

히트파이프를 이용한 공조용 열교환기

For Air-Conditioning Heat Exchanger Using Heat Pipe

이 영 수
Y. S. Lee

한국에너지 기술연구소



- 1954년생
- 히트파이프, 마이크로 Two-Phase Thermosyphon, 열펌프, 스테링 기관 등에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

써모사이폰 및 히트파이프에 관한 연구는 구미, 일본 등 선진 각국뿐만 아니라 중국, 독립국가연합 및 동구권에서도 다년간 활발하게 진행하여 왔다.

석유파동 이후 에너지 절약을 위한 노력의 결과로 폐열회수 장치가 많이 개발되면서 히트파이프를 전열소자로 사용한 폐열회수 장치가 상당히 늘어나 이에 소요되는 히트파이프의 생산량도 급격한 신장세를 나타내고 있다. 이는 히트파이프 자체가 응답성이 좋고, 구조가 간단하며, 전열성이 뛰어난 장점으로 인하여 많은 연구가 이루어졌기 때문이라 하겠다. 최근에는 그 응용범위가 광범위해서 우주항공 및 원자력 분야의 냉각계통까지, 온도범위는 극저온에서 고온까지 첨단기술 연구로 확산되고 있다.

현재 미국 및 일본의 히트파이프 및 그 응용기기 생산고는 년 300억불 이상으로 급증하고, 그 응용분야는 인공위성으로부터 폐열회수용 열교환기, 전기장치 전자소자의 냉각, 음향기기의 냉각, 태양열과 지열의 유효이용, 플라스틱 급형의 냉각, 공작기계의 주축냉각, 포장기계,

주방기기, 전력케이블의 냉각, 엔진 및 브레이크의 냉각 등 응용분야가 광범위하여 급격하게 발전하고 있다.

국내에서는 히트파이프와 관련된 학술적인 연구결과가 간헐적으로 발표되고 있을 뿐, 체계적이며 지속적인 연구가 수행되지 못하고 있다. 또한 산업계에서도 관련제품의 대부분을 외국제품의 수입에 의존하고 있으며, 일부 제작업체에서는 상품이 나오고 있으나 축적기술 결여로 그 성능면에 있어서 보증이 어려워 업계의 연구개발에 대한 노력이 절실히 요구되고 있다.

2. 히트파이프의 원리 및 특성

히트파이프는 밀폐된 용기내에 작동유체를 주입한 후 진공배기한 것으로 작동유체의 증발과 응축이 별도의 외부동력없이 잠열을 이용하여 열을 전달하는 기구이다. 또한 히트파이프는 그림 2.1에서 보는 바와 같이 적은 온도차로 대량의 열수송을 하는 것이 특징이다.

그림 2.1은 동봉(copper rod)과 히트파이프의 열전도성을 비교한 것이다. 100W의 열을 이동시키기 위하여 동봉의 경우는 양끝단의 온도

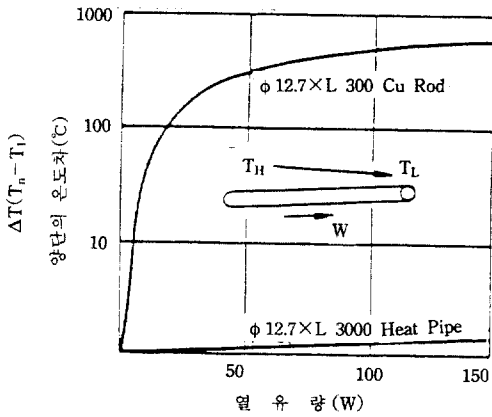


그림 2.1 히트파이프와 동봉과의 열전도 비교

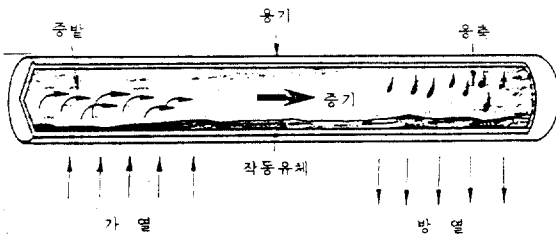


그림 2.2 히트파이프의 작동원리

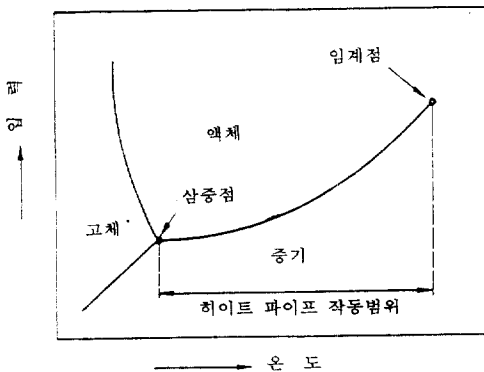


그림 2.3 물질의 압력과 온도에 따른 상태도

차가 600°C 정도 필요하지만 히트파이프의 경우는 1~2°C 이면 충분한 것을 보여주고 있다.

히트파이프의 기본원리는 그림 2.2에서와 같이 밀봉된 용기내에 다공성 모세관벽을 감고 이 벽을 작동유체의 액상의 형태로 포화시키고

윗 안쪽의 공간을 기체상태로 만들면 외부열원에 의해 증발부에 열이 부과될 때 그 부위의 작동유체는 증발되고 결과적으로 압력차가 발생해서 증발로부터 응축부로 증기가 이동한다. 이 증기는 응축부에서 증발잠열을 히트파이프 주위에 전달하고 응축이 일어난다 응축된 액체는 수직일 경우 중력에 의해 다시 증발부로 벽을 타고 내려와 계속적인 열수송이 일어난다. 그러나 다공성 모세관 벽을 감으면 반드시 수직의 형태로 설치하지 않아도 모세관 형태에 의해 액체는 증발부로 이동한다.

히트파이프의 작동온도는 히트파이프내에 주입된 작동유체의 종류에 따라 결정된다. 이 작동온도는 작동유체의 액상과 기상이 공존하는 온도범위내에 필연적으로 존재하여야 한다. 그림 2.3은 물질의 압력과 온도에 따른 상태를 나타낸 것으로 히트파이프의 작동온도 범위는 삼중점(triple point)과 임계점(critical point)사이에 있어야 한다.

그러나 작동유체에 따라서는 임계점 근처에서 대단히 높은 증기압을 갖는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 용기재료의 강도를 고려하여 임계점보다 낮은 온도로 제한시키고, 삼중점 근처에서 유체의 밀도가 대단히 적은 경우가 있는데 이런 경우에도 히트파이프의 열수송을 하는데 적합하지 못하므로 삼중점보다 높은 온도로 유지시킨다.

열역학적인 관점에서 볼 때 액상과 기상이 공존하는 경우의 열전달은 온도차가 없이 열을 전달할 수가 있다. 그러나 이 경우는 이상적인 히트파이프의 열전달 현상이고 실제로는 증발부와 응축부의 열전달 계수값은 한계가 있고, 따라서 이에 따른 열저항이 존재하게 된다. 다시 말해서 히트파이프내에는 벽이 존재하게 되므로 액체를 함유한 벽을 통하여 고체 및 액체의 혼합형태로 열전달하므로 증발부 및 응축부에서는 온도차(증발부의 온도-증기부의 온도), (증기부의 온도-응축부의 온도)에 따른 열저항이 존재하게 된다.

