

지역난방의 오염물질 배출 저감 전략

박주현 · 손양훈

지역난방은 환경친화적일 때 개별난방보다 우수하다. 지역난방은 개별난방이 택할 수 없는 탈황설비, 저질소버너, 집진기 등을 설치할 수 있고 폐열을 활용할 수 있다는 장점을 활용해야 한다. 본 논문의 목적은 기존 지역난방 사업의 환경친화성을 평가하고 환경친화적 열원 및 연료믹스 조합을 제시하는 것이다. 지역난방의 환경친화성은 오염물질로 평가가 크게 엇갈린다. 열원구성과 연료믹스는 지역난방 사업이 실시될 지역의 환경에 따라 달리 구성되어야 한다. 열병합발전소의 폐열을 활용하지 않고 자체 대형 열전용보일러에 의존하는 지역난방 방식은 천연가스를 연료로 하는 개별난방에 비해 환경친화성을 확보하지 못한다.

I. 개 관

대규모 열원플랜트를 이용하여 에너지를 일괄 공급하는 방식인 지역난방은 일반적으로 개별난방 방식에 비해 환경친화적 난방 방식으로 이해되고 있다. 그러나 지역난방의 환경친화성은 지역난방의 기술적 특성이 아니라 환경친화적 운영의 결과라는 점에 주의하여야 한다. 오염물질 배출량은 근본적으로 사용 연료의 종류와 양에 달려 있는 것이지 열생산의 규모에 따라 달라지는 것이 아니

동덕여자대학교 경영경제학부, 서울특별시 성북구 월곡동 23-1, 136-714.

인천대학교 경제학과, 인천광역시 남구 도화동 177, 402-749.

다. 지역난방도 열생산효율이 떨어지고, 오염물질 배출계수가 높은 연료의 사용 비중이 높다면 결코 개별난방에 비해 환경친화적일 수 없다.

지역난방은 개별난방에 비해 연료믹스, 열원 구성의 선택 폭이 넓다. 개별난방의 열원은 보일러 이외에는 현실적 대안이 없으며, 사용연료도 사실상 보일러 선택과 함께 패키지로 결정된다. 더구나 사용연료도 지역과 주거 형태에 따라 법으로 정해지는 경우가 많아, 개별난방의 자유로운 열원구성과 연료믹스 선택은 거의 불가능하다고 평가해도 지나치지 않는다. 이와는 대조적으로 지역난방은 목적에 따라 다양한 열원과 연료를 선택적으로 조합할 수 있다. 열원으로 열전용보일러(HOB)뿐만 아니라 열병합발전이나 쓰레기소각의 폐열을 활용할 수도 있고, 연료 선택의 폭은 더욱 넓어 규제만 없다면 모든 연료가 선택 대상이 될 수 있다.

환경친화성은 지역난방 사업의 여러 목적 중 하나이다. 지역난방 사업의 목적은 열생산비 저감, 에너지절약, 환경친화성 등을 조화시키는 데 있다. 환경친화성을 강조한 나머지 상대적으로 비싼 청정연료 사용만을 고집할 수 없으며, 생산비 저감에 치우쳐 환경을 악화시킬 수도 없다. 따라서 지역난방사업의 다양한 목적을 모두 만족시킬 수 있는 열원 및 연료믹스를 찾는 일은 지역난방사업의 핵심 사안이 되어야 한다.

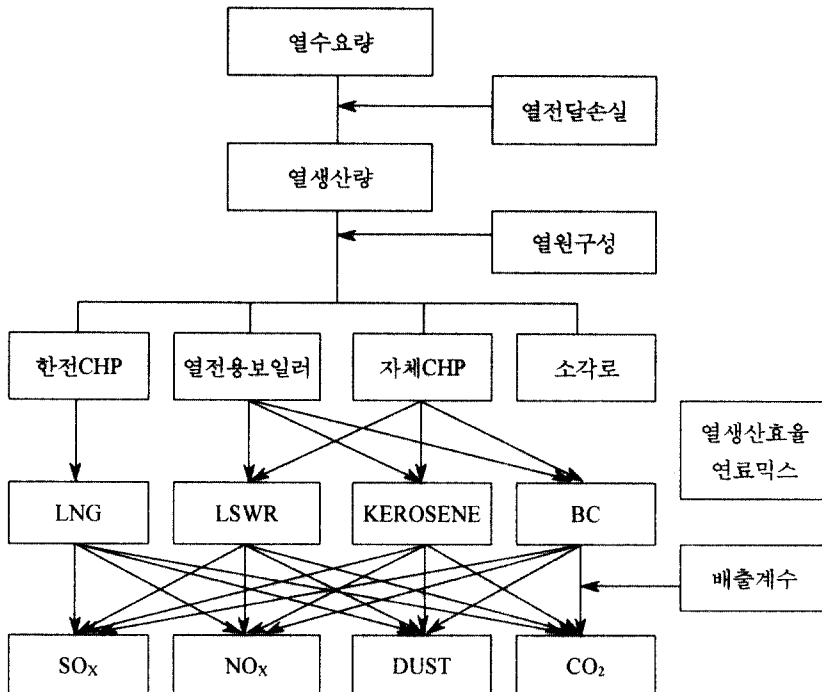
본 논문의 목적은 기존 지역난방 사업의 환경친화성을 평가하고, 환경친화적 열원 및 연료믹스 조합을 제시하는데 있다. 이와 같은 목적을 위해 제Ⅱ절에서 지역난방의 오염물질 배출량을 추정할 수 있는 모형을 제시하고, 제Ⅲ절에서는 우리 나라 지역난방사업의 현실을 반영한 모형내 모수(parameter)값을 설정한다. 제Ⅱ절과 제Ⅲ절에서 제시한 모형과 모수값을 반영한 지역난방의 환경친화적 열원구성과 연료믹스를 제Ⅳ절에서 제시하고, 제Ⅴ절에서 지역난방의 환경친화성을 전체적으로 평가하며 맺는다. 여기서 지역난방의 환경친화성은 천연가스 개별난방을 경쟁 난방방식으로 가정하고 이산화황(SO_x), 질소산화물(NO_x), 먼지(DUST), 이산화탄소(CO₂)의 배출량을 기준으로 판단한다. 이와 같은 분석은 현재 지역난방이 개별난방에 비해 얼마나 환경친화적 인지를 밝히게 된다.

II. 오염물질 배출량 추정모형

오염물질 배출량은 연료 사용량이 많고 적음에 달려 있다. 연료 사용량은 열 생산량과 열원방식 그리고 연료믹스에 달려 있음은 물론이다. 열생산량이 많을 수록, 또 열생산효율이 낮은 열원의 의존도가 높을수록 연료의 절대 사용량이 늘어나는 것은 당연하다. 그러나 개별연료의 사용량은 절대 사용량이 결정된다고 해서 저절로 결정되는 것이 아니라 연료 믹스에 따라 결정된다.

