

히트파이프 열교환기

이영수 · 이기우

Heat Pipe Heat Exchanger

Young-Soo Lee and Ki-Woo Lee



- 이영수 (한국에너지기술연구소 폐열 이용연구팀)
- 1954년생
- 열공학을 전공하였으며, 히트파이프, 마이크로 Two-Phase Thermosyphon, 열펌프, 스테링 기관 등에 관심을 가지고 있다.



- 이기우 (한국에너지기술연구소 폐열 이용연구팀)
- 1951년생
- 동력공학을 전공하였으며, 히트펌프 폐열회수열교환기술, 히트파이프 이용 열교환기 및 냉각기술, 열전기술 등에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

히트파이프에 관한 연구는 구미, 일본 등 선진 각국뿐만 아니라, 중국, 독립국가 연합 및 동구권에서도 다년간 활발하게 진행되어 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. 그 응용분야는 인공위성으로부터 폐열회수용 열교환기, 전기장치 전자소자의 냉각, 음향기기의 냉각, 태양열과 지열의 유효 이용, 플라스틱 금형의 냉각, 공작기계의 주축냉각, 포장기계, 주방기기, 전력케이블의 냉각, 엔진 및 브레이크의 냉각 등 응용분야가 광범위하여 급격하게 발전하고 있다.

그러나 국내에서는 히트파이프와 관련된

학술적인 연구결과가 발표되고 있을 뿐, 체계적이며 지속적인 연구가 수행되지 못하고 있다. 또한 산업계에서도 관련제품의 대부분을 수입에 의존하고 있으며, 일부 제작업체에서는 제품이 나오고 있으나 축적기술결여로 그 성능면에 있어서 보증이 어려워 업계의 연구개발에 대한 노력이 절실히 요구되고 있다.

2. 히트파이프의 원리 및 특성

히트파이프는 밀폐된 용기내에서 작동유체를 주입한 후 진공배기한 것으로 작동유체의 증발과 응축이 별도의 외부동력없이 잠열을 이용하여 열을 전달하는 기구이다 또한 히트파이프는 그림 1에서 보는 바와 같이 적은 온도차로 대량의 열수송을 하는 것이 특징이다.

그림 1은 동봉(copper rod)과 히트파이프의 열전도성을 비교한 것이다. 100W의 열을 이동시키기 위하여 동봉의 경우는 양끝단의 온도차가 600℃ 정도 필요하지만 히트파이프의 경우는 1~2℃이면 충분한 것을 보여

주고 있다.

히트파이프의 기본원리는 그림 2에서와 같이 밀봉된 용기내에 다공성 모세관벽을 감고 이 벽을 작동유체의 액상의 형태로 포화시키고 벽 안쪽의 공간을 기체상태로 만들면 외부열원에 의해 증발부에 열이 부과될 때 그 부위의 작동유체는 증발되고 결과적으로 압력차가 발생해서 증발부로부터 응축부로 증기가 이동한다. 이 증기는 응축부에서 증발 잠열을 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. 이때 그림 2와 같이 벽이 없는 히트파이프를 특히 "서모사이폰"(thermosyphon)이라 부른다. (그림 3 참조)

히트파이프의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 잠열에 의한 대량의 열수송이 가능하다.
- (2) 온도분포가 균일하다.
- (3) 경량이며 구조가 간단하다.
- (4) 응답성이 빠르다.
- (5) 가열부와 냉각부를 분리하는 것이 가능하다.
- (6) 가열부와 냉각부의 위치전환이 가능하다. (워식 히트파이프의 경우)
- (7) 한쪽 방향으로만 열을 이용시키는 성질을 갖는다. (서모사이폰의 경우)
- (8) 가변 콘덕턴스형 히트파이프는 작동온도에 의한 열수송량의 제어가 가능하다.

