

폐열이용을 위한 배후지역 선정 실증분석 연구

박수억, 이덕기, 라동혁
한국에너지기술연구소

A Study on the Selection of Surround Area for using Waste Heat

Soo-Uk Park, Deok-Ki Lee, Dong-Hyurk Ra
Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구는 폐열을 이용할 수 있는 배후지역 선정을 위해 필요한 제반 여건 및 국내 주요 공업단지를 대상으로 폐열발생 평가, 타당성 분석 등을 실시하였으며 이의 결과를 토대로 최적의 예비 배후도시를 선정, 제시하였다. 본 연구에서는 최적 배후도시를 선정하기 위해 에너지 흐름, 폐열발생 자원량 평가, 배후도시 선정절차 및 단계 등을 실증적으로 분석하여 제시하였다.

I. 서 론

우리 나라 에너지원별 소비는 1998년 기준으로 석유가 전체 에너지소비의 54.6%이상을 차지하고 있는 가운데 석탄과 원자력이 각각 21.6%와 13.4%를 소비한 것으로 나타났다. 이러한 에너지소비에 있어서 가장 두드러지게 많은 부분을 차지하고 있는 분야가 산업부문으로 전체에너지 소비의 58.9%(약 77,945천TOE)를 소비하고 있는 것으로 나타났는데 이중(산업 부문 에너지 소비량 중) 약 60%(약 4천6백만TOE)가 폐열로 버려지고 있는 것으로 나타났다.

이와 같이 산업부문에서 폐열발생이 많은 이유로 타 분야에 비해 에너지소비량이 월등하게 많은 것에 기인한 것도 있겠지만 다음과 같은 주된 요인을 내포하고 있다. 첫째, 폐열 회수기술의 낙후성과 효율적인 활용부족 둘째, 낮은 폐열온도와 장거리 수송에 따른 열손실 셋째, 폐열이용 배후지역과 열공급원이 상대적으로 먼 거리에 위치하고 있어 공급에 어려움이 있기 때문이다. 이처럼 산업분야에서 많은 발생을 보이고 있는 폐열을 보다 효율적으로 이용하기 위해 국내외적으로 활발한 연구가 진행되고 있는데 외국의 경우, 미국, 일본, 그리고 독일을 중심으로 에너지종합이용시스템에 관한 연구가 진행 중이며, 국내의 경우, 연구소를 중심으로 에너지시스템 모델에 관한 연구가 수행된 바 있으나 아직까지 기초단계에 머물러 있는 실정이다.

본 연구에서는 폐열이용을 위한 배후지역 선정 및 열공급원인 폐열발생 분야에 초점을 두고 실증연구를 수행하였다.

II. 이론적 고찰

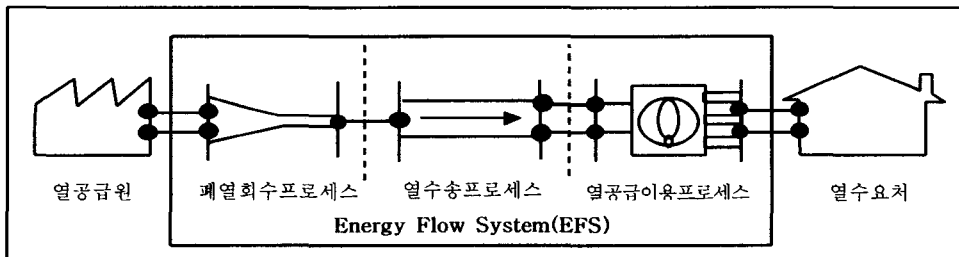
본 장에서는 폐열이용 배후지역 선정에 대해 에너지흐름시스템을 이해할 필요가 있으며 이를 위해 에너지흐름시스템 및 최적 배후지역 입지조건 선정절차를 고찰하였다.

