

자원순환형 소각열 이용시스템에 관한 평가

정 용 현

부경대학교 환경공학과

(2003년 2월 12일 접수; 2003년 4월 14일 채택)

Evaluation on Utilizing Systems of Incineration Heat as Resource cycling Type

Yong-Hyun Chung

Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Manuscript received 12 February, 2003; accepted 14 April, 2003)

How to plan the energy system is one of the keys for constructing the Environment -Friendly City. For this reason, a great number of surveys for utilizing unused energy have conducted by a planner. In regard to unused energy, the heat from incineration plants classify as a unused energy having high-exergy-energy. From this point of view, It is studied about the plant systems providing heat to district heating & cooling(D.H.C) and producing electric power. It is divided four system models as system I (10K [kgf/cm²] vapor as outlet of boiler, supply for 10K vapor and return to 60°C as supply condition of district heating), system II (30 K vapor as outlet of boiler, supply for 5K vapor and return to 60°C as supply condition of district heating), system III (30 K vapor as outlet of boiler, supply for 85°C hot water and return to 60°C as supply condition of district heating), system IV (30 K vapor as outlet of boiler, supply for 47°C hot water and return to 40°C as supply condition of district heating).

The results from the upper condition of four system, System II got a proper on economical benefits and system IV calculated as benefiting on energy saving effects, and suggest indifference curve as the total evaluation method of both economical benefits and energy saving.

Key words : Resource cycling society, Energy system, Energy saving, Incineration plants, Heat, Electric power

1. 서 론

최근, 국제사회에서의 화두 가운데 하나는 에너지와 자원의 효율적인 이용을 통하여 생태계의 기능회복과 폐기물이 발생하지 않는 자원 순환형 사회를 만들어 가는 것이다.

특히, 에너지 소비는 자원 및 환경이라는 양면의 제약을 받는다. 과거에는 필요한 에너지 자원을 외부에서 무한히 공급받아 소비하고 그 결과 배출물을 발생원으로부터 멀리 보내면 된다는 사상으로 발전해왔다.

지구규모의 자원환경 문제가 대두된 오늘날에는 실질적으로 외부 의존적인 발상에서 무한히 공급되

는 자원은 기본적으로 존재하지 않고, 환경에 있어서도 외부에 의존할 수 없다는 생각으로 자원 및 환경의 양 측면을 고려해야 하는 시기이다.

따라서, 자원 순환형 사회의 요구에 응할 뿐만 아니라 지속 가능한 사회 건설이라는 발상으로 에너지 시스템의 구축에 임해야 한다. 이러한 관점으로 부터 도시 부존 에너지 원으로 크게 기대를 모으고 있는 미활용 에너지에 대한 조사 연구와 활용에 대한 연구가 선진국을 중심으로 진행되어, 도시의 열 수요에 필적할 만한 미활용 에너지가 존재하고 있음¹⁻⁴⁾과 그 활용을 위한 연구⁵⁻⁸⁾가 진행되고 있다.

그 중에서도 소각열이나 공장 폐열⁹⁾ 등은 우선적으로 활용 가능한 고온에너지이지만 지리적으로 열 수요가 적은 도시외곽에 위치하고 있는 경우가 많다. 이러한 폐열을 유효하게 이용하기 위해서는 도시 계획적으로 수요지와 인접시키던지, 열수요가 많은 지역에 열을 반송하여 이용하여야 된다. 그 예로

Corresponding Author : Yong-Hyun Chung, Dept. of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
Phone : +82-51-620-6430
E-mail : chungyh@mail1.pknu.ac.kr

북유럽에서는 폐열을 활용하기 위한 인프라로 폐열 간선이 구축되어있어 도시 에너지 절약에 크게 기여하고 있다.⁴⁾ 그러나, 인프라 건설에는 막대한 경비가 소요되기 때문에 어떠한 형태로 시스템을 구축할 것인가는 도시의 장래 계획에 따라 후세에 기여하는 시스템을 계획적으로 구축할 필요가 있다. 주변지역으로 미활용 에너지 반송에 대한 기존연구로는 모델 지역에서 수리계획법을 통한 쓰레기 소각장 폐열의 최적 배분¹⁰⁾과 반송 에너지를 고려한 저온 미활용 에너지에 대한 활용가능 지역의 선정의 연구¹¹⁾가 있으나, 폐열 간선에 대한 구상은 고려되어 있지 않다. 최근의 폐열 간선을 고려한 연구^{12~14)}에서는 하천수나 하수 처리수와 같은 온도차 에너지의 반송문제에 있어, 폐열 간선에 의한 반송효과를 제시하고 있지만 반송을 고려한 고온 폐열에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 자원순환형 사회의 에너지 활용 측면에서 고온이면서 활용가능성이 높은 소각열에 대하여, 단순화한 모델을 이용하여, 최적 열 반송 시스템에 대한 각종 평가를 실시하여 방침결정에 필요한 자료를 얻기 위한 목적이 있다. 따라서, 폐열간선의 평가를 최종 목적으로 쓰레기 소각장의 폐열을 수요지로 반송하는 4 가지 시스템을 설정하였으며 반송을 고려한 소각열 이용 시스템 선정방법을 도출하기 위하여 에너지 절약성 및 경제성 등으로 시스템을 평가하기 위한 기초적인 연구를 실시하였

