

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

김진형* · 최병렬**

〈차 례〉

- | | |
|-------------|-------------|
| I. 서 론 | III. 실증분석 |
| II. 열원설비 모형 | IV. 요약 및 결론 |

I. 서 론

에너지관련 정부정책의 수립에는 해당지역 주민들의 생활환경에 미치는 영향이 특별히 고려된다. 쾌적한 생활환경에 대한 지역주민들의 욕구가 높아지고 있는 가운데, 최근 지방 또는 중앙 정부는 주민들의 이러한 요구를 감안하여 보다 안정적이고 효율적인 에너지공급시스템을 구축하기 위해 노력하고 있다. 인구밀집지역에서 높은 에너지소비 증가는 특히, 전력소비의 높은 증가는 전력회사로 하여금 이들 지역에 대한 송전설비에 대한 투자를 유도하고, 이에 대해 전력회사들은 인구밀집지역 인근에 발전원을 확보하여 송전망에 대한 투자부담을 줄

* 단국대학교 상경대학 교수(제1저자).

** 에너지경제연구원 연구위원(공동저자).

이려고 한다. 이처럼 환경친화적 에너지의 안정적인 공급과 함께 동시에 분산전원의 기능을 수행할 수 있는 에너지공급시스템이 바로 지역냉난방사업이다.

지역냉난방사업은 해당지역의 수요자에게 난방열과 냉방열 그리고 전력 등의 복합에너지를 동시에 제공하고 또한 대기오염물질을 집중적이고 효율적으로 관리할 수 있다는 측면에서 에너지 및 환경정책의 주요 대상이 되고 있다. 이에 따라 정부는 지역냉난방사업에는 공정폐열, 매립가스, 바이오매스, 쓰레기소각열, 열병합발전 등과 같은 에너지 절약적이고 친환경적인 기술을 적극 활용하도록 하고 있다. 특히 열병합발전(Combined Heat and Power: CHP)은 열과 전기를 동시에 생산함으로써 에너지이용효율을 크게 증대시킬 수 있어, 지역냉난방사업에 있어서 주요한 에너지 공급설비로 각광받고 있다.¹⁾

그러나 지역냉난방사업은 사업 초기에 높은 설비투자비를 필요로 하며 또한 설비의 효율적 이용을 위해서는 일정한 부하패턴이 유지되어야 하는 점 등으로 인해 생산된 에너지는 타에너지와의 가격경쟁에서 취약하다는 한계를 지니고 있다. 이에 따라 정부는 1980년대 중반 이후 에너지 절약정책의 일환으로 수도권 지역에 CHP를 활용한 대규모 지역난방사업을 공기업이 주도적으로 추진하도록 지원하였다. 한편 1990년대 초반에는 에너지원 다변화와 환경정책의 일환으로 천연가스의 공급이 확대되어 이를 연료로 하는 개별난방 시스템도 보급되기 시작하였고, 이어 1990년대 말부터 에너지산업에 대한 개방정책이 추진되면서 지역냉난방시장은 기존 난방 사업자 이외에 도시가스사업자, 주택사업자, 에너지절약사업자 등 다양한 사업자가 경쟁하게 되었다. 이러한 경쟁은 정부가 일정지역내 다양한 형태의 에너지서비스를 제공할 수 있는 구역형 집단에너지사업(Community Energy System: CES)²⁾을 도입함에 따라 더욱 첨예하게 나타

-
- 1) 고전적인 발전설비는 약 40%의 에너지 이용효율을 가지는데 비해, CHP기술을 증기터빈에 적용할 경우 이용효율은 86% 그리고 복합가스터빈에 적용할 경우 효율은 90%에 이른다 (Unterwurzacher, 1992, pp. 893~900).
 - 2) 집중된 열생산시설에서 생산된 냉방용, 난방용, 급탕용 및 산업단지의 공정용 열 또는 전기를 도심과 같은 일정지역내에 집중되어 있는 주택, 상업, 업무, 병원, 정보통신시설 등의 건물에 공급하는 방식을 말한다(산업자원부, 2002).

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

나게 되었다.

지역냉난방시장을 둘러싼 경쟁의 도입은 자연독점적 사업의 비효율성을 감소시키는 효과도 있으나, 한편으로는 특정 지역에 필요 이상의 열원설비를 설치하게 되어 궁극적으로는 사회적 후생을 악화시킬 가능성도 내포하고 있다. 1990년대 수도권에 도입된 대규모의 CHP는 열과 전기를 안정적으로 공급하려는 측면을 지나치게 강조한 결과로 해당지역의 에너지수요에 비하여 열원설비가 과잉이라는 지적이 제기되었다. 이에 과대한 설비의 운용에 따른 초과비용은 결국 열 또는 전기의 소비자가 부담하게 되었으며, 한편 사업자는 이러한 여유설비를 활용하기 위해 정부로부터 허가받은 공급구역 이외의 지역에 냉난방열을 공급하고자 하였다. 이러한 과정에서 허가받은 지역의 냉난방사업자와 그 이웃지역의 도시가스사업자 사이에, 그리고 해당지역내에서의 집단에너지사업자와 도시가스사업자들 사이에, 심지어 지역주민들 사이에 여러 형태의 갈등이 발생하게 되었다. 이와 같이 지역냉난방시장의 확대에 따른 다양한 시장참여자들간의 갈등심화는 결국 지역에너지공급시스템을 더욱 경제적으로 설치·운영할 것을 요구하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 우선 CHP를 이용한 지역냉난방시스템의 열원설비모형을 설정한 다음, 이를 바탕으로 실증분석을 통해 열원설비의 적정규모를 추정하고자 한다. 열원설비의 도입과 운영에 관한 경제학적 분석은 합리적 시장경쟁을 유도하기 위한 정부의 입장뿐만 아니라 수익의 극대화 또는 비용최소화를 추구하기 위한 기업의 입장에서도 필요할 것으로 생각된다.

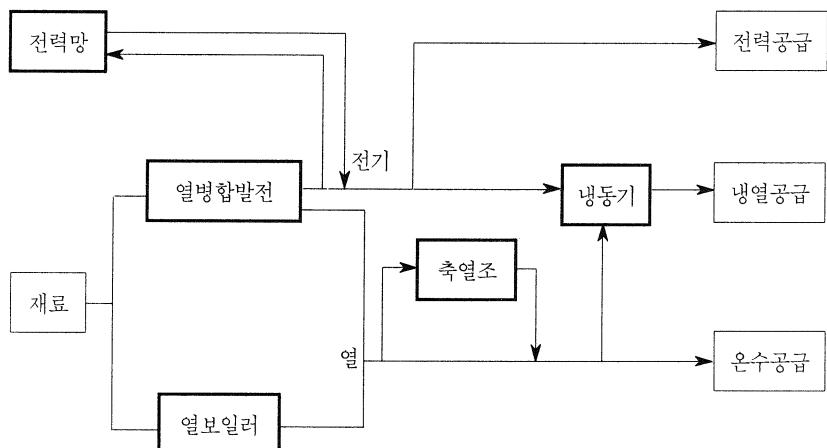
본 연구는 다음과 같이 구성된다. 서론에 이어 제Ⅱ장에서는 CHP를 이용한 지역냉난방사업의 열원설비모형을 설정하고, 제Ⅲ장에서는 수도권의 가상지역을 대상으로 한 에너지수요전망을 기초로 실증분석을 통해 지역냉난방사업의 설비규모를 추정한다. 끝으로 제Ⅳ장에서는 본 연구의 요약과 함께 분석의 한계점을 언급한다.