〈그림 1〉은 지역난방에서 오염물질 배출량이 결정되는 과정을 나타내고 있다. 먼저 열생산량은 수용가들의 열수요량을 충족시킬 수 있는 수준에서 결정되어야 하는데 생산된 열을 수용가에게 전달하는 과정에서 발생하는 열손실이 발

〈그림 1〉 오염물질 배출량 추정의 흐름도



생하기 때문에 열전달손실을 감안하여 열수요량보다는 다소 많은 양이 생산되어야 한다.

총 열생산량이 결정되면 지역난방 사업자는 활용 가능한 열생산방식별로 열생산량을 할당하게 된다. 현재 지역난방에서 활용 가능한 열생산방식은 크게 한전의 열병합발전소(CHP)나 소각로로부터 수열받는 방식과 지역난방 사업자가 자체적으로 보유하고 있는 열병합발전설비(CHP) 혹은 열전용보일러(HOB)를 이용하여 열을 생산하는 방식으로 구분할 수 있다.

열원별로 생산량이 할당되면, 각 열원에서 사용하게 될 절대 연료사용량이 결정된다. 열원별로 열생산효율¹⁾이 크게 다르기 때문에 같은 열생산 할당량이라도 연료사용량은 크게 차이가 날 수 있다. 예를 들어, 폐열을 활용하는 열병합발전에 의한 열생산 효율은 처음부터 열생산을 주목적으로 하는 열전용보일러의 열생산효율을 크게 능가하게 된다.

열원별로 할당된 절대 연료사용량은 다시 연료별로 사용량을 나누는 연료믹스를 구성하게 된다. 현재 열원별로 사용연료는 거의 정해져 있는 상태이지만 앞으로 변경 가능성을 배제할 수 없기 때문에 일단 어떤 형태의 연료믹스도 가능하다고 가정한다. 다만 한전 열병합발전의 연료 선택은 지역난방 사업자의 결정 사항이라고 보기 어려워 한전 열병합발전 연료는 현재와 같이 천연가스가 계속 사용된다고 가정한다.

열원별로 연료믹스가 결정되면 오염물질 배출량은 각 연료사용량과 오염물질 배출계수를 승함으로써 추산된다. 지역난방과 관련된 오염물질은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 추정모형에서는 현재 지역난방공사에서 추산하고 있는 이산화황(SO_x), 질소산화물(NO_x), 먼지(DUST), 이산화탄소(CO₂)로 국한하여 추정한다.

1. 열수요량

열수요는 열공급 지역의 가구수, 난방면적, 용도별 구성, 소득수준, 기상여건 등에 의해 결정되기 때문에 전적으로 열수용가들에 의해 결정되는 변수로 열공

1) 열생산효율은 열산출계수를 이용하여 나타낸다. 열산출계수=열생산량/투입에너지.

급자가 통제할 수 없는 변수이다. 물론, 열공급자가 적극적인 수요관리정책을 채택하고 있다면 열수요량도 열공급자가 어느 정도 통제할 수도 있지만, 공급관리에 치중하고 있는 현재 지역난방사업의 특성상 열수요량에 대해 통제력을 갖고 있다고 보기 힘들다.

2. 열생산량

열수요량을 충족시키기 위한 열공급을 위해서는 열전달과정에서 발생하는 열손실만큼 추가로 열을 생산하여야 한다. 구체적으로 열수요량이 H^D 로 주어질 때 지역난방 사업자가 생산해야 할 열생산량(H^S)은 열전달손실률을 감안하여 H^D 보다 많아야 한다.

$$H^S = H^D / (1 - l) \quad (1)$$

여기서 H^S : 열생산량

H^D : 열수요량

l : 열전달손실률

3. 열원별 열생산량

열생산에 필요한 연료량을 결정하는데 열원구성은 매우 중요하다. 열원별로 투입에너지 대비 열생산량으로 정의되는 열산출계수가 크게 다르기 때문에 어떤 열원으로 열을 생산하는가에 따라 연료사용량이 크게 다르다.²⁾

열원별 열생산량은 열원구성비(a_i)에 비례하여 정해진다. 물론 지역난방사업자는 열원구성비를 조정하여 열생산비용, 오염물질 배출량 등을 조절할 수 있기

2) 가령 열병합발전에 의한 열생산은 폐열을 활용하기 때문에 열산출계수가 대단히 높은 반면, 열전송보일러를 이용한 열생산은 개별난방이나 중앙난방의 열생산방식과 크게 다르지 않기 때문에 열산출계수가 크게 높을 수 없다.

때문에 열원구성비는 지역난방사업자의 통제변수이다. 다음은 우리 나라 지역난방사업이 채택하고 있는 열생산방식, 즉 한전열병합발전, 열전용보일러, 자체열병합발전, 소각로의 열원구성 모형이다.

$$H_i = a_i H^s, \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1 \quad (2)$$

여기서 H^s 는 총열생산량, H_i 는 열원별 열생산량, a_i 는 열원별 구성비율 그리고 하첨자 {1, 2, 3, 4}는 차례대로 한전열병합발전, 열전용보일러, 자체열병합발전, 소각로를 의미한다.

4. 열원별 투입 에너지

열원별 에너지 사용량은 투입에너지 대비 열생산량으로 정의된 열원별 열산출계수에 따라 크게 달라진다. 왜냐하면 열산출계수가 높다는 의미는 동일한 열을 생산하는데 필요한 투입 에너지가 적다는 뜻이므로 열산출계수가 높은 열원의 열생산량이 많으면 투입 에너지가 적어지기 때문이다.

열원별 절대 연료 사용량은 각 열원에 할당된 열생산량과 열산출계수에 달려 있으므로 다음과 같이 결정된다.

$$F_i = H_i / \gamma_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

여기서 F_i 는 열량 단위(Gcal)로 표시된 열원별 연료투입량을, γ_i 는 열원별 열산출계수를 의미한다. 하첨자 {1, 2, 3}는 차례대로 한전열병합발전, 열전용보일러, 자체열병합발전을 의미한다. 이 때 열원으로 소각로가 고려되지 않는 이유는 소각로에서 생산된 열은 전량 폐열을 활용하므로 열생산을 위한 추가적 연료가 필요하지 않기 때문이다.

5. 연료믹스

오염물질 배출량은 사용 연료 종류에 따라 크게 달라진다. 그런데 각 열원은 다양한 연료를 사용하여 열을 생산할 수 있기 때문에 각 열원이 연료믹스를 어떻게 구성하는가에 따라 오염물질 배출량이 달라짐은 물론이다.