다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 시스템 설정

대상 시스템은 일본가스협회¹⁵⁾가 설정한 소각장 폐열 이용시스템으로 운전 조건을 Table 1에 나타냈다. 시스템 I은 배기 보일러에서 회수한 압력 10K 소각장 폐열(증기)을 그대로 지역 냉난방 플란트에 공급하고, 60℃로 환수하는 것으로 하였다. 시스템 II에서 시스템 IV까지는 압력 30K 온도 300℃의 폐열(증기)로 발전을 하여 열이용 하는 시스템으로, 시스템 II는 발전 후, 5K의 배압 증기를 지역 냉난방 플란트에 공급하는 시스템으로 선정 하였고, 시스템 III은 증기 터빈출구에서 복수를 85℃의 온수로 회수하고 지역냉난방에 공급하는 시스템이고, 시스템 IV는 복수기에서 회수된 복수온도가 47℃인 경우이다. 이에 대한 시스템을 Fig. 1 부터 Fig. 3까지 나타냈다.

2.2. 계산 모델 및 방법

2.2.1. 발전량 산정식

시간당 Wh kg의 쓰레기를 소각할 경우, 1kg의 쓰레기가 2100kcal의 열을 발생시키는 것으로 하여, 시간당 발생열량(열부존량)은 다음식과 같이 표현 하였으며, 에너지 계산을 위한 인자 및 열손실 계산

Table 1. Operating conditions of Systems

Generation	Outlet of boiler	Supply condition of district heating		
		Condition of vapor	Suply	Return
System I	No	10K vapor	10K vapor	60℃
System II	Yes	30K vapor	5K vapor	60℃
System III	Yes	30K vapor	85℃ Hot water	60℃
System IV	Yes	30K vapor	47℃ Hot water	60℃

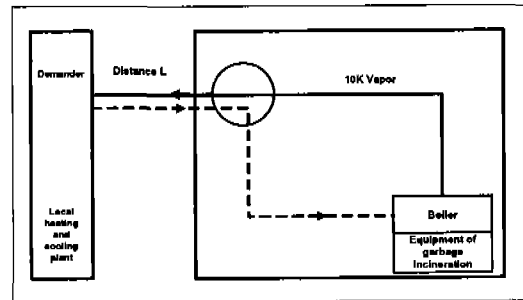


Fig. 1. System I.

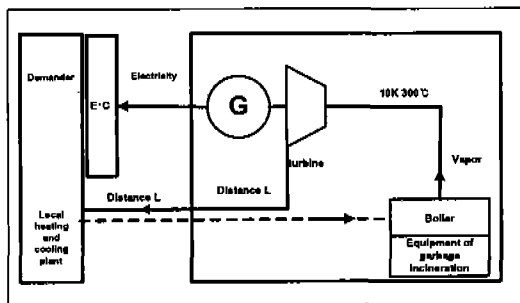


Fig. 2. System II.

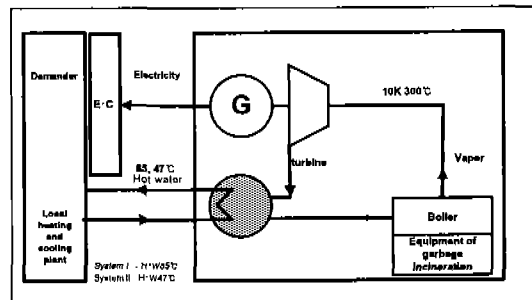


Fig. 3. System III, IV.

특성 값을 나타냈다^{15,16)}.

$$Qh = Wh \times 2100 \text{ [kcal/h]} \quad (1)$$

한편, 폐열 보일러의 효율 η_b 를 고려하면, 보일러에서 나오는 공급가능량, Q_b 는

$$Q_b = Wh \times 2100 \times \eta_b \text{ [kcal/h]} \quad (2)$$

열량 Q_b 로 발전을 시킬 경우, 보일러 입구의 엔탈피를 h_{bi} , 출구에서의 엔탈피를 h_{bo} 라고 하면, 터빈 입구 증기량 M_b [kg/h]는 다음과 같다.

$$M_b = \frac{Q_b}{h_{bi} - h_{bo}} \text{ [kg/h]} \quad (3)$$

이때, 터빈 발전기 출력, 즉 발전량 E_t 는

$$E_t = \frac{M_b \cdot \eta_p \cdot \eta_{eo} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (h_{ti} - h_{tw})}{860} \text{ [kW]} \quad (4)$$

