

에너지 요소기술을 이용한 폐열 활용 시스템 구축에 관한 연구
A Study on the Structure of Waste Heat System with Energy Technology

*이덕기, **양종택, **김상문

*한국에너지기술연구소, **충북대학교

*Deokki Lee, **Yang Jong-Taek, **Kim Shang-Moon

*Korea Institute of Energy Research, **Chungbuk National University

- I. 서론
- II. 폐열의 개념 및 특성
- III. 폐열활용을 위한 요소기술 분석 및 기술체계도
- IV. 폐열의 효율적 활용을 위한 시스템 모형
- V. 결론

요 약

본 연구는 폐열 활용을 보다 실질적으로 적용하기 위한 사전 단계로서 에너지 요소기술들을 폐열활용을 위해 필요한 용도별, 성상별 등과 같은 요인들을 고려한 분석과 함께 이에 따른 체계도를 구축하였다. 또한, 이들 기술들을 이용하여 수요처에 알맞는 적용 시스템들을 구성하기 위해 폐열활용 요소기술의 접목을 통한 시스템의 최적화를 구현하고자 하였으며 이에 따라 폐열발생처별 특성과 이에 가능한 시스템을 선정하고 요소기술을 적용할 시스템 모형의 대안들을 제시하였다. 특히, 기술체계도와 요소기술의 시스템 분석을 통하여 폐열활용의 기본틀을 제시하였으며, 폐열 활용의 종합적인 이용 방법과 함께 적용처별로 시스템 대안을 제시하였다.

I. 서 론

우리 나라의 에너지소비(1999년 기준)는 에너지원별 소비분포 측면에서 석유가 53.6% 이상을 차지하며 전체 에너지소비를 주도하고 있는 가운데 석탄과 원자력이 각각 21.0%, 14.1%를 소비한 것으로 나타나고 있다. 최종에너지 소비에 있어서는 산업부문이 80,236천TOE로 56%의 가장 높은 에너지 사용분야로 나타나고 있으며 특히, 이들 산업분야에서 사용되고 있는 많은 에너지 중 약 60%가 유실되어 사용되지 못하고 버려진다고 할 때 그 량은 약 48,141천TOE로 막대한 량의 에너지가 폐열로 버려지고 있다.

이렇듯 산업분야에서 폐열발생이 많은 이유로는 동 분야의 에너지 소비가 타 분야와 비교하여 월등하게 많은 것에 일차적으로 기인하며 다음으로 에너지 사용기기의 효율성 저조와 함께 1차 에너지 사용에 따라 필연적으로 발생하는 것 등에 기인하는 것으로 분석되고 있으며 이들 배출 폐열에 대한 이용방안이 지대한 관심사항으로 부각되고 있다.

일반적으로 에너지 변환 시스템 및 에너지 소비공정에 공급되는 에너지는 그 형태나 유형에 관계없이 투입되는 전체 에너지량의 약 1/2 이상이 경제적 이유나 기술적 제약으로 인해 자연계로 배출·폐기되고 있는 실정이다. 이들 미활용에너지를 광의의 폐열이라 정의할 수 있으며 향후 기술 향상이나 에너지이용 효율 극대화 노력 여하에 따라 회수 재활용의 가능성을 지니고 있는 귀중한 미래 에너지원의 하나로 분류할 수 있다. 이렇게 발생하는 대부분의 폐열은 대규모 공업단지 및 산업체를 중심으로 하여 송변전시설, 지하철, 하수처리장, 냉동창고 등 다양한 분야에서 발생되고 있으며 그 부존량은 막대한 것으로 알려져 있다. 현재 산업부문에너지 사용에 대한 폐열 회수율은 약 7~10%에 달하고 있는 것으로 추정되고 있으며, 이와 같은 에너지이용 잠재력에 기인하여 경제적으로 회수 재이용 가능한 폐열에 대한 국내 폐열 회수 기술들이 다각적으로 개발되고 있다.

한편, 폐열회수기술, 열수송기술, 열공급기술 등을 네트워크 형태로 조합한 열흐름상의 에너지시스템은 기술적, 경제성, 환경성 등 다양한 관점의 평가특성으로 세분할 수 있는데 이와 같이 다양한 평가 속성에 대한 합리적인 가중치 결정과 적절한 평가 모형의 확립은 시스템 최적화 모형개발에 중요한 요인으로 작용할 수 있다.

본 연구는 에너지를 사용하고 필요로 하는 분야에서 기술적, 경제적, 환경적, 사회적인 제약 등에 기인하여 비효율적인 사용 또는 폐기되고 있는 폐열을 중심으로 이를 회수 재활용하여 에너지로서의 가치를 창출하기 위한 시스템적 모형을 도출코자 하였다. 또한, 본 연구의 큰 특징으로 폐열에너지에 대한 활용방안을 연구의 근본개념으로 하고 있으며 이는 소프트웨어적 기술과 하드웨어적 기술의 융합결과에 따른 기술적 결합(technical combination)의 최적화(optimization)로서 이러한 기술은 국소적이라기 보다는 총괄적인 시스템적 요소가 크기 때문에 하나 또는 그 이상의 요소기술에 중점을 두기보다는 총체적 접근에 의한 방법론으로서 연구를 추진하였다.

II. 폐열의 개념 및 특성

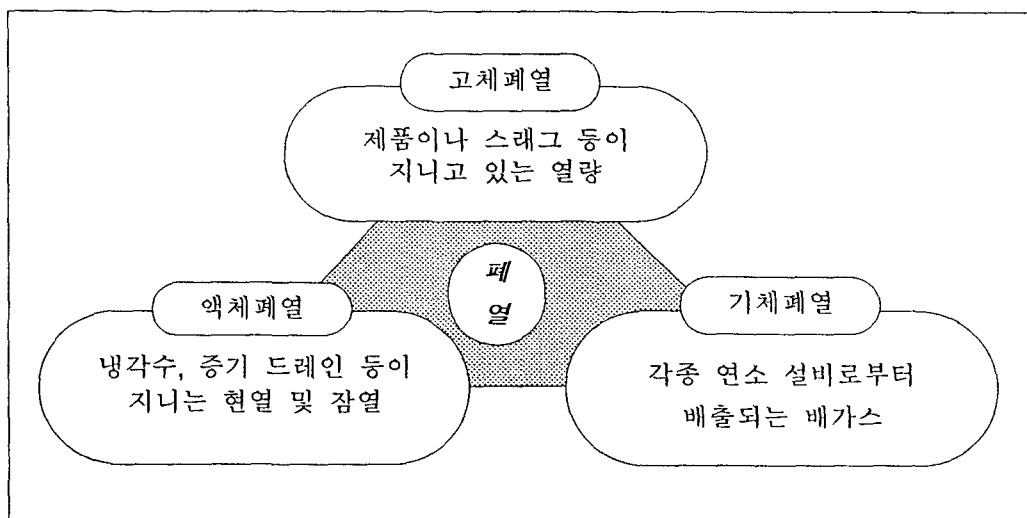
폐열은 보통 그 취급이나 온도의 범위 그리고 회수방법에 따라 구분하여 말하고 있는데 통상 형태에 따라 기체, 액체 및 고체폐열로 구분하며, 발생하는 곳에 따라 서로 다른 양상의 에너지로서의 가치와 함께 그에 따른 이용방법 등이 다르게 나타날 수 있다.