II-1. 광역에너지시스템(GES : Global Energy System)

도시종합에너지시스템은 폐열공급처에서 열을 회수하여 수송하고, 최종 목적지로 열을 공급하는 에너지흐름시스템이다. 다시 말해, 폐열공급처→열흐름상의 에너지시스템→ 열수요처로 정의된 각 요소들이 적절한 網(Network)을 통하여 하나의 시스템으로 구성되며, 이를 역(Opposite Direction)으로 분석하여 각 요소들의 연결을 최적으로 구성하는 시스템을 완성할 수 있다

여기서 주목할 점은 열흐름상의 에너지시스템은 다양한 요소기술들로 구성되어 있기 때문에 수없이 많은 조합의 시스템 대안을 만들 수 있다는 것인데 이러한 의미에서 에너지시스템은 폐열공급처와 수요처를 연결하는 에너지흐름의 네트워크화가 무엇보다 중요하게 부각되고 있는 것이다.

이와 같이 열흐름상의 에너지시스템을 열의 흐름으로 해석하여 폐열공급처에서부터 수요처까지 열이 도달하는 과정을 광역에너지시스템(GES: Global Energy System)이라 하고, GES의 열흐름을 실제로 제어하고 통제하는 폐열회수 프로세스, 열수송 프로세스, 열공급이용 프로세스를 에너지흐름시스템(EFS : Energy Flow System)이라고 한다. [그림 1].



[그림 1] 광역에너지시스템의 기본구조

II-2. 에너지흐름시스템(EFS : Energy Flow System)

광역에너지시스템에서 열흐름을 실제로 통제하는 EFS(에너지흐름시스템)는 각각의 제어 요소별 특징에 따라 많은 기술들이 존재하고 있으며 이의 통제가 무엇보다 중요하다.

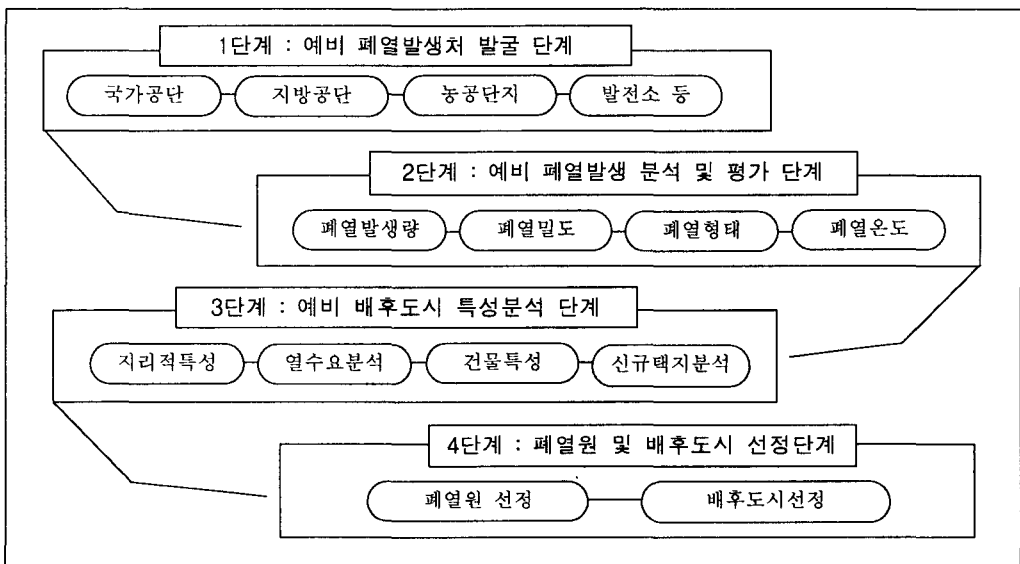
특히 산업단지나 발전소에서 발생하는 폐열은 그 발생원에 따라 큰 차이를 보이고 있음에 따라 다양한 형태의 폐열을 유용하게 이용하기 위해서는 폐열공급처와 열수요처의 특성을 정확하게 파악해야 하고 그에 따라 필요한 폐열회수기술, 열수송기술, 열공급이용기술을 선택해서 사용해야 만이 지역 특성에 적합한 에너지흐름시스템을 구축할 수 있다.