터빈 출구의 실배기 엔탈피 h_{to} 는 다음으로 구할 수 있다.

$$h_{to} = h_{ti} - \frac{\eta_{eo} \cdot K_1 \cdot K_2}{\eta_m} \cdot (h_{ti} - h_{tw}) \text{ [kcal/kg]} \quad (5)$$

- η_b : 보일러 효율, 0.8[-]
- η_p : 발전기 효율, 0.75[-]
- η_{eo} : 터빈유효효율, 0.95[-]
- K_1 : 과열도에 의한 효율 수정계수, 1.0025[-]
- K_2 : 진공도에 의한 효율 수정계수, 1.01[-]
- η_m : 터빈 기계효율, 0.95[-]
- h_{ti} : 터빈 입구 엔탈피(=h_{bo}) [kcal/kg]
- h_{tw} : 단열팽창후의 터빈배기 엔탈피 [kcal/kg]

2.2.2. 반송관 계산

2.2.2.1. 증기반송

일반적으로 증기난방 배관시 압력강하에 대한 값으로 일정 값을 주어 계산하지만 실제로 지역냉난방과 같이 배관의 길이가 길어질 경우에는 일정치가 아닌 압력강하의 변화 값을 고려할 필요가 있다. 이에 따라, 물리적 반송한계 거리 (L_p)는 각 블록에서 계산된 배관의 입구 및 출구압력에 대하여 압력강하로 계산하였다. 이는 증기 유속을 일정하게 하고 배관을 몇 개의 블록으로 나누어 각 블록에서 압력손실과 열손실의 계산을 실행하였다. 또한, 이는 하류 방향으로 증기 조건의 변화와 더불어 배관직경을 변화시키는 것으로 하였다. 폐증기 및 온수의 공급처인 지역 냉난방 플란트는 공급된 증기 온수를 전량 이용 가능한 것으로 하였고 연간 운전은 정상운전 된다고 가정하였으며, 계산 방법으로 증기반송의 경우는 블록 출구의 증기 조건을 구하고, 응축수의 경우에는 드레인하고 환수관에 되돌리는 것으로 하였다. 즉 드레인이 발생하면 즉각 환수관으로 돌리는 것으로 하였다. 각 계산은 증기 단상조건으

로 하였고, 입·출구에서 증기조건이 크게 차이 날 때는 출입구 조건의 평균치로 계산하여 필요한 만큼 반복계산을 하였다.

$$L_p = \frac{(P_{out} - P)}{\Delta P_u} \quad (6)$$

ΔP : 1km 당 평균 압력강하[kgf/cm²]

P_{out} : 출력압력 [kgf/cm²]

P : 수요측 압력[kgf/cm²]

2.2.2.2. 온수반송

온수를 반송하는 시스템 III, IV의 경우, 공급열량은 다음과 같이 표현하였다.

$$Q_p = G_s \cdot (h_{to} - h_{bi}) \cdot \eta_{ex} - Q_L \quad (7)$$

Q_p : 반송열량 [kcal/h]

G_s : 온수유량 [kg/h]

η_{ex} : 열교환기효율, 1.0[-]

Q_L : 열손실 [kcal/h]

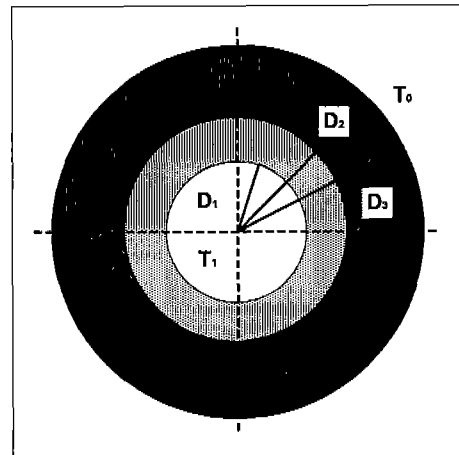


Fig. 4. Pipe diameters.

열손실량 Q_L 은 다음과 같다.

$$Q_L = \pi \cdot D \cdot K \int (T_1 - T_0) dx \text{ [kcal/m} \cdot \text{h]} \quad (8)$$

열통과율 K 는 일반적으로 지역냉난방배관에서 배관 내 측의 열전달 저항, 배관의 열전도율을 무시할 수 있으므로, 다음의 근사식으로 표현하였다.

$$\frac{1}{K} = \frac{D \cdot \ln(D_3/D_2)}{2 \lambda t_s} + \frac{D}{h \cdot D_3} \quad (9)$$

λt_s : 단열재의 열전도율

glass wool, 0.0335[kcal/mh²℃],

CaSiO₃, 0.129[kcal/mh²℃]

h : 단열 관외면의 열전달율, 8.012[kcal/m²h²℃]

2.2.3. 반송 동력 산정식
 마찰 저항에 의한 압력손실을 구하기 위하여 다음식을 이용하였다.