II. 열원설비 모형

1. 지역냉난방 공급시스템 개요

지역냉난방 공급시스템은 열원설비로서 CHP와 열전용보일러, 축열조, 냉방설비 그리고 전력계통망으로 구성되며, 시스템내에서의 에너지 흐름을 도식화하면 <그림 1>과 같이 나타난다. CHP는 열과 전기를 동시에 생산하며, 생산된 온수 형태의 난방열은 먼저 수송망을 통해 최종수용가에게 공급되거나 냉동기에 투입되어 냉열을 생산한다. 이 때 수요보다 많이 생산된 열은 축열조에 저장되며 필요시 방출하게 된다. 또한 생산된 전력은 자체 소비되거나 수용가 또는 전력망에 공급되며, 지역의 전력수요를 충족시키기 위해 CHP에서 생산전력이 부족할 경우에는 전력계통망의 전기를 구입하여 공급하고 반면 생산전력이 남을 경우에는 이를 전력망에 판매한다. 열원설비의 운영에 있어서 일반적으로 CHP는 기저부하용으로 가동되고, 열전용보일러는 피크수요를 담당하게 된다.

<그림 1> 지역냉난방 공급시스템



2. 모형의 설정

1) 기본가정

본 연구에서는 지역냉난방사업을 위한 최적설비선택을 위한 모형을 설정하기에 앞서 분석의 편의를 위해 다음과 같이 몇 가지를 가정한다.

첫째, 해당사업지역에 대한 에너지수요 정보, 즉 서비스공급지역에 대한 연간 시간대별 에너지(난방열, 냉열 및 전기) 수요량은 주어진 것으로 하며, 이 때의 수요량은 수요가 완전히 개발된 연도를 기준으로 한다.

둘째, 사업자는 자체 소비분을 제외한 모든 생산에너지를 최종수용가에게 우선적으로 공급하며, 단지 전력의 경우 잉여분에 한해 전력계통망에 판매한다.

셋째, 사업자는 열병합발전기, 열전용보일러, 축열조 및 냉동기로서 공급시스템의 기본설비를 구성하되, 공급시스템의 연간 총운영비용(TSC)이 최소화되도록 각 설비의 종류 및 규모를 결정한다. 이 때 각 설비의 종류 선택에는 이의 합리적 운전모드까지 고려한다. 예를 들면 열병합발전기의 경우, 열과 전기의 생산비율이 일정한 고정열전비의 CHP는 물론 가변열전비의 CHP도 선택할 수 있으며 가변열전비 CHP의 선택을 위해서는 최소비용생산을 위한 이의 최적운전모드까지 고려한다. 그 결과 최종적으로 결정된 공급시스템에는 한 종류 또는 2개 이상의 열원설비가 동시에 선택될 수도 있다. 그러나 열원설비의 선택과 가동은 공급지역의 수요여건과 에너지서비스에 대한 상대가격 등에 의하여 결정된다.

2) 모형의 설정

냉난방모형의 최적화는 난방열, 냉방열, 그리고 전력 공급을 위한 에너지공급시스템의 총비용을 최소화하는 설비의 종류와 그 규모를 모색하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 분석대상지역에 일정 규모의 에너지서비스를 공급하기 위하여 비용최소화의 선형계획을 수립하고, 이를 통하여 설비규모와 투입연료량 등에 대한 최적해를 도출하고자 한다. 선형계획의 최적화 문제는 목적함수, 제약조건 및 비음조건 등의 세 가지 요소로 구성되므로 이를 차례로 설명하고자 한다.

① 목적함수

최적화 문제의 목적함수는 일반적으로 수익 또는 효용의 극대화와 비용최소화로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 대상지역에 안정적으로 에너지서비스를 공급하기 위해 총비용이 최소화되는 시스템을 구성하고자 한다. 모형의 시스템에서 선택 가능한 설비로는 열과 전기를 생산할 수 있는 CHP, 전통적인 열전용보일러, 냉열생산설비, 열을 저장하는 축열시스템 그리고 수송설비가 있다. 그러므로 목적함수는 지역냉난방사업을 운영할 경우에 소요되는 연간 시스템총비용(Total System Cost : TSC)의 최소화로 설정한다. 시스템총비용은 설비투자비와 투입재료비의 합에서 전력 판매수입을 차감한 금액으로 정의한다. 연간 설비투자비는 20년간의 감가상각을 고려한 연간 고정투자비와 고정운영비(임금비, 수선유지비, 보험료, 제세금 등)의 합으로 나타나고, 연간 투입재료비는 천연가스 또는 중유 등의 연료와 투입되는 용수 및 중간투입용 전력 비용의 합으로 나타난다.

$$\text{시스템총비용}(TSC) = \text{설비투자비} + \text{재료투입비} - \text{전력판매수입}$$

지역냉난방모형에서 선택 가능한 열원설비는 먼저 발전기의 경우, 고정열전비는 물론 가변열전비의 CHP를 고려하며, 보일러의 경우도 중온수보일러와 증기보일러로의 두 종류를, 그리고 냉동기는 냉동방식에 따라 증기흡수식, 중온수흡수식, 터보 및 빙축식의 네 종류를 고려한다. 그리고 난방열 공급시스템의 효율을 높이기 위해 축열설비도 포함하며, 수송설비로는 온수 및 냉수 배관망과 그리고 전력 배전망으로 이루어진다. 이를 총 12개의 개별설비들에 대한 투자비용은 단위설비당 투자비 (Inv)와 설비규모 (X)의 곱으로 다음과 같이 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^{12} Inv_i \cdot X_i$$

여기서 아래첨자 i 는 설비종류를 나타내며 다음과 같은 순서로 부여한다.

$i = 1$ (고정열전비 CHP)	$= 2$ (가변열전비 CHP)
$= 3$ (중온수보일러)	$= 4$ (증기보일러)
$= 5$ (증기흡수식 냉동기)	$= 6$ (중온수흡수식 냉동기)

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

= 7 (터보 냉동기)	= 8 (빙축설비)
= 9 (축열설비)	= 10 (온수배관)
= 11 (냉수배관)	= 12 (배전망)

지역냉난방모형에 투입되는 재료는 열원연료인 천연가스와 열 수송매체인 용수, 공급시스템 내부에 소비되는 전력을 고려한다. 투입재료비는 설비 단위당 투입연료 가격에 시간당 재료사용량을 곱하여 계산한다. 각 열원설비에 투입되는 재료의 단위비용을 $PM_{i,j}$ 라 하고, 시간당 재료사용량을 M_{ijt} 라 할 경우 연간 재료투입비용은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{8760} \left(\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 PM_{ij} \cdot M_{ijt} \right)$$

여기서 아래첨자 i 는 모형에서 선택 가능한 모든 열원설비의 종류를 나타내며, 첨자 j 는 투입 재료의 종류로서 1은 천연가스, 2는 용수, 3은 중간투입용 및 사업소용 전력을 나타낸다. 그리고 첨자 t 는 연간 총 8,760시간을 1시간 단위로 순서를 부여한 것이다.

