

폐열이용을 위한 적용처별 시스템 구성에 관한 연구

박수억, 이덕기, 이승진
한국에너지 기술연구소

A Study on the Structure of System Model for using Waste Heat

Soo-Uk Park, Deok-Ki Lee, Seung-Jin Lee
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

우리 나라에서 사용되는 에너지의 50%이상은 최종적으로 폐열로 버려지고 있는 형편이며 특히, 산업부문에서는 이용되지 못하고 손실되는 미활용 폐열량은 약 60%에 달하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 폐열발생에 따른 에너지활용성 제고를 위해 폐열에 대한 이용방안은 지대한 관심사로 부각되고 있다. 폐열의 에너지 이용 잠재력은 다른 어떠한 미활용에너지보다 회수 이용 가능성이 크므로 에너지 절약 및 수입대체효과를 충분하게 나타낼 수 있다. 그러나, 이와 같은 활용가능성이 높은 것에도 불구하고 경제적, 기술적 및 제도적인 어려움 등의 여러 제약요소를 가지고 있어 그 활용이 여의치 못한 상태이며 또한 발굴에 따른 이용단계에 이르러서도 여러 가지 제약요소 해결에 어려움을 포함하고 있다. 보통 폐열의 이용에 있어서는 폐열원의 종류와 온도 사용하는 열의 조건과 이에 따른 다양한 요소기술의 적용 등을 통하여 복잡한 구조의 수많은 시스템 모델을 형성한다. 이들의 시스템 모델을 현실에 적용 가능 여부를 판단하여 적용하여야 하는데 용이하게 활용할 수 있는 방안을 도입하기 위해서는 요소기술의 선택과 기존의 시스템모델들을 결합한 현실에 적용할 시스템 모델을 개발하는 것이 중요하다. 본 연구는 에너지 가치를 재창출하기 위한 방안으로 개발된 요소기술을 보다 쉽게 적용할 폐열의 성상별 이용 방법을 제시하고 이에 따른 적용처별 폐열 활용 시스템모형의 대안을 제시하고자 한다.

2. 시스템구성 요소기술 분석 및 시스템 기본구조

2.1 시스템 구성 요소기술 분석

폐열은 배출되는 성상에 따라 이용방법이 다양하게 나타날 수 있으며 이에 따른 기술의 적용에 있어서도 여러 가지 형태로 나타날 수 있다. 특히 이용형태의 조건에 따라 기술의 적용범위가 현저하게 다르게 나타날 수 있는데 본 논문에서는 산업분야에서 발생하고 있는 크게 세 가지 형태의 유형(폐온수, 폐가스, 폐증기)을 이용할 수 있는 기술을 다루고자 한다.

2.1.1 폐온수 이용기술

발생된 폐온수는 보일러급수, 난방용, 공정용으로 직접 사용할 수 있으며 적용할 수 있는 요소기술들은 열교환기, 히트펌프 등을 들 수 있으며 각 기술의 특징들은 <표 1>와 같다.

<표1 > 폐온수 이용 폐열 회수 기술

요소 기술	폐열원 온도	출력온도	특성
일반 열교환기	폐온수	온수	온수 생산
흡수식 1종 히트펌프	폐온수(35℃)	온수(79℃)	온수의 승온 운전용 증기(158℃)필요
흡수식 2종 히트펌프	폐온수(60℃)	온수(80℃)	온수의 승온
감압증발 열교환기	온배수	저온저압의 증기	MVR의 승온증압
유기매체 터어빈	70-400℃	동력발생	열원에 적당한 열매체 선택

2.1.2 폐가스 이용기술

폐가스 활용 방법은 보일러 급수 예열, 공기예열, 난방용, 공정용 등 직접 이용하는 방법과 폐가스 이용 회수기술을 통하여 <표 2>에 나타난 것처럼 이용할 수 있다.

<표 2> 폐가스 이용 폐열 회수 기술

요소기술	폐열원 온도	출력온도 및 성상	특성
테프론 코팅 열교환기	저온 폐가스(260℃)이하	온수	보일러급수의 예열
히트파이프를 이용한 열교환기	저온 폐가스(400℃)이하	저온가스	작동매체의 열전달 이용
압축식 전기구동 히트펌프	저온열원	온수	전기전동기 사용에 의한 온수 승온
흡수식 냉동기	150-200℃	5-10℃ 냉수제조	165℃ 이상의 LiBr 수계는 부식이 심함
유기매체 터어빈	70-400℃	동력발생	열원에 적당한 열매체 선택
일반열교환기	고온폐가스 800℃이하	고온가스, 온수	연소공기의 예열
세라믹열교환기	고온폐가스 800℃이상	고온가스 350℃	연소공기의 예열
직접접촉식 응축형 열교환기	고온 폐가스 816-1093℃	온수 40-90℃	2차열교환을 통해 온수생산
고체입자를 이용한 유동층 열교환기	고온 폐가스 500-600℃	고온가스	연소공기의 예열

2.1.3 폐증기 이용기술

폐증기는 폐가스와 같이 보일러급수예열, 공기에열, 난방용, 공정용으로 사용할 수 있다. 요소기술은 폐가스를 이용방법을 적용할 수 도 있고 이용 방법은 <표3>과 같다.

