

지역난방의 환경개선효과 측정에 관한 연구

손양훈* · 박주현** · 조전혁***

〈자 례〉

- | | |
|--------------------|-----------------|
| I. 서 론 | IV. 환경개선효과 분석모형 |
| II. 분석모형 및 자료 | V. 경제성 분석모형 |
| III. 에너지 절감효과 분석모형 | VI. 요약 및 결론 |

I. 서 론

지역난방은 일정지역내의 에너지 수요자에게 대규모 열원플랜트를 이용하여 에너지를 일괄 공급하는 방식이다. 우리 나라에서는 에너지의 효율적 사용을 목적으로 1980년대 중반부터 도입되어 대규모 수요처를 중심으로 보급되어 왔다. 지역난방 방식은 이론적으로 에너지 효율을 개선하고, 생산비용을 절감할 수 있

* 인천대학교 경제학과.

** 동덕여자대학교 경제학과.

*** 인천대학교 경제학과.

을 뿐만 아니라 무엇보다도 열병합발전이나 쓰레기소각 과정에서 발생하는 폐열을 재활용할 수 있는 장점을 가진 것으로 평가되고 있다. 그러나 이와 같은 지역난방의 이론적 장점이 실제로 얼마나 현실화되고 있는지에 대한 실증분석이 활발히 이루어지지 않고 있을 뿐만 아니라 그나마 있는 기존의 연구들도 소위 기술적 분석방법론에 편향되어 있어 다각적인 분석이 부족한 실정이다.

기술적 분석방법은 난방방식별로 생산요소를 세분화하고, 이상적 여건에서 추산된 각 생산요소에 대한 기술적 자료(engineering data)에 기초하여 분석하는 방법으로 지역난방의 경제성, 에너지 절감효과, 환경효과 등을 이론적으로 증명하는 데는 우수하나, 이상적 여건이 충족되지 않는 현실에서 지역난방의 장점을 증명하는 데는 미흡한 점이 있다.¹⁾ 지역난방의 현실적 성과는 기술적으로 표시된 종합효율뿐만 아니라 상대적 생산비용과 수요의 규모 등에 따라 달라지는 현실 여건에도 크게 달려 있기 때문이다.²⁾

지역난방사업의 현실적 평가는 계량분석방법에 의해 가능하다. 계량분석방법은 시장을 통해 이미 나타난 사업자들의 행동을 통계학적으로 분석하는 방법론이다. 계량분석방법은 여러 가지 현실적 여건을 감안하여 사업자들이 선택한 합리적 결정을 분석의 근거로 하기 때문에 현실적으로 타당한 결과를 도출하는데 유리하다. 물론, 계량분석은 충분한 경험 자료의 축적을 전제로 한다. 지금까지 계량분석방법이 아닌 기술적 접근이 주로 이루어졌던 이유도 지역난방사업의 연혁이 짧아 분석에 필요한 충분한 자료가 부족했기 때문이다.

본 연구는 지역난방사업의 환경친화성, 에너지 절감효과, 경제성을 계량분석방법론에 기초하여 평가한다. 1987년 열공급을 시작한 이래 현재 11개 지역에서 지역난방사업이 운영되고 있는 우리 나라도 이제 어느 정도의 실증 자료를 축적하고 있어 계량분석방법론에 의한 실증분석을 시작할 때라고 판단된다.

1) 에너지경제연구원 (1994)의 경우가 사업시행 이전에 경제성을 분석한 예라고 할 수 있다. 이 연구가 추진된 시기는 지역난방이 거의 보급되지 않은 단계이기 때문에 실제 자료를 갖고 분석한 것이 아니라 기술적인 파라미터로 경제성을 평가하고 있다.

2) 임원혁 외 (2000).

본 연구는 서론에 이어 제Ⅱ절에서 지역난방방식의 구조와 경제적 효과를 분석할 수 있는 모형을 설정하고 추정에 필요한 자료에 대하여 설명한다. 이어서 제Ⅲ절, 제Ⅳ절, 제Ⅴ절은 각각 에너지 절감효과, 환경개선효과, 경제성 모형의 추정결과를 분석한다. 특히 열원방식의 선택과 열생산규모가 각각의 특성에 미치는 영향에 대하여 분석한다. 마지막으로 제Ⅵ절에서는 요약 및 결론이 이어진다.