3. 히트파이프의 종류

표 3.1 작동온도와 주요 작동유체

작 동 온 도 (°C)	주 요 작 동 매 체
-270~70 (극저온)	헬륨, 알곤, 크립톤, 질소, 메탄
-70~200 (저 온)	프레온, 암모니아, 아세톤, 메탄올, 에탄올, 물
200~500 (중 온)	나프탈린, 다우삼, 사맥스, 유황, 수은
500~1000 (고 온)	세시움, 루비듐, 칼륨, 나트륨
1000이상 (초고온)	리튬, 칼슘, 납, 인듐, 은

3.1 작동온도에 따른 분류

사용목적에 따라 작동온도를 절대온도 0에 가까운 극저온부터 1000°C 이상의 최고온 영역까지의 온도범위를 5단계로 나누어 대표적인 작동유체를 표 3.1에 나타내었다.

3.2 형상에 따른 분류

(1) 원통형

원통형은 히이트파이프의 대표적인 형상으로 그 응용범위도 다양하다. 보통의 열교환기에 이용되는 히이트파이프는 외부에 전열면적을 증가시키기 위하여 환을 부착한 형태로 사용된다. 원통형은 기존의 일반적인 관으로 사용가능하며 그 제조방법도 비교적 용이하다.

(2) 평판형

평탄한 평판형으로 제작되며 요리용 방열판 등에 그 이용도가 높다. 소형으로 제작된 것은 전자 소자의 냉각용 히이트파이프로 실용화되고 있다.

(3) 분리형

증기 유동 통로와 응축액의 귀환통로를 분리한 것으로 증기유동과 액체유동간의 상호영향을 배제하였기 때문에 비산한계 등의 영향을 받지 않는다. 또한 서어모사이폰(Thermosyphon)에서 이러한 분리형 방식을 채택하게 되면 증발부와 응축부의 자유로운 구성이 가능하게 된다. 단 이 경우는 중력이 귀환력으로 작용되므로 응축부가 증발부보다 상부에 위치하여야 한다.

(4) 긴 길이형

히이트파이프 응용에 관심이 높은 분야의 하나로 지열이용에 사용되고 있는 형태이다. 일반적인 지열이용 방법으로는 온도가 높은 지하의 수증기나 지하수를 지표면까지 끌어올린 후 사용하게 된다. 그러나 이 경우 지하수 등은 유독성분을 포함하는 경우가 많고, 사용후 그 처리 방법에 고심하고 있다. 실제로 지열이용에는 열에너지의 이용이므로 길이가 긴 히이트파이프를 사용하여 지열을 이용하는 방법이 적용되고 있다. 또한 수백미터 정도 길이의 히이트파이프는 원통으로 감아 운반, 설치가 가능하여 지중전력선의 냉각용으로 실용화 단계에 있다.

(5) 마이크로 히이트파이프

길이가 긴 히이트파이프와는 대조적으로 개발이 시급한 분야이다. 최근 전자분야에는 고집적회로가 개발되고 있는데, 고집적회로는 장기간 사용시 전자부품의 성능을 저하할 수 있을 정도로 열이 발생하게 된다. 현재 전자부품의 냉각방식으로 주로 송풍기를 사용한 강제 냉각 방식이 사용되고 있으나, 방대한 냉각용량의 수요와 기기의 소음, 진동문제를 해결하기 위해서 여기에 소형의 히이트파이프가 전자 소자에 부착되어 외부로 열을 방출시키는 방법이 개발되어 실용중에 있다.

3.3 이용목적에 따른 분류

히이트파이프의 다양한 사용처를 표 3.2에 나타내었다.

또한 히이트파이프는 단순히 열전달을 목적

표 3.2. 이용목적과 사용처

목 적	사 용 처
열 수 송	열교환기, 배열회수, 공기조화, 태양열집열기, 지열이용, 잠열장치
가 열	보일러, 노면, 옥상의 용설, 급배수관의 동결방지, 카브레터의 가열, 주방기기
냉 각	트랜지스터·다이오드·IC·VLSI등 전기소자의 방열, 전자기기의 냉각, 인공위성의 냉각, 원자로심의 냉각, 송·변전기의 냉각, 회전기의 냉각, 케이블의 냉각, 금형 및 주물의 냉각, 엔진 및 브레이크의 냉각, 저온외과 수술
온도·열유속의 제어	가변 콘덕턴스 히이트파이프(VCHP), 열다이오드, 열스위치

으로 하는 것 이외에도 히이트파이프의 한부분의 온도를 일정하게 유지시키는 가변 콘덕턴스 히이트파이프(variable conductance heat pipe), 열원의 온도가 과도하게 높을때 열의 흐름을 차단하는 열스위치(thermal switch) 및 한방향으로의 열전달은 가능하나 역방향의 열유동을 억제해주는 열다이오드(thermal diode) 등이 개발되어 있다.

1) 가변 콘덕턴스 히트파이프(VCHP)

가변 콘덕턴스 히이트파이프는 광범위한 응용가능성 때문에 큰 관심의 대상이 되어 왔으며, 가변 콘덕턴스를 얻는 방법도 여러가지가 개발되어 있다. 그 중 가장 간단한것의 하나가 그림 3.1에 나타나 있다. 일반형 히이트파이프와는 달리 가변 콘덕턴스 히이트파이프속에는 작동유체와 함께 불용축성 기체가 들어 있으며, 정상시에는 아 기체가 증기통로를 채우고 있다. 그러나 증발부에 열이 주입되면 작동유체는 증발하고 증기는 응축부로 이동하며 이때 불용축성 기체도 따라서 응축부로 이동한다. 그러나 응축부에 도달하면 증기만이 응축되어 워를 통하여 증발부로 되돌아오고 불용축성 기체는 응축부에 남게 되며 결국 모든 기체는 응축부에 모이게 되어 증기와 기체사이에 명확한 경계면이 형성된다. 이 경계면의 위치에 따라 응축면적이 변하고 따라서 열방출량도 달라진다. 즉 주입열량이 커지면 히이트파이프의 증발부의 온도가 높아지며 이것은 증기압의 상승을 초래하고 이 압력에 의하여 경계면이 뒤로 물러나

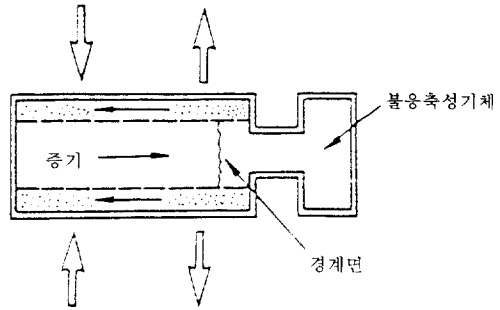


그림 3.1 가변 콘덕턴스 히트파이프

응축면적이 커진다. 따라서 외부로의 방출열량이 증가하고 증발부의 온도상승을 억제하게 된다. 주입열량이 감소하면 정반대의 현상이 일어나고 결국 증발부의 온도가 어떤 범위내에서 일정하게 유지된다.

2) 열다이오드

다이오드의 효과를 얻기 위하여 liquid trap을 사용하는 방법이 그림 3.2에 나타나 있다. 히이트파이프의 증발부에 용기가 달려 있고 이 용기내의 워와 히이트파이프의 워는 단절되어 있다. 정상상태에서는 응축부에서 돌아온 액체는 용기내로 들어가지 않고 증발되어 순환이 계속된다. 그러나 열유입부가 바뀌어 열유동의 방향이 반대로 되면 증기는 용기속으로 들어가게 되고 이곳에서 응축된 유체는 열원쪽으로 되돌아가지 못하며 결국 대부분의 작동유체가 용기속에 모이게 되어 히이트파이프는 그 기능을 잃게 된다.

