

## 폐열을 이용한 열공급 실증 연구

이덕기 · 박수억 · 이승진

한국에너지기술연구원

### An Application Study on the Actual Site for Using Waste Heat

Deok-Ki Lee, Soo-Uk Park and Seung-Jin Lee

Korea Institute of Energy Research

#### 요 약

산업단지와의 같은 공장이 많이 밀집되어 있는 곳에서 열은 많이 버려지고 있다. 본 연구는 폐열을 신속하게 이용하기 위하여 폐열을 발굴하여 실제 사업 실행에 이르기 전까지의 내용을 단계적으로 나타내었으며 사업에 직접 적용할 수 있는 폐열 이용방안을 제시하였다. 특히, 열공급처와 수요처의 열공급 및 수요조사를 통하여 상호간의 열 이용을 분석하였으며 열공급 수송의 기본설계를 하였고 열 수요처에 공급하는 열에 대하여 경제성 및 타당성을 검토하였다. 이에 따른 실증분석에서 수요처 열사용 투자회수기간은 1.909년으로 비교적 짧은 것으로 나타났다.

**Abstract** — Heat is wasted by unconcern in industrial complex. This paper presented for using waste heat, which investigated step by step from searching waste heat to starting construction before and directly applied for the using waste heat in the actual site. Especially, using heat is assessed by investigation of heat supply and demand. Design of heat transportation system was made base on analysis of heat balance between demand and supply, which was analyzed by economical efficiency and property. Payback-period on investment was 1.909 years that was comparatively a short period of time in assessment.

#### 1. 서 론

##### 1-1. 문제의 제기

우리 나라는 에너지 부존 자원이 거의 없는 에너지 절대 빈국으로 사용에너지 97% 이상을 수입에 의존하고 있으며 이는 에너지 자원의 효율적 이용과 함께 에너지 자원 특성을 고려한 사용에너지의 절약 및 폐열에너지 재활용 등을 중요한 이유로 부각시키는 요인이 되고 있다. 특히, 산업분야에서 사용되고 있는 많은 에너지 중에서 일반적으로 약 60%가 유실되어 사용되지 못하고 버려진다고 보고되고 있는데 이러한 산업분야에서 폐열 발생이 많은 이유로는 첫째, 에너지 소비가 타분야와 비교하여 월등하게 많은 것에 기인하며 둘째, 에너지 사용기기의 효율성 저조와 1차에너지 사용에 따라 필연적으로 발생하는 것 등에 기인하는 것으로 나타나고 있다. 폐열을 활용하지 못하고 주변 자연환경에 영향을 주는 이러한 상황에서 폐열활용의 고효율화는 폐

에너지 활용과 환경보존의 효과를 볼 수 있는 새로운 방안으로 대두되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 본 연구는 이러한 취지에서 폐열발생처를 조사하여 실제 적용 가능한 사업으로 유도할 수 있는 방안을 마련하여 폐열활용의 고도화에 도모코자 하였다.

##### 1-2. 연구동향

주요 선진국에서는 열을 수송하기 위해 수km부터 수백km에 이르는 대규모 열수송관으로 폐열, 해수, 하천수를 광역적인 열수요에 공급하고 있다<sup>[3][4]</sup>. 특히 덴마크는 에너지원의 다원화 정책에 따라 소각열과 폐열을 활용한 지역난방 보급을 초기부터 설계하여 추진하고 있다. 인근 일본의 厚別지구와 眞駒内지구에서도 쓰레기소각로의 폐열보일러에서 발생한 고압증기와 터빈발전기에서 배출된 저압증기를 받아 폐열의 유효이용을 최대한 도모하기 위해 열교환된 고온수로 냉난방·급탕을 하는 에너지절감 시스템을 사용하고 있다<sup>[5][6]</sup>. 독일의 경우,