지역냉난방모형은 CHP생산 전력을 외부전력망에 판매도 하지만 전력수요를 충족시키기 위해 전력망으로부터 구입하기도 한다. 따라서 시간대별 전력의 판매 및 구입 비용은 시스템의 총운영비용에 영향을 미치게 되므로 목적함수에 반영할 수 있는 비용 또는 수익의 규모는 다음과 같이 나타난다.

$$\sum_{t=1}^{8760} (PSE_t \cdot SE_t - PBE_t \cdot BE_t)$$

여기서 PSE_t 와 SE_t 는 시간대별 전력의 판매가격과 판매량을 나타내고 PBE_t 와 BE_t 는 시간대별 전력의 구입가격과 구입량을 나타낸다.

따라서 에너지공급시스템의 설비최적화 문제에 대한 목적함수로 설정된 연간 시스템총비용(TSC) 최소화 함수는 위에서 제시한 설비투자비, 투입재료비 및 전력거래비용의 합으로 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } TSC = & \sum_{i=1}^{12} Inv_i \cdot X_i + \sum_{t=1}^{8760} \left(\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 PM_{ij} \cdot M_{ijt} \right) \\ & + \sum_{t=1}^{8760} (PSE_t \cdot SE_t - PBE_t \cdot BE_t) \end{aligned}$$

② 제약조건

선형계획에서는 목적함수가 최적해(optimal solution)를 가질 수 있도록 적절한 제약조건을 부여해야 한다. 일반적으로 제약식은 목적함수의 결정변수를 중심으로 작성되나, 제약식의 구성은 분석자의 직관에 의하여 많은 영향을 받는다. 지역냉난방모형의 제약조건으로는 난방열, 냉방열 그리고 전력의 공급과 수요 간의 관계를 나타내는 에너지서비스 수급밸런스, 설비용량 조건, 투입연료 조건, 설비관련 조건 등이 있어야 한다. 마지막으로 시스템에 흐르는 에너지량, 설비규모, 투자비 같은 음수가 아니어야 한다는 비음조건을 충족시켜야 한다.

a) 에너지 수급밸런스

난방열의 경우 CHP에 의한 생산량(QH_1)과 보일러에 의한 생산량(QH_2)의 합은 냉동기로 중간투입된 물량(UH)과 서비스지역으로 공급된 물량(DH)의 합보다 크거나 같아야 한다. 이 때 열의 공급량이 수요량보다 많을 때는 열을 축열조에 저장하고, 열이 부족할 경우는 축열조의 저장분을 방출한다. CHP에서 생산된 전력과 계통망에서 수입된 전력(BE)은 지역의 전력수요(DE)와 중간투입용 전력(UE), 그리고 계통망으로 판매된 전력(SE)의 합보다는 커야 한다. 한편 냉방열은 네 종류의 냉동기를 통해 생산한 냉열(QC)로서 수요(DC)를 충당하게 된다. 그러므로 에너지수급밸런스 제약을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=5}^6 UH_{i,t} + DH_t + (BH_t - RH_t) &\leq \sum_{i=1}^4 QH_{i,t} && : \text{난방열} \\ \sum_{i=1}^8 UE_{i,t} + DE_t + SE_t &\leq \sum_{i=1}^2 QE_{i,t} + BE_t && : \text{전기} \\ DC_t &\leq \sum_{i=5}^8 QC_{i,t} && : \text{냉방열} \end{aligned}$$

b) CHP의 가변열전비

지역냉난방모형에서 선택 가능한 CHP 중에는 열과 전기의 생산비율이 일정한 설비와 가변적인 설비가 포함된다.³⁾ 만일 고정열전비 CHP의 규모가 X_1 이고 가변열전비 CHP의 규모가 X_2 라고 하면, CHP가 생산하는 시간당 열과 전기량은 다음과 같이 표시된다.

$$QH_{chp,t} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1+1} \cdot X_1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_2+1} \cdot X_2$$

$$QE_{chp,t} = \frac{1}{\alpha_1+1} \cdot X_1 + \frac{1}{\alpha_2+1} \cdot X_2$$

여기서 α_1 은 고정열전비를 나타내며, 열과 전기의 생산비율이 $\alpha_1:1$ 인 경우이다. α_2 는 가변열전비로서 전력생산 중심으로 운전할 경우의 열전비 (k)와 열생산 중심으로 운전할 경우의 열전비 (m) 사이에 있는 어떤 값을 갖는다고 가정한다. 즉, $k \leq \alpha_2 \leq m$ 이다.

c) 열원설비의 용량

공급시스템에 도입되는 열원설비는 설계된 능력 이상으로 가동될 수는 없으므로 시간대별 최대부하량보다 크게 설계되어야 한다. CHP와 보일러 그리고 냉동기의 설비용량에 관한 제약식은 다음과 같이 설정된다.

$$\beta_i \text{Max.}(QH_{i,t}) \leq X_{i,t} \quad \text{for } i = 1, \dots, 4 \quad : \text{발전기 및 보일러}$$

$$\beta_i \text{Max.}(QC_{i,t}) \leq X_{i,t} \quad \text{for } i = 5, \dots, 8 \quad : \text{냉동기}$$

여기서 β_1 은 설비마진율을 나타내며, 보통 1.0과 1.1 사이의 값을 가진다.

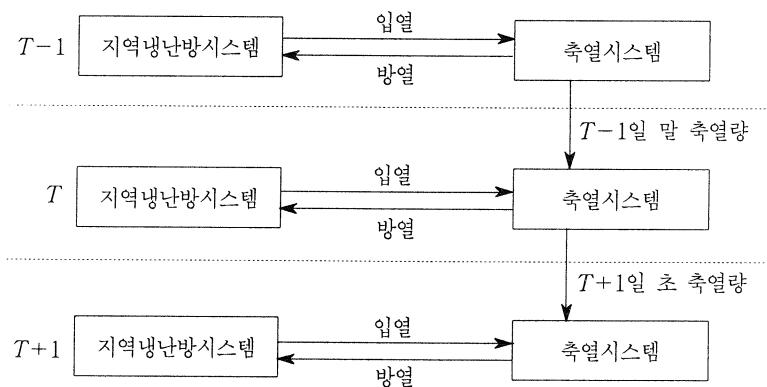
3) 열과 전기의 생산량과 효율계수가 주어질 경우에는 가변열전비의 열병합발전 설비 규모를 설정할 수 있다.

d) 축열설비의 가동 및 용량

지역의 에너지수요가 주기적으로 등락할 경우, 축열설비의 활용은 시스템의 효율을 증대시킨다.⁴⁾ 본 모형에서 축열조의 저장 손실은 없는 것으로 가정하며, 입·출고를 고려한 24시간대별 축열 설비의 가동조건은 <그림 2>와 같이 설명된다. 기준 날인 T 일보다 하루 앞선 $T-1$ 일에는 지역냉난방시스템(주로 CHP)으로부터 받은 열을 저장하거나 방열하고, 나머지 열은 T 일로 이월한다. T 일에는 동기간 동안의 입열량 (BH_T)과 전날($T-1$ 일)에서 이월된 열에너지 (SH_{T-1})와의 합산된 물량으로 당일(T 일)의 열수요에 맞춰 방열 (RH_T)한다. 그리고 나머지는 금일의 축열량 (SH_T)이 되며 그 다음 날($T+1$ 일)로 이월되어 그 날($T+1$ 일)의 초기 열에너지가 된다.