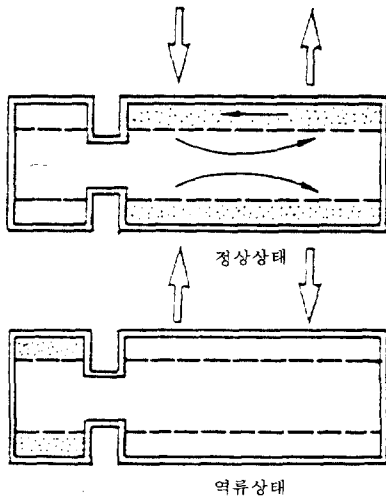


그림 3.2 열다이오드

4. 히트파이프를 이용한 열교환기

히트파이프 열교환기는 우수한 전열특성이 있는 히트파이프를 열교환기에 적용한 것으로서 기본구조는 간단히 그림 4.1에서와 같이 히트파이프, 케이스, 칸막이의 3요소로 되어 있다. 히트파이프는 전열면적을 넓히기 위하여 흰 등을 부착하고 열교환시키고자 하는 두 가지 유체가 유입되지 않도록 칸막이를 설치한다.

한쪽은 고온가스, 다른 한쪽은 저온가스를 접촉시키고 수평, 수직, 경사의 형태로 설치 가능하다. 히트파이프가 수직으로 설치될 때는 하부가 고온측이 되어야 한다. 이때 히트파이프는 워이 필요없다.

히트파이프를 사용한 열교환기의 장점은 다음과 같다.

- ① 고온측에서 저온측으로 작동매체의 증기압 차로 이동하므로 별도의 동력원이 필요없다.
- ② 배기가스와 공급공기 사이에 칸막이가 존재하므로 배기가스가 공급공기와 직접 닿지 않아 오염의 염려가 없다.
- ③ 대향류 열교환기 형태로 사용할 수 있어 효율이 높다.

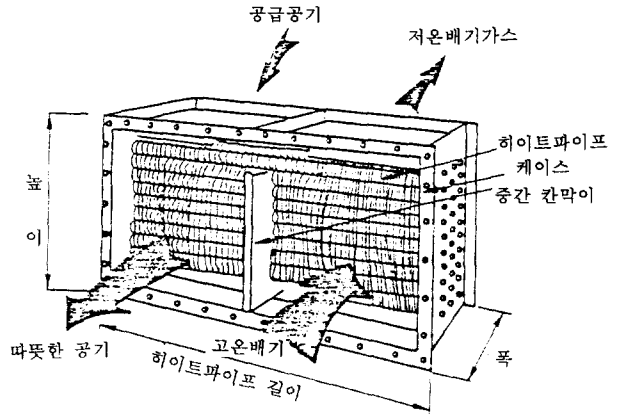


그림 4.1 히트파이프식 열교환기의 기본구조

- ④ 열교환면적에 비해 전열능력이 우수해 배기가스와 접촉면적을 줄일 수 있으며, 따라서 압력손실을 줄일 수 있다.
- ⑤ 중앙부에 히트파이프의 중앙을 고정하는 구조로 설치되므로 열팽창을 고려한 설계가 가능하다.
- ⑥ 구조가 간단하고 전열능력이 히트파이프 갯수에 비례하므로 설계가 용이하다.
- ⑦ 다른 직접 접촉식 열교환기에 비하여 히트파이프를 사용한 열교환기는 표면온도가 비교적 높아 노점온도를 피할 수 있다.
- ⑧ 히트파이프는 자체 수명이 길고 히트파이프가 각각 독립된 요소이므로 보수가 간편한 장점 등이 있다.

4.1 소형 열교환기

히트파이프를 사용한 소형 열교환기의 대부분이 전자기기의 냉각에 응용되고 있다.

전자기기는 특히 소형경량화가 급속히 진전되고 있으며 아울러 처리능력의 증대와 고속화에 따라 발열밀도가 상승하여 기기 및 전자부품의 온도상승이 야기되고 있다. 종래의 이들 기기 및 부품은 외기를 직접 기기간에 끌어들이 대류에 의한 열발산으로 냉각되었다. 그러나 기기의 용도가 다양화함에 따라 기기본체가 제철소, 화학공장, 선박 등 기름, 수분 및 부식성

가스 등을 포함한 불결한 환경 등에 설치되는 경우가 많아지고, 따라서 기기 또는 부품의 기능 및 수명이 심하게 저하되는 경우가 발생하였다.

이러한 이유에서 기기 전체를 밀폐할 필요가 생기고, 이 경우의 기기내의 냉각을 위하여 히이트파이프를 이용한 열교환기가 쓰이게 되었다.

그림 4.2는 히이트파이프를 이용한 열교환기의 예이다. 칸막이판이 밀폐캐비닛의 천정 일부를 이루고 칸막이판보다 아래쪽이 가열부, 위쪽이

냉각부로 작동한다. 가열부는 캐비닛내에 설치된 기기의 발열로 인해 가열부에 열이 가해지며 냉각부에서는 주위공기로 냉각되어진다.

그림 4.3은 제어판 등의 문짝, 배면 등에 히이트파이프식 열교환기의 설치예이다.

그림 4.4는 히이트파이프를 이용한 열교환기를 내장한 밀폐 캐비닛에서의 열의 흐름을 열회로로 표시한 것이다. 기기 및 부품에서 발생한 열은 열전도, 대류열전달 및 복사열전달에 의하여 캐비닛 벽 밖으로 발산된 히이파이프를 이용한

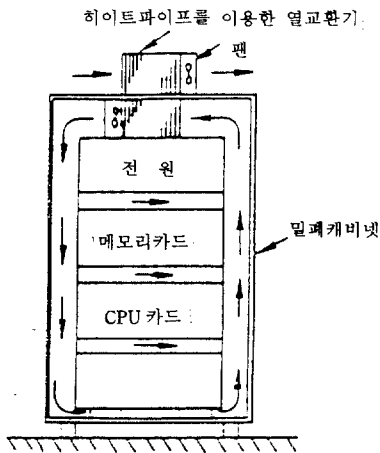


그림 4.2 히트파이프식을 이용한 열교환기의 설치예

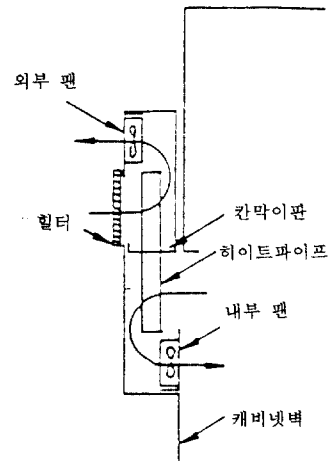
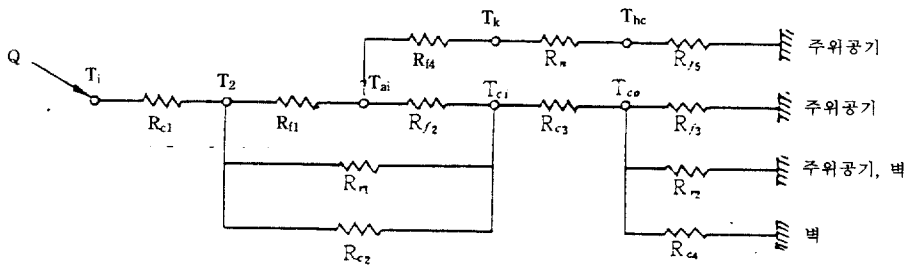


그림 4.3 히트파이프식을 이용한 열교환기의 설치예



- T_1 : 열원온도
- T_s : 표면온도
- T_{ai} : 내부공기온도
- T_a : 내벽면온도
- T_{CD} : 외벽면온도
- T_m : 히이트파이프 냉각부 외벽면온도
- T_{DC} : 히이트파이프 냉각부 외벽면온도
- $R_g (i=1\sim4)$: 전도열저항
- $R_{fi} (i=1\sim4)$: 대류열저항
- $R_n (i=1\sim4)$: 복사열저항
- R_n : 히이트파이프에서의 열저항
- Q : 발열량

그림 4.4 히트파이프식을 이용한 열교환기 내부의 열회로도

열교환기다. 히이트파이프식 열교환기의 효과는 대단히 크며 캐비닛 내부의 온도상승을 히이트파이프가 없는 경우에 비하여 30%이하로 억제할 수 있다. 또한 캐비닛내에서 발생한 열중에서 70% 전후가 히이트파이프식 열교환기를 통하여 주위공기중으로 발산된다는 보고에도 있다.