ZEW에서 도시와 주변 산업단지와의 폐열을 이용한 에너지 최적흐름시스템을 개발(Dynamic Energy, Emission and Cost Optimization : DEECO)하여 폐열회수기술, 지역난방 등을 폐열처, 기술 conversion, 공급처별 시스템 대안을 중심으로 하는 최적성을 다양한 열원을 적용하여 개발한 바가 있다. 국내에서는 소규모의 적용사례는 점차적으로 증가하고 있는 추세에 있지만 대규모의 폐열이용 사례는 많은 자금과 풍부한 폐열원이 필요하여 극히 제한되어 실시되고 있는 실정이다<sup>[7]</sup>. 1996년에 포철로재 제조부문은 포스코켄 잉여 폐열(저압스팀)을 이용함으로써 자체생산 운영비용 절감의 효과를 보기 위한 사업을 실시하였으며, 에너지관리공단에서도 1995년 대구 염색공단과 1996년 경남창원 및 경기안산에서 발생하는 폐열을 이용하기 위한 타당성 조사를 실시하였다. 이러한 사업은 폐열원의 발굴과 수요처에 대한 조사를 통하여 이루어지는데 아직 미비한 점이 많아 적극

적인 사업개발 및 연구가 필요한 실정이다.

## 2. 연구 방법

산재되어 있는 폐열 가운데 이용할 수 있는 열을 찾고 사용하기까지는 많은 시간, 기술 및 자본이 투자되어야만 가능하다. 이러한 특성을 고려하여 경제적이며 신속한 폐열 이용방법을 사용하여 폐열을 재활용할 수 있도록 아래와 같은 흐름을 제시하고자 한다. 첫째, 산업단지내에 소재하고 있는 업체들에 대하여 1차로 최근 3년간 에너지 사용 실태 및 폐열발생 조사를 실시한다. 둘째, 조사에서 나온 자료를 통하여 폐열 이용 가능지역을 선정한다. 셋째, 2차로 폐열발생이 많은 곳에 세부적인 에너지 수급현황을 조사한다. 넷째, 조사 내용을 공급 및 수요처와의 상호간 에너지 발란스를 한 후 평가한다. 다섯째, 사용할 수 있는 에너지에 대하여 시설제 한다. 여섯째, 전단계의 자료들을 이용하여 경제성 평가를 한 다음 사업의 타당성을 여부를 결정한다<sup>[8]</sup>.

본 논문에서는 1차, 2차 조사후 사업성과 연계되는 중요한 에너지 밸런스 및 평가부분부터 연구를 수행하였다.

## 3. 이론적 고찰

### 3-1. 평가방법선정

비교분석 평가를 위하여 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process : AHP)과 논리곱형식의 분석 특성을 비교하면 다음과 같다. 계층분석과정은 요소들 사이에 형성된 계층 구조(Hierarchy structure)를 이용한 방법으로 다요소 의사 결정에 널리 이용되고 있다. 평가자로 하여금 쌍대비교를 실시하며 평가자의 의견에 관한 일관성을 검증할 수 있고 정량적인 정보, 정성적인 정보를 동시에 평가할 수 있는 장점이 있다. 그러나 전 계층에 대한 기준의 세분화와 많은 대체안을 평가함으로써 과도한 쌍대비교가 이루어지며 내부종속성과 외부종속성이 있는 대안 선정시에는 의사결정에 어려움이 있다. 그러나, 논리곱의 형태는 각 요소의 독립성을 부여하며 모든 값이 선택기준 범위내에 포함되면 선택되어 진다. 이 방법은 사업성의 여부를 결정하는데 있어서 빠른 결정을 내릴 수 있는 장점이 있다. 선정된 실제 지역상황에서 선정방법의 적합성을 살펴보면, AHP의 경우는 경제성, 기술성, 환경성이 양호한 경우 대안들을 선택할 때 좋은 결과를 얻을수 있지만 각 요소에 의한 영향으로 선택이 될 수도 있고 안될 수도 있는 경우는 논리곱의 형태가 적합하여 본 연구에서는 평가방법상 논리곱형태를 선정하여 사용하였다.