한편 축열설비의 규모 (X_9)는 매일 이월되는 최대 축열물량보다는 커야 하고, 열생산 설비의 일정 규모 (s)보다 작도록 제약한다. 축열조의 재고등식과 축열설비의 규모 (X_9)에 관한 제약식은 다음과 같다.

<그림 2> 축열설비의 시기별 입열 및 방열



4) 축열설비는 경제적 이유로 시간대별 또는 계절별 에너지요금 체계에 적절하게 대응하여 기업의 수익을 높일 수 있으며, 합리적으로 열원설비를 가동하게 함으로써, 에너지시스템의 운영계획을 효율화시킨다.

지역 냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

$$SH_{T-1} + BH_T - RH_T = SH_T$$
$$\text{Max. } (SH_T) \leq X_9$$
$$X_9 \leq s$$

e) 빙축시스템 가동 및 용량

모형에서 선택 가능한 냉동기의 종류는 중온수흡수식, 증기흡수식 및 전기터보식과 빙축시스템이다. 빙축설비의 운전주기를 24시간으로 할 경우, 축열설비의 가동조건과 유사한 형태를 가진다.

$$SC_{T-1} + BC_T - RC_T = SC_T$$

전 일로부터 이월된 빙축량 SC_{T-1} 에 투입되는 냉열량 BC_T 를 더하고 방출되는 냉열 RC_T 를 차감하면 현 기간대에서 다음 기간으로 이월되는 빙축량 SC_T 가 된다. 한편 빙축설비의 규모 (X_8)는 매일 이월되는 최대 빙축량보다는 커야 하므로 제약식은 다음과 같이 나타난다.

$$\text{Max. } (SC_T) \leq X_8$$

f) 재료투입

본 모형에서 연료는 천연가스만을 고려한다. 일반적으로 투입되는 연료량은 에너지 생산량과는 선형관계에 있으며, 열원에 투입되는 연료량은 설비별 연료 투입계수를 반영한 시간대별 열에너지생산량보다 많아야 한다. 생산설비마다 연료 투입계수는 상이하게 나타나므로⁵⁾ 설비별 연료 투입계수를 $\theta_{i,j}$ 라고 할 경우, 시간대별 투입재료에 관한 제약식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{ij} \cdot QH_{i,t} \leq M_{ijt} \quad \text{for } i = 1, \dots, 4 \text{ and } j = 1, 2 : \text{별전기 및 보일러}$$
$$\theta_{ij} \cdot QC_{i,t} \leq M_{ijt} \quad \text{for } i = 5, \dots, 8 \text{ and } j = 2, 3 : \text{냉동기}$$

5) 전통적인 LNG 온수보일러의 경우 0.112이며, 이는 1Mcal의 열을 생산하기 위해서 0.112Nm^3 의 천연가스가 소비된다는 의미이다.

③ 최적화모형

이상의 목적함수와 제약식을 고려하여 지역냉난방 공급시스템의 비용최소화 선형계획은 다음과 같이 정리될 수 있다.

최적화모형				
목적함수	$\begin{aligned} \text{Min. } TSC = & \sum_{i=1}^{12} Inv_i \cdot X_i + \sum_{t=1}^{8760} \left(\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^3 PM_{ij} \cdot M_{ijt} \right) \\ & + \sum_{t=1}^{8760} (PSE_t \cdot SE_t - PBE_t \cdot BE_t) \end{aligned}$			
	$\begin{aligned} \sum_{i=5}^6 UH_{i,t} + DH_t + (BH_t - RH_t) &\leq \sum_{i=1}^4 QH_{i,t} \\ \sum_{i=7}^8 UE_{i,t} + DE_t + SE_t &\leq \sum_{i=1}^2 QE_{i,t} + BE_t \\ DC_t &\leq \sum_{i=5}^8 QC_{i,t} \end{aligned}$	난방열 전기 냉방열	수급 밸런스	
	$\begin{aligned} QH_{chp,t} &= \frac{\alpha_1}{\alpha_1+1} \cdot X_1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_2+1} \cdot X_2 \\ QE_{chp,t} &= \frac{1}{\alpha_1+1} \cdot X_1 + \frac{1}{\alpha_2+1} \cdot X_2 \\ k \leq \alpha_2 &\leq m \end{aligned}$	난방열 전기	CHP 열전비	
제약식	$\begin{aligned} \beta_i Max. (QH_{i,t}) &\leq X_{i,t} \quad \text{for } i = 1, 2 \\ \beta_i Max. (QH_{i,t}) &\leq X_{i,t} \quad \text{for } i = 3, 4 \\ \beta_i Max. (QC_{i,t}) &\leq X_{i,t} \quad \text{for } i = 5, \dots, 8 \end{aligned}$	별전기 보일러 냉동기	열원설비 용량	
	$\begin{aligned} SC_{T-1} + BC_T - RC_T &= SC_T \\ Max. (SC_T) &\leq X_8 \end{aligned}$	재고등식 설비용량	빙축설비	
	$\begin{aligned} SH_{T-1} + BH_T - RH_T &= SH_T \\ Max. (SH_T) &\leq X_9 \end{aligned}$	재고등식 설비용량	축열설비	
	$\begin{aligned} \Theta_{ij} \cdot QH_{i,t} &\leq M_{ijt} \quad \text{for } i = 1, 2 \\ \Theta_{ij} \cdot QH_{i,t} &\leq M_{ijt} \quad \text{for } i = 3, 4 \\ \Theta_{ij} \cdot QC_{i,t} &\leq M_{ijt} \quad \text{for } i = 5, \dots, 8 \end{aligned}$	별전기 보일러 냉동기	재료투입	
비음조건	$X_i, M_{ijt}, QH_{it}, QE_{it}, QC_t, BE_t, SE_t \geq 0$ <p>for $i = 1, \dots, 12, j = 1, 2, 3, t = 1, 2, \dots, 8760$.</p>			

〈외생변수〉

Inv_i	: 설비별 단위투자비	PM_{ij}	: 설비별 투입연료가격
PSE_t	: 전력 판매가격	PBE_t	: 전력 구입가격
DH_t	: 난방열 수요량	DE_t	: 전력 수요량
DC_t	: 냉열 수요량	α_1	: CHP 고정열전비
β_i	: 설비마진율	θ_{ij}	: 설비별 연료투입계수
k	: 가변열전비 하한계수	m	: 가변열전비 상한계수

〈내생변수〉

X_i	: 설비규모	M_{it}	: 설비별 연료사용량
SE_t	: 전력 판매량	BE_t	: 전력 구입량
QH_{it}	: 설비별 난방열 생산량	QE_{it}	: 설비별 전력 생산량
QC_{it}	: 설비별 냉열 생산량	UH_t	: 난방열 중간투입량
UE_t	: 전력 중간투입량	SC_T	: 빙축조 잔량
BC_t	: 빙축조 투입량	RC_T	: 빙축조 방출량
SH_T	: 축열조 잔량	BH_T	: 축열조 투입량
RH_T	: 축열조 방출량	α_2	: CHP 변동열전비 계수

본 연구에서 설정하고 있는 모형의 가장 큰 특징은 열원설비의 종류와 그 규모를 내생적으로 선택하여 최적화할 수 있다는 점이다. 발전설비 또는 보일러를 통하여 단일 에너지의 생산을 최적화하는 경우는 최소비용의 설비의 규모만을 결정하면 된다. 그러나 열병합발전과 같이 복합에너지를 생산하는 경우와 가변열전비 CHP의 경우 각 운전모드를 하나의 설비로 간주하여 설비 최적화를 도모해야 할 경우는 복잡한 선택과정을 거치게 된다. 이러한 설비선택의 과정에 방대한 계산 작업이 필요하게 되므로 강력한 컴퓨터 소프트웨어의 활용이 필수적이다.⁶⁾

6) 본 연구에서는 선형모형 전문 소프트웨어인 CPLEX를 활용하여 최적해의 문제를 풀고 있다.