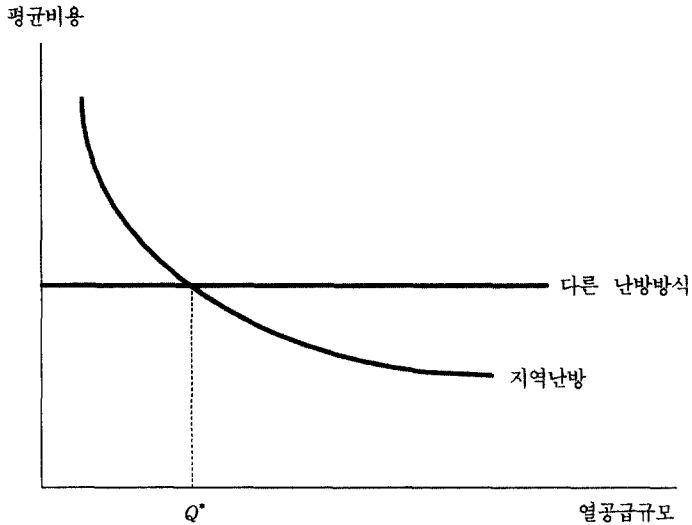
Ⅱ. 분석모형 및 자료

지역난방은 막대한 초기 투자비로 인해 공급규모가 작을 때는 단위 공급열량당 비용, 즉 평균비용이 높다. 하지만 공급규모가 증가함에 따라 고정비가 분산되어 평균비용이 점차 감소하는 규모의 경제가 나타나는 난방방식으로 알려져 있다. 이와는 대조적으로 중앙난방이나 개별난방과 같은 다른 난방방식은 고정비용의 비중이 상대적으로 적고 설비의 단위규모가 작기 때문에 평균비용은 공급규모와 상관없이 거의 일정한 특성을 갖고 있다. 따라서 <그림 1>처럼 지역난방은 작은 규모에서는 다른 난방방식에 비하여 불리하지만, 일정 규모(Q^*) 이상에서는 유리하다. 난방방식별 경제성을 측정하는데 열공급 규모는 매우 중요한 기준이라고 할 수 있다.

지역난방사업의 타당성은 경제성뿐만 아니라 에너지 절약, 환경개선효과 측면에서도 평가되어야 한다. 지역난방은, 경제성의 경우와 마찬가지로 규모가 증가함에 따라 단위 열량당 사용 에너지와 오염물질 배출량이 절감되어야 환경친화적이라고 할 수 있다. 지역난방방식이 일정한 규모 이상의 열을 생산하는 경우에는 경쟁 난방방식에 비해 에너지를 절약하고 환경친화적일 수 있음을 증명해야 한다는 것이다.

본 연구에서는 지역난방의 에너지 절감효과, 환경친화성 그리고 경제성을 세 개의 개량모형을 설정하여 분석한다. 첫째 모형은 에너지 절감모형으로 석유환

〈그림 1〉 규모에 따른 난방방식별 경제성



산톤(ton of oil equivalence: TOE)으로 표시된 사용 연료를 피설명변수로 한다. 다음은 환경개선의 효과를 측정하기 위하여 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 먼지(DUST), 그리고 이산화탄소(CO₂)의 오염물질 배출량을 피설명변수로 하는 모형을 분석한다. 마지막으로 열생산에 소요되는 모든 비용, 즉 고정비와 변동비를 합하여 계산한 총비용을 피설명변수로 하는 경제성 모형을 분석한다.

각 계량모형은 열원구성, 연료믹스, 열생산규모, 설비규모, 지사별 수용가 특성 등을 설명변수로 포함한다. 특히, 열원의 종류에 따른 특성을 고려한 이후에도 열생산규모에 따라 에너지 절감효과, 환경효과 그리고 경제성을 검정할 수 있도록 모형을 설정한다.

지역난방의 형태는 열원조합과 사용연료믹스를 기준으로 분류할 수 있다. 현재 우리 나라에서 가동되고 있는 지역난방의 열원조합은 대개 세 가지 정도로 나눌 수 있다. 첫째는 한국전력공사의 열병합발전소나 쓰레기 소각장으로부터

〈표 1〉 지사별 규모와 열원방식

지 사	열생산규모(1999) 천Goal	열원방식				자료 확보기간
		합전 수열	자체 CHP	열전용 보일러	소각로	
중 앙	542.9	o	x	x	x	1994~1999
강 남	820.0	x	x	o	x	1994~1999
분 당	2334.1	o	x	o	x	1994~1999
안 양	1257.5	o	x	o	o	1994~1999
고 양	1934.7	o	x	o	o	1994~1999
부 천	726.7	o	x	o	o	1994~1999
대 구	487.4	x	o	o	o	1998~1999
수 원	469.7	x	o	o	o	1998~1999

수열받는 방식이다. 다음으로는 열전용보일러나 보조보일러를 이용하여 직접 열을 생산하는 방식이고, 마지막은 지역난방공사가 자체적으로 열병합발전설비(combined heat power: CHP)를 보유하여 전기와 열을 함께 생산하는 방식으로 나누어진다. 또한 지역난방에 사용되는 연료도 LNG, LSWR, B-C유, 보일러용 등유 등으로 다양하다. 연료의 선택은 지역별 환경규제와 연료비용에 따라 결정된다고 할 수 있다.

지역난방사업은 최근 일부 지사가 민영화되었지만 지금까지 지역난방공사가 독점하였기 때문에 추정에 필요한 자료는 지역난방공사의 통계에 의존할 수밖에 없다. 그러나 지역난방공사를 하나의 분석 단위로 하여 분석하면 지역별 특성변수와 시설 특성을 반영하기 어려울 뿐만 아니라 연간 데이터 시리즈가 너무 짧아서 통계적으로 의미있는 분석결과를 기대하기 어렵다. 또한 특정 연도를 택하여 분석하는 횡단면 분석도 시도해 볼 수 있으나 지사수가 충분치 않아 자유도(degree of freedom) 문제등 기술적 문제로 인해 신뢰할 만한 결과를 기대할 수 없다.

본 연구에서는 데이터 크기의 문제와 지역간 특성들을 반영하는 분석을 위해 지역난방공사의 연도별·지사별 자료를 풀링(pooling)하는 방식을 채택하였다. 각 지사별로 중앙, 강남, 분당, 안양, 고양, 그리고 부천 지사는 1994년에서 1999년의 자료를 사용하고, 대구와 수원 지사는 1998년에서 1999년의 자료를 사용한다. 따라서 지사별로 길게는 6년, 짧게는 2년간의 가용한 모든 자료를 포함하여 40개의 관찰치를 확보하여 추정에 사용한다.