발생처에 따른 폐열은 크게 산업폐열과 도시폐열로 구분할 수 있으며, 산업폐열은 다시 공정 폐열과 산업폐기물 소각으로 구분하고, 도시폐열은 지하철 폐열, 하수열 도시폐기물 소각, 지하공간 등의 폐열로 구분할 수 있다.

한편, 이렇게 발생된 폐열은 폐온수, 폐증기, 폐가스로 배출되며 이를 이용하기 위해 각각의 폐열 특성에 적합한 기술들이 적용되며 이에 따라 전력 및 냉난방 등으로 다시 사용되어진다.

- 고체폐열 : 제품이나 스래그 등이 지니고 있는 열량은 이에 속하며
- 액체폐열 : 냉각수, 증기 드레인 등이 지니는 현열 및 잠열을 말하며 액체배열의 대부분은 냉각수 열로 보아도 무방하다.
- 기체폐열 : 각종 연소 설비로부터 배출되는 배가스는 기체폐열에 속하는데 폐열에너지 중 생활배수나 하수처리열, 빌딩의 배열, 청소공장의 배열, 초고압 지중 송전선 배열, 변전소 배열, 공장폐열, 그리고 지하철이나 지하상가의 냉·온방배열 및 환기 등도 효과적인 열원이 될 수 있다

본 연구에서는 산업폐열을 중점적으로 분석하여 이와 관련된 요소기술 및 시스템 구성에 따른 활용방안을 도출토록 하였다.

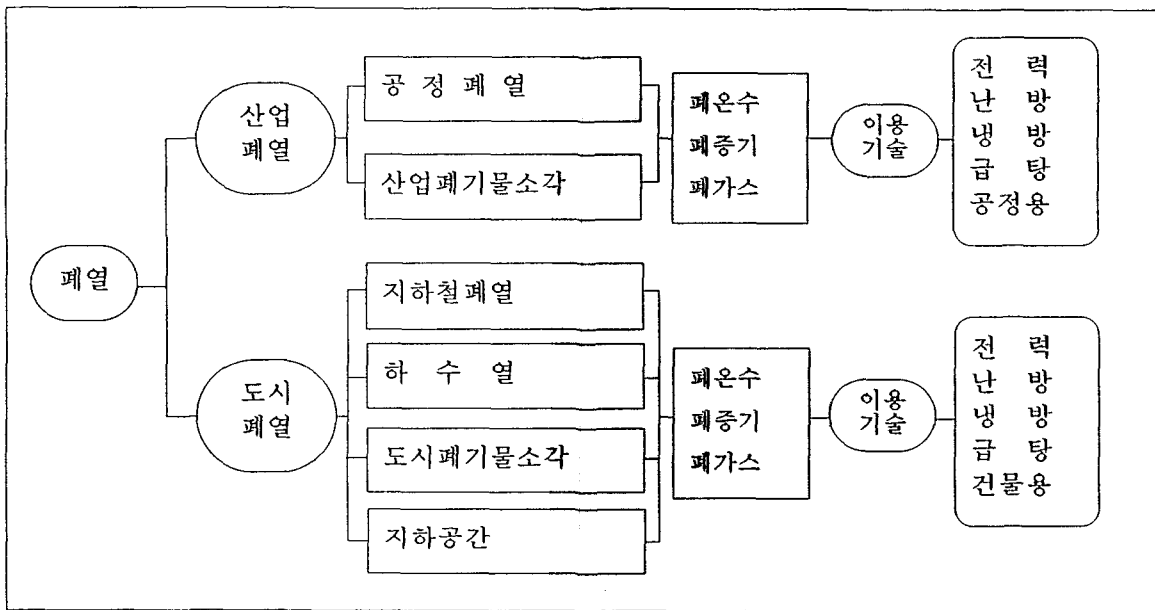


[그림 1] 폐열의 개념도

산업폐열은 크게 분류하여 산업공정폐열 및 산업폐기물 소각으로 구분할 수 있는데 산업체 공정폐열은 폐열발생의 가장 많은 범위를 차지하고 있는 분야로서 이용효율을 가장 제고시켜야 할 분야이다. 산업체에서 발생하는 폐열은 발생시키는 자체공장에서 회수 이용할 수 있다면 최선의 해결책이 되겠지만 다음과 같은 사유로 자체공장에서 회수 이용은 물론 타수요처에 공급이용이 곤란한 경우가 상당히 많다.

- 발생시기와 수요시기의 불일치
- 발생폐열과 수요열의 품위차이(온도, 압력, 함유물 등)
- 에너지전환(예: 발전)에서의 막대한 투자비 소요
- 히트펌프 등의 기술성 및 경제성 미흡
- 타에 공급시 이해 당사자간의 조정곤란 및 조정미흡
- 타에 공급시 공급거리, 공급배관 등의 설치장소 부적합

산업폐기물의 소각에너지인 소각폐열은 대규모 소각장에서 발전 및 열이용이 이미 행해지고 있지만 대부분은 폐기물 처리, 감량화를 목적으로 하고 있기 때문에 대부분 버려지고 있다. 따라서 이를 활용하는데는 폐열보일러를 설치하여 증기를 추출하고 증기터빈을 구동시켜 발전하는 것 외에 난방, 급탕용에 사용하며 난방에는 증기흡수 냉동기에 의해 냉수를 제조한다. 또한, 이용율을 높이기 위해서 연소온도의 상승 열수요와의 시간적 차이를 해결해야 하는 것이 필요하다.