현재 열생산의 비중이 가장 큰 한전의 열병합발전의 경우 1993년까지만 하여도 LSWR을 연료로 이용하기도 하였지만 그 이후 천연가스만을 사용하여 전기와 열을 생산하고 있다. 한전 열병합발전의 연료선택은 지역난방 사업자의 결정 사항이 아니고, 또 앞으로도 현재와 같이 계속 천연가스를 사용할 것으로 예측되므로 일단 한전 열병합발전의 연료는 천연가스로 제한하기로 한다.

그러나 열전용보일러, 자체 열병합발전의 연료믹스는 환경계약과 같은 제약조건을 고려하여 지역난방 사업자가 자신에게 가장 유리한 방향으로 선택할 수 있는 통제 변수로 간주하고 이들 열원의 연료믹스는 자유롭게 구성할 수 있다고 가정하였고, 사용 가능한 연료는 현재까지 사용 실적이 있었던 천연가스(LNG), LSWR, 등유(KEROSENE),³⁾ 벙커C유(BC)로 제한하였다.

열원별 개별 연료 사용량은 열원별 총 연료투입량에 연료믹스를 곱함으로써 얻을 수 있다.

$$\text{한전 CHP: } LNG_1 = F_1 \beta_{1L} \quad (4)$$

$$\text{자체 HOB: } LNG_2 = F_2 \beta_{2L}, \quad LSWR_2 = F_2 \beta_{2W},$$

$$KERO_2 = F_2 \beta_{2K}, \quad BC_2 = F_2 \beta_{2B}$$

$$\text{자체 CHP: } LNG_3 = F_3 \beta_{3L}, \quad LSWR_3 = F_3 \beta_{3W},$$

$$KERO_3 = F_3 \beta_{3K}, \quad BC_3 = F_3 \beta_{3B}$$

여기서 $\beta_{iL} + \beta_{iW} + \beta_{iK} + \beta_{iB} = 1$, $i = 1, 2, 3$, $\beta_{ij} (i = 1, 2, 3; j = L, W, K, B)$ 는 열원별 연료사용 비중을 의미한다. 또한 하첨자 i 는 차례대로 한전수열, 열

3) 보일러 등유를 의미하며, 편이상 경유를 포함한다.

전용보일러, 자체CHP 등 열원방식을 의미하며, 하첨자 $\{L, W, K, B\}$ 는 각각 LNG, LSWR, KEROSENE(보일러 등유, 경유), BC(벙커C)유를 의미한다.

6. 오염물질 배출량 추정

열원별 연료믹스가 결정되면 오염물질 배출량은 연료 사용량에 해당 오염물질 배출계수를 승함으로써 추산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 SO_X &= \sum_{i=1}^3 LNG_i E_{LS} + \sum_{i=2}^3 (LSWR_i E_{WS} + KERO_i E_{KS} + BC_i E_{BS}) \\
 NO_X &= \sum_{i=1}^3 LNG_i E_{LN} + \sum_{i=2}^3 (LSWR_i E_{WN} + KERO_i E_{KN} + BC_i E_{BN}) \\
 DUST &= \sum_{i=1}^3 LNG_i E_{LD} + \sum_{i=2}^3 (LSWR_i E_{WD} + KERO_i E_{KD} + BC_i E_{BD}) \\
 CO_2 &= \sum_{i=1}^3 LNG_i E_{LC} + \sum_{i=2}^3 (LSWR_i E_{WC} + KERO_i E_{KC} + BC_i E_{BC})
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 첨자 i 는 차례대로 한전수열, 열전용보일러, 자체CHP 등 열원방식을 의미하고, E_{mn} ($m = L, W, K, B, n = S, N, D, C$)은 연료별 오염물질 배출계수 (kg/Gcal)를 나타내고 있는데, 첫 번째 첨자는 연료의 종류를 나타내고 있고 두 번째 첨자는 오염물질 종류를 나타내고 있다 (L : LNG, W : LSWR, K : KEROSENE, B : BC, S : SO_x , N : NO_x , D : DUST, C : CO_2)

지금까지 단계별로 살펴본 오염물질 배출 추정모형을 종합적으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} SO_X \\ NO_X \\ DUST \\ CO_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\alpha_1}{\gamma_1} \frac{H^D}{(1-l)} \beta_{1L} E_L \\ + \frac{\alpha_2}{\gamma_2} \frac{H^D}{(1-l)} \{ \beta_{2L} E_L + \beta_{2W} E_W + \beta_{2K} E_K + \beta_{2B} E_B \} \\ + \frac{\alpha_3}{\gamma_3} \frac{H^D}{(1-l)} \{ \beta_{3L} E_L + \beta_{3W} E_W + \beta_{3K} E_K + \beta_{3B} E_B \} \end{pmatrix} \tag{6}$$

E_L , E_W , E_K , E_B 는 다음과 같이 개별연료의 오염물질 배출계수 벡터를 의미한다.

$$E_L = \begin{pmatrix} E_{LS} \\ E_{LN} \\ E_{LD} \\ E_{LC} \end{pmatrix}, E_W = \begin{pmatrix} E_{WS} \\ E_{WN} \\ E_{WD} \\ E_{WC} \end{pmatrix}, E_K = \begin{pmatrix} E_{KS} \\ E_{KN} \\ E_{KD} \\ E_{KC} \end{pmatrix}, E_B = \begin{pmatrix} E_{BS} \\ E_{BN} \\ E_{BD} \\ E_{BC} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Ⅲ. 모수 설정

앞 절에서 제시한 모형을 이용하여 지역난방에서 배출되는 오염물질의 양을 구체적으로 추산하기 위해서는 모형내의 각종 모수(parameter)에 현실적 수치를 부여해야 한다. 모수에 현실적 수치를 부여하는 방법은 기술적 접근과 통계적 접근으로 구분할 수 있다. 기술적 접근은 실험실과 같은 이상적 상황에서 이론적으로 모수값을 결정하는 방법으로 과학적 근거는 확실하지만, 비현실적인 결과를 초래할 수 있다. 이와는 대조적으로 통계적 접근은 과학적인 근거 제시 어렵지만, 실제 지역난방 사업 결과 나타난 경험데이터에 근거하기 때문에 현실적인 모수값을 추정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기술적 접근은 사업 실시 전에 활용할 가치가 높은 반면, 일단 사업이 실시되고 충분한 데이터가 집적되면 통계적 접근이 오히려 현실을 반영한 정확한 모수값을 제공한다. 본 논문에서도 지난 10여 년 간 운영된 지역난방 사업의 경험 데이터에 근거하여 모수값을 설정한다.