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{DI} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \quad [\text{Pa}] \quad (10)$$

$$f = 0.055 \left(1 + \left(20000 \frac{\epsilon}{DI} + \frac{10^6}{Re} \right) \right)^{1/3} \quad (11)$$

$$Mw = \frac{\pi}{4} DI^2 V \times 3600 \quad (12)$$

$$\text{단, } Mw = Mhw \times v \quad (13)$$

마찰손실에 대한 1km에 대한 반송동력 H는 다음과 같다.

$$H = \frac{\gamma \cdot Mt \cdot \Delta P}{102 \cdot \eta \cdot h \cdot 3600} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

ΔP : 1m당 마찰손실 [mmAq/m]

f: 관의 마찰계수[-]

L: 직관의 길이[m]

DI: 관의 내경 [m]

V: 관내 열매체 평균유속 [m/s]

g: 중력가속도

γ : 비중량

ϵ : 조도, 0.005[mm]

Re: 레이놀즈수

v: 비용적

η : 펌프효율, 0.75[-]

2.3. 평가지표

2.3.1. 에너지절약 평가지표

본 연구에 이용된 시스템은 열과 전력 생산시스템으로 에너지 절약의 평가에서 열은 그대로, 전력은 발전효율 35%로 1차 에너지로 환산한 양을 합한 값으로 하였다. 에너지 절약량을 쓰레기 소각량으로 나는 값을 단위소각량에 대한 에너지 절약량(Saved Energy from Waste Combustion)으로 하여 에너지 절약 지표로 이용하였다.

$$SEWC = \frac{SE}{Wc \times 365 \times 1000} \quad [\text{kcal/kg}] \quad (15)$$

SE: 연간 에너지절약량 [kcal/year]

Wc: 쓰레기 소각량 [ton/day]

2.3.2. 경제성 평가지표

경제성 지표로는 단위 소각량당 경제이익(Economic Benefit from Waste Combustion)을 이용하였다. 경제이익(EB)은 다음 식과 같다.

$$EB = EBH + EBE - PIPEC - ISPLC - STPC - CFEC - PUPC - PUEPC \quad (16)$$

$$EBWC = \frac{EB}{Wc \times 365 \times 1000} \quad (17)$$

단, 투자자본의 상환기간은 15년으로 하였으며, 에너지 비용 등의 경년변화는 금리와 같은 조건으로 하여, 무시하였다.

EBH : 매열수입(Economic benefit from Heat)

EBE : 매전수입(Economic benefit from Electric power)

PIPEC : 배관비용 (Pipe cost)

ISPLC : 단열재비용(Cost of insulating pipe line)

STPC : 발전용 터빈비용(Cost of turbine)

CFEC : 쓰레기 소각장 운전용 전력비용(An electric bill for running incineration plants)

PUPC : 펌프비용(Pump cost)

PUEPC : 펌프 소비전력비용(An electric bill of pump)

2.4. 설정조건^{15,16)}

계산에 이용된 시스템 및 경제성 평가를 위한 각각의 조건을 Table 2, 3에 나타냈다.

Table 2. Parameters of each system

Adiabatic material of supply pipe	material	system I, II	CaSiO ₃
		system III,IV	glass wool
	Thickness	system I, II	200mm
		system III,IV	20mm
Adiabatic material of return pipe	material	system I,II,III	glass wool
		system IV	none
	Thickness	system I,II,III	20mm
Type of turbine		system II	Back pressure
		system III,IV	condensing

Table 3. Economical values

Unit cost of pipe	for the vapor	3 millions yen/ton
	for the hot water	1.8 millions yen/ton
Unit cost of adiabatic material	CaSiO ₃	4300yen/m
	glass wool	285 yen/m
Unit cost of heat capacity(sell)	Vapor	2 yen/Mcal
	85°C hot water	2 yen/Mcal
	47°C hot water	0.3yen/Mcal
Unit cost of electric power(sell)		8yen/kWh
Unit cost of electric power(buy)		20yen/kWh
cost of pump		35000yen/kW
depreciation year		15 year

3. 결과 및 고찰

3.1 각 시스템의 기본특성

본 연구에서는 300ton/day의 소각규모를 고려하

였다. 이는 소규모 분산형의 고도 시스템의 개발에 따른 시스템 발전을 기대하며 고려하였다. 실제 소각장에서 소각 열이 자가 소비되는 경우가 많으며 조건에 따라 소비량도 차이가 있으며, 증기의 경우에는 발생 증기 량의 20% 정도가 자가 소비되고 있음이 보고되고 있다¹⁷⁾. 여기서는 모델을 단순화시키기 위하여 자가소비에 대한 부분은 무시하였다. 따라서 본 연구에서의 소각 량은 에너지 회수가 가능한 부분의 소각 량으로 소각규모는 열 회수 가능한 소각 량을 의미한다. 시스템에 대한 개략적인 특성과 용량을 파악하기 위하여 반송거리가 없는 경우, 소각 량 300ton/day에 대한 반송열량, 발전량, 1차 에너지 환산 량을 계산하여 Table 4에 나타냈다.