폐열회수기술은 발생폐열을 회수하여 사용 가능한 에너지로 전환하고 이를 공급함으로써 에너지절약을 도모하는 기술로써, 일반열교환기, 세라믹열교환기, 압축식 히트펌프 등의 요소기술이 있다. 열수송기술은 이렇게 회수된 열을 배후도시지역으로 수송하는 기술로써 열손실과 열수송비를 줄이는 것이 목적이며, 화학반응이나 열매체를 이용한 요소기술이 있다. 열공급이용기술은 폐열회수장치로부터 수송된 열을 열수요처로 공급시키는 것으로서 주로 건물의 냉·난방 및 급수설비에 적용되며, 보일러나 히트펌프 등의 요소기술 등이 포함된다.

II-3. 최적 배후지역의 입지조건과 선정절차

최적 배후지역이란 최종적으로 회수된 폐열이 사용되는 곳으로써 폐열공급처와의 거리, 배후지역의 지리적 여건, 자연적 여건, 인구밀집도, 연료 및 에너지 사용현황, 건물밀집정도, 그리고 난방형식(개별난방, 중앙난방, 지역난방 등) 등을 고려하여 신중한 수요처 선정이 요구되고 있다.

최적 배후지역 선정을 위한 절차를 단계별로 제시하면 다음과 같다. 1단계에서는 각 지역에 산재되어 있는 예비 폐열발생처를 선정하며, 2단계에서는 선정된 폐열발생처별 폐열실태를 조사하여 평가분석이 이루어져야 한다. 3단계에서는 이러한 평가분석결과 폐열회수 가능지역을 구체적으로 선정하여 해당지역 배후도시의 특성조사에 착수하게 되며 4단계에서는 예비 배후도시별 특성 평가 결과를 근거로 최종적인 폐열원과 열수요처를 결정하게 된다.



[그림 2] 최적 배후도시 선정을 위한 흐름도

III. 배후지역 선정 실증분석

본 장에서는 예비 폐열발생처 선정을 위한 타당성 분석과 예비 배후지역 선정을 위한 열수요 분석 그리고 입지조건별 분석을 통하여 예비 최적 배후지역을 선정코자 한다.

III-1. 예비 폐열발생처 발굴 및 발생폐열 분석/평가 단계

본 연구에서는 폐열이용 배후지역을 선정하기 위하여 먼저 공단별 폐열 타당성 분석을 실시하였다. 이러한 폐열공급처 선정을 위해 전국의 7개 권역 11개 공단에 대하여 폐열실태를 조사하였으며, 그 대상지역은 서울권(구로, 영등포일대, 반월공단), 인천권(남동공단, 부평지역, 자유수출공단), 청주, 전주, 대구, 울산, 그리고 여천을 조사대상으로 하였다.

그 결과 대구의 비산염색공단이 34,093.5TOE/년으로 가장 높은 폐열 발생량을 나타내고 있으며, 울산 A지역(31,090TOE/년), 여천 B지역(27,877TOE/년), 그리고 전주지역(21,342.3 TOE/년) 순으로 폐열량이 높은 것으로 나타났다.

<표 1> 주요공단별 폐열배출 실태현황

구 분		인천A	인천B	인천C	안 산	청 주	대 구
폐열량 (TOE/yr)		3,340.0	558.0	3,470.3	11,871.5	5,719.5	34,093.5
배출온도분포 (℃)		90-450	140-350	40-800	60-986	58-600	30-451
배출형태별 온도분포 (%)	배가스	99.2	100	94	47	82	66
	배공기	0.7	0	1	32	6	21
	웅축수	0.1	0	5	17	11	7
	염색수	0	0	0	4	1	12

<표 2> 주요공단별 폐열배출 실태현황

구 분		전 주	울산A	울산B	여천A	여천B	계
폐열량 (TOE/yr)		21,342.3	31,090.9	5,875.0	3,679.9	27,877	148,918.0
배출온도분포 (℃)		48-240	160-400	80-750	50-250	126-210	40-986
배출형태별 온도분포 (%)	배가스	82	100	99.7	73	100	82
	배공기	9	0	0.3	27	0	10
	웅축수	6	0	0	0	0	4
	염색수	4	0	0	0	0	4