Ⅲ. 에너지 절감효과 분석모형

지역난방은 다양한 열원조합과 연료믹스를 사용한다. 서로 다른 연료를 사용하는 경우에 에너지 사용량을 비교하려면 열량단위로 환산하는 것이 일반적인 방법이다. 석유환산톤으로 표시된 지역난방의 각 지사별 자료를 기초로 추정된 모형은 다음과 같이 정리된다.

$$\ln TOE = -2.888 + 0.948D1 - 0.340D2 + 0.170D3 \\ (-7.4) \quad (12.6) \quad (-8.3) \quad (2.9) \\ - 0.079D4 + 1.030 \ln HEAT - 0.127 \ln CAP \quad (1) \\ (-3.0) \quad (39.9) \quad (-1.4)$$

$$R^2 = 0.99, \quad n = 40$$

괄호 안은 t 값

TOE = 석유환산톤으로 표시된 총연료사용량

$D1$ = 한전수열더미

($D1 = 1$ 한전수열 없음, $D1 = 0$ 한전수열 있음)

$D2$ = 자체CHP(combined heat and power)더미

($D2 = 1$ 자체CHP 보유, $D2 = 0$ 자체CHP 미보유)

$D3$ = 열전용보일러 더미

지역난방의 환경개선효과 측정에 관한 연구

($D3 = 1$ 열전용보일러 있음,
 $D3 = 0$ 열전용보일러 없음)

$D4 = 1$ 쓰레기소각장 더미
($D4 = 1$ 쓰레기소각장 있음,
 $D4 = 0$ 쓰레기소각장 없음)

$HEAT =$ 총열생산량(단위: Gcal)

$CAP =$ 설비 용량(단위: Gcal/h)

에너지 절감을 측정하기 위한 모형의 추정결과는 전반적으로 매우 유의적인 것으로 나타났다. 모형의 설명력이 매우 높고 각 설명변수의 유의도도 매우 높은 편이다. 모형에서는 열원방식을 나타내기 위하여 $D1$ 에서 $D4$ 까지 모두 네 개의 가변수가 사용된다. 모든 가변수가 모두 0의 값에 해당하는 기준지사는 자체CHP나 열전용보일러도 없으며, 쓰레기 소각장으로부터 수열을 받지 않고 오로지 한전수열에 의존하는 지사이다. 실제 자료에서는 서울지역의 중앙지사가 기준지사에 해당한다. 가변수의 계수 각각의 추정결과는 이 기준 지사와의 차이를 나타내는 것으로 해석할 수 있다.

한전으로부터 수열을 받는 여부를 나타내는 $D1$ 의 추정결과는 에너지 절감에 매우 결정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 한전수열을 받지 못하는 경우에는 수열을 받는 경우에 비해 약 94.8% 에너지를 더 소비해야 하는 것을 의미한다.³⁾ 지역난방공사가 직접 CHP를 소유 운영하는 여부를 나타내는 $D2$ 변수의 추정결과는 유의적으로 음(-)의 값을 보이고 있다. 열병합방식이 기준보다 34% 정도 에너지를 적게 쓰고 있음을 반영하고 있어서 에너지 효율의 측면

3) 현재까지 한전과 지역난방공사 간에 CHP비용의 배분은 열을 생산함으로써 전기발전량이 줄어드는 부분만 보상하는 감발량 보상원칙을 따르고 있다. 한전의 CHP가 사용하는 에너지 가운데 열을 생산하기 위하여 소요된 부분을 실제보다 작게 계상하게 되는 문제를 말한다. 현재의 거래방식에 의한 해석은 어쩔수 없지만 향후에 비용배분의 원칙이 달라져서 수열 비용이 상승하는 경우에는 이 계수가 낮아질 것이라는 점을 상기할 필요가 있다. 현재의 규제여건하에서 발생하는 거래방식의 왜곡이 있고, 이에 따라 에너지 절감량도 과대평가될 수 있음을 의미한다.

에서는 상당히 유리한 설비라고 할 수 있다. 열전용 보일러를 보유하는 지사를 나타내는 변수 $D3$ 도 유의적으로 양(+)⁴⁾의 값으로 추정된다. 열전용 보일러를 운영하면 이에 따라 17% 정도 에너지를 더 소비하는 것을 의미하고 있다. 쓰레기 소각장이 있는 경우를 반영하는 $D4$ 의 계수는 유의적으로 음의 값을 나타낸다. 쓰레기 소각장으로부터 수열을 하는 경우 약 7.9% 정도 에너지를 적게 사용하는 것을 의미한다.⁴⁾

열생산규모를 나타내는 변수인 $\ln HEAT$ 는 총에너지 사용량(TOE)에 결정적인 역할을 하는 변수로서 매우 유의적인 양의 값으로 추정되었다. 이와 동시에 설비의 규모를 나타내는 $\ln CAP$ 은 유의성은 다소 낮지만 음의 관계를 보이고 있다. 이 두 변수의 추정결과를 해석할 때는 세심한 주의가 필요하다. 두 변수는 열공급사업에서 매우 중요한 의미를 가지고 있으면서 서로 밀접한 관계가 있기 때문이다. 시간이 지남에 따라 열생산 규모가 늘어나는 경우를 생각해 보자. 열생산 규모에 따라 총에너지 사용량(TOE)이 늘어나면 단기적으로는 동일한 설비에 가동률을 높이는 방법을 택하게 된다. 그러나 동일한 설비에 열생산 규모만 늘려서 수요를 충족하는 방식에는 한계가 있다. 일정한 수준을 넘어서면 장기적으로는 설비를 늘려서 늘어나는 수요를 충족해야만 한다. 즉, 열생산규모가 총에너지 사용량에 주는 효과는 단기와 장기로 나누어 생각할 수 있다. 단기에서는 설비규모(CAP)가 일정하고, 장기에서는 설비규모가 조정되는 경우를 분석해야 한다. 따라서 열생산규모(HEAT)에 따른 총에너지 사용량(TOE)의 탄력성은 단기와 장기로 나누어 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\text{단기: } \frac{\partial \ln TOE}{\partial \ln HEAT} = \frac{\partial \ln TOE}{\partial \ln HEAT} \quad (2)$$