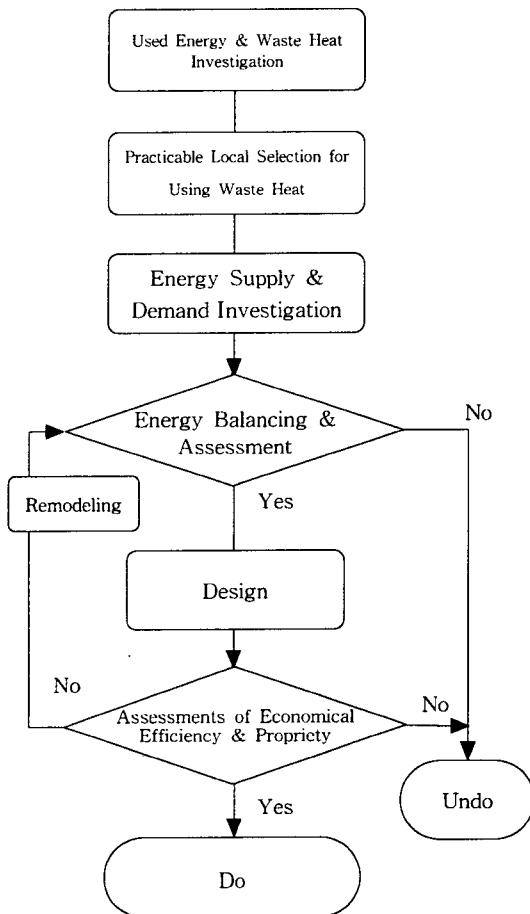


Fig. 1. Work flow for using waste heat.

**Table 1. Standard for decision attribute.**

	Economy	Technique	Environment	Selection
0	No	Impossible	Over the law	No
1	Yes	possible	In the law	Yes

$$\text{Selection} = \text{Economy} \times \text{Technique} \times \text{Environment} \quad (1)$$

**3-2. 배관설계시 적용이론의 고찰**

배관에 있어서 압력손실은 증기(수송매체의 압력과 수송속도)에 따라 관경 선정 등을 결정하는 중요한 요소이다. 후프 응력식(hoop stress; 내압을 받는 관의 두께를 정하는 기본 공식)을 적용에 적합토록 변형한 식은 다음과 같다.

$$t = \frac{P \times D_0}{200 \times \sigma_s \times \eta + 0.8 \times P} + C \quad (2)$$

- t : 두께 (mm), P : 설계압력(kg/cm<sup>2</sup>)
- D<sub>0</sub> : 외경(mm), σ<sub>s</sub> : 인장 응력 (kgf/mm<sup>2</sup>)
- η : 관의 길이 방향 이음 효율
- C : 부가상수(부식여유)

보통 금속재료는 온도가 상승하면 팽창하고 하강하면 수축을 한다. 이때 재료내부에는 압축응력과 인장응력이 발생한다. 이와 같이 온도 변화에 따라서 발생하는 응력을 열응력이라 하며 또한 이때 변형된 길이를 신축량이라 한다.

$$e = \alpha \cdot \Delta T \cdot l \quad (3)$$

- e : 신축량[thermal expansion length (mm)]
- a : 열팽창계수(cm<sup>3</sup>/C · cm),
- DT : 온도변화량(°C), l : 길이(m)

배관에 있어서 압력손실은 증기에 따라 관경 선정 등을 결정하는 중요한 요소이다. 증기배관의 압력손실은 다음 식과 같다.

$$\Delta P = 675 \times \frac{v \left( \frac{G}{100} \right)^{1.85}}{\left( \frac{D_i}{100} \right)^{4.97}} \quad (4)$$

- ΔP : 100 m당 압력 손실(kg/cm<sup>2</sup>)
- v : 비체적(m<sup>3</sup>/kg)
- G : 증기유량(ton/h)
- D<sub>i</sub> : 관내경(mm)

**3-3. 경제성 분석**

$$\text{증기생산가격} = P \times C + \alpha (\text{원/ton}) \quad (5)$$

- P : 증기 1톤을 생산하기 위해 소모되는 연료량(l)
- C : 연료유 단가(원/l)
- α : 증기 1톤을 생산하기 위해 소요되는 직·간접비 (인건비, 용수비, 전력비, 수리비, 환경부담비 등)

열공급 시스템 적용 타당성 분석은 수요와 공급의 열부하 분석을 통한 기술적인 분석을 기초로 최적 공급방안에 대한 투자비를 산정하여 기술적으로 우수하고 경제적으로도 이익이 되는 방안을 선택하기 위한 경제성 분석을 사용하였다. 일반적으로 경제성 분석은 연간 수익과 비용(지출)을 대비하여 설비의 수명 기간 내에서 경제성 여부를 판단한다.