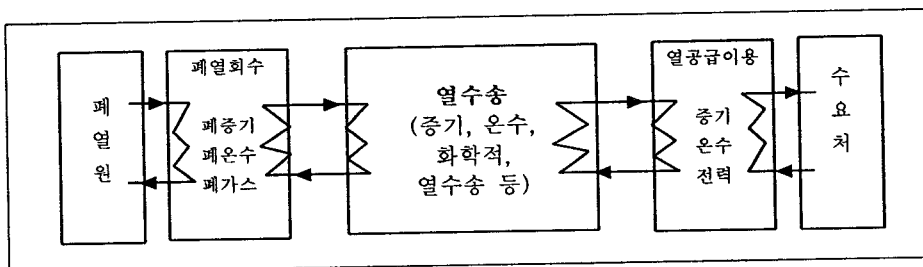
<표 3> 폐증기 이용 회수 요소기술

요소기술	폐열원 온도	출력온도 및 성상	특성
MVR(증기재압축)	저온증기(50-100℃)	고온증기	압축기에 의해 승온
열교환기	800℃이하	공기, 온수	공기에열
흡수식 냉동기	150-200℃	5-10℃ 냉수제조	165℃ 이상의 LiBr 수계는 부식이 심함
유기매체 터어빈	70-400℃	동력발생	열원에 적당한 열매체 선택

2.2. 폐열이용 시스템 기본구조

폐열이용시스템은 폐열공급처에서 열을 회수하여 수송하고, 최종 목적지로 열을 공급하는 시스템으로써 열의 흐름 즉, 에너지의 흐름으로 시스템으로 해석할 수 있다. 이러한 시스템적 흐름을 에너지 흐름이라는 측면에서 각각의 특성 및 형태에 따라 서로 다르게 구성되어 나타날 수 있는데 이는 열이 발생하는 지역, 열을 소비하는 지역 그리고 이들을 연결하는 시스템으로 크게 3가지로 구분할 수 있으며 본 연구에서는 이를 각각 폐열공급처, 열흐름상의 에너지시스템, 열 수요처라 정의하였다.

이와 같이 에너지흐름 각각의 특성에 따라 정의된 것들의 적절한 망(network)을 통하여 하나의 완성된 시스템으로 구성할 수 있으며 또한 이를 역(opposite direction)으로 분석하면 하나의 완성된 시스템은 각 요소들의 적절한 연결에 의해 최적한 시스템으로 구성될 수 있다.



[그림 1] 시스템 대안의 기본구조

2.3. 지역적인 특성을 이용한 시스템 구성

2.3.1. Local 이용시스템

이 시스템은 폐열에서 회수한 열을 시스템내에서 개별적으로 이용하는 방법으로서 회수 열의 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 경제적 요인에 의하여 이루어지는 경우가 많고 적은 투자비용, 높은 종합효율이 요구되며 일반적으로 직접 열 이용 시스템 형태가 많다. 또한, 요소기술을 이용할 경우 어떤 기술을 이용하느냐에 따라서 효과가 다르게 나타날 수 있으므로 여러 가지 비교를 통해 최적화 요소기술을 선택하는 것도 중요하다.

2.3.2. Total 이용시스템

폐열에서 회수한 열을 외부시스템에 공급하여 종합적으로 이용하는 방법으로 시간적, 거리적 문제, 열량 변동의 신뢰성 등을 제약을 갖고 있다. 폐열원에서부터 회수한 열을 외부 시스템에 공급하여 종합적으로 재이용하는 시스템으로, 공장간의 재이용과 주택의 재이용으로 분류할 수 있다. 관련 지역간의 수요와 공급의 조건이 일치한다면 경제적인 문제와 열수송의 문제를 고려하여 타당하면 실제 현지 적용이 가능하다. 또한 기술적인 면에서는 Local 열이용 시스템과 동일하다.