4) 실제 각 지사는 <표 1>에서 보여지는 것처럼 다양한 열원을 선택하고 있어서 이들 가변수의 계수들을 결합적으로 고려하면 선택한 열원별 에너지 절감효과를 결합적으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, 한전수열을 하지 않고 자체 CHP와 열전용보일러, 그리고 소각로를 통한 열원을 선택한 대구와 수원 지사의 경우에는 결합효과가 0.699로서 기준설비에 비하여 69.9% 에너지를 더 소비하는 것으로 계산할 수 있다.

$$\text{장기: } \frac{\partial \ln TOE}{\partial \ln HEAT} = \frac{\partial \ln TOE}{\partial \ln HEAT} + \frac{\partial \ln TOE}{\partial \ln CAP} \frac{\partial \ln CAP}{\partial \ln HEAT}$$

단기적으로는 모형에서 추정된 $\ln HEAT$ 의 계수인 1.030이 열생산규모에 대한 총에너지 사용량 탄력성이라고 할 수 있다. 열생산규모가 1% 늘어날 때마다 1.03%씩 총에너지 사용량(TOE)이 늘어나는 것이다. 즉, 늘어나는 수요에 대하여 설비는 고정시켜두고 단기적인 대응만 하는 경우에는, 규모가 커짐에 따라 에너지 사용량은 열생산량 증가율보다 약간 빠르게 증가하는 것으로 평가된다.

반면에 장기에서는 설비의 조정이 가능하므로 장기의 효과를 계산하기 위해서는 열생산규모의 증가에 대하여 설비가 얼마나 늘어나는가를 나타내는 생산 설비의 열생산탄력성, 즉 $\frac{\partial \ln CAP}{\partial \ln HEAT}$ 을 추정해야 한다. 장기적으로 설비규모는 열생산규모의 함수이기 때문에 이 함수관계를 다음과 같이 직접 추정하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln CAP &= -2.793 + 0.663 \ln HEAT \\ &\quad (-3.1) \quad (10.2) \end{aligned} \tag{3}$$

$$R^2 = 0.753 \quad n = 37$$

탄력성은 지역난방공사의 각 지사별 자료를 기초로 추정한다. 추정결과에 의하면 열생산규모에 대한 설비규모의 탄력성은 0.663으로 구해진다. 이를 이용하여 식 (2)에서의 장기효과를 계산하면 0.946이 된다. 다시 말하면 열생산규모가 1%씩 늘어날 때마다 총에너지 사용량은 0.946%씩만 늘어나는 것이다. 설비를 적정규모로 조정하는 경우에는 규모에 따른 에너지 절감이 상당폭 존재한다는 것이다. 우리 나라의 지역난방 보급방식이 단지의 규모를 계획하고 이에 따라 설계되고 있기 때문에 장기적인 적정규모의 수준에서 공급되고 있다고 할 수 있다. 규모가 커질수록 에너지 사용량(TOE)의 측면에서는 상당한 규모의 경제가 존재하고 있음을 보여 주고 있다.

IV. 환경개선효과 분석모형

지역난방사업의 환경개선효과를 측정하기 위하여 주요 환경오염물질의 배출량을 설명하는 모형을 추정하였다. 분석 대상 오염물질은 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 먼지(DUST), 그리고 이산화탄소(CO₂)로 국한하였고, 모형의 추정결과는 <표 2>에 정리되어 있다.

네 개 방정식의 추정결과가 매우 설명력이 높고 전반적으로 유의수준도 높다고 할 수 있다. 열원방식을 나타내는 가변수들의 효과가 전반적으로 매우 유의적으로 나타난다. 이는 열원방식의 선택이 오염물질의 배출에 매우 중요한 의미를 가지고 있음을 말해 주고 있다. 우선 한전에서부터 수열하는 여부를 나타내는 D1변수의 추정결과는 모두 양의 관계를 보이고 있어 한전수열방식이 모든 종류의 환경오염물질의 배출을 줄이는데 효과적임을 입증하고 있다.⁵⁾

부호의 방향과 아울러 탄력성의 크기도 중요한 의미를 가진다. 구체적으로 보면 SO_x의 경우 2.629, NO_x는 1.215, DUST는 1.384, 그리고 CO₂는 1.514로 모두 총에너지 사용량(TOE)에서의 추정결과인 0.948보다 크게 나타난다. 총에너지 사용량(TOE)에서의 추정결과는 식 (1)에서 한전수열에 따라 열량단위의 에너지 절감 탄력성이 0.948임을 말한다. 환경개선효과 방정식의 추정결과의 계수가 식 (1)의 에너지 절감효과보다 크다는 것은 총에너지를 절감해서 환경오염이 개선되는 효과 이외의 추가적인 효과가 존재하고 있음을 의미한다. 청정연료라고 할 수 있는 가스를 사용하는 한전수열방식은 총열량(TOE) 절감효과뿐만 아니라 연료교체로 인한 오염물질 배출저감을 기대할 수 있기 때문이다. 추정결과는 모든 오염물질에 있어서 연료교체로 인한 개선효과도 상당히 크게 존재하는 것을 보여 주고 있다. 특히 SO_x의 경우, 한전수열을 포함한 열원조합에

5) 이 경우에도 한전과 지역난방공사 간에 열생산 비용의 부과방식이 변하면 이보다는 낮게 나타날 수밖에 없음을 상기할 필요가 있다.