1. 열손실률

열공급량과 열판매량의 차이로 계측된 지역난방공사의 열전달손실률을 연도

〈표 1〉 연도별 열전달 손실률

(단위 : Gcal, %)

	공급량	판매량	열손실량	열손실률
1990	793,208	753,884	39,324	4.96
1991	837,338	798,036	39,302	4.69
1992	1,618,720	1,426,609	192,111	11.87
1993	3,407,171	3,121,003	286,168	8.40
1994	4,309,181	3,998,220	310,961	7.22
1995	5,987,620	5,587,964	399,656	6.67
1996	7,109,514	6,809,461	300,053	4.22
1997	7,708,388	7,525,980	182,408	2.37
1998	7,487,021	7,135,976	351,045	4.69
1999	8,668,761	8,293,882	374,879	4.32
계	47,926,922	45,451,015	2,475,907	5.17

별로 살펴보면 평균적으로 5.17% 정도이나 매우 편차가 심하다. 특히, 1992년의 손실률은 무려 11.87%로 평균 손실률보다 2배 이상 높게 나타나고 있는 반면, 1997년의 손실률은 2.37%로 평균 손실률의 1/2에도 미치지 못하고 있다. 또한 1993년과 1994년의 경우도 비정상적으로 보일 정도로 높은 손실률을 나타내고 있다.

따라서 평균 열전달손실률은 극단치에 큰 영향을 받고 있어 대표값으로 이용되기 어려울 것으로 판단된다. 본 추정모형에서는 이와 같은 평균열전달손실률의 문제점을 인식하고 가장 최근에 경험한 1999년의 실적치 4.32%를 열전달손실률로 간주하였다.

2. 열산출계수

열전용보일러의 열산출계수는 대체적으로 80%를 약간 상회하는 정도로 나타나고 있으나 폐열을 활용하는 열병합발전은 자체CHP인 경우는 127.52%이고

〈표 2〉 열원별 열산출계수

구분	HOB회사 (강남, 분당, 고영)	HOB회사(대우, 수원, 광주)		한전CHP
		CHP	CHP	
열산출계수(%)	82.10	83.57	127.52	268.95

주: * 한전과 자체 CHP의 열산출계수는 생산 열량을 투입 열량으로 나누어 계산함.

** HOB의 열산출계수는 지역난방공사가 제공한 자료임.

한전 CHP의 경우는 무려 268.95%로 나타나고 있는데 이는 투입에너지보다 열생산량이 많은 것으로 간주된다는 뜻이다.

물론, 열산출계수는 100%를 넘지 않아야 정상이다. 왜냐하면 열산출계수가 100%를 넘는다는 것은 열생산량이 투입에너지보다 많다는 의미인데 이는 열역학법칙을 위반하기 때문이다. 그럼에도 불구하고 열병합발전의 열산출계수가 100%를 넘는 것은 발전 후 폐열을 활용하기 때문이다. 열병합발전의 열산출계수는 열병합발전에 투입된 총에너지에서 발전용에너지를 제외한 나머지를 열생산을 위한 투입에너지로 간주하고 추산한다. 폐열도 열생산을 위한 투입에너지라는 면에서는 열생산을 위해 직접 투입된 에너지와 다르지 않지만, 폐열은 열생산에서 재활용되지 않으면 어차피 버려지는 열이기 때문에 열생산을 위한 투입에너지에 포함시키지 않는다. 따라서 폐열로 생산된 열은 투입에너지가 없이 생산한 것과 같이 취급된다. 결국, 열병합발전의 열생산량은 열생산용 투입에너지를 이용해 생산된 부분과 폐열을 활용하여 생산된 부분으로 나눌 수 있는 반면, 열산출계수 산정시 기준이 되는 투입에너지는 열생산용 투입에너지이므로 열병합발전의 열산출계수는 100%를 넘게 된다.

3. 배출계수

오염물질 배출량은 연료 사용량에 해당 오염물질 배출계수를 승함으로써 추산할 수 있다. 배출계수는 단위 연료 사용량에서 배출되는 오염물질의 양을 나

〈표 3〉 EPA 오염물질 배출계수

	LNG	LSWR	BC	보일러동유
	kg/천m ³	kg/t	kg/t	kg/t
SO _x	0.0096	19S*	19S*	19S*
NO _x	4.48	5.64	5.64	2.88
DUST	0.03	1.20	1.12S+0.37	0.24
CO ₂	1.92	34.4C*	34.4C*	30.7C*

주 : * 연료중 황(S), 탄소(C) 함유량의 백분율(%)임.

자료 : EPA, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, 1999.

〈표 4〉 지역난방의 사용연료 중 황 및 탄소 함유량

(단위 : %)

	LSWR	BC	보일러동유
황	0.25	1.0	0.1
탄소	86	85	86

자료 : 한국지역난방공사, 「에너지절감 및 환경개선 효과」, 한국지역난방공사, 2000.

타낸 기술적 계수인데 미국 환경청(EPA)에서 제시하고 있는 배출계수가 흔히 이용된다.

오염물질 배출계수 중 SO_x와 CO₂의 배출계수는 사용 연료의 황함유량 및 탄소함유량의 백분율에 따라 달라진다. 현재 지역난방으로 사용되는 연료의 황 및 탄소 함유량은 다음과 같다.

EPA가 제시하고 있는 배출계수는 추가적인 오염물질 배출 저감 수단을 동원하지 않는다는 가정하에 적용될 수 있는 계수이다. 그러나 오염물질 배출을 줄일 수 있는 수단은 오염물질별로 다양하게 발달되어 있다. 예를 들어 황산화물은 배연탈황(Flue Gas Desulfurization) 시설을 이용하면 배출량을 획기적으로 줄일 수 있고, 질소산화물(NO_x)의 배출량도 저질소버너 사용 여부에 따라 크게 차이가 나며, 먼지(DUST)의 배출량은 집진기를 설치하면 거의 대부분 줄일 수 있다.

〈표 5〉 배출저감 시설 현황

오염물질	배출저감 수단	저감효율(%)	설치 지사
SO _x	배연탈황(FGD)	90	대구
NO _x	저질소버너	40	강남지사를 제외한 전지사
DUST	전기집진기	90	강남, 대구, 수원, 청주
	원심력집진기	60	분당, 안양, 고양, 부천

자료: 한국지역난방공사, 『에너지절감 및 환경개선 효과』, 한국지역난방공사, 2000.

〈표 6〉 우리 나라 지역난방의 열량당 오염물질 배출계수(1999 현재)

(단위: kg/Gcal)

	LNG	LSWR	보일러동유	병커C유	비 고
SO _x	0.0009	0.0481	0.2058	0.1906	BC유는 FGD 설치 가정 ¹⁾
NO _x	0.2559	0.3425	0.1871	0.3394	저질소버너 사용 가정 ²⁾
DUST	0.0011	0.0486	0.0104	0.0598	원심력집진기 ³⁾
	0.0003	0.0121	0.0026	0.0149	전기집진기 ⁴⁾
CO ₂	182.7840	299.3901	285.9337	293.2772	

- 주: 1) FGD의 저감효율: 90%.
- 2) 저질소버너 저감효율: 40%.
- 3) 원심력집진기 저감효율: 60%.
- 4) 전기집진기 저감효율: 90%.