III-2. 예비 배후도시 특성분석 단계

앞서 수행된 폐열발생처의 타당성 분석결과, 폐열밀도가 비교적 높은 곳으로 밝혀진 대구, 울산, 여천(여수), 전주(익산)를 폐열원 후보지역으로 선정하였으며, 이들 지역을 대상으로 예비배후지역 선정을 위한 열수요분석을 실시하였다. <표 3>에서 보면 대구의 칠곡 3지구의 경우 침투부하가 133.9Gcal/h로 가장 높지만 지역난방 열병합발전소와의 직선거리가 15km이상 떨어져 있으며, 대구의 동서변지구는 상당수가 중앙난방이라 폐열공급이 바람직한 것처럼 보이나 두개 지역 모두 금호강을 도강해야 하는 어려움을 가지고 있다. 그러나 대구의 성서개발지구의 경우, 침투부하가 68.7Gcal/h로 비교적 높으며, 또한 폐열공급이 용이한 지역난방을 채택하고 있어서 예비 열수요처로 적합한 것으로 나타났다.

<표 3> 신규택지개발지역의 요구열량 및 열공급방식

후보 도시	지 구	사업기간	총면적 (m ²)	주택호수			부 하		열공급 방 식
				단독	아파트	계	침투부하 (Gcal/h)	연료 사용량 (TOE/년)	
대구	성서지구	'93-'96	1,577,921	694	15,689	16,383	68.7	25,985	지역난방
	칠곡3지구	'90-'98	2,245,496	1,028	19,116	20,144	133.9	43,611	중앙/개별
	동서변지구	'97-'01	636,646	396	4,784	5,180	54.2	12,976	중앙난방
울산	진장·명촌	'98-'02	1,441,300	3,150	4,264	7,414	83.6	26,806	개별난방
	신항만전체	'97-'11	3,045,600	미정	미정		27.7	13,612	중앙난방
전주	서신서곡	'92-'96	1,130,280	1,174	7,559	8,733	53.2	19,011	중앙난방
	평 화	'91-'96	411,453	890	576	1,466	15.5	4,874	개별난방
	아 중	'90-'97	2,043,000	3,861	10,666	14,527	91.8	31,691	중앙난방
여수	울 촌	'98-'01	1,560,000	1,560	10,920	12,480	81.8	26,642	미 정
	광양칠성	'-01	865,988	3,125	500	3,625	52.8	15,067	개별난방

III-3. 폐열원 및 배후도시 선정단계

앞서 실시된 폐열공급처와 열수요처에 대한 실증분석결과, 예비로 선정된 폐열공급처와 열수요처 특성은 <표4>와 같다. <표4>에서 비산염색공단의 폐열총량은 34,093.5Toe/년 중에서 대부분이 배가스와 배공기로 구성된 폐가스로 발생량은 27,702.4Toe/년이며 온도는 263℃로 밀집정도가 높은 지역이다. 그리고 지역난방을 채택하고 있는 성서개발지구의 아파트 단지는 침두부하가 68.7Gcal/h이며 연료사용량이 25,985Toe/년이다. 따라서 대구 비산염색공단에서 발생한 폐가스는 폐열회수기술과 열수송기술을 통해 10km 떨어진 지역난방공사로 이송되게 되며, 이곳에서 다시 열공급이용기술을 투입하여 수요처인 성서개발지구로 공급하는 것이 가장 최적한 것으로 분석되었다..