〈표 2〉 환경개선효과 추정결과

	종속변수			
	SO _x	NO _x	DUST	CO ₂
상수	-7.812 (-2.0)	-2.130 (-4.7)	-8.916 (-3.3)	4.480 (6.8)
D1	2.629 (4.3)	1.215 (14.2)	1.384 (3.2)	1.514 (12.0)
D2	-1.083 (-2.7)	-0.367 (-7.9)	-0.257 (-0.9)	-0.377 (-5.5)
D3	4.592 (9.6)	0.195 (2.9)	2.026 (6.2)	0.302 (3.0)
D4		-0.063 (-2.1)		-0.04 (-0.9)
lnHEAT	1.428 (5.2)	1.042 (35.4)	1.319 (7.0)	1.045 (24.1)
lnCAP	-0.971 (-1.2)	-0.124 (-1.2)	-0.511 (-0.9)	-0.171 (-1.1)
R ²	0.939	0.992	0.899	0.987
n	40	40	40	40

주: 괄호 안은 t값을 나타냄.

비하여 한전수열을 배제한 열원조합의 배출량 증가량이 훨씬 높은 것으로 나타났다.

자체CHP를 보유하는 경우를 나타내는 D2의 추정결과도 모두 음으로 나타나고 있는데 열병합 발전방식이 에너지 효율의 측면에서 상당히 우수한 선택임을 보여 주고 있다. 자체CHP를 보유하는 지사의 경우 총에너지 사용량(TOE)의 탄력성은 -0.340이었는데 비하여 SO_x의 경우에는 -1.083으로 매우 낮고 다른 오염물질에 있어서는 총에너지 사용량(TOE)에서의 탄력성과 비슷한 수준으

로 나타났다. 열병합 발전방식을 채택하면 NO_x 와 DUST, 그리고 CO_2 는 총에너지 절감량과 비슷한 수준으로 낮아지지만 SO_x 는 연료대체효과까지 포함되어 대폭 낮아지는 현상을 보이고 있다.

열전용보일러의 유무를 나타내는 가변수 $D3$ 의 효과는 매우 크게 나타나서 열원선택에 따른 차이를 극명하게 보여 주고 있다. 열전용보일러는 주로 LSWR, 보일러 등유, 그리고 B-C유를 사용하기 때문에 천연가스에 비하여 오염물질 배출계수가 매우 높다. NO_x 의 경우에는 계수가 0.195로서 총에너지 절감량(TOE)의 계수인 0.170과 비슷하지만, 다른 오염원의 경우에는 매우 다르게 나타난다. 특히 SO_x 와 DUST의 경우에는 각각 4.592와 2.026으로 그 값이 매우 커서 열전용보일러 방식이 기준설비에 비하여 SO_x 와 DUST의 배출이 매우 심한 것으로 나타나고 있다. 열전용보일러의 연료 특성 때문에 SO_x 와 DUST를 중심으로 오염물질의 배출이 늘어나고 있음을 보여 주고 있다. 쓰레기 소각장이 있는 경우에는 배출량도 적어지는 효과가 있지만 규모가 작기 때문에 오염물질 배출저감에 기여하는 정도도 매우 미미한 수준으로 나타난다.

열생산규모가 환경오염 배출량에 어떤 영향을 주는가는 매우 중요한 의미를 가진다. 단기적으로 설비규모의 증가 없이 열생산규모가 늘어나는 경우를 나타내는 단기 탄력성은 모두 1보다 크다. 특히 SO_x 와 DUST의 경우는 그 값이 1을 훨씬 상회하는 수준으로 나타났다. 그러나 설비규모를 조정하는 장기의 경우에는 열공급규모가 1% 늘어날 때마다 SO_x 가 0.784%, NO_x 는 0.960%, DUST는 0.980%, 그리고 CO_2 는 0.932%로 계산된다.⁶⁾ 장기적으로 규모를 조정하는 경우에는 환경오염물질 배출량은 열공급규모의 증가율보다 낮은 속도로 늘어나는 것으로 평가된다.

따라서 지역난방의 규모가 커짐에 따라 열량 단위당 배출되는 오염물질 배출량이 줄어들기 때문에 지역난방은 최소한 여기에서 다루는 네 가지 환경오염물질을 기준으로 환경친화적인 설비임이 입증되고 있다. 특히 SO_x 의 경우에는 총

6) 장기의 탄력성은 식 (2)에서와 같은 방법으로 구한다.

에너지 사용량(TOE)의 경우와 비교해 볼 때 규모에 대한 탄력성이 훨씬 낮은 수준인 것으로 나타났다. 열공급규모가 커지면서 총에너지를 절감하여 환경을 개선하는 효과가 있음은 앞에서 살펴본 바와 같다. 열공급규모가 커지면 이 외에도 다양한 연료대체 과정등을 거쳐 추가적으로 줄어들게 되는데, 그 정도는 SO_x에 주로 집중되어 있음을 의미한다.