[그림 2] 폐열의 발생처별 분류

Ⅲ. 폐열활용을 위한 요소기술 분석 및 기술체계 구축

폐열활용의 최적화를 구현하기 위해서는 무엇보다도 선결되어야 하는 문제는 시스템 최적화를 위한 요소기술들의 조합 및 연계이며 이들 각각의 기술들이 지니고 있는 특성과 활용가능성을 고려한 체계가 정립되어야 한다.

이를 위해 각각의 관련기술이 지니고 있는 기술의 특성 분석과 함께 수준분석(기존 기술들의 개발수준 및 개발될 신기술의 미래 지향성 수준분석)을 통하여 이용가능성 및 타당성을 내포하고 있는 기술 체계도의 구성이 필요하다.

따라서 폐열의 최적활용을 위한 기본작업의 일환으로 기술 네트워크상에 관련된 폐열회수기술, 열수송기술, 열공급이용기술에 대한 체계적인 기술수집 및 분류와 특성파악을 통한 기술체계도(Tech. Tree)를 작성하였다.

이를 위해 폐열회수, 열수송, 열공급이용기술에 대한 이용가능한 요소기술들을 조사하고, 열 특성과 설비의 특성들을 바탕으로 체계적으로 분류하였으며 또한, 조사된 각 기술 요소의 원리, 특성, 구조 등의 분석을 통해 활용 가능한 기술들로 구성된 기술체계도를 작성하였다.

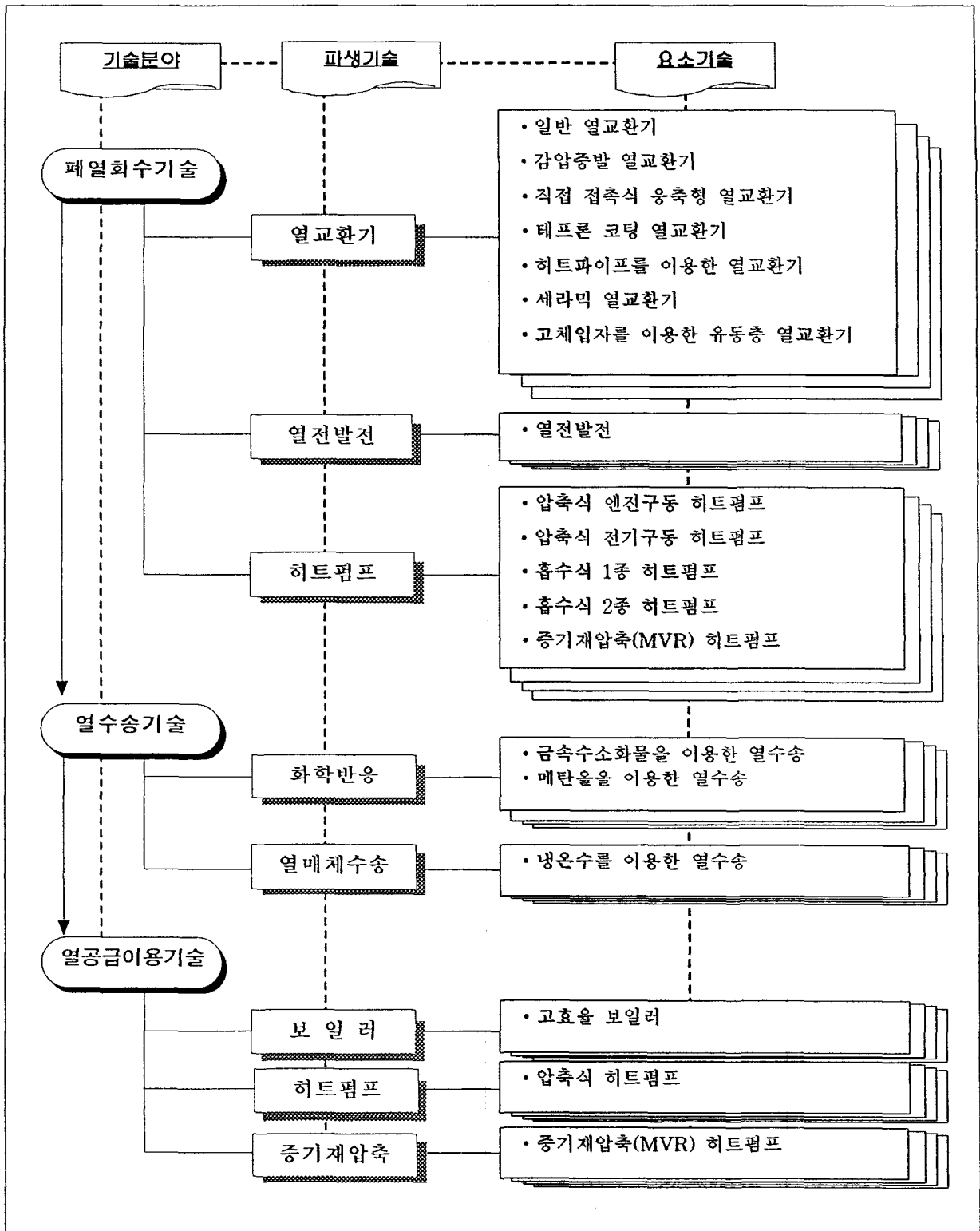
먼저 기술체계도의 큰 특징으로는 시스템 최적화에 따른 네트워크에 관련되어 있는 기술들에 대한 요소기술들을 도출하였으며 이들이 사용될 수 있는 대상별로 분류하여 분석하였다. 특히 열원의 종류 및 출력온도를 고려한 기술들이 도출되었으며 각 요소기술들에 대한 특성들도 고려하여 작성하였다.

첫째, 폐열회수 기술의 경우 파생기술로서 크게 세가지로 분류하였는데 이는 열교환기, 열전발전, 히트펌프로 분류하고 이는 다시 7가지 적용대상별(폐온수, 저온폐가스, 고온폐가스, 열전발전, 냉매압축식, 흡수식, 증기 재압축)로 나누어 그에 따른 요소기술로 구분하여 분류하였다.

둘째, 열수송기술의 경우 파생기술로서 크게 두가지로 분류하였는데 이는 화학반응, 열매체 수송으로 분류하고 이는 다시 세 가지 적용대상별(금속수소화물, 메탄올, 냉·온수)로 나누어 그에 따른 요소기술로 구분하여 분류하였다.