III. 실증분석

1. 자료의 수집

실증분석은 수도권 부근의 가상의 신규 개발지역을 대상으로 한다. 대상지역의 에너지 수요패턴은 도시개발이 완료된 시점, 즉 에너지수요가 포화상태인 연도를 기준으로 작성되었으며, 이 자료는 외부로부터 주어진 것으로 가정한다.⁷⁾

1) 에너지 수요패턴

분석 대상지역은 크게 주택부문과 건물부문으로 나누어, 주택부문은 30평형대 아파트를 기준으로 4만 세대, 건물부문은 연면적 26,000m²의 10층 건물을 기준으로 90동을 건설한다. 난방열과 전기는 모든 주택과 건물 부문에서 소비하며, 건물의 일부에서만 여름철에 냉방수요를 가진다고 가정하였다. 에너지별 총수요량은 <표 1>과 같이 요약된다.

<표 1> 에너지 수요전망

공급에너지		공급대상		에너지 수요전망
온 수	주 택	40천 세대 90동		453,346Gcal
	건 물			135,323Gcal
냉 수	건 물	40동		18,827천RT*
전 력	주 택	40천 세대 90동		166,903Mwh
	건 물			278,595Mwh

주 : RT는 냉방단위(Refrigeration Ton)로서 1RT = 3.024 Mcal/h임.

7) 실증분석에 이용된 부하, 투자비, 기술계수 등과 관련된 각종 자료들은 지역난방과 관련한 기술전문회사인 한국지역난방기술(주)의 자문을 받아 작성되었다.

지역 냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

〈표 2〉 에너지별 단위 용도별 수요 전망

구 분		동절기		하절기		춘·추절기	
		최고	최저	최고	최저	최고	최저
온수 (Mcal/h)	주택	4.40	0.60	1.51	0.05	2.87	0.11
	건물	1784.22	0.00	600.58	0.00	909.78	0.00
냉수 (RT/h)	건물	-	-	550.11	13.61	184.44	7.94
전력 (kWh)	주택	0.70	0.32	0.72	0.31	0.69	0.31
	건물	557.02	145.42	586.30	165.41	521.82	145.42
해당 월		11~3월 (5개월)		6~9월 (4개월)		4, 5, 10월 (3개월)	
해당 시간수		3624		2928		2208	

수요예측에 관한 세부자료는 1년을 동절기, 하절기, 춘추절기 3단계로 나누어 동절기를 11~3월의 5개월, 하절기를 6~9월의 4개월, 그리고 춘추절기로 4, 5, 10월의 3개월로 구분하였다.⁸⁾ 계절별 단위주택용 및 단위건물용 에너지 수요에 대한 시간대별 자료는 다음과 같다.

2) 투입재료비용

투입 연료는 천연가스만을 사용하는 것으로 가정한다. 천연가스요금은 (주)한국가스공사로부터 공급받는 집단에너지용 가격(384.55원/Mm³)을, 용수비용은

8) 본 연구에서는 이 연간 시간대별 자료를 부하형태별로 재정리하여 활용하고 있다. 즉, 부하 자료를 7개의 특정한 부하패턴을 가진 시기(동절기 주택온수피크 시기, 동절기 건물온수피크 시기, 기타동절기 시기, 하절기 냉수피크 시기, 하절기 전력피크시기, 기타 하절기 시기, 그리고 춘추절기 시기)로 분류하여 부하패턴별 설비 가동 현황을 살펴볼 수 있게 한다. 그리고 외생자료 중 가격자료들은 2003년 말 기준으로 작성되었으며, 설비투자비는 20년 감 가상각된 자료를 활용하였다.

리터당 2.0원을 적용한다. 전력계통으로부터 구매하는 전력가격은 한전 전력요금표의 산업용 전력(병) 고압(A) 선택 1을 적용하고, 전력 판매가격은 전력거래소의 시간대별 가격(system marginal price : smp)을 적용하였다. CHP 생산전력의 주택용 판매요금은 한전의 주택용 고압기준, 그리고 건물용은 일반용 전력(을) 선택 1 고압(A)의 요금을 적용하였다.

3) 열원의 단위설비 투자비

열원의 단위설비 투자비는 크게 상각비용과 비상각비용으로 분류된다. 상각비용은 설계비, 건설공사비, 기계장치비, 설치비 등이고, 비상각비용은 경상인건비, 토지임대료, 수선유지비, 보험료, 제세금 등이다. 본 연구에서 상각비용은 상각년수 20년을 기준으로 계산하였고, 비상각비용은 연간비용으로 추정하였다. 시설운영요원에 대한 인건비와 사업장 토지임대료는 CHP 설비규모에 연동하여 변화한다고 가정하였고, 이외의 비상각비용은 <표 3>에 제시된 방법으로 산정하였다.

한편 각 설비의 단위당 고정투자비는 <표 4>와 같이 산정하였다. 이러한 단위설비당 투자비 외에 고장시를 대비한 비상설비(피크수요의 30% 수준)를 확보하는 것으로 하고 그에 해당하는 연간비용을 추가로 반영하였다.

<표 3> 비상각 고정비

구 분	내 용
경상인건비	시설규모 및 용량에 따라 차등 적용 (연간 7,040만 원의 제경비 및 퇴직급여충당금 포함)
토지임대료	시설규모 및 용량에 따라 차등 적용 (임대 기준으로 4799원/m ² 적용)
수선유지비	취득가액의 2.4%
보험료	직접투자비의 0.0725%
제세금료	취득가액의 0.2%

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

〈표 4〉 단위당 설비투자비 내역

설비 종류		단위당 설비투자비			단위
		상각비용	비상각비용	합계	
보일러	LNG 온수 LNG 증기	9.20 9.70	4.55 4.80	13.75 14.50	천원/Mcal/h 천원/Mcal/h
CHP	LNG 연소기력	52.40	25.91	78.31	천원/kW
	가스터빈	55.65	27.52	83.17	천원/kW
	추기배압	50.35	23.94	74.29	천원/kW
	추기복수	48.35	23.91	72.26	천원/kW
냉동기	증기흡수식	99.55	42.23	148.78	천원/RT
	중온수흡수식	130.75	64.66	195.41	천원/RT
	전기터보	87.70	43.37	131.07	천원/kW
	빙축시스템	166.50	82.33	248.83	천원/kW

4) 계수관련 자료

① 열전비

열병합발전 설비는 열과 전기의 생산비율, 즉 열전비가 고정인 경우와 가변인 경우의 두 종류로 대별된다. 〈표 5〉는 본 연구에 이용된 고정열전비와 함께 추기배압식, 추기복수식, 추기배압복식 등의 발전방식의 운전모드에 따른 가변열전비의 상하 변동 범위를 제시하고 있다.