3. 폐열이용 적용처별 시스템 모델 구성

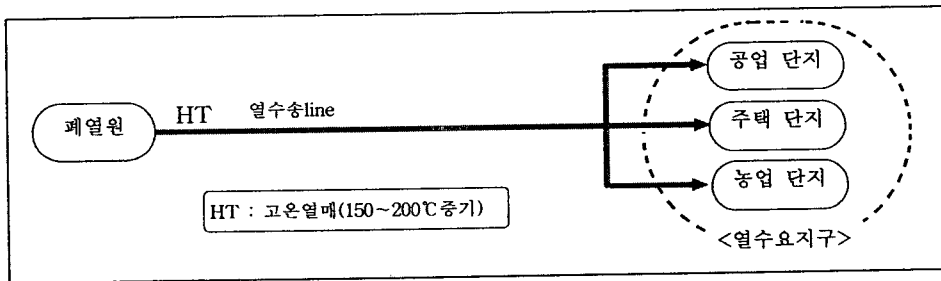
폐열이용 시스템은 열의 변환, 조정, 수송, 저장 등을 전체적으로 제어를 할 수 있는 열공급 center와 폐열이용 요소기술 등을 고려하여야 한다. 그리고, 폐열의 이용을 위해 선정 기준으로 고려하여야 할 사항으로 이용 가능한 폐열형태, 에너지 절약효과, 공공이익성 등을 들 수 있다.

기존의 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 열수요처의 요구조건 및 경제성 등을 기준으로 하여 최적화된 시스템을 설계하여야 할 것이다.

적용처별 시스템 구성의 형태는 Total 폐열 이용 시스템을 기본적인 모델로 하였으며 폐열이용의 대안으로 공급처와 수요처간의 각각의 요소기술들을 도식화하지는 않고 전체적인 열의 흐름으로 나타내었다. 다음의 시스템모델들은 현실적으로도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

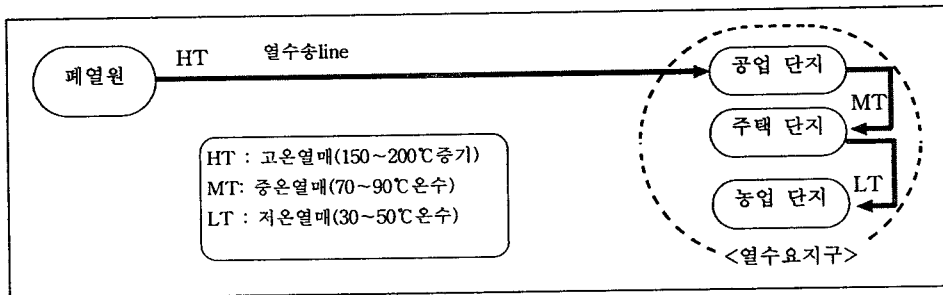
3.1 증기 공급시스템

증기공급시스템1은 배관시스템이 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 제한적이다. 따라서 부족한 열수요를 채우기 위해서는 보조보일러와 같은 장치가 요구된다.



[그림 6] 폐열이용 증기 공급시스템 1

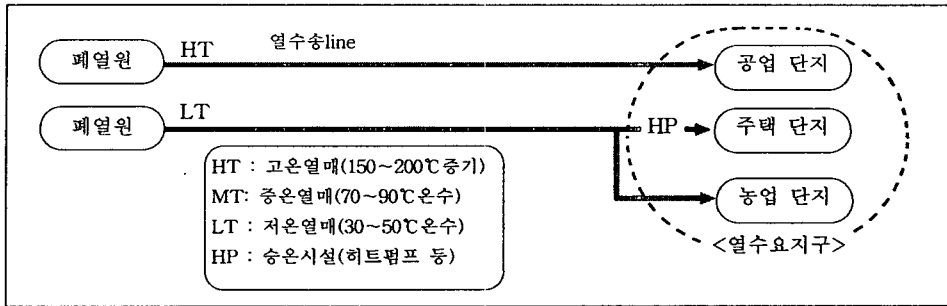
증기공급시스템2는 고온열매체를 공급하여 공업단지에서 사용한 열을 다시 주택단지에서 사용한후 농업단지로 수송하여 사용하는 cascade이용 열수송으로 효율이 높다. 문제점은 단지들간의 거리와 열의 사용량과 여러 가지 요소가 밀접한 복합적 관계로 이루어지기 때문에 각 조건에 맞는 최적의 상태를 유지를 시켜야 한다.