V. 경제성 분석모형

지역난방방식의 경제성을 분석하기 위하여 지역난방공사의 각 지사별·연도별 비용자료를 이용하여 모형을 추정한다. 총비용(TC)은 열생산에 사용된 변동비와 고정비로 구성된다. 고정비는 매년 투하된 투자비를 연금화하여 산출하고 변동비는 매년 지출된 수열비, 노무비, 용수비, 동력비 등을 근거로 산출한다. 모형의 추정결과는 다음과 같다.⁷⁾

$$\begin{aligned}
 \ln TC = & 3.971 + 0.933D1 + 0.481D2 + 0.102D3 \\
 & (4.1) \quad (9.2) \quad (7.3) \quad (0.76) \\
 & + 0.424 \ln HEAT + 0.419 \ln CAP \\
 & (9.8) \quad (3.2) \quad (4) \\
 & - 3.133APTR \\
 & (-4.8) \\
 R^2 = & 0.93, \quad n = 40 \\
 TC = & \text{각 지사별 총비용(단위: 100만 원)} \\
 D1 = & \text{한전수열더미} \\
 & (D1 = 1 \text{ 한전수열 없음, } D1 = 0 \text{ 한전수열 있음)} \\
 D2 = & \text{자체CHP더미}
 \end{aligned}$$

7) 고정비등의 열생산 비용을 산출하는 내역은 부록을 참조하시오.

손양훈 · 박주현 · 조전혁

($D2 = 1$ 자체CHP 보유,
 $D2 = 0$ 자체CHP 미보유)

$D3 =$ 열전용보일러더미

($D3 = 1$ 열전용보일러 있음,
 $D3 = 0$ 열전용보일러 없음)

$HEAT =$ 총열생산량(단위: Gcal)

$CAP =$ 설비 용량(단위: Gcal/h)

$APTR =$ 전체 난방면적 가운데 아파트가 차지하는 비중

총비용을 설명하기 위한 모형의 추정결과도 설명력이 매우 높고 대부분 변수들이 매우 유의적인 추정결과를 보이고 있다. 한전수열 여부를 나타내는 가변수 $D1$ 은 경제성에 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 한전수열을 받지 않는 지사의 경우에는 한전수열을 받는 지사에 비하여 93.3%의 비용상승이 있는 것으로 나타났다.⁸⁾ 또한, 지역난방공사가 직접 열병합 발전소를 소유하는 방식을 나타내는 $D2$ 변수의 계수가 양의 값을 보이고 있는데, 자체CHP 방식은 에너지 절감이나 환경개선효과는 있지만 경제성 측면에서는 상당히 불리한 방식이라는 점을 나타내고 있다. 한편, 열전용보일러의 유무를 나타내는 $D3$ 변수의 추정결과는 유의성이 거의 없기 때문에 비용의 측면에서는 차이가 없다고 할 수 있다.

열생산규모가 커질수록 규모의 경제가 있는 것으로 나타났다. 열생산규모가 1% 증가할 때 단기에 규모의 조정없이 공급하는 경우에 비용탄력성은 0.424% 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 장기적으로 설비의 조정이 있다면 0.702% 상승하는 것으로 나타났다.⁹⁾ 단기적인 조정은 설비의 확장이 없기 때문에 일정한 한도내에서만 가능할 뿐이며, 장기에서는 설비의 규모가 증가하여 조정하여야 한다. 특히 우리나라의 지역난방사업이 사전적인 계획에 의해 개발되고 있기 때문에 추정에 사용된 모든 관찰치가 장기균형상의 생산환경이라고 가정할

8) 이 경우에도 앞에서와 마찬가지로 한전과 지역난방공사 간에 열생산 비용의 부과방식이 변하면 이보다는 낮게 나타날 것이다.

9) 장기의 탄력성은 식 (2)에서와 같은 방법으로 구한다.

수 있다. 따라서 열생산규모가 늘어날 때의 탄력성은 장기의 0.702를 채택하여도 큰 무리가 아니라고 할 수 있다. 공급규모가 커질 때 비용 탄력성이 1보다 작다는 것은 지역난방사업에서 규모의 경제가 존재하고 있음을 나타낸다. 즉, 총비용을 평균비용으로 환산하면 <그림 1>에서의 가설과 부합하는 것을 볼 수 있다. 열생산규모가 작을 때는 평균비용이 높지만 열생산규모가 커지면서 평균비용은 하락하여 평균비용곡선이 규모에 따라 우하향하고 있다는 것을 의미한다. 마지막으로 공급지역이 집단거주지역일수록 비용의 측면에서 매우 효율적이기 때문에 공급지역의 아파트 비율을 나타내는 APTR변수가 유의적으로 음의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

VI. 요약 및 결론

지역난방사업은 에너지효율이 높은 방식을 사용하여 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 기술로 알려져 있다. 이 방식은 경제성 면에서 우수할 뿐만 아니라, 에너지 절감과 환경개선에도 상당한 효과가 있는 것으로 평가되고 있기 때문에 보급을 장려하는 정책을 채택해 왔다. 그러나 기술적인 평가가 과학적인 실험치에 의해 계산되었다고 하더라도 현실에서도 그대로 적용되는가는 별개의 문제라고 할 수 있다. 현실에서의 적용 여부는 세 가지 정도의 가설로 집약하여 설명할 수 있다. 우선 첫째는 열생산규모가 커질수록 단위 열생산에 소요되는 에너지가 적게 필요한가 하는 점이 입증되어야 한다는 것이다. 즉, 지역난방이 에너지 절감효과가 있는가 하는 문제를 말한다. 둘째는 에너지 절감과 아울러 열생산규모가 커지면서 주요 환경오염물질별로 환경개선효과가 있음이 입증되어야 한다. 셋째는 더 나아가 지역난방방식이 열생산규모가 커질수록 보다 경제적인 선택이 될 수 있는가 하는 문제로 집약된다.