3.1.1. 반송 한계거리

고온 열매체를 반송함에 있어서, 열반송 거리에 따라 배관구경이 변화함으로 배관보온이 어려워진다. 따라서, 열 반송량이 큰 증기가 유리하지만, 증기는 방열 손실로 일정거리를 넘으면 포화 온도 이하가 되어 응축수로 인하여 장거리 반송에 불리하다. 또한, 반송거리가 길어질수록 압력손실 및 열 손실에 의한 증기 조건이 악화하고, 지역냉난방 플랜트로 사용할 수 없게 된다. 따라서, 증기를 열매로 한 시스템을 기준으로 하여 물리적 반송한계와 경제적 반송한계를 평가하였다. 한계거리를 물리적 한계거리 L_p 로 정의하였으며, 한계조건은 열 수요 측에서 $1\text{kg}_s/\text{cm}^2$ 의 증기압 조건을 반송한계로 설정하였다¹⁸⁾. 시스템 III, IV에서는 열매를 온수로 공급함에 따른 경제적 반송한계거리를 계산하였다. 이는 경제적으로 악화하는 지점을 반송한계로, 경제이익이 없어지는 거리를 경제적 반송한계거리 L_e 로 정의하였다. 따라서, 300ton/day의 소각량에 대하여 반송속도에 따른 시스템의 반송한계거리를 계산하였으며 이를 Table 5에 나타냈다.

식(6)에서와 같이, 같은 속도로 반송하였을 때, 반

송거리의 시스템 I보다는 시스템 II에서 증가하고 있다. 이는 $v=10\text{m/s}$ 에서 $\Delta P=0.086$ 의 시스템 I보다는 $\Delta P=0.035$ 의 시스템 II에서 압력강하가 작기 때문이며, 같은 시스템에서 반송속도를 달리하여 비교하면 속도가 증가할수록 압력강하가 증가하여 반송거리는 짧아짐을 알 수 있다. 또한, 경제 반송거리는 유속이 클수록 경제 반송가능거리가 증가하는데 이는 배관의 직경과 열손실이 줄어들기 때문이며, 시스템 I보다 시스템 II에서 경제적 반송거리가 증가하는 이유는 단가가 높은 전력의 이익이 포함되기 때문으로 판단된다. 또한, III, IV의 경우에는 펌프동력비용과 열손실의 증가로 경제적 반송거리가 결정됨을 알 수 있었다. 따라서, 각 시스템에서의 물리적, 경제적 반송한계에 따른 평가 결과 소각량 300t/d에서의 반송한계거리는 물리적 한계거리 보다 경제적 한계거리에 영향을 받음을 알 수 있다. 이는 지역에너지 시스템 분석에 있어, 공급가능거리 평가 시에는 물리적인 한계거리 평가에 경제적 평가를 고려한 반송한계를 평가하여야 할 것으로 판단된다.

3.2. 시스템의 에너지 절약성

소각열을 유효하게 활용하기 위하여 일본가스협회가 제시한 소각장 폐열 이용 시스템과 조건을 이용하였다. 각각의 시스템은 발전의 유무, 반송열매 조건으로 증기 및 온수로 설정하였으며, 300ton/day를 처리하는 소각장에서 단위 소각량에 따른 에너지 절약량(이하, SEWC)과 열반송 거리에 따른 관계를 Fig. 5에 나타냈다. 또한, 반송거리를 3km로 고정하여 소각처리규모에 따른 SEWC와의 관계를 Fig. 6에 나타냈다. 열반송 거리 0 km 지점에서 결과를 보면 발전을 많이 시키는 시스템일수록 상위에 있음을 알 수 있다. 이는 에너지 절약성지표의 환산방법에 의한 것으로 1차 에너지 값으로 환산하기 때문에 발전을 하는 시스템에서 유리하게 나타났다. 단, 열은 양적으로 생각하고 있고 질적인 평가를 하고 있지 않다는 점에서 SEWC 평가에 유의 할

Table 4. The Capacity of each systems at no distances from incineration plant to district heating and cooling plants according to 300tons per day

	Units	SystemI	SystemII	SystemIII	SystemIV
Transporting heat capacity	Kcal/s	9722	8728	9722	9722
Generation capacity	kW		3955.5	8315.1	10226
Exchange amounts of first energy	Tcal/day	8.4	9.87	11.45	12.16