셋째, 열공급 이용기술의 경우 파생기술로서 크게 세 가지로 분류하였는데 이는 보일러 및 히트펌프와 증기 재압축으로 분류하고 이는 다시 세가지 적용대상별(보일러, 냉매압축식, 증기재압축)로 나누어 그에 따른 요소기술로 구분하였다.

한편, 열공급 기술을 거치지 않고 바로 공급될 수 있다는 점을 고려하여 공급기술에 한 가지 기술을 dummy로 추가하였다. 또한, 폐열회수기술, 열수송기술, 열공급이용기술에 포함된 요소기술에 대해 각각이 처리할 수 있는 열원의 종류와 처리 결과로서 얻을 수 있는 출력열원의 온도 및 종류들을 분석하여 기술적 체계를 구축하였다.



[그림 3] 폐열 활용 가능 기술 체계도

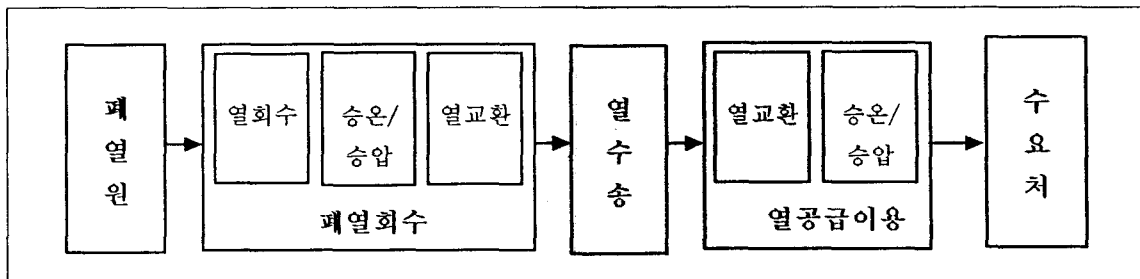
<표 1> 폐열활용 가능 시스템 구축을 위한 기술 체계

기술 분야	파생 기술	대상	요소기술	열원 종류	출력온도	특성
폐열 회수 기술	열 교환기	폐온수	일반 열교환기	폐온수	온수	온수 생산
			감압증발 열교환기	온배수	저온저압의 증기	MVR의 승온승압
		저온 폐가스	직접 접촉식 응축형 열교환기	저온 폐가스	온수 40-90℃	2차열교환을 통해 온수생산
			테프론 코팅 열교환기	저온 폐가스 260℃ 이하	온수	보일러급수의 예열
			히트파이프를 이용한 열교환기	저온 폐가스 400℃ 이하	저온가스	작동매체의 열전달 이용
		고온 폐가스	세라믹 열교환기	고온 폐가스 800℃ 이상	고온가스 350℃	연소공기의 예열
			고체입자를 이용한 유동층 열교환기	고온 폐가스 500-600℃	고온가스	연소공기의 예열
	열전 발전	열전 발전	열전발전	광범위 -160℃-1000℃	5-20kW/m ² 전력	전력생산
	히트 펌프	냉매 압축식	압축식 엔진구동 히트펌프	고온 배기가스 500-600℃	온수 80-85℃	가스엔진의 연소를 통한 온수의 승온
			압축식 전기구동 히트펌프	저온의 열원	온수	전기 전동기 사용
		흡수식	흡수식 1종 히트펌프	폐온수 35℃	온수 79℃	온수의 승온 운전용 증기(158℃) 필요
			흡수식 2종 히트펌프	폐온수 60℃	온수 80℃	온수의 승온
		MVR	증기재압축(MVR) 히트펌프	저온 증기	고온 증기	압축기에 의해 승온
	열수송 기술	화학 반응	금속 수소화물	금속수소화물을 이용한 열수송	온수/저온가스 80-150℃	80-150℃의 발열
메탄올			메탄올을 이용한 열수송	고온 가스 250℃	140℃의 발열	열교환을 통한 온수 생산
열매체 수송		냉온수	냉온수를 이용한 열수송	온수	온수	거리에 따른 열효율의 저하
열공급 이용 기술	보일러	보일러	고효율 보일러		온수	보일러 급수의 예열
	히트 펌프	냉매 압축식	압축식 히트펌프	고온 폐가스 600℃	온수 80-85℃	가스엔진의 연소를 통한 온수의 승온
	MVR	증기 재압축	증기재압축(MVR) 히트펌프	저온 증기 100-150℃	고온온수	압축기에 의해 승온

IV. 폐열의 효율적 활용을 위한 시스템 모형

4.1. 시스템 대안의 기본구조

폐열활용을 위한 종합에너지 시스템은 폐열회수, 열수송, 열공급이용 부문 요소기술들의 조합에 의해 폐열원에서 수요처까지 열을 효율적으로 이용할 수 있게 하는 에너지 시스템이다. 따라서, 체계적이고 효율적인 시스템을 구성하기 위한 시스템 대안들은 이들 요소기술들의 조합에 의해 만들어 질 수 있으며 시스템 대안의 기본구조는 폐열공급처에서 발생된 폐열을 회수를 통해 에너지로 전환하여 수송하고, 열교환을 통해 요구하는 열량을 수요처에 공급하는 시스템으로 [그림 4]와 같다.



[그림 4] 시스템 대안의 기본구조

본 논문에서는 이들 시스템 모형들을 크게 3분야로 구분하여 모형을 제시하였으며 요소기술을 직접 적용한 경우와 지역적인 특성을 이용한 시스템 구성, 적용처를 고려한 시스템 구성으로 구분하여 제시코자 한다.

4.2. 요소기술 적용 시스템 구성

폐열이용기술 시스템중에서 개발된 요소기술은 많은 부분에서 유용하게 이용되고 있으며 폐열이용을 위한 총체적인 개념설계에 있어서도 전체적 효율을 향상시키기 위해서 매우 중요한 부분으로 부각되고 있다.

따라서, 전체적 시스템 연구 안에서도 그 개발상황을 정확하게 파악하여, 시험설계 속에 맞추기 위한 적용성 검토가 필요하며 이를 위한 요소기술의 적용조사가 필요하다.