본 연구에서는 이 가설들을 경험적 자료로 추정된 계량모형에 기초하여 검정

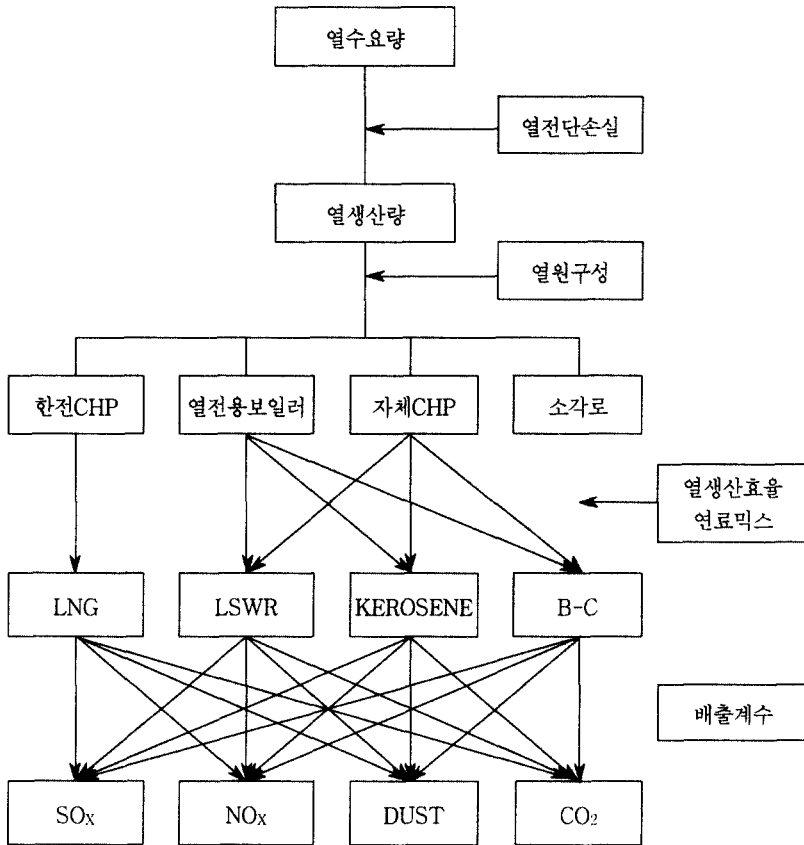
하였다. 가설검정의 결과는 대체로 이론에 부합하는 것으로 나타났다. 또한 가설에 부합하는지를 검정하는 것과 아울러 열원방식의 선택이나 열생산규모의 증가에 따라 에너지 사용량, 환경오염물질의 배출, 경제성에 어느 정도로 영향을 주게 되는가를 추정할 수 있었다. 에너지 절감의 측면에서는 열생산 규모에 따른 탄력성이 0.946으로 1보다 작게 추정되어 에너지 절감의 효과가 있는 것으로 나타났다. 열을 공급하는 단지의 규모가 크고 이에 상응하는 설비를 건설하는 경우에는 에너지를 절감하는 효과가 있음을 나타낸다.

열생산규모가 커질 때 에너지가 절감된다는 것은 그 자체만으로도 환경오염물질의 배출을 적게 하는 직접적인 효과를 가진다. 지역난방은 환경친화적인 열원방식을 채택함으로써 이와 같은 직접적인 효과 이외에 연료대체에 따른 추가적인 효과를 보여줄 수 있다. 열원방식을 한전수열방식을 채택하거나 자체CHP를 보유하는 방식은 에너지 절감에 따른 직접적인 효과에 더하여 연료대체에 따른 효과로 인하여 환경개선효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 황산화(SO_x)의 배출에 있어서 연료대체의 효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 경제성을 분석하기 위한 추정모형의 결과도 지역난방방식이 공급규모가 커질 때 규모의 경제성이 존재하는 것을 보여 주고 있다. 초기의 투자비가 높아서 규모가 작을 때는 경제성이 낮지만, 규모가 커지면 초기의 고정비가 분산되어 단위 공급열량당 평균비용은 하락한다. 장기적으로 설비의 규모를 적정하게 조정하는 경우에 규모에 따른 비용탄력성은 0.702 정도의 수준을 보이는 것으로 나타났다.

우리 나라 지역난방의 경험적인 자료를 사용하여 지역난방의 에너지 절감효과, 환경개선효과, 그리고 경제성을 분석하는 모형을 추정하였다. 추정결과는 열생산규모가 충분히 크고, 적정한 수준의 설비를 갖춘다면 매우 유의적으로 가설과 부합하는 것으로 나타난다. 현재의 수열가격 결정과정이 정부의 규제에 의한 횡적 보조가 있고 이로 인한 왜곡이 있음을 인정하더라도 규모에 따른 효과는 존재한다고 할 수 있다.

〈부록 1〉 연료사용량과 오염물질배출량의 결정 과정

〈그림 2〉 지역난방의 에너지 사용량 및 오염물질 배출량 계산의 흐름도



〈그림 2〉는 지역난방의 열생산에 필요한 에너지 사용량과 오염물질 배출량이 결정되는 과정을 나타내고 있다. 먼저 열생산량은 열전달손실을 감안하여 열수요량보다는 다소 많아야 한다. 총열생산량이 결정되면 활용 가능한 열원별로 열생산량을 할당하고, 각 열원에 대해서는 할당된 열을 생산하기 위한 연료믹스

를 결정한다. 열원별로 열산출계수가 크게 다르기 때문에 같은 열생산 할당량이라도 연료사용량은 크게 차이가 날 수 있다.¹⁰⁾ 열원별로 연료믹스가 결정되면 오염물질 배출량은 각 연료사용량과 오염물질 배출계수를 승하는 전통적인 방법으로 추산된다. 이 때 배출계수는 미국 환경청(EPA)계수를 사용하여 오염물질의 배출량을 산출한다.