Table 5. Limited distance of transported heat according to steam velocity

Velocity (m/s)	Limited distance	system I (km)	system II (km)	system III (km)	system IV (km)
10	Phycial	104.6	114.3		
	Economical	18.13	21.79	15.28	5.96
15	Phycial	66.14	72.53		
	Economical	21.11	25.12	15.28	5.96
20	Phycial	31.63	35.34		
	Economical	24.6	29.68	15.28	5.96

필요가 있고, 발전을 한 후 질적으로 낮아진 열을 대량으로 반송하는 시스템이 유리함을 알 수 있다. 또한, 소각장에서 지역냉난방플랜트에 반송된 증기 또는 온수는 난방 혹은 급탕에 사용되고 있어 열량으로 평가하더라도 합리적인 평가방법으로 판단된다. 열 반송 거리에 따른 SEWC의 기울기가 큰 것은 온도차에 의한 열손실 때문으로 판단된다. Fig. 6에서는 SEWC에 대한 용량 효과를 확인할 수 있으며, 이는 배관의 열손실 효과 및 터빈 유효 효율에 의한 용량 효과로 판단된다. 따라서, SEWC 평가에서는 시스템 IV, 시스템 III의 방식이 유리할 것으로 판단된다.

3.3. 시스템의 경제성

각 시스템에 대한 상기의 조건으로 300ton/day를 처리하는 소각장에서 단위 소각량에 대한 경제이익(이하, EBWC)과 열반송 거리의 관계를 Fig. 7에 나타냈다. 또한, 반송거리를 3km로 고정하여 소각처리 규모에 따른 각 시스템에 대한 EBWC와의 관계를 Fig. 8에 나타냈다. 300ton/day를 처리하는 소각장

에서 열반송 거리에 따라 EBWC가 감소하고 있으며, 이는 소각 처리량에 따른 EBWC가 주로 매열, 매전 단계에 의해 결정되어 지고 있는 것으로 생각되어진다. 따라서, EBWC평가에서는 시스템II, 시스템III의 방식이 유리한 것으로 판단되나, 소각량에 대한 경제이익의 구성요소를 구체적으로 평가하기 위하여 유리하게 판단되는 시스템 II, 시스템 III 방식의 경제성변화에 대한 구성요소를 계산하여 Fig. 9, 10에 나타냈다. 반송거리에 따라 경제성의 변화에 대한 주요인은 배관비로 매열, 매전 수입과 대결하는 양상을 보이고 있으며, 다른 요소들은 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나고 있다. 시스템 II에서는 매열 수입, 시스템 III에서는 매전 수입이 지배적이고, 시스템 III에서 시스템 II보다 경제적 이익의 감소는 펌프에 관한 경비의 증가에 의한 것으로 나타났다.

3.4. 종합평가를 위한 검토

경제성, 에너지 절약성 등의 평가를 통해 각 시스템에 대한 우열을 판단할 때 각각의 평가기준에 맞

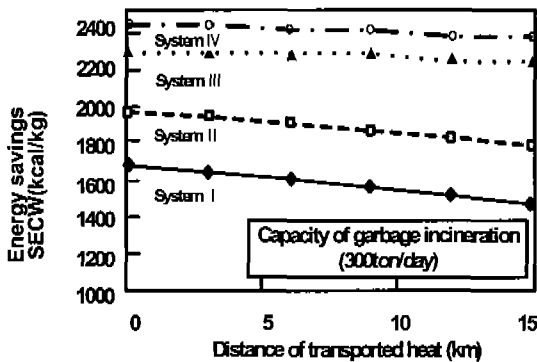


Fig. 5. Energy savings according to distance of transported heat at each systems.

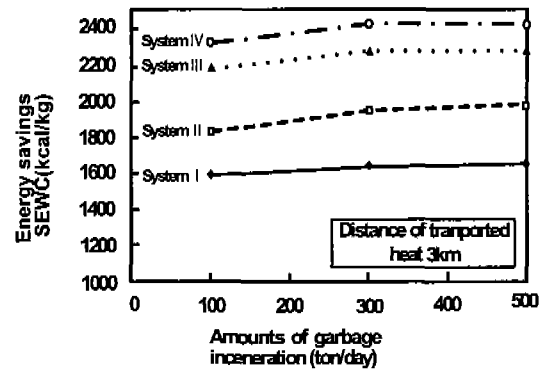


Fig. 6. Energy savings at each systems according to amounts of garbage incineration.