다음은 가열부와 냉각부가 분리된 분리형 히이트파이프에 관해서 설명하고자 한다.

그림 4.5는 분리형 히이트파이프의 개략도를 나타내었다. 이 열교환기는 증발부와 응축부 및 이들을 결합한 증기관, 액이 귀환되어 오는 관 및 팬으로 구성되어 있다.

증발부와 응축부는 알루미늄 원과 동관으로 구성된 플레이트 핀 튜브(plate fin tube) 열교환기이다. 증발부는 캐비닛 내부에 설치된 가열부로서 작동하고, 응축부는 캐비닛 외부에 설치된 냉각부로서 작동한다.

작동유체는 열교환기내부를 진공, 감압후 증발기내를 채울 정도로 충진한다. 증발관과 액이 되돌아오는 관의 증발부와 응축부와의 연결에는 인스턴트 커플링이 사용되고 있으므로 이들을 캐비닛에 설치한다든지, 교환하기는 극히 쉽다. 또한 증발관 액이 귀환되는 관에 연장 파이프를

사용하면 증발기, 응축기의 설치위치, 간격 등을 마음대로 변경시킬 수 있다.

이것은 예를들어 응축기를 옥외에 설치하든지 증발기를 캐비닛내의 최대 발열부분에 인접해서 설치한다든지 하는 경우에 실제로 사용되고 있다.

그림 4.6에 표준적인 시스템 구성의 밀폐형 캐비닛에 소형 분리형 히이트파이프식 열교환기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 캐비닛 내부 온도분포 측정치를 나타내었다.

캐비닛 내부에서 전원입력 430VA, 외기온도

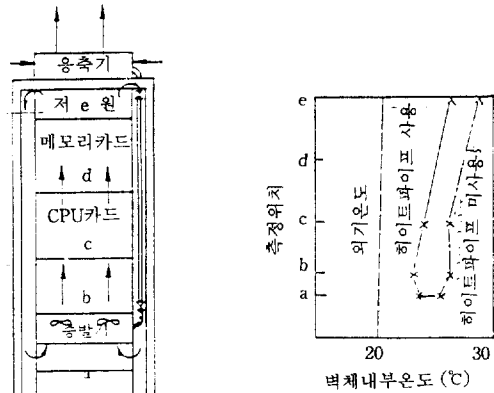


그림 4.6 캐비닛내부 온도분포 측정치

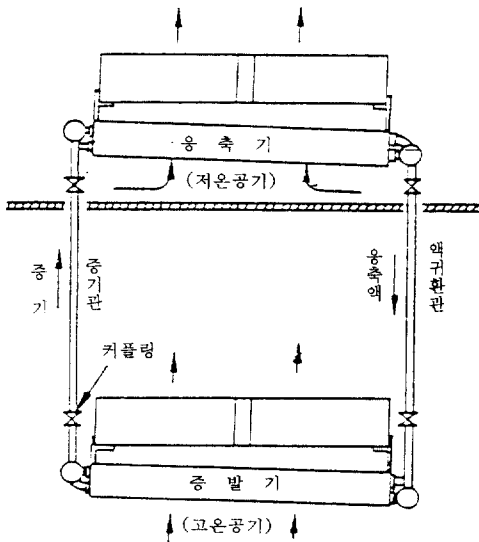


그림 4.5 분리형 히트파이프 열교환기 개략도

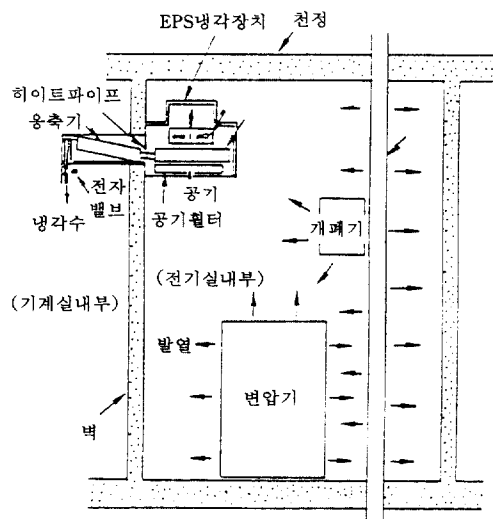


그림 4.7 히트파이프 열교환기의 전기실 냉각에 관한 응용예

20℃에 있어서 히이트파이프를 사용하지 않았을 때의 캐비닛 내부의 공기평균온도 28℃에 대하여 히이트파이프를 사용시에는 약 3℃가 낮은 24.9℃가 됨을 알 수 있다.

그림 4.7은 빌딩의 전산실이나 다른 밀폐된 방의 공기냉각에 사용되는 히이트파이프식 열교환기의 예이다.

전산실과 인접한 기계실의 벽을 관통하는 형태이며 히이트파이프를 이용한 냉각장치가 설치되어 있다.

히이트파이프를 중간에 두고 기계실 내부의 냉각수와 전기실 내부의 공기사이에서 열수송이 이루어지며 전기실 내부의 공기가 냉각된다. 전기실 측에는 팬이있고 실내의 공기가 순환된다.

히이트파이프식 열교환기를 사용함으로써 만일 누수된 경우에도 전기실 내부로는 물이 들어가지 않고, 전기기기에 나쁜 영향을 주지 않는 특징이 있다. 기타 히이트파이프식 열교환기는 배어링 윤활유, 감속기 등 각종 액체의 냉각에 사용되고 있다.

4.2 중형 열교환기

히이트파이프를 이용한 중형 열교환기는 주로 빌딩, 공장 등의 폐열을 회수하여 이것을 다른 곳에 유효하게 이용하는데 활용되고 있다. 종류로는 공기히터(heater), 에코노마이저, 증기 제너레이터의 3종류가 있다. 공기히터는 가스-가스 열교환기이며 빌딩내부의 배기를 환기용의 공기로 열교환하거나, 드라이어 배기에서 흡입공기로, 또한 가열로의 배기에서 연소용의 공기형태로 열교환한다.

에코노마이저는 가스-물 열교환기이며 보일러의 배기에서 공급수와 열교환한다. 증기 제너레이터는 배가스열을 물의 증발에 사용하므로 이 증기를 이용하기 위한 열교환기이다.

4.2.1 공기히터

(1) 이용형태와 구조

히이트파이프를 이용한 열교환기의 기본적인

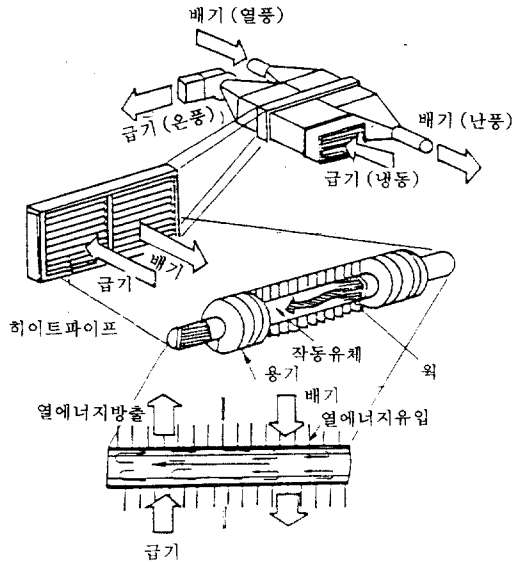


그림 4.8 히이트파이프를 이용한 열교환기의 개략도

개략도를 그림 4.8에 나타내었다. 히이트파이프의 표면과의 접촉면적을 증가시키기 위하여 각종 흰과 중앙에 칸막이 판을 설치하고 좌우를 프레임으로 지지하여 유체회로를 구성한다. 가스 및 공기는 대개 좌우를 서로 향하여 통과한다. 이 열교환기의 구조는 크게 플레이트 흰(plate fin)과 래디얼 흰(radial fin)으로 나눌 수 있다.