〈부록 2〉 열생산 비용 산출

열생산에 소요되는 비용은 변동비와 고정비로 분류한다. 변동비는 매년 지출된 수열비, 연료비, 노무비, 용수비, 동력비, 기타경비를 근거로 산출하며 고정비는 매년 투하된 투자비를 연금화하여 산출한다.

수열비는 연도별·지사별로 수입단가에 수열량을 곱해 추산한다.

$$\text{수열비} = \text{연도별} \cdot \text{지사별 수열단가} \times \text{연도별} \cdot \text{지사별 수열량}$$

수열은 한전 수열, 소각로 수열, 지사간 수열로 구분할 수 있는데 지사별 수열비에는 한전 수열과 소각로 수열만 포함하고 지사간 수열은 제외한다. 타지사로부터 수열은 지사간 열수급의 과부족을 해소하기 위해 타지사로부터 열을 공급받는 일종의 내부거래이다. 따라서 각 지사의 생산비에 타지사 수열비를 포함하면 열을 생산하여 공급한 지사의 생산비에도 포함되고 수열받은 지사의 생산비에도 포함되는 이중계산의 문제가 발생한다. 이와 같은 이중계산의 문제를 방지하기 위해 지사간 수열량과 수열비는 열생산량과 수열비 항목에서 제외한다. 연료비는 지사별·연료별 사용량과 연료단가를 이용하여 다음과 같이 추산한다.

10) 예를 들어, 열병합발전의 열생산은 폐열을 재활용하는 기술적 특성으로 인해 열산출계수가 매우 높다. 따라서 열병합발전의 연료사용량은 다른 열원방식에 비해 훨씬 적을 수 있다.

〈표 3〉 지사별·연도별 고정비 추산결과

(단위 : 100만 원)

구분	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
중앙	5,337	5,421	6,036	8,113	8,382	8,768	9,013	9,253
강남			10,977	11,102	11,378	12,049	12,634	12,863
분당			10,670	11,952	15,087	19,414	23,943	25,174
안양			8,272	8,631	9,175	9,362	9,559	9,692
고양			9,801	10,617	11,021	11,415	11,898	13,219
부천			5,740	6,405	8,170	9,227	9,404	9,737
대구							14,542	15,262
수원							18,671	21,086

$$FUEL_t = \sum_i p_{it} F_{it}$$

$i = \{LSWR, B-C유, 보일러 등유, 경유\}$

$FUEL_t = t$ 년도 연료비

$p_{it} = t$ 년도 i 번째 연료 가격

$F_{it} = t$ 년도 i 번째 연료 사용량

용수비, 동력비 그리고 급여 및 상여, 퇴직급여, 단체퇴직급여, 잡급 등을 포함하는 노무비는 지역난방공사 내부자료인 지사별 제조원가명세서의 해당 항목을 그대로 사용한다. 또한 기타경비는 제조원가명세서의 제조경비항목 중 감가상각을 제외한 비용을 합하여 추산하였다.

고정비는 제조원가상의 감가상각비 항목에 해당된다. 그런데 감가상각비는 경제적 이유가 아닌 재무상의 이유로 다양한 방법으로 책정되기 때문에 제조경비항목에 나와 있는 감가상각비를 그대로 고정비로 사용하는 것은 합리적이지 못하다. 본 연구에서 이용된 고정비는 지역난방공사의 경영통계에 있는 지사별로 매년 투자된 투자비를 20년의 시설 내구연한과 8%의 할인율을 가정하고 연금화하여 이를 누적하여 추산하였다.

◎ 참고 문헌 ◎

1. 김영덕, “도시가스산업에서의 규모의 효과”, 「경제학연구」, 제48집 제2호, 2000.
2. 에너지경제연구원, “지역난방 및 도시가스 난방의 경제성분석과 향후 역할분담연구”, 1994.
3. 임원혁 외, “민영화와 집단에너지사업”, 한국개발연구원, 2000. 2.
4. _____, “통계정보”, 2000. (<http://www.kdhc.co.kr>)
5. 한국지역난방공사, “지역난방방식의 에너지절감 및 환경개선 효과분석”, 2001. 3.
6. Caves, D. W., Christensen, L. R. and M. W. Tretheway, “Economies of Density Versus Economies of Scale: Why Trunk and Local Service Airline Costs Differ,” *Rand Journal of Economics*, 15, 1984, pp. 471~489.
7. Nelson, R. A., “The Effects of Competition on Public-owned Firms, Evidence from the Municipal Electric Industry in the US,” *International Journal of Industrial Organization*, 8, 1990, pp. 37~51.
8. Roberts, M. J., “Economies of Density and Size in the Production and Delivery of Electric Power,” *Land Economics*, Vol. 62, No. 4, 1986, pp. 378~387.

ABSTRACT

A Study on the Enviromental Impact
of District Heating System

Yang-Hoon Sonn · Joo Heon Park · Jun-Hyuk Cho

In this paper we analyze the environmental advantages of district heating system. We construct three econometric models to analyze the energy consumption and economic cost as well as the emission of the major pollutants like SO_x, NO_x, DUST, and CO₂. As the size of heating supply is larger, the district heating system is evaluated to be better than other heating systems environmentally and costly in the long run. Especially, the district heating reduces SO_x emission significantly when the size of heat production is large. But the advantages of district heating system are very sensitive to the fuel mix and heat source.