<표 4> 예비 폐열배출처 및 수요처 선정

폐 열 발 생 처	열 수 요 처	평가가중치			
		발생 밀도	공급 거리	공급 방식	지역 여건
○ 대구비산 염색공단 발생폐열 특성 - 배출폐열의 종류 : 폐가스 - 온도 : 263℃ - 발생열량 : 27,702.4 (Toe/년)	○ 성서개발지구의 특성 - 침두 부하 : 68.7 Gcal/h - 연료사용량 : 25,985 (Toe/년) - 열공급방식 : 지역난방	●	△	●	●
○ 울산 A지역공단 발생폐열 특성 - 배출폐열의 종류 : 폐가스 - 온도 : 160~400℃ - 발생열량 : 31,090 (Toe/년)	○ 진장·명촌지구의 특성 - 침두 부하 : 83.6 Gcal/h - 연료사용량 : 26,806 (Toe/년) - 열공급방식 : 개별난방	●	△	×	●
○ 여천 B지역공단 발생폐열 특성 - 배출폐열의 종류 : 폐가스 - 온도 : 126~210℃ - 발생열량 : 27,877 (Toe/년)	○ 광양칠성지구의 특성 - 침두 부하 : 52.8 Gcal/h - 연료사용량 : 15,067 (Toe/년) - 열공급방식 : 개별난방	●	△	×	△
○ 전주지역 공단 발생폐열 특성 - 배출폐열의 종류 : 폐가스 - 온도 : 48~240℃ - 발생열량 : 21,342.3 (Toe/년)	○ 서신서곡지구의 특성 - 침두 부하 : 53.2 Gcal/h - 연료사용량 : 19,011 (Toe/년) - 열공급방식 : 중앙난방	●	△	△	△

<● : 양호 △ : 보통 × : 불량>

V. 결 론

본 연구에서는 폐열이용을 위한 배후지역 선정의 실증분석을 수행하였으며 그 결과 대구 비산염색공단을 폐열 발생처로, 성서개발지구를 예비 최적 배후지역으로 선정 제시코자 한다.

실증분석에서 얻어진 결과를 토대로 폐열이용을 위한 배후지역 선정절차를 다음과 같이 패키지 구성할 수 있다. 첫째, 폐열발생 가능지역을 선정한다. 둘째, 선정된 지역을 대상으로 폐열실태를 파악하여 상호 비교·평가분석을 수행한다. 셋째, 평가분석에 따라 예비 폐열 발생지역을 구체적으로 선정한다. 넷째, 이러한 지역을 대상으로 배후도시 선정을 위한 특성

조사를 실시한다. 다섯째, 평가분석에 따라 예비 열수요처를 선정한다. 끝으로 예비 열수요처와 폐열원과의 연계 가능성을 평가하여 최종적인 폐열원과 열수요처를 결정하게 된다.

한편, 본 연구의 실증분석 부분은 다음과 같은 두 가지 점에서 한계를 지니고 있다.

첫째, 연구대상에 관한 것이다. 본 연구는 산업부문을 대상으로 하였기 때문에 모든 분야에 일반화하기에는 한계가 있다. 둘째, 연구시점에 관한 것이다. 본 연구는 특정시점만을 기준으로 분석하였기 때문에 에너지시스템의 최적화를 위해서는 동태적 분석도 병행할 필요성이 있다. 따라서 앞으로의 폐열이용을 위한 배후지역 선정에 관한 연구에 있어서는 이상과 같은 본 연구의 한계를 극복할 수 있도록 연구가 전개되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Christos A. Frangopoulos and Yannis C. Caralis, " A Method for taking into account Environmental Impacts in the Economic Evaluation of Energy Systems", International Journal of Energy, Vol.38, No.15, pp.1751-1764.
2. Grothcurth, H.M., T.H. Bruckner, and R. Kummel, "Modeling of Energy-Services Supply Systems," Energy-The International Journal, Vol. 20, No. 9, pp. 941-958, 1995.
3. 省エネルギー センター, "ECO-都市エネルギーシステム", 1997.
4. 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, pp.760-765, 1997.
5. 한국에너지기술연구소, "도시종합에너지 시스템개발 연구", 1998.
6. 한국에너지기술연구소, "폐열회수의 실용화 타당성 연구", 1994.
7. 통상산업부, "소형 MVR증발시스템 실증연구", 1996.