮬레이션에서는 난방방식의 시나리오별로 SO₂, NO_x, TSP 등 주요 환경오염물질의 배출량도 추정하였다. 각 시설의 오염물질절감 비용을 각각 고려하여 비교하면 경제성면에서 차이가 날 것이다. 즉, 지역난방의 경우, 연료를 B-C유를 사용하는 경우, 배연탈황시설을 설치하는 경우, 개별난방의 경우, NO_x를 줄이는 비용을 고려하는 경우 등에따라 다를 것이다. 다만, 쓰레기 소각로의 경우는 두 측면 모두 동시에 동일하게 고려되기 때문에 비교에서는 환경변수가 중요하지 않게 된다. 본 모델을 대기확산모델과 연계하여 실질적인 오염정도도 동시에 시뮬레이션한다면, 경제성과 환경성을 동시에 평가할 수 있는 모델로 발전할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국지역난방공사. 集團에너지事業 普及推進現況. 1994. 1.
2. 한국산업개발연구원. 熱料率 算定 및 運營 效率化 研究. 1992. 7.
3. 한국전력공사. 自家發電現況調查分析. 1993. 12.
4. 기상청, 기상자료 1984-1993.
5. Breheny, M.J., et. al. *Sustainable Development and Urban Form*, Pion Limited, London, 1992
6. Czaja, Wolfgang. "Heat Utilization from Thermal Waste Treatment Plants." *District Heating Yearbook*, 1992. pp.65-71.
7. El-Hodiri, M.A., *Constrained Extrema: Introduction to the Differentialbe Case with Economic Applications*, New York, Springer-Verlag, 1971.
8. Loehman, E. et al. "Cost Allocation for Regional Wastewater Treatment System." *Water Resource Research*. Vol.15. April 1979.
9. Nikaido, H, *Convex Structures and Economic Theory*, New York, Academic

Press, 1968.

10. Pavlenco, G.F. and G.A. Engleson. *District Heating/Cogeneration: Application Studies for The Menneapoli-St. Paul Area, Allocation Method for the Seperation of Electrical and Thermal Cogeneration Cost.* United Engineer and Constructors Inc. 1980.
11. Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke(VDEW)/Bundesverband der deutschen Gas und Wasserwirtschaft(BGW)/Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.(AGFW) (독일전력협회/상수도가스협회/지역난방협회). *Ortliche und regionale Energieversorgungskonzepte: Parameterstudie, Ortliche und regionale Versorgungskonzepte für Niedertemperaturwärme*(도시 및 지역 에너지공급개념, 저온수 공급개념 파라메타 연구), Frankfurt: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H.(전력공급회사 출판부) 1992.