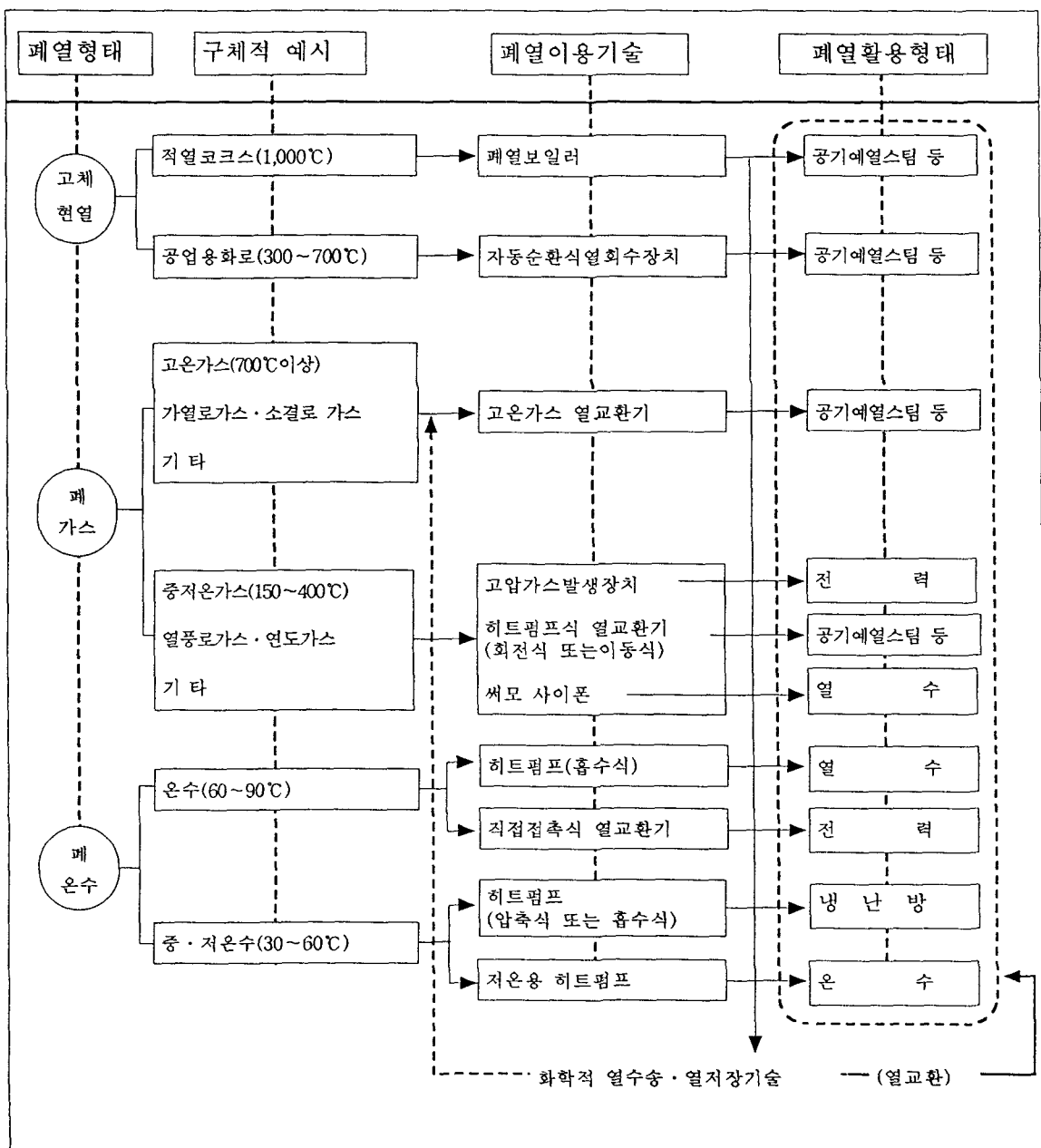
본 기술의 적용조사에 있어서는 폐열발생이 비교적 많이 발생할 수 있는 철강 및 금속분야에서 발생하는 폐열을 대상으로 할 경우 폐열이용기술 시스템과 요소기술적용을 어떻게 할 수 있는 가를 모형화한 것이다.

철강 및 금속업종에 있어서 폐열 발생 형태를 크게 세가지로 구분할 수 있는데 이는 고체현열, 폐가스, 폐온수로 구분할 수 있으며 폐열의 형태에 따라 여러 가지 양상으로

배출되고 있다.

- 고체현열 : 적열코크스, 공업용화료
- 폐가스 : 고온가스(가열로 가스, 소결로 가스 등), 중저온 가스(열풍로가스·연도 가스 등)
- 폐온수 : 온수(60~90℃), 중·저온수(30~60℃)

이들의 발생에 따른 적용기술인 각각 다르게 나타날 수 있으며 그에 따라 활용형태도 스팀, 온수 등으로 나타날 수 있다.