플레이트 흰은 주로 알루미늄을 사용하고 비교적 저온가스에 사용된다. 래디얼 흰은 저온에서 고온영역까지 폭넓게 사용된다.

표 4.1은 작동유체, 파이프 및 흰의 재질 등을 배기온도별로 나타낸 것이다.

배기가스중에 부식성분이 포함되어 있는 경우는 스테인레스를 사용한다. 또 알루미늄도 내식성을 갖게하기 위하여 알루미늄이트 등의 표면처리를 하는 경우도 있다.

(2) 특징

히이트파이프를 이용한 열교환기와 다른 형태의 열교환기를 비교한 것을 표 4.2에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 히이트파이프를 이용한 열교환기가 같은 회수열량을 얻을 수 있는 열교환기에 비해 외형치수, 중량

등에서 작으므로 효과적으로 설치할 수 있는 이점을 가지고 있다.

(3) 응용예

① 주방에의 설치예

주방의 취사장소 위쪽에는 반드시 가스렌지 후드가 설치되어 고온다습한 배기가 방출된다. 여기에 히이트파이프를 이용한 열교환기를 사용함으로써 폐열을 회수할 수 있다.

한 예로서 어떤 학교의 주방에 설치된 열교환기의 형태를 그림 4.9에, 성능사양을 표4.3에 나타내었다.

② 보일러에의 설치예

보일러에는 여러종류가 있으며, 기존의 보일러에 대한 설치에도 다양하지만 여기서는 중발량이 1200~1400kg/hr인 가스연소용이 연관식 보일러에 적용한 예이다. 이 경우는 배기에서

표 4.1. 배기온도에 따른 작동유체 및 재질

배기온도	히이트파이프		원 재 질	파이프와 원의 접촉부
	작동유체	재 질		
상 온 ~ 150°C	freon	알루미늄	알루미늄	확 관 법 알루미늄 전조
	water	동		
150~250°C	water	동-알루미늄	알루미늄	알루미늄 전조 고주파용접
		스테인레스	스테인레스	
250~430°C	열매체유	강 관	알루미늄	진공·브레이징 고주파용접
		스테인레스	스테인레스	

표 4.2. 각종 열교환기의 비교

구 조 도	히이트파이프를 이용한 열교환기		플레이트 열교환기		회전형 열교환기		셸-튜브브열교환기		
	급기	배가스	급기	배가스	급기	배가스	급기	배가스	
외형치수 (mm)	974 × 1930 × 450	1	1300 × 2100 × 1200	3.9	1260 × 1460 × 1200	1.3	φ 840 × 5000	3.3	
전열부치수 (mm)	h 874 × 11830 × w 333		h 1200 × 12000 × w 1100		h 1200 × l 1200		φ 830 × 14000		
중 량 (kg)	460	1	770	1.7	350	0.76	4000	8.7	
전열면적 (m ²)	123		175				173		
성 능 제 원	유량 (Nm ³ /min)	100	100	←	←	←	←	←	
	입구온도 (°C)	20	200	←	←	←	←	←	
	출구온도 (°C)	128	92	←	←	←	←	←	
	온도효율 (%)	60	60	←	←	←	←	←	
	최수열량 (W)	231,000		←		←		←	
	압력손실 (man.Aq)	18	21	22	30	50	70	75	40
	1		1.33		3.1		2.95		

표 4.3. 주방에 설치된 히트파이프를 이용한 열교환기의 성능

	급 기 측	배 기 측
풍량 (Nm ³ /min)	102.6	86.1
입구온도 (°C)	3.2	26
출구온도 (°C)	17.4	18.8
온도효율 (%)	62.3	31.6
회수열량 (W)	31,500	

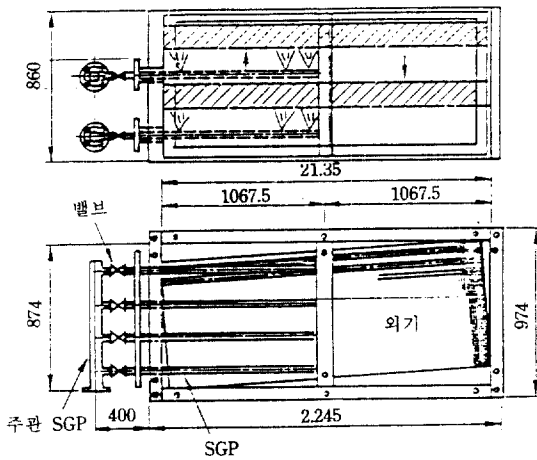


그림 4.9 주방에 설치된 히트파이프식 열교환기

열을 회수하고 이것을 연소용 공기 예열에 이용하여 연료비의 절감을 목적으로 이용되고 있다. 열교환기는 보일러의 연소실에 설치되어 있으나 경량이며 간단하고 대항류라는 장점이 있다. 그림 4.10은 그 구조이다.

4.2.2 에코노마이저

(1) 구조

히트파이프를 이용한 에코노마이저의 개략적인 것을 그림 4.11에 나타내었다.

히트파이프의 배가스측은 열전달율이 적으므로 환을 설치하고, 물이 통과하는 측에는 배플(baffle)을 설치하여 열교환 효율의 향상을 도모하고 있다.

(2) 특징

종래의 수관식 에코노마이저와 비교해서 물

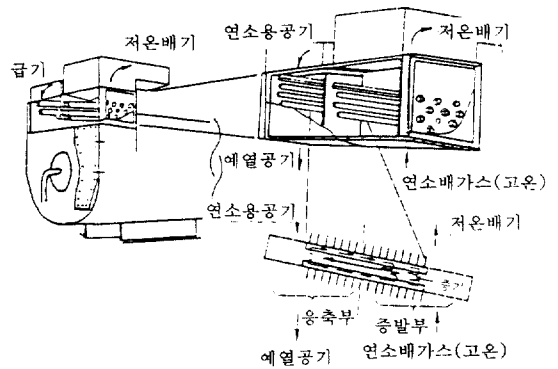


그림 4.10 가스연소용 연관식보일러의 설치예

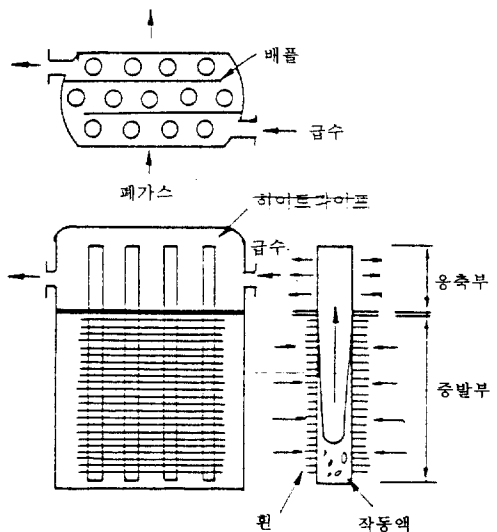


그림 4.11 에코노마이저의 개략도

쪽의 전열면적을 배가스측보다 자유롭게 적게 설정할 수 있으므로 배가스측 관벽온도를 높게 유지할 수 있고, 산노점온도를 피할 수 있다. 또한 수관식 에코노마이저의 경우 부식등으로 파이프가 파손되면 물이 배가스 측으로 누설하지만 히트파이프의 경우에는 몇개의 파이프가 파손되어도 직접 물이 배기측으로 누설되지 않고, 성능이 쉽게 떨어지지 않는다.