폐열공급의 경제성 분석은 연간 에너지 비용 절감액을 시설투자비 및 운영비와 대비하여 공급자와 사용자 각각의 경제성 여부를 판단하고 아울러 국가적 차원의 에너지의 유효이용에 대한 투자 경제성을 판단하므로 설비 투자계획 검토에 있어서 중요한 기준이 된다. 본 경제적 타당성 분석에서는 수요조사에 의해 조사된 각 수요처의 필요 요구량을 근거로 하여 총 시설 투자비 대비 공급물량의 금액으로 환산하여 회수되는 투자회수기간법(Pay Back Period Method)을 사용하여 분석하였다.

**4. 실증분석**

**4-1. 폐열의 수요/공급 Balancing 및 평가**

공업단지내 폐열발생처와 인근의 열수요처를 대상으로 2차 조사를 하였으며 이에 따른 상호간의 요구를 충족시키기 위해 기초 부하자료를 이용하여 Balancing 및 평가를 실시하였다.

**4-1-1. 공급 가능량 조사 분석**

본 연구 대상지는 다량의 폐열을 발생하는 산업폐기물을 소각하는 소각장으로 소각로에서 나오는 폐열을 이용하여 자체적으로 전기를 발전할 수 있는 시설을 보유하고 있지만 전기를 발생시킬 수 있는 증기량을 형성하지 못하여 대기중으로 버리고 있는 현실이다. 이 폐기물 소각로는 일일 150 t/d 용량의 로타리킬른 방식이며, 회전수는 0.456 rpm이고, 소각로내 온도는 약 1,100°C이다. 보일러에서 300°C의 증기를 이론상 40 t/h로 발생시키는 것으로 설계되었지만 실제 효율을 고려할 때 32 t/h를 발생시키는 것으로 조사되었다. 공급처에서 년 중 일

**Table 2. Steam condition of supply.**

	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperature (°C)	supply load (t/h)
Waste heat boiler	21	290	20

정하게 공급할 수 있는 값은 21 kg/cm<sup>2</sup>의 압력, 290°C의 온도, 20 t/h의 물량을 일정하게 공급할 수 있는 것으로 조사되었다.

4-1-2. 증기부하분석

공급량의 평가를 위한 각 수요처별 사용 증기를 분석하여 보면 다음과 같다. 수요처 D1의 경우 계절별 평균부하는 2.98 t/h, 하절기 평균부하는 2.15 t/h, 최소부하 1.95 t/h로 대부분 난방에 사용하는 것으로 나타났다. 수요처 D2의 경우는 계절별 부하는 비교적 차이가 심하지 않는 것으로 나타났다. 수요처 D3의 경우 계절별 부하는 난방에 사용하는 것으로 평균부하 0.85 t/h, 하절기 부하 0.35 t/h, 최소부하 1.42 t/h로 나타났다. 수요처 D4의 경우 계절별 부하는 뚜렷한 계절별 분류가 이루어지

Table 3. Steam load analysis of heat user.

Company	Season	Unit	Steam Load		
			Average	Max	Min
D1	Winter	T/H	2.98	3.09	2.82
	Summer	T/H	2.15	2.25	1.94
D2	Winter	T/H	0.047	0.05	0.043
	Summer	T/H	0.044	0.045	0.043
D3	Winter	T/H	1.94	2.24	1.75
	Summer	T/H	0.35	0.64	0.17
D4	Winter	T/H	1.22	1.78	0.58
	Summer	T/H	1.38	1.76	1.16

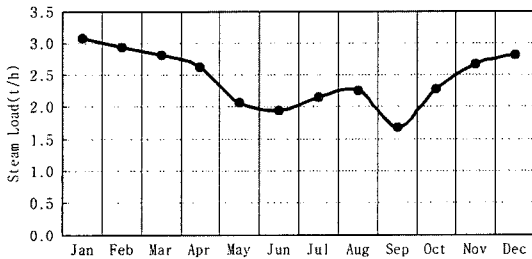


Fig. 2. Monthly steam load distribution of D1.

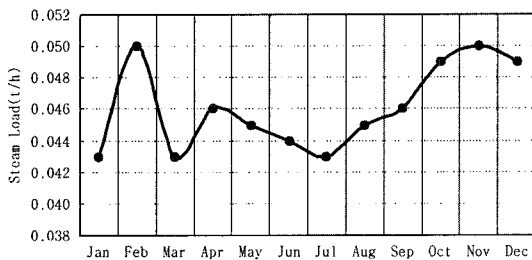


Fig. 3. Monthly steam load distribution of D2.