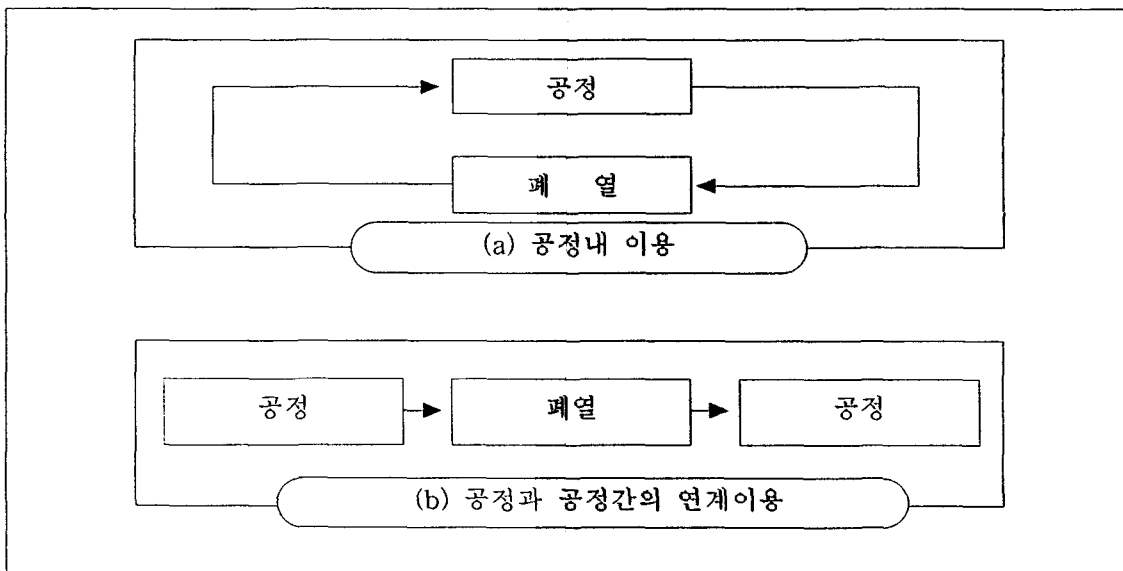


[그림 5] 철강 및 금속분야 폐열이용 요소기술의 적용 시스템 구성

4.3. 지역적인 특성을 이용한 시스템 구성

4.3.1. Local 이용시스템

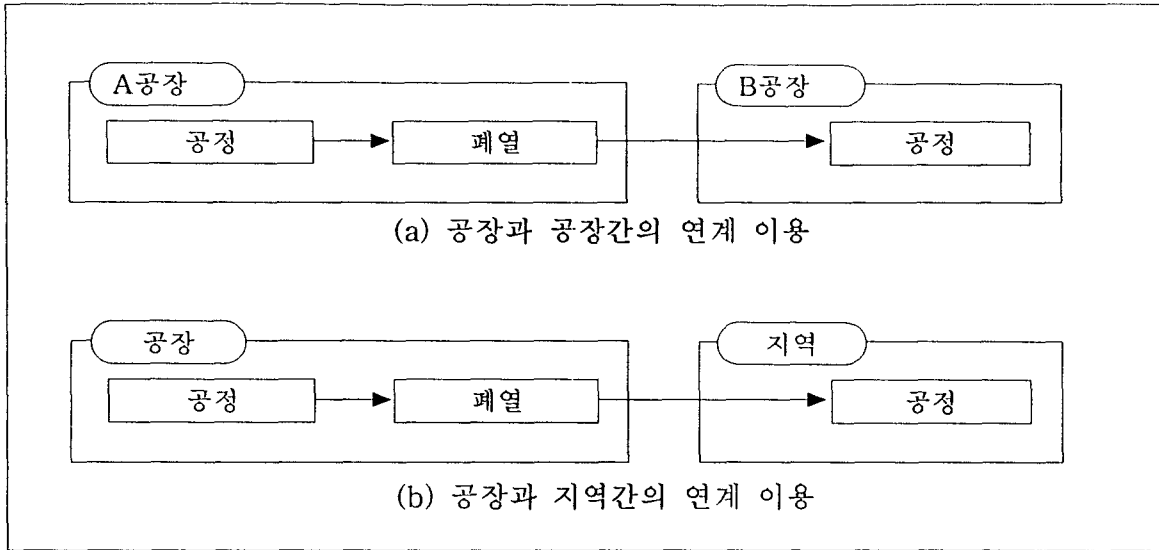
이 시스템은 폐열에서 회수한 열을 시스템내에서 개별적으로 이용하는 방법으로서 회수열의 질, 양 등이 열 이용에 적절히 사용하는데 한계가 있다. 폐열과 열 수요처와의 관계에 따라 장치내 재이용, 공정내 재이용, 공장내 재이용 등으로 분류할 수 있다. 동일 공정내에 독자적으로 계획할 수 있기 때문에 시스템의 적용에 대한 결정은 주로 경제적인 요인에 의하여 이루어지는 경우가 많고 적은 투자비용, 높은 종합효율이 요구되며 일반적으로 직접 열이용 시스템 형태가 많다. 또한, 요소기술을 이용할 경우 어떤 기술을 이용하느냐에 따라서 효과가 다르게 나타날 수 있으므로 여러 가지 비교를 통해 최적화 요소 기술을 선택하는 것도 중요하다.



[그림 6] 폐열의 local이용 시스템 구성 모형

4.3.2. Total 이용시스템

폐열에서 회수한 열을 외부시스템에 공급하여 종합적으로 이용하는 방법으로 시간적, 거리적 문제, 열량 변동의 신뢰성 등을 제약을 갖고 있다. 폐열원에서 부터 회수한 열을 외부 시스템에 공급하여 종합적으로 재이용하는 시스템으로, 공장에서 재이용과 주택 등의 재이용으로 분류할 수 있다. 관련 지역간의 수요와 공급의 조건이 일치한다면 경제적인 문제와 열수송의 문제를 고려하여 타당하면 실제 현지 적용이 가능하며, 기술적인 면에서는 Local 열이용 시스템과 같다.



[그림 7] 폐열의 Total 이용 시스템 구성 모형

4.4. 폐열이용 적용처별 시스템

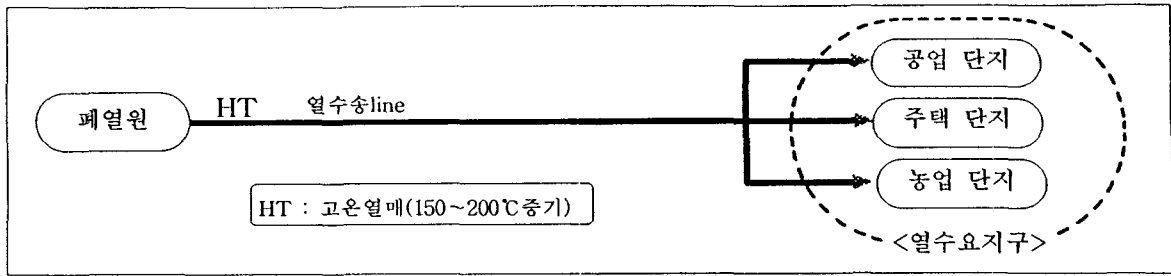
폐열이용 시스템은 열의 변환, 조정, 수송, 저장 등을 전체적으로 제어할 수 있는 열공급 center와 폐열이용 요소기술 등을 고려하여야 한다. 그리고, 폐열의 이용을 위해 선정 기준으로 고려하여야 할 사항은 이용 가능한 폐열량과 종류, 에너지 절약효과, 공공 이익성 등이다

따라서 현재 활용하지 못하는 폐열을 분석하여 그 폐열의 성상 및 온도에 알맞은 시스템을 찾아 설계하여 효율적으로 활용하면, 그 만큼의 경제적인 에너지 절감을 할 수 있어 국가적으로 에너지 수입을 크게 줄일 수 있고, 환경보전에도 크게 기여 할 수 있다. 따라서, 폐열의 사용온도, 폐열원 성상과 열수요처 성상 및 경제성 등을 기준으로 하여 최적화된 시스템을 설계하여야 할 것이다.