3. 히트파이프의 분류

3.1 작동온도에 따른 분류

사용목적에 따라 작동온도를 절대온도 0에 가까운 극저온부터 1,000°C 이상의 초고온 영역까지의 온도범위를 5단계로 분류할 수

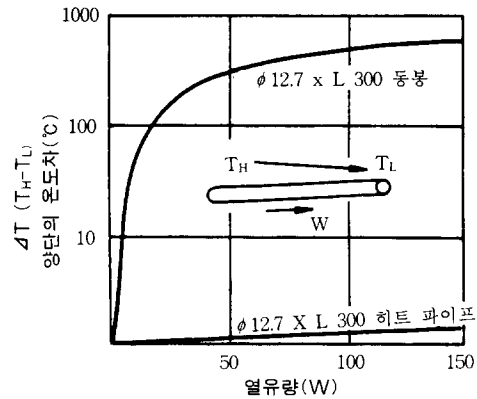


그림 1 히트파이프와 동봉과의 열전도 비교

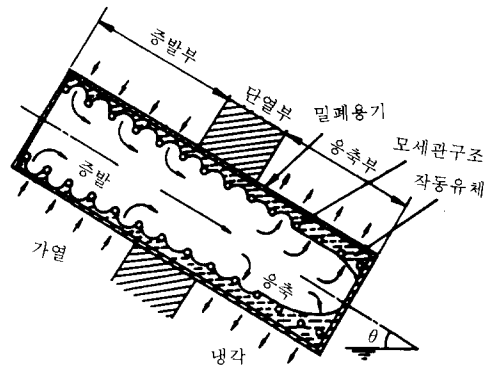


그림 2 히트파이프의 작동원리

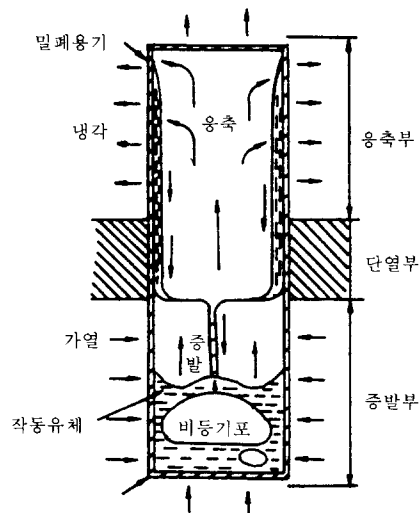


그림 3 서모사이폰의 작동원리

히트파이프 열교환기

표 1 작동온도와 주요 작동유체

작동온도(°C)	주요 작동매체
-270~70(극저온)	헬륨, 알곤, 크립톤, 질소, 메탄
-70~200(저온)	프레온, 암모니아, 아세톤, 메탄올, 에탄올, 물
200~500(중온)	나프탈린, 다우삼, 유황, 수은
500~1,000(고온)	세시움, 칼륨, 나트륨
1,000이상(초고온)	리튬, 칼슘, 납, 은

표 2 이용목적과 사용처

목적	사용처
열수송	열교환기, 배열회수, 공기조화, 태양열집열기, 지열이용, 잠열장치
가열	보일러, 노면, 옥상의 융설, 급배수관의 동결방지, 카브레터의 가열, 주방기기
냉각	트랜지스터·다이오드·IC·VLSI 등 전기소자의 방열, 전자기기의 냉각, 인공위성의 냉각, 송·변전기의 냉각, 회전기의 냉각, 케이블의 냉각, 금형 및 주물의 냉각, 엔진 및 브레이크의 냉각, 저온외과 수술
온도·열유속제어	가변 콘덕턴스 히트파이프(VCHP), 열다이오드, 열스위치

있으며 온도에 따른 대표적인 작동유체를 표 1에 나타내었다.

3.2 이용목적에 따른 분류

히트파이프의 다양한 사용처를 표 2에 나타내었다. 히트파이프는 단순히 열전달을 목적으로 하는 것 이외에도 히트파이프의 한부분의 온도를 일정하게 유지시키는 가변 콘덕턴스 히트파이프(variable conductance heat pipe), 열원의 온도가 과도하게 높을 때 열의 흐름을 차단하는 열스위치(thermal switch) 및 한 방향으로의 열전달은 가능하나 역방향의 열유동을 억제해주는 열다이오드(thermal diode) 등이 개발되어 있다.