따라서 지역난방에서 실제 배출되는 오염물질을 정확히 추산하기 위해서는 현재 사업현장에서 이용되는 오염물질 배출 저감수단을 고려하여 배출계수를 조정할 필요가 있다.

예를 들어, 병커C유를 사용하고 있는 유일한 지사인 대구지사는 1.0% 병커C유를 사용하고 탈황률 90%인 배연탈황시설을 가동하고 있기 때문에 여기에 적용될 SO_x의 배출계수는 1.9kg/kl (19×1.0×(1-0.9))로 조정되어야 한다. 또한 강남지사를 제외한 전 지사에 걸쳐 저질소버너가 설치되어 있기 때문에 질소산화물(NO_x)의 경우 배출계수는 40%만큼 할인해야 하고, 먼지도 설치 집진기 종류에 따라 배출계수가 적절히 조절되어야 한다.

따라서 현재 채택되고 있는 오염물질 배출저감 기술을 EPA배출계수에 반영하면 현재 지역난방의 기술적 여건을 고려한 연료별 열량(Gcal)당 오염물질 배출계수를 얻을 수 있는데 그 결과는 <표 6>에 정리되어 있다.

IV. 최적 열원구성 및 연료믹스

지역난방사업자가 열생산과 환경개선을 위해 조정할 수 있는 변수는 열생산량과 열원구성 그리고 연료믹스이다. 그러나 공급관리를 기본 경영방침으로 채택한 지역난방사업자의 열생산량은 열수용가들의 열수요에 따라 수동적으로 결정된다고 볼 수 있기 때문에 열생산량은 완전한 지역난방사업자의 통제변수로 보기 힘들다.

열수요 (H^D)를 충족시키기 위한 총 열생산량 ($H^D/(1-l)$)이 정해지면 이 총 열생산량을 열원별로 할당하고, 열원별로 할당된 열생산량은 각 열원의 열산출계수가 반영된 필요 연료총량이 결정된다. 다시 열원별 연료총량은 연료믹스 과정을 통해 개별연료 사용량이 결정된다.

따라서 지역난방사업자가 원활한 열공급과 함께 환경개선을 경영의 목표로 한다면 식 (8)을 만족하는 α , β 를 찾는 것을 의미한다. 즉, 열수요를 충족시킬 수 있는 열을 생산하면서 본 논문에서 고려중인 네 가지 오염물질 배출량도 개별난방의 배출량보다 적게 하는 열원구성 (α)과 연료믹스 (β)를 찾는 과정이다.

$$\left(\begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{\gamma_1} \frac{H^D}{(1-l)} \beta_{1L} E_L \\ + \frac{\alpha_2}{\gamma_2} \frac{H^D}{(1-l)} (\beta_{2L} E_L + \beta_{2W} E_W + \beta_{2K} E_K + \beta_{2B} E_B) \\ + \frac{\alpha_3}{\gamma_3} \frac{H^D}{(1-l)} (\beta_{3L} E_L + \beta_{3W} E_W + \beta_{3K} E_K + \beta_{3B} E_B) \end{array} \right) \leq \frac{H^D}{\gamma_4(1-l_h)} E_L \quad (8)$$

$$\frac{1}{(1-l)} \left(\begin{array}{c} \frac{\alpha_1}{\gamma_1} \beta_{1L} E_L \\ + \frac{\alpha_2}{\gamma_2} \{ \beta_{2L} E_L + \beta_{2W} E_W + \beta_{2K} E_K + \beta_{2B} E_B \} \\ + \frac{\alpha_3}{\gamma_3} \{ \beta_{3L} E_L + \beta_{3W} E_W + \beta_{3K} E_K + \beta_{3B} E_B \} \end{array} \right) \leq \frac{1}{\gamma_4(1-l_h)} E_L$$

여기서 α , β , $\gamma_i (i=1, 2, 3)$, H^D , E 등은 앞 절의 추정모형의 내용과 동일하고, γ_4 와 l_h 는 각각 개별난방 보일러의 열효율과 예열손실을 나타내고 있다.

식 (8)의 좌변은 한전 CHP, 열전용보일러, 자체CHP로 구성된 지역난방의 열원구성이 각각 α_1 , α_2 , α_3 이고, 한전CHP는 천연가스만 사용하고 열전용보일러와 자체CHP는 천연가스, LSWR, 보일러 동경유, 병커C유의 연료믹스를 각각 $\{\beta_{2L}, \beta_{2W}, \beta_{2K}, \beta_{2B}\}$ $\{\beta_{3L}, \beta_{3W}, \beta_{3K}, \beta_{3B}\}$ 로 했을 때의 SO_x , NO_x , DUST, CO_2 의 배출량 추정치를 의미한다. 또한 우변은 천연가스를 연료로 하는 개별난방의 네 가지 오염물질 배출량을 의미한다. 따라서 식 (8)의 의미는 개별난방보다 오염물질을 적게 배출하는 지역난방의 열원구성과 연료믹스를 의미한다.

만일 식 (8)을 만족하는 열원구성과 연료믹스가 존재하면 공사는 그와 같은 열원구성과 연료믹스를 선택함으로써 환경개선효과도 도모할 수 있게 된다. 본 논문에서는 열원구성과 연료믹스를 다양하게 변화시켜가며 지역난방의 오염물질 배출량이 어떻게 변화하는가를 살펴봄으로써 지역난방의 환경개선 효과를 분석한다.

<그림 2>와 <그림 3>은 소각로의 열원구성비는 0%로 가정하고, 각각 자체CHP가 없는 경우와 자체CHP가 있는 경우를 상정하여 오염물질별로 개별난방에 비해 배출량을 적게 하는 열원구성과 연료믹스의 조합을 나타내고 있다.