이러한 적용처별 시스템 구성 형태는 Total 폐열 이용 시스템을 기본적인 모델로 하였으며 폐열이용의 대안으로 공급처와 수요처간의 각각의 요소기술들을 도식화하지는 않았으며 전체적인 열의 흐름으로 나타내었다.

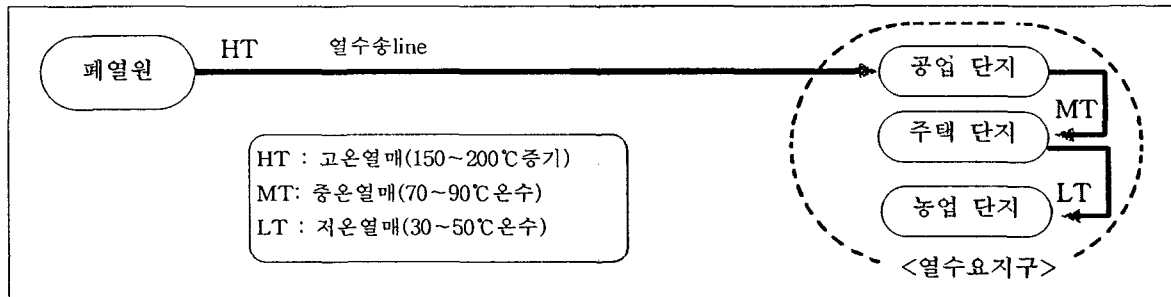
4.4.1 증기 공급시스템

증기공급시스템1은 열수송관이 단순화되기 때문에 열수송 비용이 저렴하며, 고온 열매체에 의해 공급되기 때문에 중·저온 열매사용에 비해 수송효율이 좋고 수요측에서 범용성이 우수하다. 문제점은 높은 폐열온도를 요구하기 때문에 회수대상이 제한적이라는 것이다. 따라서 부족한 열수요를 채우기 위해서는 보조보일러가 필요하며 부족한 연료 사용에 따른 backup이 요구된다.



[그림 7] 폐열이용 증기 공급시스템 1

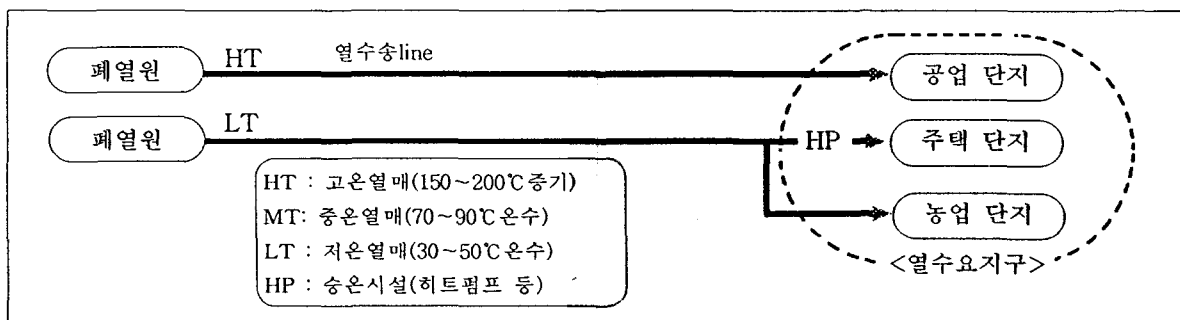
증기공급시스템 2는 고온 열매체를 공급하여 공업단지에서 사용한 열을 다시 주택단지에서 사용한후 농업단지로 수송하여 사용하는 이른바 cascade이용 열수송으로 효율이 높다. 문제점은 단지들간의 거리와 열의 사용량과 여러 가지 요소가 밀접한 복합적 관계로 이루어지기 때문에 각 조건에 맞는 최적의 상태를 유지 시켜야 한다.



[그림 8] 폐열이용 증기 공급시스템 2

4.4.2. 증기 · 저온수 공급시스템

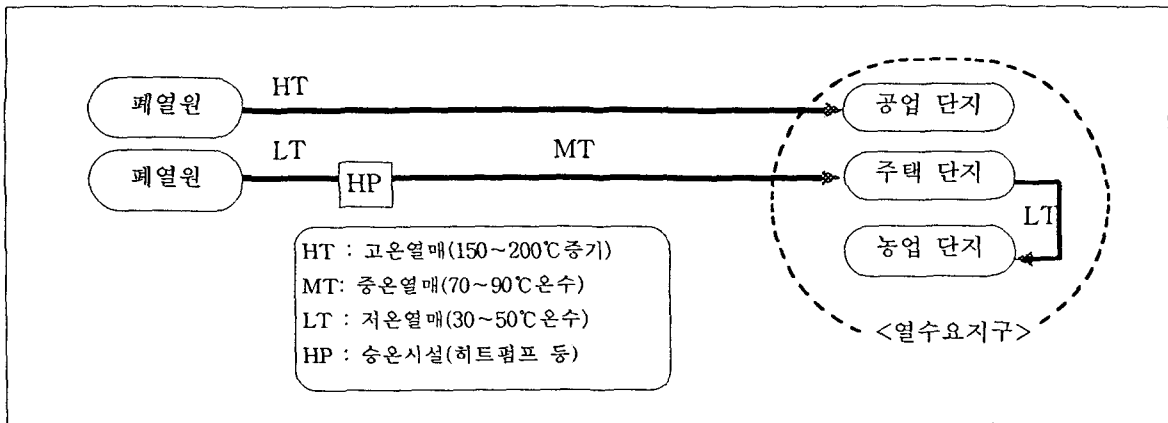
증기 · 저온수 공급시스템은 주택단지나 농업단지라고 한 중저온 열수요 저온이용이 가능하기 때문에 증기공급시스템에 비해 절약성이 높다. 농업단지에는 용도가 적은 저온열을 이용하는 것이 가능하다. 문제점은 저온 폐열은 수송효율이 낮아 열 수송비용이 증대하는 점이다.