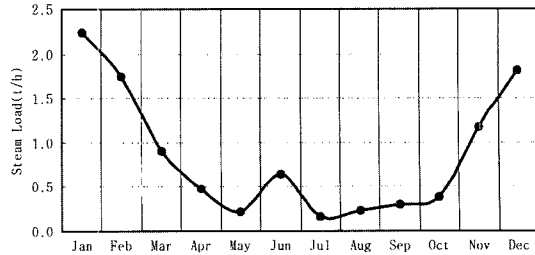


Fig. 4. Monthly steam load distribution of D3.

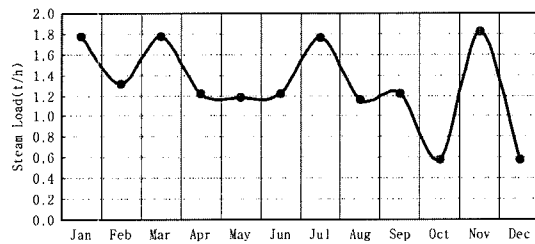


Fig. 5. Monthly steam load distribution of D4.

지 않았다. 이 현상은 증기 사용특성상 제품 주문량에 의한 부하변동으로 나타났다.

4-1-3. 폐열을 이용한 열 공급측 수요조건의 Balancing 및 평가

폐열을 이용하여 공급측과 수요측의 요구되는 요인들을 상호 비교하면 온도 및 증기량은 크게 영향을 끼치지 않으나 압력 및 증기성분이 제약요인으로 대두되고 있다. 이에 따라 공급처와 수요처와의 상호 Balance 결과 D1, D2, D3의 조건은 공급측에서 수용할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 수요처 D4의 경우는 양적인 면에서는 문제가 되지 않으나 Steam의 질적인 면에서 차이를 보이고 있는데 이러한 질적인 문제를 개선하려면 공급자측의 증기성분의 불순물을 제거할 수 있는 정제

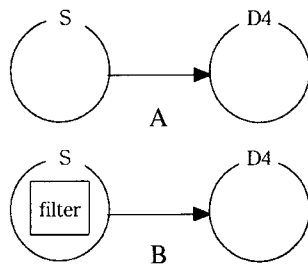
Table 4. Condition for selecting heat user.

	Capa.	Supply	Demand			
			D1	D2	D3	D4
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> · g)	MAX	23	5.5	7	10	17
	MIN	19	3.8	3	5	17
	AVE	21	4.6	5	7.5	17
Temperature (°C)	MAX	300	160	120	179	200
	MIN	280	155	120	151	200
	AVE	290	157	120	165	200
Quantity (t/h)	MAX	80	5	0.5	7	4
	MIN	40	4.5	0.3	5	1.5
	현재	20	4.7	0.4	6	2.7

**Table 5. Combine analysis for selecting heat user.**

	Demand			
	D1	D2	D3	D4
Pressure	○	○	○	△
Temperature	○	○	○	○
Quantity	○	○	○	○
Quality	○	○	○	×
Total	○	○	○	△

※ Note : ○ Good △ Normal × Poor.



**Fig. 6. System for using heat waste of D4.**

장치가 필요한 것으로 분석되며 이 장치를 설치하려면 많은 비용이 소요되므로 경제적 측면에서 다소 애로 사항이 발생하는 것으로 나타났다.

압력 : 15(kg/cm<sup>2</sup> · g), 온도: 300(°C)  
공급량 : 15(t/h), 품질 : 공급측 기준

D4의 Steam의 질을 개선하여 사용하는 방법들을 두가지로 분류하였으며 경제성, 기술성, 환경성의 세가지의 사결정요소(Decision Attribute)로 나누어 논리곱의 형태로 분석하였다.

A case의 경우는 기존의 D4사의 정수기를 이용할 경우는 온도와 압력을 정수기를 사용할 수 있는 영역까지 낮춘 다음 정제한 후 다시 승온 승압을 하여야 되므로 경제적으로 타당하지 못한 것으로 나타났다.

B case의 경우는 전체적으로 사용하는 물을 모두 정수기로 보내져 정수 되어지므로 15 t/h 이상의 양을 정수할 수 있는 고품질 대용량의 정수기가 필요하여 경제적으로 타당하지 못한 것으로 나타났다.

A와 B case의 경우 의사결정요소에서 각 요소에 한 기준만을 설정하여 논리곱형태에 적용하였지만 사업성이 타당하지 못한 것으로 나타났다.