(3) 설치예

화학공장의 증유 연소보일러에 설치된 예가 그림 4.12에 나타나 있다. 이 보일러에서는 에코노마이저 앞에 공기히터, 수관식 에코노마이저가 있으므로 배가스 입구온도는 180℃가 되어 낮은 온도이다.

그림 4.13은 급수유량에 대한 회수열량을 나타내며, 실측치는 설계치를 상회하고 있음을 알 수 있다.

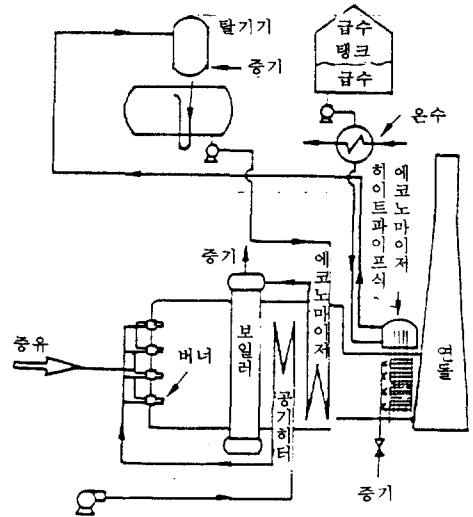


그림 4.12 히트파이프를 이용한 에코노마이저 설치예

4.2.3 증기제너레이터(Steam Generator)

배가스에서 열을 회수하여 증기를 발생시키는 것이며 배가스 보일러라고도 한다. 폐열을 증기로 회수하므로 용도가 매우 넓고, 구조는 에코노마이저와 거의 같지만 증기 발생용기 중간 칸막이를 내압구조로 제작하여야 한다. 표 4-4에 성능사양을 나타내었다.

연료(중유)의 연간절약량은 360kg이며, 본체 가격, 공사비 등의 총비용이 1년이내로 회수된다.

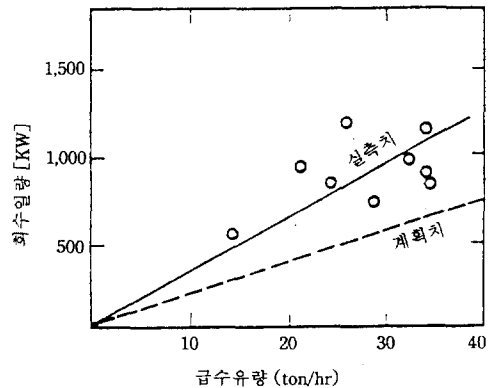


그림 4.13 에코노마이저의 회수열량

표 4.4. 히트파이프를 이용한 증기제너레이터의 성능사양

	배 가스 측	증 기 측
유량 (kg/hr)	13,713	625
입구온도 (°C)	222	100
출구온도 (°C)	140	123
압력손실 (mmAq)	36	
압 력 (kg/cm ² G)	0.2	1.9
회수열량 (W)	398,000	
중유절약량 (ml/hr)	45	
연간가동시간 (hr)	8,000	
연간중유절감량 (kl/y)	360	

4.3 대형 열교환기

히이트파이프를 사용한 대형 열교환기는 주로 증공업에 이용되며 그 종류 또한 다양하지만 여기서는 히이트파이프의 특징을 살린 분리형 히이트파이프에 대해서 설명하고자 한다.

4.3.1 분리형 히이트파이프

(1) 특 징

히이트파이프 내부의 유동은 증기의 흐름에 대하여 액체의 흐름은 역방향이다. 그 결과 증기에 포함된 가스는 응축부에 모이는 특성이 있으며 가스만 제거하는 구조로 비교적 간단하다. 그러나 내부에 액체가 있는 용기라는 점에서 법규의 적용을 고려하면 히이트파이프 내부압력×내용적이 규정치 이상의 경우 각관마다 안전밸브 및 압력계를 설치하여야 하며 관의 개수가 증가하는 대형 히이트파이프에는 적당하지 않다. 더우기 가열유체와 냉각유체를 칸막이판을 사이에 두고 배치하므로 히이트파이프와 칸막이판의 접촉부분의 구조에 주의가 필요하며, 또한 칸막이판을 끼고 두 유체를 병류(parallel flow) 또는 향류(counter flow)로 흘려야 하며 대형 열교환기에서는 덕트를 설치하는데 넓은 공간과 많은 비용이 든다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 그림 4.14와 같은 분리형 히이트파이프를 이용한 열교환기가 고안되었다.

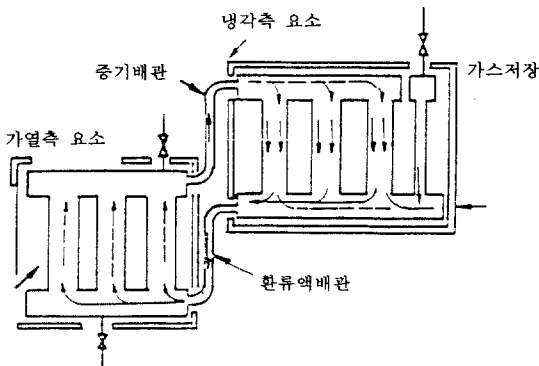


그림 4.14 분리형 히이트파이프의 열수송 원리

이 형식은 불응축가스의 제거에 특수한 기구를 붙일 필요가 있다. 그림 4.14의 오른쪽에 표시한 것과 같은 가스를 모아놓은 파이프와 가스를 제거하는 밸브를 설치하였다. 문헌에 따르면 운전초기에는 불응축가스가 많이 발생하여 파이프 재질을 강, 작동유체를 물로 한 경우에 1주일 후에 1회, 한달 후에 1회의 가스배출이 필요하였으나, 그후에는 7개월 동안 가스배출 없이 운전할 수 있었다고 한다.

여기서 분리형 열교환기의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 칸막이판 없이 증발부 및 응축부를 임의의 구조, 치수, 재질로 설계할 수 있다.
- ② 고온유체 또는 저온유체의 덕트를 연장하는 것이 불필요하며 대용량의 가스·가스 열교환기에 적당하다.
- ③ 칸막이판을 사이에 두지 않아도 되므로 고압유체에도 적당하다.

(2) 이 론

분리형 히이트파이프의 열수송 모델은 그림 4.15와 같으나 열은 고온측에서 증기를 발생시키고, 그 증기를 저온측에서 응축시키는 것으로 인하여 증기의 잠열로 이동한다.