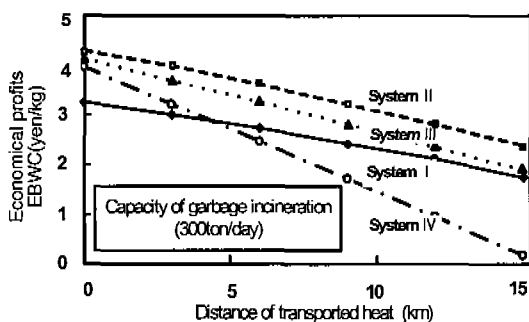


Fig. 7. Economical profits according to distance of transported heat at each systems.

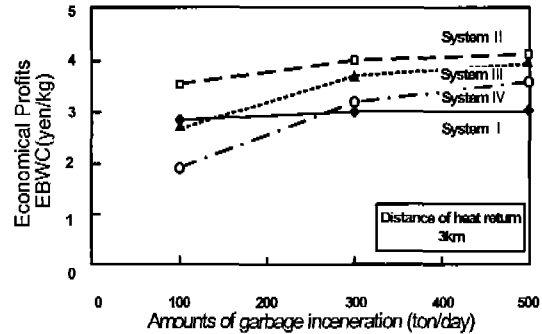


Fig. 8. Economical profits at each systems according to amounts of garbage incineration.

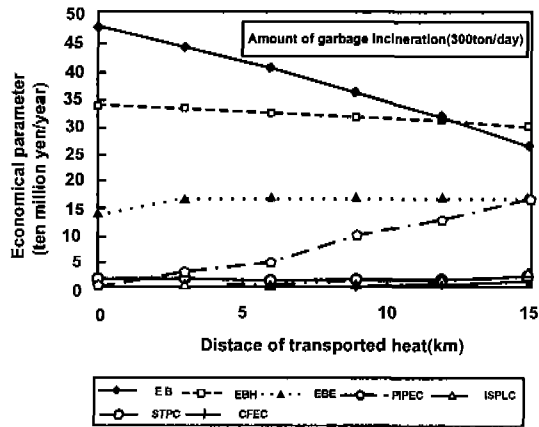


Fig. 9. Comparative of economical parameters at system II.

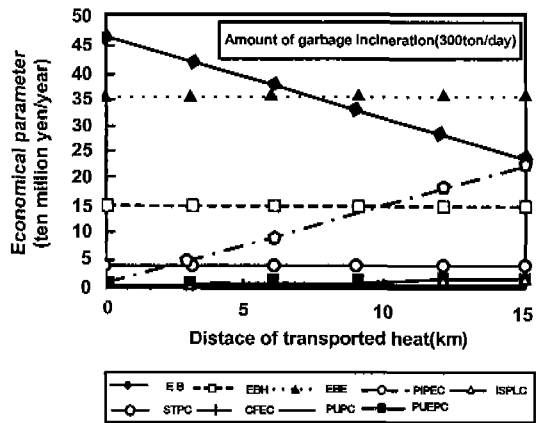


Fig. 10. Comparative of economical parameters at system III.

는 시스템의 선정은 문제가 없으나, 평가기준을 모두 만족시키는 시스템 선택에 에서는 문제가 발생할 수 있다. 예를 들면, 반송거리 및 수요 등이 다를 경우, 각 지점에 대하여 어느 쪽에 열 공급하는 것이 유리한가를 판단할 필요가 있다.

EBWC와 SEWC의 관계를 Fig. 11에 나타냈다. 오른쪽 점부터 반송거리 0km에서 왼쪽으로 3km 씩 15km까지 점들을 나타냈다. 최적시스템을 찾아내기 위해 각각에 대한 순위를 설정하고자 한다. 시스템을 평가하는 EBWC와 SEWC는 trade off 관계가 발생함으로 종합적인 평가를 위하여 무차별직선을 도입하였다. 무차별직선과 그 직선상의 점에서는 상하관계와 같은 차별이 없는 직선으로 Fig. 11에 표시하였다. ①의 직선은 시스템에서 에너지 절약성만 평가한 것으로 시스템의 순위는 IV, III, II, I로 평

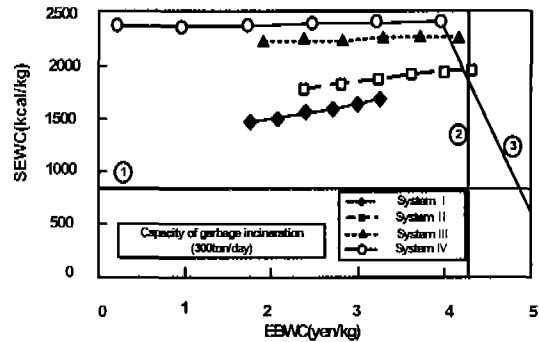


Fig. 11. Overall evaluation using EBWC and SEWC.