**Table 6. Assesment of decision attribute for D4.**

Case	Economy	Technique	Environment	Selection
A	0	1	1	0
B	0	1	1	0

이상과 같은 공급측과 수요측의 조건 분석결과에 따라 요구되는 요인들을 상호 평가하여 3개 업체를 수요처로 선정하였으며 이러한 조건에 따라 시설계를 하였다.

**4-2. 열공급 수송관의 기본설계**

열공급을 위한 수송관 설계를 위해서는 여러 가지 설비공사가 뒤따라야 하며 이를 위해 기본적으로 고려되어야 할 사항들(수송관 두께, 압력손실, 신축량 등)에 대한 계산이 필요하다. 배관의 재질은 압력 및 온도조건에 적합한 압력배관용 탄소강(SPPS 38)으로 선정하였다.

**4-2-1. 열수송관의 두께 산정**

식(2)에 값을 대입하면,

$$P : 20 \text{ kg/cm}^2, D_o : 216.3 \text{ mm}, \sigma_s : 9.5 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\eta : 0.85, C : 0.4 \text{ mm/년} \times 20 \text{년} \times 0.6 = 4.8 \text{ mm}$$

$$t = \frac{20 \times 216.3}{200 \times 9.5 \times 0.85 + 0.8 \times 20} + 4.8 = 7.45 \text{ mm}$$

로 나타난다.

위 식을 이용한 계산값은 Table 5와 같다.

**4-2-2. 신축량**

20 m당 신축량을 구하는 식(3)을 이용하면 신축길이는 다음과 같다.

$$e = 10.225 \times 10^{-6} \times 280 \times 20 \text{ m} = 57.26 \text{ mm}$$

본 설계에서는 신축 흡수량이 크며 관리가 용이한 Slip Joint로 적용하였다.

**4-2-3. 압력 손실 산출**

식(4)에 의해 증기 15(ton/h)양을 수송하는 배관경을  $\phi 200$ 로 선정하였을 때 100 m당 압력강하  $\Delta P$ 는 0.1118 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며, 전체 압력강하는 최대 2.2425 kg/cm<sup>2</sup>, 최저 1.4969 kg/cm<sup>2</sup>로 계산되었다.

**4-2-4. 열수송관 시공**

열배관 시공은 신뢰성이 있고 안전한 열공급이 이루어지며, 유지관리가 원활하게 설계와 시공이 되도록 다음과 같이 열공급측 소각로 보일러에서 수요측 보일러실까지의 열 수송관을 기준으로 설계시공하는 것으로 기준으로 하였다.

- 공급처 구내 : 기존배관+(지대+지면인접+지하)배관
- 각 회사 정문 : 지하 매설(2중 강관 배관)
- 사용처 구내 : 지면인접배관+기존배관

**Table 7. Calculated thickness of pipe.**

Diameter (A)	Calculated thickness	Pipe thickness	SCH.NO
200	7.4527	8.2	40

**Table 8. Annual supply cost for heat user's demand.**

Desired steam		Demand-Co	D1	D2	D3	Total
MAX	Steam load (t/y)		39,600	1,500	61,300	102,400
	Supply price (₩million/y)		880.5	33.3	1,363.0	2,276.8
MIN	Steam load (t/y)		35,640	900	43,800	80,340
	Supply price (₩million/y)		792.4	20.0	973.9	1,786.3

**Table 9. Annual production cost of heat user.**

Desired steam		Demand-Co	D1	D2	D3	Total
MAX	Steam load (t/y)		39,600	1,500	61,300	102,400
	Supply price (₩million/y)		1,662.0	62.9	2,572.8	4,297.7
MIN	Steam load (t/y)		35,640	900	43,800	80,340
	Supply price (₩million/y)		1,495.8	37.7	1,838.3	3,371.8

**4-3. 열공급 시스템 적용 타당성 분석**

비교적 객관성을 기할 수 있도록 하기 위해 여러 각도의 분석을 실시하였으며 특히 수요처에서 요구하는 최대 요구량 및 최저 요구량을 연간 일정하게 공급할 경우와 실질적으로 수요조사에서 분석된 월별 연료 소모량을 근거로 산출된 증기 부하에 따른 공급 요구량으로 구분하여 경제성을 분석하였다.