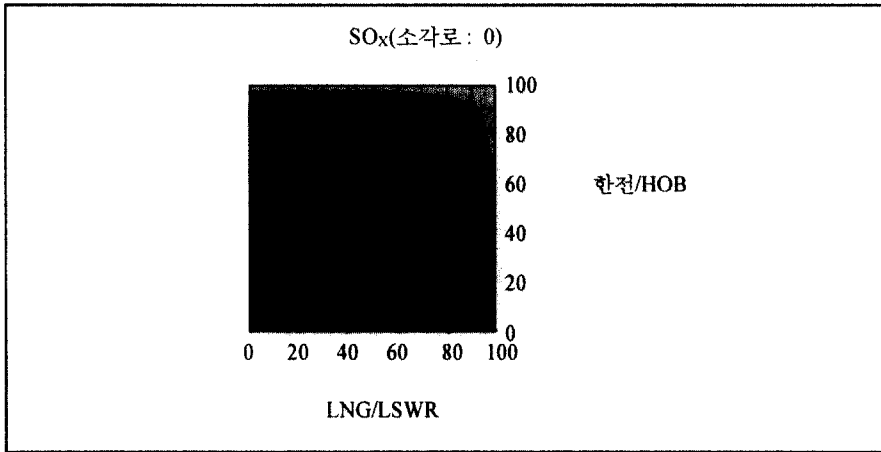
자체CHP가 없는 경우의 열원구성은 한전CHP와 열전용보일러(HOB)의 조합을 고려하는 반면, 자체CHP가 있는 경우에는 자체CHP와 열전용보일러의 조합이 고려된다. 이처럼 열원구성의 대상을 두 가지 열원으로 제한하고 있기 때문에 한 가지 열원의 구성비를 알면 나머지 열원의 구성비는 자동적으로 알 수 있게 된다. 가령 자체CHP가 없는 경우, 열전용보일러의 구성비는 전체에서 한

〈그림 2〉 환경개선을 위한 최적 열원구성 및 연료믹스(단위 : %)