〈표 5〉 고정 및 가변 열전비

열병합설비 종류	고정열전비	가변열전비	
		하한	상한
LNG 연소기력	1.670	-	-
가스터빈	1.456	-	-
가스터빈 복합	추기배압	-	0.905
	추기복수	-	0.069
	추기배합복수	-	1.136

② 재료중간투입계수

<표 6>은 각 설비의 가동에 따른 단위당 투입에너지 소요량, 즉 연료투입량 또는 투입에너지 원단위를 나타낸 것이다.

〈표 6〉 설비별 투입에너지 원단위

		천연가스 (단위)		용수 (단위)	
보일러	온수보일러	0.112	Nm ³ /Mcal	0.04	ℓ/Mcal
	증기보일러	0.113	Nm ³ /Mcal	0.04	ℓ/Mcal
CHP	LNG 연소기력	0.301	Nm ³ /kWh	0.15	ℓ/kWh
	가스터빈	0.269	Nm ³ /kWh	0.20	ℓ/kWh
	추기배압	0.205	Nm ³ /kWh	0.15	ℓ/kWh
	추기복수	0.199	Nm ³ /kWh	0.90	ℓ/kWh
냉동기	증기흡수식	2.52	Mcal/RTh	20.35	ℓ/RTh
	증온수흡수식	4.32	Mcal/RTh	27.95	ℓ/RTh
	전기터보	0.781	kW/RTh	14.53	ℓ/RTh
	빙축시스템	1.005	kW/RTh	10.17	ℓ/RTh

냉동기의 연료투입계수는 1RTh의 냉수 생산에 투입되는 증기, 증온수 또는 전력의 소요량을 나타내는 것이다. 모델에서는 1단위의 증기나 증온수 또는 전력으로 어느 정도의 냉수를 생산할 수 있는가를 나타낼 수 있도록 조정하였다.

2. 실증분석 결과

1) 최적설비 규모

본 연구는 컴퓨터 프로그램인 GAMS/Cplex⁹⁾를 이용한 선형모형의 최적해

9) GAMS/Cplex는 GAMS 솔버에 Cplex 최적화 모듈(optimizer)을 장착한 소프트웨어로, 규모가 크고 복잡한 선형문제의 해를 신속하게 도출하는데 이용되고 있다. 특히 정수프로그램

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

〈표 7〉 지역냉난방 최적설비 규모와 에너지담당률

설비형태		설비규모	에너지담당률(%)
CHP (추기배압)	전 기 열	52.1MW 56.3Gcal/h	67 62.5
	온수보일러 증기보일러	76.0Gcal/h 89.2Gcal/h	35.9 1.6
냉동기	흡수식 빙 축	16.8천RT 1.3천RT	93.8 6.2
	축열조	446Gcal/h	-

를 도출하였으며, 그 결과는 〈표 7〉과 같이 나타났다. 분석대상지역에 대한 에너지 공급시스템의 최적설비는 우선 열원설비로 약 52MW 규모의 추기배압형 CHP, 165Gcal/h의 열전용보일러와 1만 8,000RT 규모의 냉동기, 그리고 약 450Gcal/h의 축열설비로 구성된다. 열생산 설비 기준의 CHP와 보일러의 구성 비는 25%와 75%로 나타났다. 한편 냉열생산설비는 흡수식냉동기와 빙축설비가 선택되고 있다.

2) 최적설비의 운전형태

전항 〈표 7〉의 에너지담당률에 나타난 바와 같이 연간 열생산량은 CHP 62.5%, 열전용보일러 37.5%가 담당하고 있다. CHP는 거의 연중으로 가동되고 있어 기저부하용으로 이용되고 있으며, 열전용보일러는 동절기에 부하가 높은 시간대에 가동되고 있다. 열전용보일러 중에서는 온수보일러가 담당 열의 대부분을 공급한다. 전력은 CHP로부터 67%, 외부의 전력계통망으로부터 33% 정도 구입하는 것으로 나타난다. 전력구매는 CHP의 가동률이 낮은 하계절에 가장

이나 이진변수(binary variable)를 가지는 프로그램은 해를 찾는데 많은 계산을 필요로 하기 때문에 계산 능력이 뛰어난 소프트웨어의 활용이 요청된다.

〈표 8〉 열 및 전력 피크 부하시 각 열원의 가동 현황

〈열 피크 부하〉 (단위: %)

	CHP 생산열	보일러		축열조	계
		온수보일러	증기보일러		
열생산 비중	25.4	34.3	40.3	-	100
열공급 비중	20.9	28.2	33.1	17.8	100
연간 생산 비중	62.5	35.9	1.6	-	100

〈전력 피크 부하〉 (단위: %)

	CHP 생산전력	계통수전			
		건물용	주택용	사업소용	계
전력공급 비중	58.2	18.0	23.8	0	100
연간 생산 비중	67.2	28.6	3.8	0.3	100

많이 이루어지고 있다. 건물용 전력구매는 연중 발생하고, 주택용 전력구매는 하절기에 상대적으로 많이 발생한다. 이에 따라 건물용 전력구입량이 주택용보다 월등히 많게 나타난다. 냉열생산은 증기흡수식 냉동기로부터 96%가 생산되며, 빙축 시스템은 6% 정도 담당한다. 그리고 축열설비는 연간 활용되나, 동절기에 이용 규모가 가장 크게 나타나고 있다. 모형에서 산출된 최적 공급설비의 연간 가동 현황은 <부록>에 그림으로 제시되어 있다.

한편 열 및 전력의 피크 부하시 생산설비 및 공급설비의 가동 현황을 살펴보면 〈표 8〉과 같이 나타났다. 열의 피크 부하 시기에는 CHP로부터 생산되는 열의 비중은 25% 수준이며, 상대적으로 보일러의 비중이 높아 온수보일러가 34%, 증기보일러가 40% 이상을 차지하고 있다. 이 중 연간 열소비량이 가장 많은 시기에는 열저장 설비인 축열조에서 약 18%의 열이 공급되는 것으로 나타났다.

그리고 전력 피크 부하시에는 CHP 생산전력이 총 공급전력량의 58% 이상을

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

담당하고, 전력망으로부터 42%를 공급받는다. 피크 부하 시기의 계통전력구매 중에는 주택용이 24%, 건물용이 18%를 차지하게 된다. 하절기 냉열 피크 부하 시기에는 흡수식 냉동기가 77%, 빙축 시스템이 23%의 냉열을 생산하게 된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 특정지역에 집단에너지사업을 추진할 경우, 지역냉난방사업자가 공급할 에너지서비스, 즉 난방열과 냉방열, 그리고 전력을 공급할 수 있는 합리적 시스템을 구축하고자 하였다. 이를 위해 최적시스템을 산정할 수 있는 비용최소화 선형모형을 구축하고 실증분석을 시도하였다. 이 선형모형은 지역에너지서비스의 수요, 열원 및 관련 설비의 규모 및 운영, 그리고 지역냉난방사업자와 전력계통망 운영자 간의 전력거래와 같은 에너지교역 조건에 제약을 받고 있다. 본 선형모형의 주요 선택변수는 설비의 종류와 규모, 그리고 이들의 가동수준, 투입연료의 규모 등이 된다. 그리고 동 모형은 다음과 같은 특징을 가진다. 본 모형은 가능한 모든 설비(CHP, 보일러, 냉동기, 빙축 등)를 모형에 포함시켜 선택 가능하도록 하되, 총비용을 최소화하도록 최적모형을 구성하였다. 이에 따라 가변열전비 CHP의 운전모드도 하나의 설비로 인식하게 하여 CHP의 운전모드도 선택할 수 있다.