이 증기의 흐름을 고온측과 저온측의 압력차로 생기나 이 압력차는 저온측에서의 증기의 응축에 의하여 생긴다. 저온측에서 응축된 액체는 관을 통하여 고온측으로 되돌아간다. 따라서 이 압력차도 액면의 레벨차를 생기게 한다. 이것을 식으로 표시하면 장치로서의 필요한 최

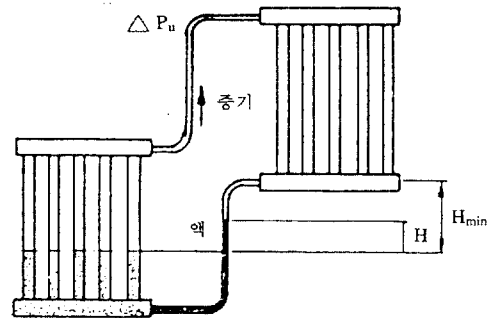


그림 4.15 분리형 히이트파이프의 열수송 모델

소 액면차 H_{min}은 다음과 같다.

$$H_{min} \geq H \left(= \frac{\Delta P_v}{\rho_1 \cdot g} + \frac{\Delta P_1}{\rho_1 \cdot g} \right) \text{ [m]} \dots\dots\dots (4.1)$$

여기서

- H : 운전중에 생기는 액면차 (m)
- ΔP_v : 증기관의 압력손실 (P_v)
- ΔP_1 : 액관이 압력손실 (P_1)
- ρ_1 : 액체의 밀도 (kg/m^3)
- g : 중력가속도 (m/sec^2)

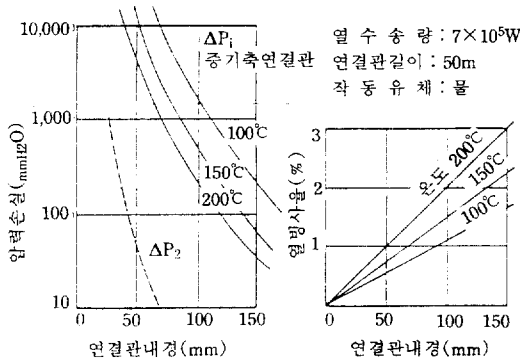


그림 4.16 연결관에서의 압력손실과 열방사율

분리형 히이트파이프의 수송 가능거리는 압력손실과 연결관에서의 열방사 손실과 관계하지는 그림 4.16과 같이 배관 직경과 증기온도의 함수가 된다. 이 경우에는 1본의 연결관에서 열수송량이 $7 \times 10^5 \text{W}$, 수송거리가 50m의 경우이지만 열수송량과 수송거리가 다른 경우에는 비례관계로 구한다.

(3) 적용예

제철소에서 발생하는 BFG(blast furnace gas)는 덱트 및 부식성 성분이 적은 비교적 깨끗한 연료가스이다. 따라서 최근 이 BFG를 연료로 한 연소장치에 의한 폐열회수가 이용되고 있다.

그림 4.17은 이들 고로계의 열풍로와 보일러의 폐열을 이용하여 각각 열풍로 공기 및 보일러의 연료로서 BFG를 예열하기 위한 분리형 히이트파이프식 열교환기를 적용한 예이다.

1) 열풍로 폐열회수 공기예열 시스템

그림 4.18은 분리형 히이트파이프를 열풍로의 폐열을 회수하여 연소실에 공급하는 공기를 예열하는 시스템이다. 설계조건과 시스템 전체의 사양을 표 4.5에 나타내었다.

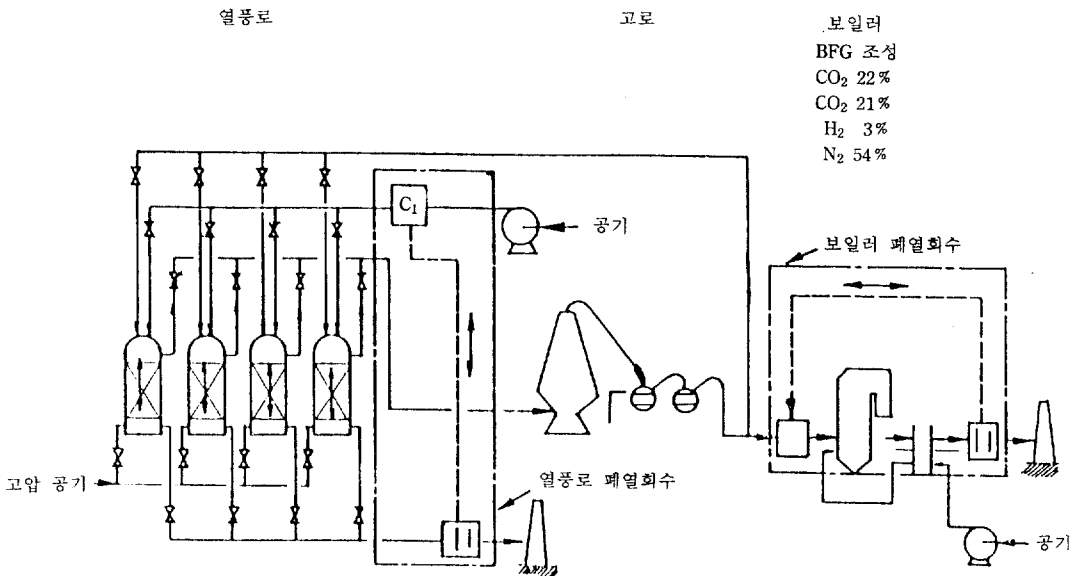


그림 4.17 제철소 고로가스에서의 폐열회수 장치

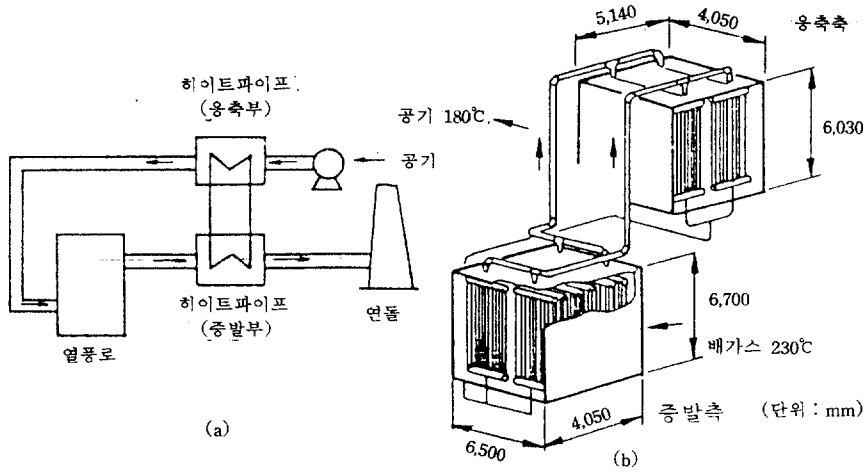


그림 4.18 열풍로 폐열회수 공기에열시스템의 배치도

표 4.5. 열풍로 폐열회수 공기에열시스템의 조건과 장치사양

설 계 조 건		
항 목	가 열 측	냉 각 측
유 체 명	열풍로 배가스	연소용 공기
유 량	460,00(Nm ³ /hr)	260,00(Nm ³ /hr)
입 구 온 도	230 (°C)	15 (°C)
출 구 온 도	147 (°C)	180 (°C)
유 체 상 태	5 (mg/Nm ³) SO _x : 40(ppm)	
압 력 손 실	60 (mmAq)이하	60 (mmAq)이하
교 환 열 량	15.67×10 ⁴ (W)	

장 치 사 양			
항 목	가 열 측	저 온 측	
적용법규	제1종 압력용기		
설계온도(압력)	240°C(33kg/cm ² G)		
사용매체	물		
전열관	재 질	STB 35S	STB 35S
	본 수	828 본	936 본
	외 경	50.8φ×2.3t	38.1φ×2.3t

히이트파이프내의 작동유체는 물이며, 배기가스 입구온도는 230°C, 유량은 460,000Nm³/hr 이고 260,000Nm³/hr의공기를 15°C에서 180°C로 예열하고 있다. 배가스 출구온도는 147°C이나 산노점 대책으로서 저온이 되는 열교환기의 흰재질은 부식에 강한 강을 사용하였다.

배가스 출구덕트 연통 내부 라이닝의 부식 방지에는 연통부의 배가스온도를 감지하여 산노점온도 이하가 되도록 공기 바이패스 조작을 하여 관리하도록 하였다.

관군은 배가스 공기의 흐름에 직각으로 그림 4.18(b)와 같이 1블록마다 독립된 히이트파이프 군을 구성시켜 이것을 6블록이 되도록 배열하고

보수를 위하여 떼어내기가 쉬운 구조로 되어 있다.