4. 히트파이프를 이용한 열교환기

우수한 전열특성이 있는 히트파이프를 열교환기에 적용한 것으로서 기본구조는 히트

파이프, 케이스, 칸막이의 3요소로 되어 있다. 히트파이프는 전열면적을 넓히기 위하여 흰 등을 부착하고 열교환을 시키고자 하는 두 가지 유체가 유입되지 않도록 칸막이를 설치한다. 한쪽은 고온가스, 다른 한쪽은 저온가스를 접촉시키고 수평, 수직, 경사의 형태로 설치가 가능하다. 히트파이프가 수직으로 설치될 때는 하부가 고온측이 되어야 한다. 이때의 히트파이프는 워이 필요없다.

- (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.
- (4) 열교환면적에 비해 전열능력이 우수해 배기가스와의 접촉면적을 줄일 수 있으

며, 따라서 압력손실을 줄일 수 있다.

- (5) 중앙부에 히트파이프의 중앙을 고정하는 구조로 설치하므로 열팽창을 고려한 설계가 가능하다.
- (6) 구조가 간단하고 전열능력이 히트파이프 개수에 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 열교환기의 대부분은 전기장비의 온도조절 또는 냉각, 전자장치의 냉각에 응용되고 있다. (그림 4부터 그림 10)

최근들어 전자기기는 고속화 및 대용량화하고 있으면서도 크기는 오히려 소형화되고 있어 이에 발생하는 열량을 어떻게 유효하게 제거하느냐가 중요한 문제로 제기되고 있다. 장치의 내장밀도가 적을 때는 기존 알루미늄 히트싱크를 사용하여도 열에 의한 사고는 거의 발생하지 않지만 고밀도장치의 경우에는 열설계의 중요도가 이전에는 비교도 안될 만큼 커지고 있다. 따라서 소자의 열발생밀도 증대와 함께 이것에 대한 효과적인 냉각에 히트파이프가 주목을 받고 있으며 선진국에서는 이미 냉각용으로 실용화가 진행되고 있다.

전기장비에 대한 히트파이프의 응용에는 전동기 등의 회전기계, 변압기, 충전시스템 그리고 레이저나 마이크로 웨이브 발생장비의 냉각 및 온도조절 등에서 볼 수 있다. 전자장치에서는 트랜지스터, 사이리스터 등은 물론 회로기판 또는 모듈의 냉각에 이용되고 있다. ‘히트싱크’라고 불리는 냉각기구는 몇 개의 전자부품이나 모듈로부터의 발생열을 히트파이프의 증발부로 집결시키고 환이