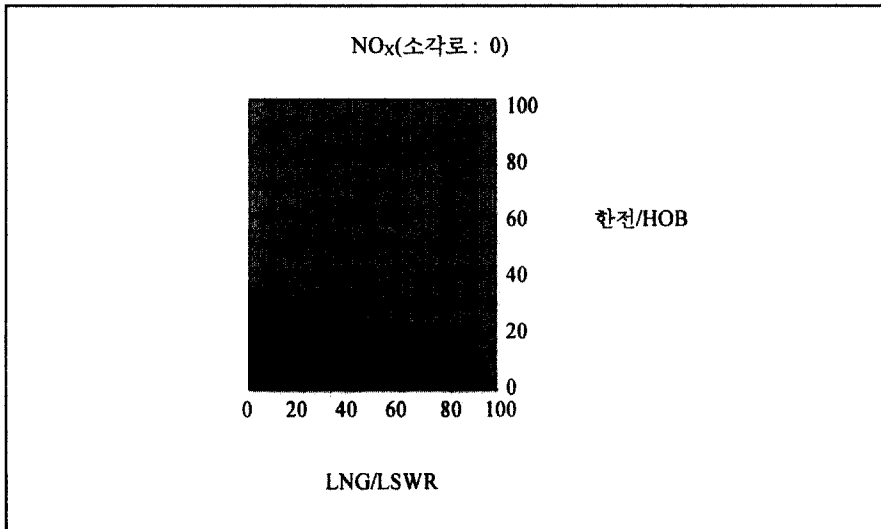
열원구성 : 한전수열, 열전용보일러

연료믹스 : LNG, LSWR

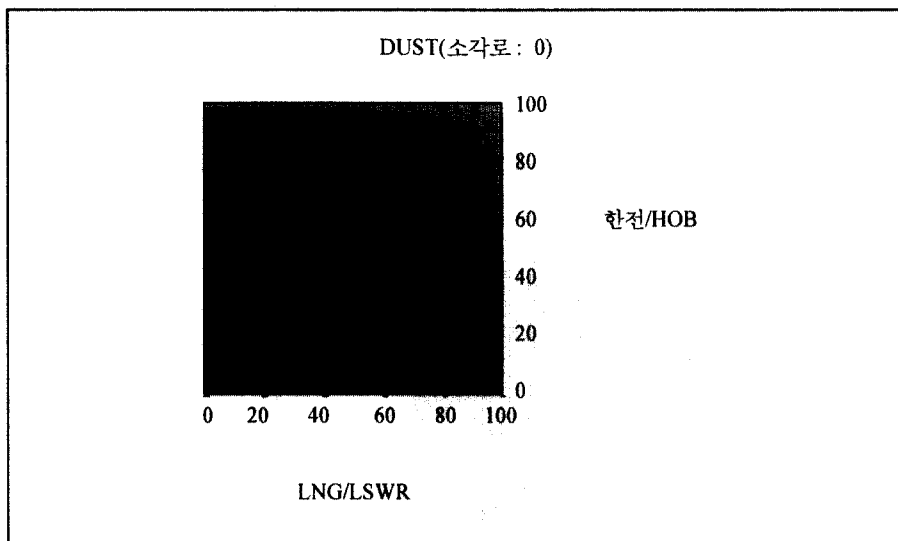
(1) SO_x



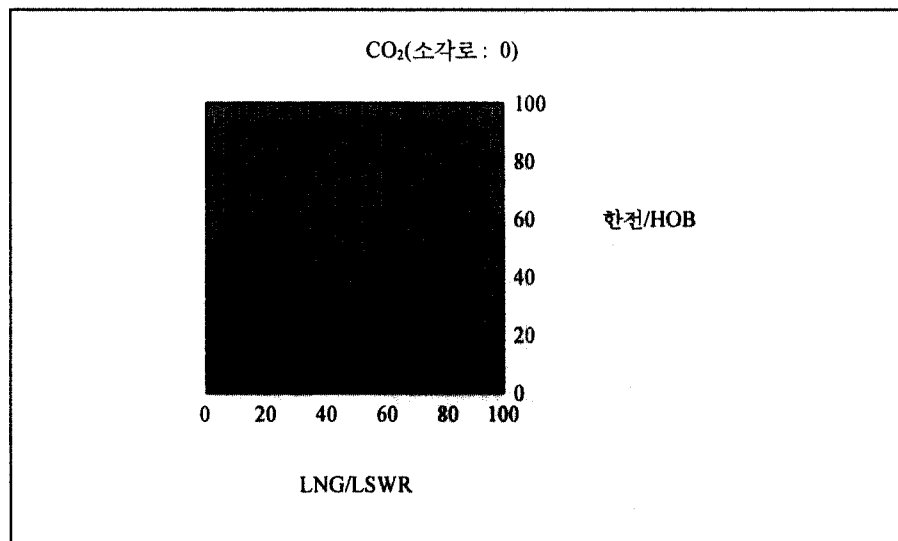
(2) NO_x



(3) DUST



(4) CO₂

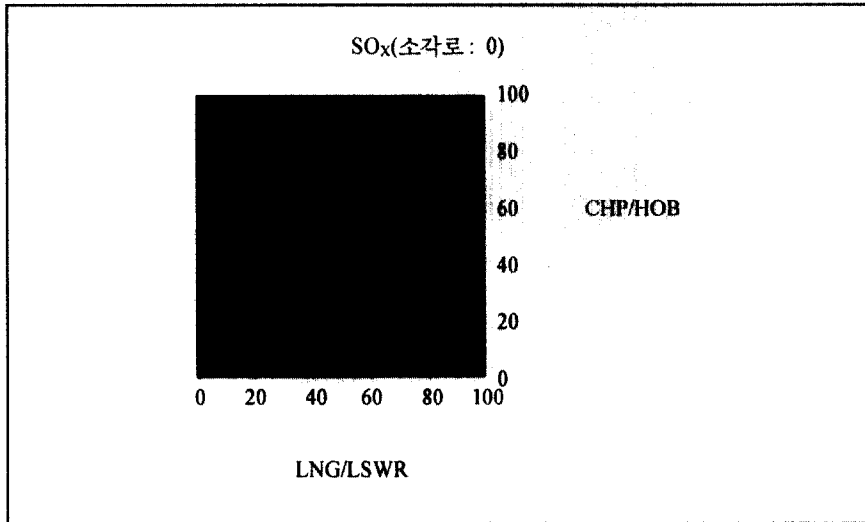


〈그림 3〉 환경개선을 위한 최적 열원구성 및 연료믹스(단위 : %)

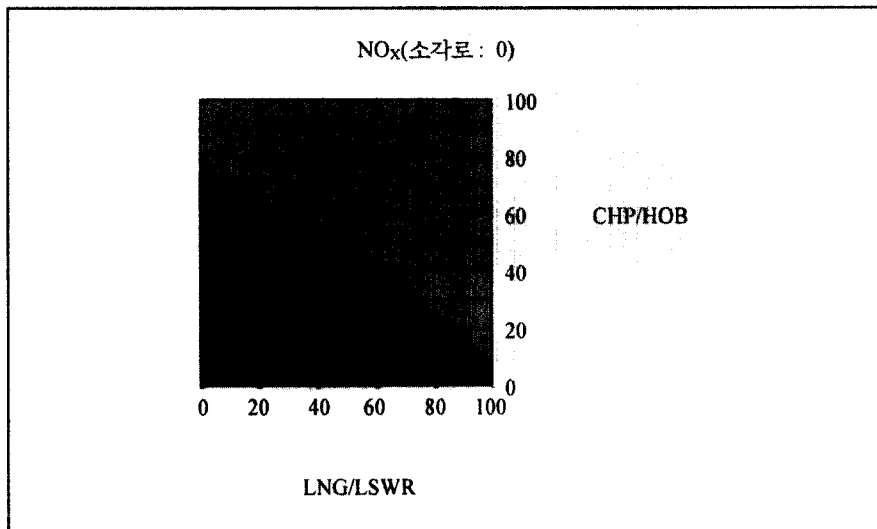
열원구성 : 자체CHP, 열전용보일러

연료믹스 : LNG, LSWR

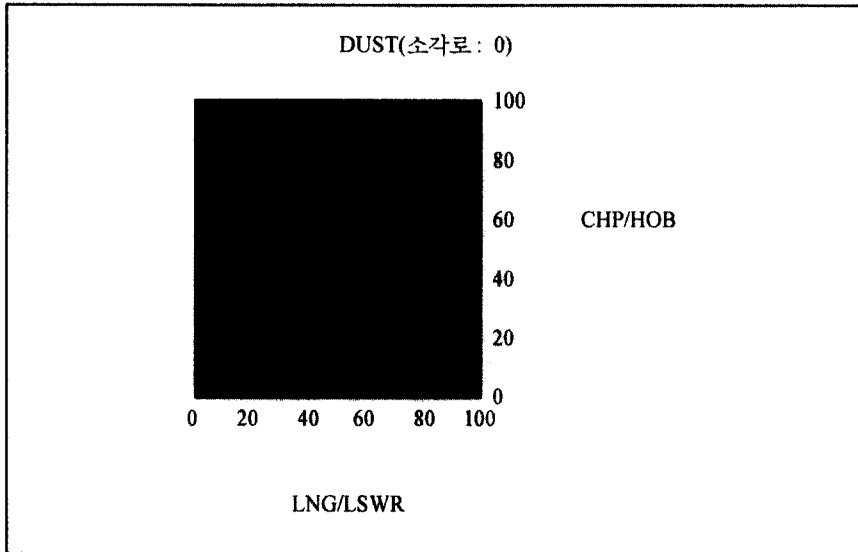
(1) SO_x



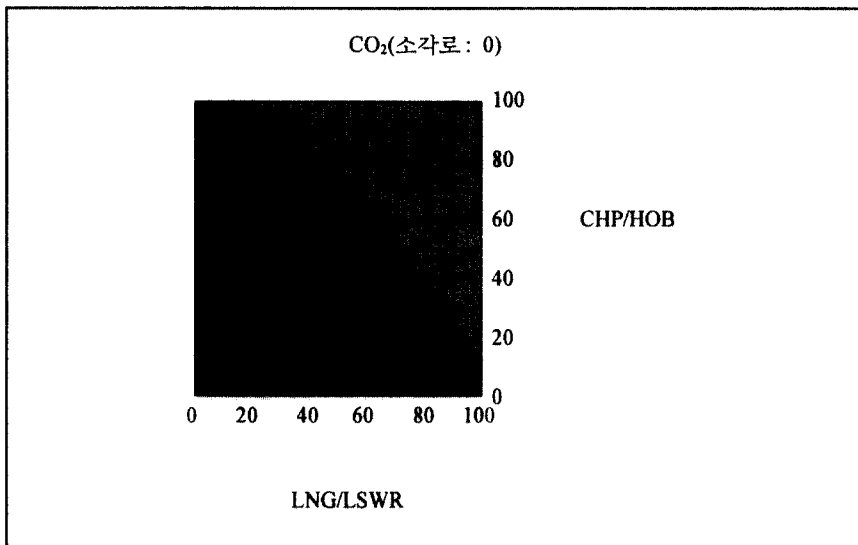
(2) NO_x



(3) DUST



(4) CO₂



전CHP의 구성비를 제한 나머지로 쉽게 파악된다. 예를 들어, 한전CHP의 구성비가 40%이면 HOB의 구성비는 자동적으로 60%로 정해진다.

한편, 연료믹스는 환경당국이 원하는 사용연료가 천연가스라는 점을 감안하여 천연가스와 LSWR로 국한하였다. 사실 현재 지역난방공사는 보일러등 경유는 보일러 예열을 위한 연료 정도로 사용하여 전체연료사용량에서 차지하는 비중이 높지 않다. 연료믹스의 대상을 천연가스와 LSWR의 두 가지 연료로 국한했기 때문에 열원구성과 마찬가지로 한 가지 연료의 구성비는 전체에서 상대 연료의 구성비를 제함으로써 쉽게 알 수 있다. 가령 천연가스 구성비가 40%이면 LSWR의 구성비는 자동적으로 60%가 된다.