이 모형을 통하여 4만 세대의 아파트와 90동의 상업건물에 난방열과 냉방열, 그리고 전력을 공급할 경우, 최적설비로는 52MW 규모의 열병합발전기와 165 Gcal/h의 열전용보일러가 필요하며, 흡수식 냉동기와 빙축 시스템, 그리고 축열조가 도입되는 것으로 나타났다. 특히 CHP는 연간 열수요의 63%, 연간 전력수요의 67%를 담당하며, 축열조는 열 부하피크시 18%의 난방열을 공급하고 있어 생산설비로서의 기능도 담당하고 있음을 실증하였다.

이러한 연구의 결과는 지역냉난방사업자와 독점사업의 규제자인 정부에게 몇

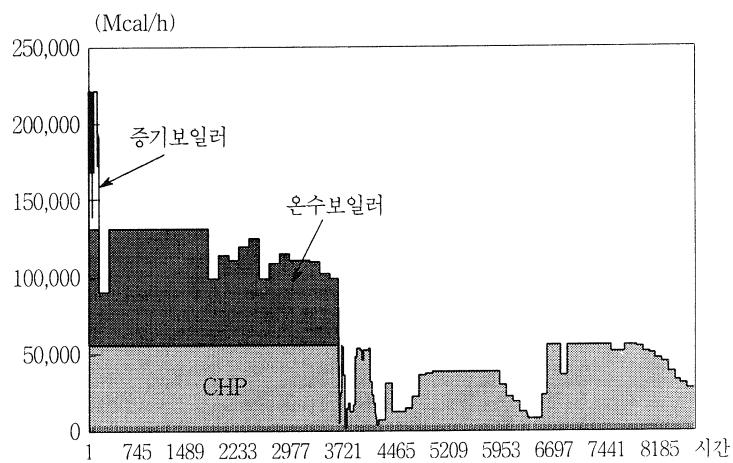
가지 의미를 제공하고 있다. 사업자는 본 연구에서와 같은 최적 모형을 통하여 최적 에너지공급시스템을 구성함으로써 잉여설비 또는 불필요한 초과비용을 회피할 수 있다. 이는 합리적인 난방 및 냉수 요금을 결정할 수 있게 하며, 나아가서는 산업간, 사업자간 에너지서비스의 가격(수열가격 또는 수전가격)과 관련한 갈등을 해소하는데 기여할 수 있다. 또한 적정설비 운영은 사업자에게 향후 어느 정도의 에너지수요를 추가적으로 개발할 수 있는지를 판단할 수 있게 만든다. 그리고 정부의 입장에서는 본 모형의 결과를 신규 사업자 선정에 활용할 수 있다. 즉, 기존 지역냉난방사업지역 인근에 신규 사업을 추진하고자 할 경우 기존 사업자의 설비 최적화 여부를 판단하여 기존과 신규 지역이 포함된 전체의 부하규모를 고려하여 최적 설비가 도입되도록 사업자를 선정하여 불필요한 투자를 미연에 방지함으로써 사회적 편익을 높일 수 있다.

본 연구의 최적화 선형모형은 선형계획이 지니는 편의성과 함께 그 한계점도 지니고 있으므로 다음과 같은 내용을 보완할 필요가 있다. 현행 모형에서는 열원의 규모를 실수변수(real variable)로 다루고 있으나, 이를 정수변수(integer variables)로 전환하여 설비도입의 현실화를 도모해야 한다. 그리고 에너지설비 단위당 투자비, 에너지서비스의 수요전망, 지역냉난방사업자와 전국전력망사업자 간의 전력거래 가격 등과 같은 외생변수와 관련하여 객관적이고 현실성 있는 자료의 수집에 노력해야 한다. 이와 같이 현행 모형에 대한 정수계획 프로그램으로의 전환, 입력 자료의 개선은 향후 동 모델의 활용범위를 더욱 확대시킬 것이다.

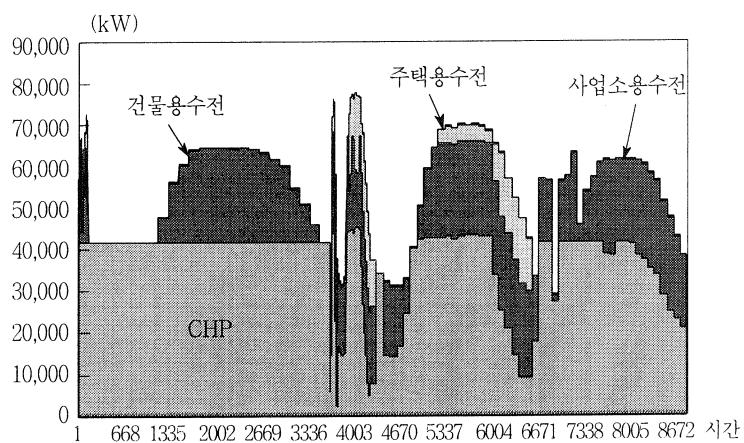
지역 냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