[그림 9] 폐열이용 증기 저온수 공급시스템

4.4.3 증기·중온수 공급시스템

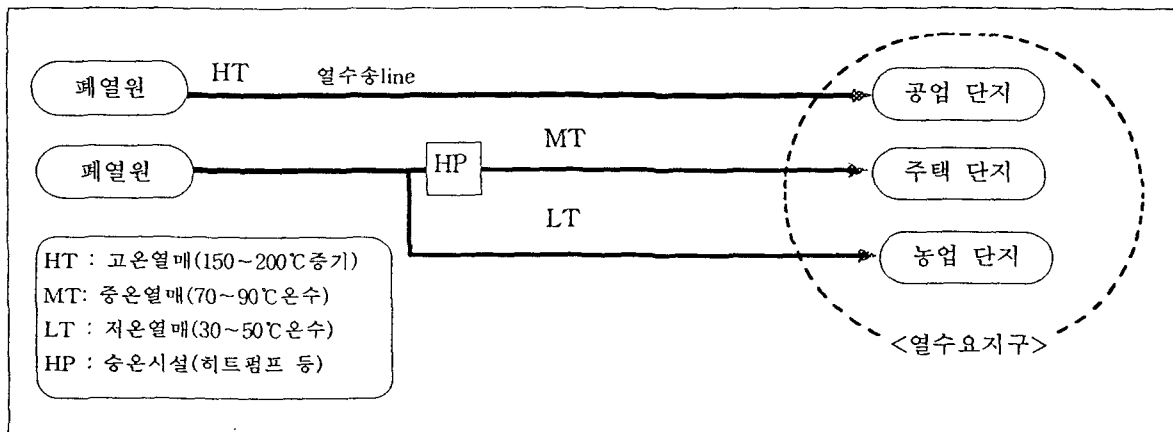
증기·중온수 공급시스템의 특징은 증기·저온수공급시스템과 같이 중저온 열수요에 저온이용이 가능하기 때문에 에너지절약효과가 높다. 중온을 공급하며 또한 주택단지, 농업단지의 순차로 cascade이용이 가능하기 때문에 열수송 효율이 증기·저온수공급시스템과 비교하면 높다. 문제점은 cascade이용을 전제로 하면 시스템이 복잡해질 수 있다.



[그림 10] 폐열이용증기·중온수 공급시스템

4.4.4 증기·저중온수 공급시스템

증기·저중온수 공급시스템의 특징은 증기·저온수 공급시스템과 증기·중온수 공급시스템과 같이 중저온 열수요에서 저온폐열이용이 가능하며 에너지절약이 높다. 농업단지에 용도가 적은 저온 폐열의 직접 이용이 가능하다. 문제점은 고온, 중온, 저온의 3종의 전열매체를 공급, 수송해야 하기 때문에 열 수송비용이 증대할 수 있다.



[그림 11] 폐열이용 증기·저중온수 공급시스템

V. 결 론

폐열에너지 이용시스템을 최적으로 구축하기 위한 새로운 개념의 산업폐열 이용방안 구축을 위해서는 폐열회수기술, 열수송기술, 열저장기술 및 열공급기술 등에 대한 최적한 요소기술 들을 독립적으로 평가하기 보다는 각각의 요소기술들을 에너지시스템기술로 구성하여 網(network)형태로 결합한 에너지 흐름시스템(Energy & Heat flow system)형태로 종합적인 분석 및 평가를 수행하여 그 결과에 따른 최적한 대안을 제시하는 것이 바람직하다.

본 연구는 폐열활용의 방안으로 요소기술을 분석하여 이들이 사용될 수 있는 대상별로 분류와 함께 폐열회수기술, 열 수송기술, 열공급기술 각각이 처리 할 수 있는 열원의 종류와 처리 결과로서 얻을 수 있는 출력열원의 온도 및 종류를 체계화하였다. 또한 요소기술을 분석하여 출력열원의 형태에 따라 적용할 수 있는 방안을 제시하였으며 이와 함께 분석되어 체계화된 기술을 적용할 수 있는 total이용 열흐름 시스템 모형을 구축하여 각 모형들이 실제 적용할 수 있도록 체계를 가시화하였다.

그 결과, 폐열활용에 따른 적용처에 알 맞는 시스템 모형을 선택하여 실정에 맞도록 설계할 수 있는 대안을 얻었으며, 폐열의 활용 요소기술을 분류하여 각 시스템 모델에 용이하게 적용토록 하는 적용 가능한 폐열 활용방안의 체계를 확립하였다.

본 연구에서 수행한 시스템 분석은 에너지흐름에 근거한 총체적인 에너지시스템을 대상으로 하였기 때문에 전체적인 관점에서 열 흐름상의 에너지시스템을 개략적으로 분석한 것으로 간주 할 수 있다.

따라서 폐열을 이용한 에너지 시스템의 최적화를 위해서는 시간대별 에너지흐름 자료에 의한 정밀 분석이 필요한 것으로 판단되며 이와 같은 정밀 분석을 뒷받침 할 수 있는 수리적 모형을 개발하고 좀더 발전시켜 종합모형의 역할을 수행할 수 있도록 추진되어야 할 것이다. 아울러 폐열공급처와 수요처의 조건에 따른 전체적인 열 흐름상의 에너지시스템의 최적화뿐만 아니라 하위 시스템들의 최적화도 이를 수 있는 모형이 개발이 되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Adrian Bejan, George Tsatsaronis, Michael Moran, "Thermal Design and Optimization", John Wiley & Sons, Inc., pp.333-400, 1995.
2. H.-M Groscurth, Th. Bruckner, and R. Kümmel, "Modeling of Energy-Service Supply System", Energy-The International Journal, Vol. 20, No.9, pp.941-958, 1995.
3. 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.
4. Uday V.Shenoy, "Heat Exchanger Network Synthesis", Gulf Publishing Company, 1995.
5. Shingiresu S. Rao, "Engineering Optimization", A Willey-Interscience Publication, 1996.
6. Ranjan K. Bose and G. Anadalingam, "Sustainable Urban Energy- Environment Management with Multiple Objectives", Energy-The International Journal, Vol. 21, No.4, pp.305-318, 1996.
7. Edwin K. P. Chong and Stanislaw H. ZAK, "An Introduction to Optimization", A Willey-Interseience Publication, 1993.
8. 省エネルギー センター, "ECO-都市エネルギーシステム", 1997.
9. 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.
10. 한국에너지기술연구소, "도시종합에너지 시스템개발 연구", 1998
11. 한국에너지기술연구소, "열 흐름상의 에너지시스템 최적화 방안", 1999.
12. 한국에너지기술연구소, "공단폐열 이용방안 연구", 2000