가되었고, ②의 직선에서는 시스템의 경제성만을 판단하는 것으로 시스템 II, III, IV, I로 평가되었다. 실제로는 에너지 절약성과 경제성을 고려한 종합적으로 시스템을 평가할 경우에는 ③과 같은 무차별직선으로 평가할 수 있다. 이는 일차방정식으로 표현하기 위하여 에너지 절약량을 화폐단위로 환산하여 일정한 값이 되는 직선을 나타낸 것이다. 따라서, SEWC에 대한 화폐환산은 절대값이 아니고 시스템의 의사 결정자에 의하여 결정되는 것으로, 무차별직선의 도입으로 종합적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

자원순환형 사회에서의 소각열을 적극적으로 도입하기 위한 지표로 경제성, 에너지 절약성은 중요한 요소로 판단되고 있다. 따라서, 고온 미이용 에너지의 발생원인 소각장에 대한 기본적인 계산을 간단한 모델을 통하여 실시하고, 경제성, 에너지 절약성의 기초적인 평가지표를 이용하여 반송을 고려한 소각열 이용 시스템 선정 방법을 제시하였으며 결과는 다음과 같다.

1) 소각열에 대한 반송한계의 판단을 위해 경제적인 반송한계와 물리적인 반송한계에 대한 평가를 실시한 결과, 각각 300t/d에서의 반송한계거리는 물리적 한계거리 보다 경제적 한계거리에 영향을 받고 있었으며, 이는 지역에너지 시스템 분석에서 공급가능거리 평가시, 물리적인 한계거리 평가에 경제적 평가를 고려한 반송한계를 평가하여야 할 것으로 생각된다.

2) 환경친화도시와 같은 신도시의 건설시 에너지 시스템의 적용에 대한 평가지표로 에너지 절약성 및 경제성을 들 수 있다. 제시된 시스템에서의 우열을 판단한 결과, 에너지 절약성에서는 시스템 IV가 경제성에서는 시스템 II가 가장 적합한 것으로 판

단되었으나, 에너지 절약성과 경제성의 평가기준을 모두 만족시키는 시스템을 평가하는 방법으로 무차별직선의 도입을 제시하였다. 무차별직선을 도입하여 종합적인 평가를 실시함으로써 반송거리 및 수요 등이 다를 경우, 각 지점에 대하여 어느 쪽에 열 공급하는 것이 유리한가를 판단 가능한 지표로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 김호성, 오명도, 2002, 서울시 미활용 에너지 부존량 분석 및 이용대책, 대한 설비공학회지, 40-49.
- 2) 박일환, 박준택, 유성연, 2002, 산업폐열 현황의 조사연구, 대한 설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 408-413pp.
- 3) 下田吉之, 水野稔, 1996, 都市未利用エネルギー活用可能性評価手法に関する研究、空気調和衛生工學論文集, 61, 67-77.
- 4) 欧州廣域共同熱供給システム調査團, 1996, 欧州における廣域共同熱供給システムの實態調査報告書.
- 5) 장기창, 박준택, 이영수, 박성룡, 이상남, 라호상, 2002, 온도차에너지를 이용한 지역 열공급 기술 분석, 대한 설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 414-419pp.
- 6) 박성룡, 안영훈, 박준택, 라호상, 하천수 열원 열펌프 시스템의 성능분석, 대한 설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 420-428pp.
- 7) Maekawa, T., 1991, A new ploicy on the utilization of urban waste energy for heat pumps in Japan, New letters, 9, 4-7.
- 8) 미활용에너지연구회, 1998, 미활용에너지를 이용한 지역열공급기술 세미나
- 9) 박준택, 1998, 폐기물 소각 폐열 이용에 관한 연구, 대한 설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 878-882pp.
- 10) 垂水弘父 藤井修ニほか, 1985, 清掃工場を熱源とする地域熱供給問題の検討, 日本建築學會計畫系論文報告集, 378, 28-37.
- 11) 河原透, 尾島俊雄, 1994, 低溫未利用エネルギー活用の省エネルギー性に関する研究, 日本建築學會計畫系論文報告集, 455, 37-46.
- 12) 廣域熱供給システム検討委員會, 1996, 廣域共同熱供給システム構想(神戸市域における廣域共同熱供給システムの検討).
- 13) 廣域熱供給システム検討委員會, 1995, 大阪灣岸域における廣域共同熱供給システムの検討.
- 14) Shimoda, Yoshikiyuki., M. Mizuno, S. Kametani, T. Momose and T. Kanaji, 1997, Evaluation Method of Energy Saving Availability by utilizing urbah unused thermal energy-part2. transactions of SHASEJ, 67, 1-10.
- 15) 日本ガス協會, 1996, 未利用エネルギー活用, 未利用エネルギー活用研究會.
- 16) 日本機械學科編, 蒸氣表.
- 17) 垂水弘父, 早川一也ほか, 1985, 清掃工場における利用可能 排熱量の推定, 日本建築學會計畫論文報告書, 11-20.
- 18) 日本ガス協會編, 都市ガス空調システム, オーム社, 36.