**4-3-1. 증기공급 가격 산정**

공급측의 증기 생산가격은 증기 생산을 위해 연료를 사용하지 않고 폐기물 소각에 의해 발생하는 필수 부산물임에 따라 비교적 낮은 금액으로 산정될 수 있을 것으로 분석되며, 공정 수요열만 판매시 공급자와 사용자 간에 협의하여 결정하여야 하겠으나 기존 열공급 사업자의 열공급 가격을 비교하고 양측의 경제성을 고려하여 상호간의 가격을 결정하는 것이 적당할 것으로 판단된다. 본 경제성 분석에 필요한 증기의 톤당 가격 산출은 일반적으로 집단에너지 공급업체에서 사용하는 방법을 이용하여 계산하였다.

식(5)의 요인 산출은 다음과 같다.

$P=72.4$  l<100°C 응축수를 160°C 증기로 만드는데 필요한 연료량, 경유기준>

$C=545.17$ (원/l)<2000년 1월 대리점 판매가격(경유) 적용>

$\alpha=2,500$ 원<집단에너지 공급업체에서 적용하는 금액 적용>

증기생산가격(수요처)= $72.4(l) \times 545.17$ (원/l)+2,500원/t=41,970.3원/ton

증기공급가격(공급처)=(41,970.3+2,500)/2=22,235.2원/ton

4-3-2. 각 수요처별 증기 요구량에 따른 가격 산출  
각 수요처의 수요조사에 따른 최대요구량과 함께 최저요구량을 연간 일정하게 공급할 수 있는 양으로 산출하였으며 이를 22,235.2원/ton으로 산정하여 요구 증기량의 가격으로 나타내었고 비교 분석하였다. 각 수요처 증기 요구량을 연간 가동시간을 감안하여 수요조사에서 제시한 양으로 산출할 때 최대 수요량은 102,400(t/년)이며 가격으로는 2,276.8백만원, 최저 수요량은 80,340(t/년)에 공급가격은 1,786.3백만원으로 나타났다.

**Table 10. Comparing production cost of user with supply cost in MAX.**

Price	Demand-Co	D1	D2	D3	Total
produced steam price of Demand-Co (₩million/y)<A>		1,662.0	62.9	2,572.8	4,297.7
Supply price (₩million/y)<B>		880.5	33.3	1,363.0	2,276.8
difference (₩million/y)<A-B>		781.5	29.6	1,209.8	2,020.9

**Table 11. Comparing production cost of heat user with supply cost in MIN.**

Price	Demand-Co	D1	D2	D3	Total
produced steam price of Demand-Co (₩million/y)<A>		1,495.8	37.7	1,838.3	3,371.8
Supply price (₩million/y)<B>		792.4	20.0	973.9	1,786.3
difference (₩million/y)<A-B>		703.4	17.7	864.4	1,585.5

**Table 12. Comparing production cost of user with supply cost for estimating cost.**

Price	Demand-Co			
	D1	D2	D3	Total
estimated price (t/y)	21,420	403.6	7,482.4	29,306.0
produced steam price of Demand-Co (₩million/y)<A>	899.0	16.9	314.0	1,229.9
Supply price (₩million/y)<B>	476.3	8.9	166.4	651.6
difference (₩million/y)<A-B>	422.7	8.0	147.6	578.3

한편, 이들 수요 요구량을 각 수요처별로 자체 생산할 경우에 소요되는 가격은 최대 수요량의 경우 4,297.7백만원, 최저 수요량의 경우 3,371.8백만원이 소요되는 것으로 분석되었다.

이들 각 수요처별 생산가격 및 공급가격을 상호 비교할 때 최대 수요일 경우 2,020.9백만원, 최저수요일 경우 1,585.5백만원의 경제적 가치가 있는 것으로 나타났다.

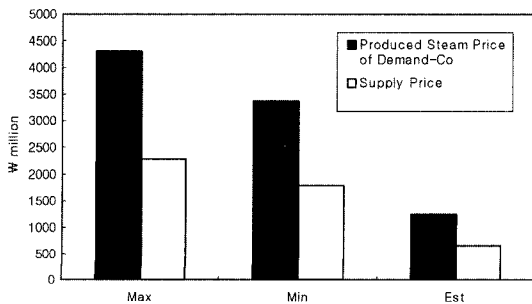
한편, 2000년도 수요조사에 따른 연료소비량을 감안하여 추정된 증기 수요량을 기준으로 분석하여 보면 생산가격 대비 공급가격은 약 578.3백만원의 경제적 가치가 있는 것으로 나타났다.