2) 보일러 폐열회수 BFG(고로가스) 예열시스템

그림 4.19는 보일러의 폐열을 회수하여 일산화탄소가스(CO가스)를 포함하는 BFG의 예열에 직선거리로 36.9m의 간격으로 가열측과 냉각측을 설치한 분리형 히이트파이프식 열교환기 시스템의 예이다.

사양은 표 4.6에 표시되어 있고 360,000Nm³/hr, 210°C의 폐열을 이용하여 220,000Nm³/hr, 25°C의 BFG를 120°C까지 예열하여 8.08×10⁶W의 열을 회수하고 있다.

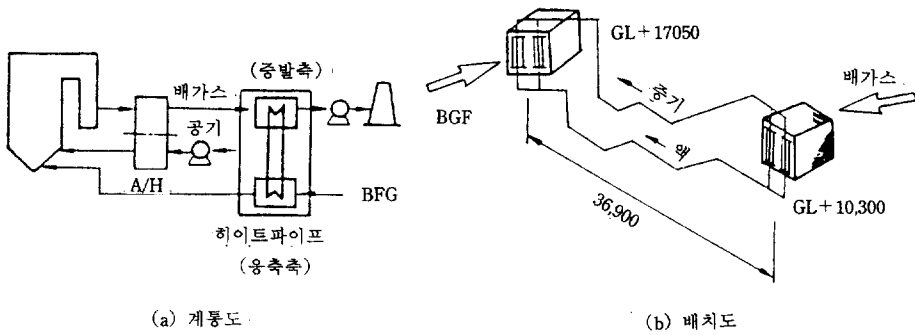


그림 4.19 보일러 폐열회수 BFG(고로가스) 예열시스템의 계통 및 배치도

표 4.6. 보일러 폐열회수시스템의 주요사항

항 목	배가스 (중발측)	BFG (용축측)
유량 (Nm ³ /hr)	360,000	220,000
입구온도 (°C)	210	25
출구온도 (°C)	155	120
교환열량 (W)	8.08 × 10 ⁶	

BFG중에는 약 22%의 CO가스가 포함되어 있어 극히 위험하고 내부로의 누설뿐만 아니라 배가스측에의 누설도 허용되지 않는다. 따라서 재생식 열교환기는 쓸수 없고, 플레이트식 열교환기 등에 있어서도 단지 1개의 구멍이 있어도 CO가스가 새는 위험성이 있다. 이에 비해서 히이트파이프의 경우에는 BFG측과 배가스측 양쪽에 구멍이 있지 않는한 누설의 가능성이 없어서 안전한 열교환기이다.

더우기 배가스와 BFG의 덕트가 떨어져 있는 경우에는 분리형을 사용함으로써 그림 4.19(b)와 같이 직선거리로 36.9m, 연결관의 길이 70m로 떨어져도 무동력으로 열교환을 할 수 있는 장점이 있다.

5. 맺음말

우리나라의 1990년도 에너지수입량은 1차 에너지 기준 81,894천 TOE정도로서 이는 우리나라 총 수입류의 16.5%에 달하고 있다. 이렇게 수입된 에너지의 사용은 산업용이 가장 많고, 그

다음이 가정 및 상업용, 수송용 기타 공공용의 순이다. 특히 총에너지 사용량의 약 48.2%를 점유하고 있는 산업부분의 에너지절약의 중요성은 매우 크다. '88년도 현재 산업체에서 사용되는 에너지의 6.9%정도가 폐열회수로 대체되고 있으며 또한 향후 산업체에서의 폐열회수 기대효과는 750,935TOE이상으로 예상되며 그 효과는 '90년도를 기준한 산업부분의 에너지 사용량의 2%이상을 의미하는 양으로서 폐열회수의 중요성을 알 수 있다.

외국의 경우 히이트파이프에 대한 연구, 신기술 및 응용사례를 비추어 볼 때, 또 에너지의 절약 및 효율적 이용문제가 절실히 요청되는 이때 우리나라에서 히이트파이프에 대한 적극적인 기술개발 및 연구는 당연한 과제처럼 생각되며 부존자원이 빈약한 국내에서 히이트파이프 및 써모사이폰의 산업에의 응용은 커다란 효과를 가져올 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Reay, D.A., 1982, "The Perkins Tube-A Noteworthy Contribution to Heat Exchanger Technology", Heat Recovery Systems Vol.2, pp.173-187.
2. Lee, Y. and Mital, U., 1972, "A Two-Phase Closed Thermosyphon", Int. Jour. Heat and Mass Transfer, Vol. 15, 1695-1707.
3. Japiske, D., 1973, "Advances in Thermosyphon Technology", Advances in Heat Transfer, Vol. 3, pp.2-111.
4. Dunn, P. and Reay, D.A., 1982, "Heat Pipes", 3rd Ed., Pergamon Press.
5. Chi, S.W., 1976, "Heat Pipe Theory and Practice", A Source Book, Hemisphere Pub. Corp.
6. Chisholm, D., 1971, "The Heat Pipe", Mills and Boon Ltd., London.
7. Pioro, L.S. and Pioro, I.L., 1988, "Industrial Two-Phase Thermosyphon", Naukova Duma Publishing Co., Kiev, (in Russian).
8. Chen, Y.G., 1986, "Heat Pipes and Heat Pipe Heat Exchangers", Chong-Quin University Press, Chong-quin, China (in Chinese).
9. Negichi, K.N. et al. (eds), 1985, "Practical Heat Pipes", Japan Heat Pipe Association, Tokyo, Japan (in Japanese).
10. Tien, C.L., ed., 1973, "Heat Pipes", AIAA Selected Reprint Series, Vol. 16.
11. Vasiliev, L.L. and Konev, S.V., 1974, "Heat Pipes", Scripta Technica, Washington.
12. Ivanovskii, M.N., Sorokin, V.P. and Yangodkin, I.V., 1982, "The Physical Principles of Heat Pipes", Clarendon Press, Oxford.
13. Vasiliev, L.L., et al., 1976, "Low-Temperature Heat Pipes", Naukai Takhnika, Minsk.
14. Dynatherm Corp. Engg. Staff, 1972, "Heat Pipe Design Handbook", NASA Contract No. NAS 9-11027.
15. General Electric, 1986, "Heat Pipes", Handbook of Heat Transfer Data Book, 507.5.
16. Tien, C.L., 1986, "Heat Pipes", Handbook of Heat Transfer Data Book, 507.5.
17. Shah, R.K. and Giovannellu, A.D., 1988, "Heat Transfer Equipment Design", Hemisphere Pub. Co., pp.609-653.
18. Proc. International Heat Pipe Conference, Oct. 15-17, 1973, Institut fur Kernenergetik (IKE), Universtitat Stuttgart.
19. Proc. 2nd International Heat Pipe Conference, March 31-april 2, 1976, ESA & Euratom, Bologna, Italy.
20. Proc. 3rd International Heat Pipe Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Palo Alto, USA, 1978.
21. Reay, D.A.(ed), 1981, "Advances in Heat Pipe Technology", Proc. 4th Int. Heat Pipe Conf., Pergamon Press, London, UK.
22. Oshima, K. (ed), Proc. 5th Int. Heat Pipe Conf., May 14-18, 1984, "Research and Development of Heat Pipe Technology, Parts I and II", Tsukuba, Japan, Japan Technology Economics Center Inc.
23. Proc. 6th Int. Heat Pipe Conf., Grenoble, France, May 25-29, 1987.
24. Proc. 7th Int. Heat Pipe Conf., Minsk, USSR, May 21-25, Preprints 1st, 2nd and 3rd Sessions, 1990.
25. 8th International Heat Pipe Conference, Beijing, China, September 14-18, Preprints, 1992.