〈부 록〉

〈그림 1〉 열생산설비 가동 현황

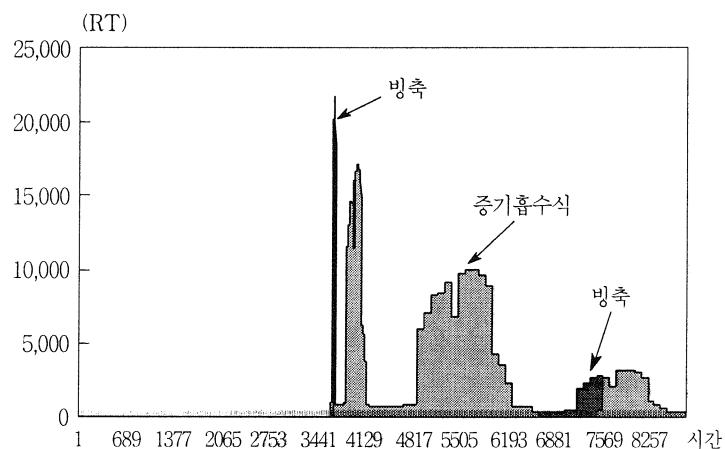


〈그림 2〉 전력생산설비 가동 현황

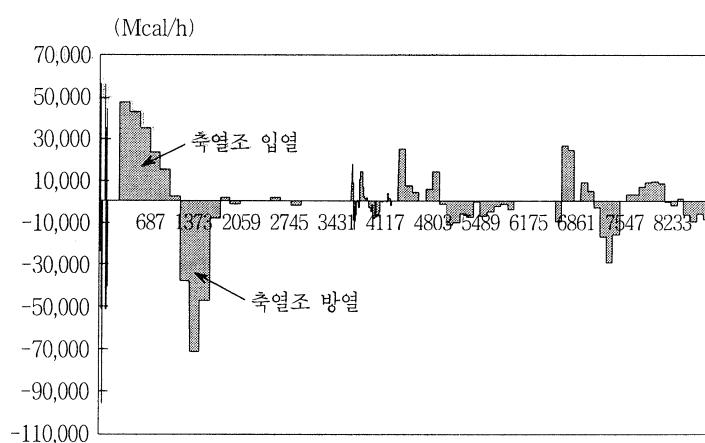


김진형 · 최병렬

〈그림 3〉 냉열생산설비 가동 현황



〈그림 4〉 열저장 설비(축열조) 가동 현황



◎ 참 고 문 헌 ◎

1. 곽노균 · 최태성, 『경영과학 : 이론과 응용』, 다산출판사, 1998.
2. 산업자원부, 제2차 집단에너지공급 기본계획, 2002. 12.
3. 심상렬, 「에너지산업 구조개편에 따른 열병합발전의 경제성 평가」, 에너지경제연구원, 2002.
4. 에너지관리공단, 『집단에너지사업관련 자료집』, 2005. 8.
5. _____, 『2003 열병합발전 기술 가이드 북』, 2003.
6. 이준구, 『재정학』, 다산출판사, 2000.
7. 정기준 외, 『경제수학 입문』, 비봉출판사, 1985.
8. 정필권, 『경제학에서의 최적화 이론과 응용』, 세경사, 1997.
9. 최병렬 외, 「집단에너지 확대보급을 위한 에너지 및 환경정책 개선방안 연구」, 에너지경제연구원, 2004. 12.
10. 한국산업개발연구원, 「남서울지역난방사업의 열요금 산정 연구」, 1986.
11. 한국지역난방기술(주), 「열 및 전기 생산설비 검토용 내부자료」, 2004. 9.
12. _____, 「집단에너지사업 타당성 조사연구 내부자료」, 2004. 8.
13. Backlund, L., *Optimization of Dynamic Energy Systems with Time Dependent Components and Boundary Conditions*, Sweden: Linköping, 1988.
14. Benonysson, A. et al., "Operational Optimization in a District Heating System," *Energy Conversion and Management*, Vol. 36, 1995, pp. 297~314.
15. Bradley, Stephen P. et al., *Applied Mathematical Programming*, Addison-Wesley, 1977.
16. Chiang, Alpha C., *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, McGraw-hill, 1984.
17. Dobbs, Ian M., "Combined Heat and Power Economics," *Energy Economics*, Vol. 4, No. 4, Oct. 1982, pp. 276~285.
18. Dorfman, R. et al., *Linear Programming and Economic Analysis*, McGraw-Hill, 1958.
19. Dotzauer, Erik, "Experiences in Mid-term Planning of District Heating Systems," *Energy*, Vol. 28, 2003, pp. 1545~1555.

20. Gardner, Douglas T. and J. Scott Rogers, "Joint Planning of Combined Heat and Power and Electric Power Systems: An Efficient Model Formulation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 102, 1997, pp. 58~72.
21. Joskow, P. L. and D. R. Jones, "The Simple Economics of Industrial Co-generation," *The Energy Journal*, Vol. 4, 1983, pp. 1~22.
22. Lindenberger, Dietmar *et al.*, "Optimization of Solar District Heating Systems: Seasonal Storage, Heat Pumps, and Co-generation," *Energy*, Vol. 25, 2000, pp. 591~608.
23. _____, "Modernization of Local Energy Systems," *Energy*, Vol. 29, 2004, pp. 245~256.
24. Marchand, M. *et al.*, "A Model of District Heating Using a CHP Plant," *Energy Economics*, Vol. 5, Oct. 1983, pp. 247~257.
25. Rardin, Ronald L., *Optimization in Operations Research*, Prentice-Hall, 1998.
26. Rolfsman, Bjorn, "Optimal Supply and Demand Investments in Municipal Energy Systems," *Energy Conservation and Management*, Vol. 45, 2004, pp. 595~611.
27. Sundber, G. and D. Henning, "Investments in Combined Heat and Power Plant: Influence of Fuel Price on Cost Minimized Operation," *Energy Conservation and Management*, Vol. 43, 2002, pp. 639~650.
28. Train, Kenneth E., *Optimal Regulation: The Economic Theory of Natural Monopoly*, The MIT Press, 1994.
29. Unterwurzacher, Erich, "Impacts of Energy Markets and Government Policies," *Energy Policy*, Vol. 20, Sep. 1992, pp. 893~900.
30. Zhao, Z. *et al.*, "Optimal Operation of Co-production with Storage," *Energy*, Vol. 23, 1998, pp. 859~866.

요 약

지역냉난방사업의 설비 최적화에 관한 연구

김진형 · 최병렬

열병합발전은 에너지사용의 효율적인 기술로서 고유가의 지속 및 이산화탄소 배출저감에 대한 국제적인 압력의 강화, 분산열원 또는 분산전원의 개발 필요성의 증대 등으로 인하여 정부와 사업자들로부터 관심이 높다. 따라서 지역냉난방사업을 추진할 경우, CHP가 경제적인 관점에서 도입될 수 있는지, 도입된다면 적정 규모는 어느 정도인지가 연구 대상이 된다. 본 연구는 실제 지역냉난방사업에 활용할 수 있는 설비선택에 관한 수리계획 모형을 설정하고 이를 실증적으로 분석하였다. 분석모형은 열원의 종류와 규모, 이들의 가동수준 그리고 투입연료의 양 등을 주요 결정변수로 하고 있다. 모형은 모든 종류의 설비(열병합발전기, 열전용보일러, 냉열생산 설비, 축열조 등)를 모형에 포함시켜 선택 가능하도록 구성하였다. 모형의 주요 특징은 변동 열전비 열병합발전의 운전모드도 하나의 기술로 간주하여 모형에서 이를 선택하게 할 수 있으며, 특정지역에 대한 CHP와 열전용보일러의 용량에 대한 적정 구성비도 도출할 수 있다. 본 연구는 기업측면에서는 설비최적화 모델로 활용할 수 있으며, 규제자의 측면에서는 설비규모 인허가에 참고자료로 활용 가능할 것이다.

주제어 : 지역냉난방, 최적화, CHP, 선형계획

Abstracts

A Study on the Optimization of District Heating and Cooling Facilities

Jin Hyung Kim and Byung Ryeal Choi

For the district heating and cooling business, it is required to install energy-saving facilities using energy from waste and land fill gases such as combined heat and power(CHP). The current issues that this business faces can be summarized as below: which facilities including CHP can be economically introduced and how much of their capacities should be. Most of such issues are clearly related to the optimal plant design of the district heating and cooling business, and the prices of energy services such as heating and cooling energy, and electricity.

The purpose of this study is to establish linear program model of least cost function and to practice the empirical test on a assumed district heating and cooling business area. The model could choose the optimal type of energy-producing facilities among various kinds available such as CHP's, absorption chillers, the ice-storage system, etc. CHP with the flexible heat and power ratio is also in the set of available technologies. And the model show us the optimal ration of heat producing facilities between CHP and historical heat only boiler in the service area.

Some implications of this study are summarized as below. Firms may utilize this model as a tool for the analysis of their optimal size of the facilities and operation. Also, the government may refer the results to regulate resonable size of business.

Keywords : District Heating and Cooling, Optimization,
Combined Heat and Power (CHP), Linear Program