<그림 2>와 <그림 3>의 열은 음영부분은 개별난방보다 배출량이 적은 열원구성과 연료믹스의 조합을 나타내는 반면, 진한 음영부분은 개별난방보다 배출량이 많은 열원구성과 연료믹스의 조합을 나타내고 있다.

SO_x의 경우, 자체CHP가 있건 없건 개별난방보다 배출량이 많아 환경적으로 유리한 열원구성과 연료믹스 조합이 매우 적음을 알 수 있다. 따라서 거의 대부분의 열생산을 한전CHP에 의존하거나 천연가스의 사용비중을 거의 100%로 유지하지 않으면, 지역난방이 개별난방에 비해 SO_x의 배출량을 줄일 수 없다는 결론에 이른다.

NO_x의 경우는 SO_x와 큰 대조를 이룬다. 지역난방의 NO_x 배출량은 한전CHP 혹은 자체CHP의 비중이나 LNG사용 비중을 약간 높여도 개별난방에 비해 줄어들 수 있다. 따라서 지역난방은 현재에도 개별난방에 비해 NO_x배출량이 적을 뿐만 아니라 추가적으로 더욱 저감할 수 있는 여지가 많다고 할 수 있다.

DUST의 경우는 SO_x의 경우와 유사한 패턴을 갖는다. 개별난방보다 DUST를 적게 배출할 수 있는 열원구성과 연료믹스의 조합이 크지 않다. 즉, 개별난방의 연료로 천연가스를 가정하고 있고 천연가스의 DUST 배출계수가 워낙 낮기 때문에 CHP의 열원구성비율과 LNG 연료믹스 비중을 동시에 거의 100%가량 높이지 않는 한 지역난방이 개별난방에 비해 DUST를 적게 배출하기 힘들다. 특히, 자체CHP가 있는 경우, 개별난방보다 DUST를 적게 배출하는 열원구성과 연료믹스의 조합은 거의 존재하지 않는다. 따라서 DUST의 오염도가 심각하여 DUST의 배출저감을 최우선으로 하는 지역인 경우에는 한전CHP의 열생산에

거의 의존하거나 지역난방의 연료를 천연가스로 제한하지 않으면 안 된다.

CO₂의 경우는 NO_x와 유사한 패턴을 갖는다. 한전CHP나 자체CHP의 비중이 50% 이하로 매우 낮더라도 천연가스 연료믹스가 약간만 높거나, 천연가스를 전혀 사용하지 않더라도 CHP의 열원비중이 약간만 높아도 지역난방의 CO₂ 배출량은 개별난방보다 적게 된다. 따라서 지역난방은 CO₂ 배출 저감을 위해서는 매우 바람직한 난방방식임을 알 수 있다.

V. 결 론

지역난방사업이 개별난방에 비해 환경적으로 우수하다는 주장은 지역난방사업을 환경친화적으로 운영할 때 설득력이 있는 주장이지, 지역난방사업 자체의 특성상 성립되지는 않는다. 특히, 기술력의 발달로 보일러 용량의 차이에 따른 열생산효율이 크게 차이나지 않기 때문에 열전달손실을 피할 수 없는 지역난방은 오히려 불리할 수도 있다. 다만, 지역난방은 개별난방이 채택할 수 없는 탈황설비, 저질소버너, 집진기 등을 설치할 수 있는 기술적 특성이 있을 뿐만 아니라 열병합발전 혹은 소각로에서 발생하는 폐열을 활용할 수 있기 때문에 개별난방보다 환경친화적일 수 있는 여지는 충분하다.

지역난방의 환경친화성은 오염물질에 따라 조금씩 차이는 있지만, 열병합발전의 폐열 활용여부에 크게 달려 있다. 특히, 개별난방 연료를 가스로 국한하면, 지역난방의 열원 대부분을 천연가스를 연료로 하는 열병합발전으로 구성할 때만 지역난방이 개별난방에 비해 환경친화적 난방방식으로 인정받을 수 있다. 결국, 지역난방의 환경친화성은 연료믹스보다는 열원구성에 크게 달려 있는 것이다.

지역난방의 환경친화성은 오염물질별로 크게 평가가 엇갈린다. SO_x와 DUST의 경우는 열병합발전의 열원구성비를 90% 이상 유지하지 않으면 천연가스를 연료로 사용하는 개별난방에 비해 오염물질량을 줄일 수 없다. 그러나 NO_x와 CO₂의 경우는 열병합발전의 열원구성비를 50% 미만으로 유지하더라도 개별난방에 비해 오염물질량을 줄일 수 있는 것으로 평가된다. 따라서 모든 오염물질

을 줄일 수 있는 지역난방의 열원구성과 연료믹스는 존재하지 않는다.

지역난방의 환경친화적 열원구성과 연료믹스는 지역난방사업이 실시될 지역의 환경적 특성에 따라 달리 구성되어야 한다. 예를 들어, NO_x의 오염이 심각한 지역에서는 열병합발전이 크게 의존하지 않는 지역난방도 효과를 기대할 수 있으나, SO_x의 오염이 심각한 지역에서는 반드시 열병합발전과 함께 지역난방 사업을 실시해야 환경개선 효과를 기대할 수 있다.

열병합발전의 폐열을 활용하지 않고, 자체 대형 열전용보일러에 크게 의존하는 지역난방 방식은 천연가스를 연료로 하는 개별난방에 비해 환경친화성을 결코 확보하기 어려울 것으로 평가된다. 따라서 환경적 목적으로 시행되는 지역난방사업은 열병합발전과 병행하여 실시되어야 한다.

▣ 참고 문헌 ▣

1. 서울대학교 환경대학원, 『대기환경규제가 지역난방의 경제성에 미치는 영향』, 1999. 2.
2. 에너지경제연구원, 『지역난방 발전계획 수립에 관한 연구』, 1996.
3. 에너지관리공단, 『해외 주요국 집단에너지 자료집』, 1990. 9.
4. 임원혁 외, 『민영화와 집단에너지사업』, 한국개발연구원, 2000.
5. 한국가스공사, 『환경문제를 고려한 천연가스의 경제성 평가 및 보급 활성화방안 연구』, 2000. 6.
6. 한국지역난방공사, 『청정연료 사용지역내에서 지역난방 사용연료의 합목적 선정에 관한 연구』, 1998. 4.
7. _____, 『에너지절감 및 환경개선 효과』, 한국지역난방공사, 2000. 2.
8. _____, 『통계정보』, 2000(<http://www.kdhc.co.kr>)
9. 한국환경정책평가연구원, 『대기보전정책과 에너지정책의 조화방안연구』, 1997. 12.
10. _____, 『21세기 대기보전정책 전략수립에 관한 연구』, 1998. 12.
11. EPA, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, 1999.
12. UNICHAL, *District Heating Statistic*, 1993.