4-3-3. 시설투자비 산출

기본 설계한 내용을 근거에 의해 시공업체의 견적 및 물가정보를 이용하여 시설투자비를 산출하였으며 총 1,244백만원의 투자비가 계상되었다.

4-3-4. 투자회수기간

투자회수기간은 연간 증기요구량이 최대일 경우 연간 증기판매가격은 2,276.8백만원으로 0.546년으로 나타났으며 최소일 때는 1,786.3백만원으로 0.696년으로 나타났다. 그리고, 증기사용에 따른 가격추정 투자회수기간의 경우 651.6백만원에 대하여 1.909년으로 대체적으로 짧은 것으로 나타났다.



**Fig. 7. Comparison of steam prices.**

**Table 13. Cost estimation break-down.**

(Unit : one million₩)

비목	금액(원)
배관 자재비	655,088,988
배관 인건비	292,848,273
직접 노무비	256,659,310
간접 노무비	36,188,962
경비	158,906,352
기계경비	53,478,262
기타경비((재+노)*8.207%)	77,797,211
안전관리비((재+직노)*1.81%)	16,502,644
보험료(노*3.8%)	11,128,234
일반관리비((재+경+노)*5.5%)	60,876,398
이윤((노+경+일반관리비)*15%)	76,894,653
합계	1,244,614,666

**Table 14. Estimating pay-back period.**

Supply amount	Investment cost (₩million) <A>	Supply price (₩million/y) <B>	pay-back period (year) <A/B>
Maximum	1,244	2,276.8	0.546
Minimum	1,244	1,786.3	0.696
estimation	1,244	651.6	1.909

**Table 15. Assessment of decision attribute for using heat waste.**

Selection	Economy	Technique	Environment
1	1	1	1

본 시스템의 연구과정을 통하여 폐열이용을 실증분석한 결과 사업으로 이어질 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 이용 가능한 폐열 발생처를 발굴하고 이를 적용 가능한 수요처에 대해 폐열 활용방안의 제시와 함께 이를 시범사업으로 연계될 수 있도록 하기 위해 열공급을 위한 열공급 기본설계와 경제성 분석을 통한 결과를 제시하였으며 또한 제시된 결과를 가지고 사업 가능성 여부를 분석하였다. 실증분석 결과, 증기사용 가격추정 투자회수기간은 1.909년으로 나타나 비교적 짧은 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구 대상지의 폐열발생처는 폐열이용에 있어서 우수한 조건을 갖추고 있는 것으로 평가되고 있으며 사업성에 있어서도 충분한 가치와 함께 수요처의 조건도 매우 양호한 것으로 나타났다. 이러한 폐열 이용을 보다 적극적으로 추진하기 위

해서는 우선적으로 폐열 이용의 공급·수요처발굴이 지속적으로 이루어져야 하며 이를 위해 산업단지 및 공업지역에서의 연속적인 모니터링을 실시하여야 할 것이다.

### 참고문헌

1. Groscurth, H.-M. and Kümmel, H.-M.: "The Cost of Energy Optimization: A Thermo-economic Analysis of National Energy System", *Energy-The International Journal*, 14(11), 685 (1989).
2. Shingiresu S. Rao, "Engineering Optimization", A Willey-Interscience Publication (1996).
3. Groscurth, H.-M., Bruckner, Th. and Kümmel, R.: "Modeling of Energy-Service Supply System", *Energy-The International Journal*, 20(9), 941 (1995).
4. Ranjan K. Bose and Anadalingam, G.: "Sustainable Urban Energy- Environment Management with Multiple Objectives", *Energy-The International Journal*, 21(4), 305 (1996).
5. 省エネルギーセンター: "ECO-都市エネルギーシステム" (1997).
6. 松稿隆治: "都市エネルギーシステムの分析", *日本エネルギー工學會志*, 第76卷, 8號, 760 (1997).
7. 蔚山廣域市: "工團廢熱利用方案研究" (2000. 2).
8. Groscurth, H.-M.: "Energy, Cost, and Carbon Dioxide Optimization of Disaggregated, Regional Energy-Supply Systems", *Energy-The International Journal*, 18(12), 1187 (1993).