[그림 7] 폐열이용 증기 공급시스템 2

3.2. 증기·저온수 공급시스템

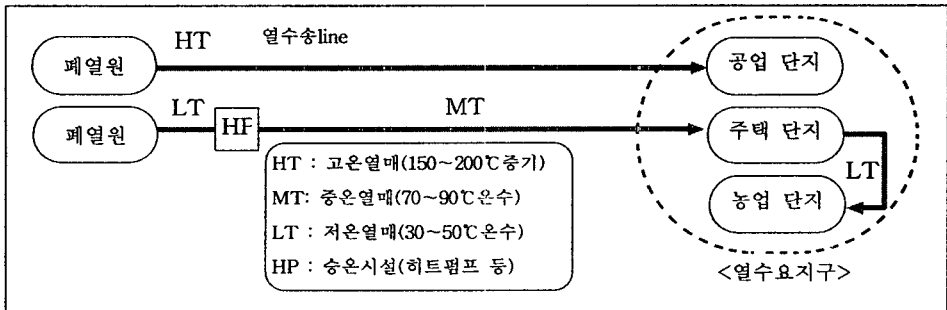
증기·저온수 공급시스템은 주택단지나 농업단지인 증저온 열수요에서 이용이 가능하기 때문에 증기공급시스템에 비해 절약성이 높다. 농업단지에는 용도가 적은 저온열을 이용하는 것이 가능하다. 문제점은 저온 폐열은 수송효율이 낮아 열 수송비용이 증대하는 점이다.



[그림 8] 폐열이용 증기 저온수 공급시스템

3.3 증기·중온수 공급시스템

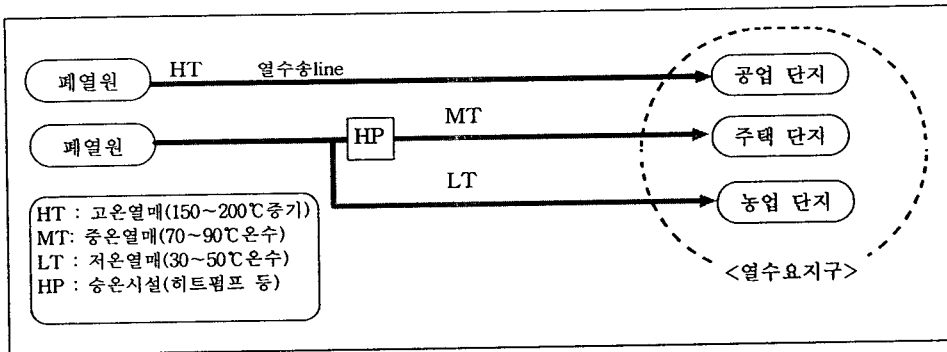
증기·중온수 공급시스템의 특징은 증기·저온수공급시스템과 같이 중저온 열수요에 저온이용이 가능하기 때문에 에너지절약효과가 높다. 중온을 공급하며 또한 주택단지, 농업단지 순차로 cascade이용이 가능하기 때문에 열수송 효율이 증기·저온수공급시스템과 비교하여 높다. 문제점은 cascade이용을 하면 주택단지와 농업단지는 연관성있어 서로의 열의 조건을 연속적으로 맞추어 활용할 수 있도록 하는 추가설비를 갖추어야 한다.



[그림 9] 폐열이용증기·중온수 공급시스템

3.4. 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 10] 폐열이용 증기·저중온수 공급시스템

4. 결론

폐열의 이용을 위해 폐열성상에 따른 요소기술에 관해 분석하였고, 이것을 가지고 Total 이용 시스템을 활용하여 열흐름의 시스템모형을 구축하여 각 모형을 실제 적용 가능한 방법으로 가시화하여 사용할 수 있도록 제시하였다.

그 결과, 폐열활용의 현지 적용처에 맞는 시스템을 선택하여 실정에 맞는 설계를 하기 위한 대안을 얻었으며, 폐열의 활용 요소 기술을 분류하여 용이하게 각 시스템 모델에 적용하도록 하여 에너지흐름을 가시화함으로써 적용 가능한 폐열 활용방안의 체계를 세워 폐열 활용기술의 새로운 지표를 설정하는데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Adrian Bejan, George Tsatsaronis, Michael Moran, "Thermal Design and Optimation", 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] Uday V. Shenoy, "Heat Exchanger Network Synthesis", Gulf Publishing Company, 1995. pp.760-765, 1997.
- [5] 한국에너지기술연구소, "폐열회수의 실용화 타당성 조사 연구", 1992
- [6] 한국에너지기술연구소, "도시종합에너지 시스템개발 연구", 1998
- [7] 한국에너지기술연구소, "열 흐름상의 에너지시스템 최적화 방안", 1999.
- [8] 한국에너지기술연구소, "공단폐열 이용방안 연구", 2000