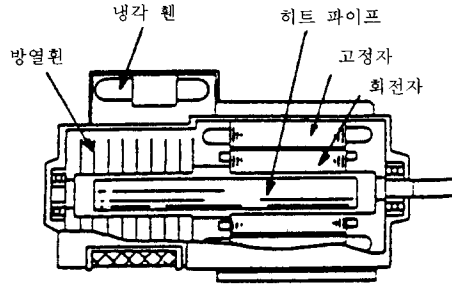


그림 4 전동기의 냉각에 이용된 히트파이프

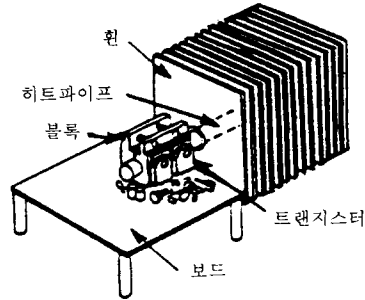


그림 5 전자부품 냉각에 이용된 히트파이프

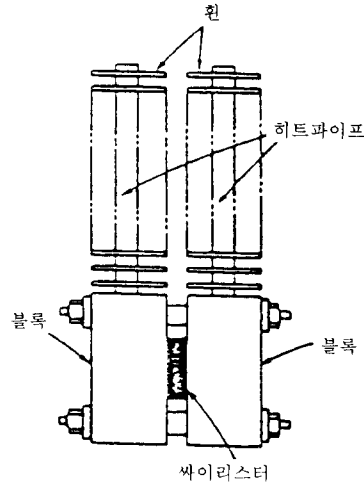


그림 6 사이리스터에 이용된 히트파이프

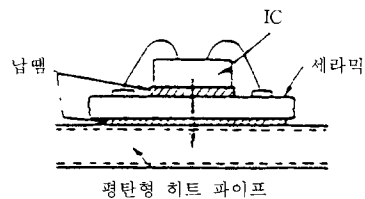


그림 7 IC 냉각에 이용된 히트파이프

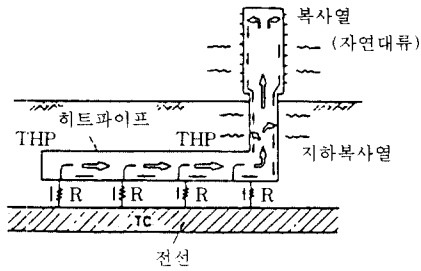


그림 8 지중선 냉각에 이용된 히트파이프

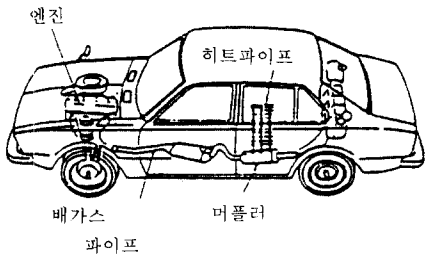


그림 9 자동차 난방에 이용된 히트파이프

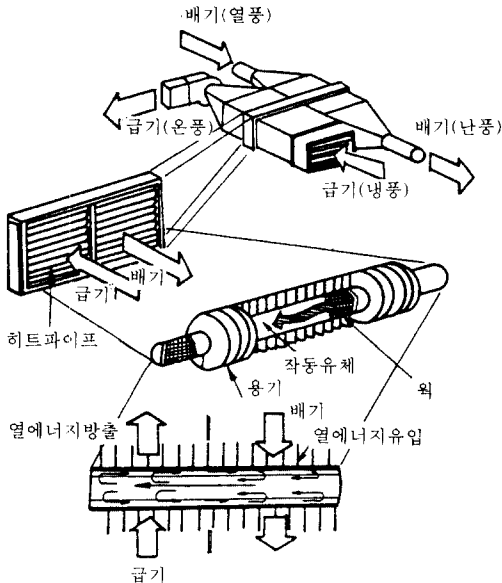


그림 10 히트파이프를 이용한 열교환기의 개략도

여러개 부착된 응축부에서 자연대류에 의해 열을 방출시키는 구조로 되어 있다.

지하에 매설된 동력선은 자체의 저항에 의

한 발생열을 주위의 자연적 구조물을 통해 소산할 수 있을 때에는 큰 문제가 없으나, 인구밀집지역 등에서는 난방용 배관 등 열원이 될 수 있는 시설과 인접하여 설치해야 하는 경우 발열로 인한 고장을 막기 위한 효과적인 열소산방법중 하나가 히트파이프를 통해 지상으로 열을 방출하는 것이다. 또한 활주로 밑에 긴 코일 형태의 히트파이프를 매설하고 비상시에 많은 열을 한꺼번에 보내 짧은 시간 동안 제설할 수 있도록 하는 방법도 실제 사용하고 있다.

이외에도 열발생을 억제함으로써 정밀도를 기할 수 있는 기계가공, 사출성형, 정밀구조 등도 좋은 응용분야이며, 동온화를 함으로써 제품의 열응력을 최소화할 목적으로 주물, 금형 등에도 이용될 수 있다.

또한 최근에는 외형상의 크기가 매우 작은 바늘크기 정도로 직경이 0.5 mm 이내이고 길이가 20~30 mm 정도의 마이크로 히트파이프의 개발도 연구중에 있어 소형 고집적 회로의 냉각에 사용될 수 있으리라 생각된다.

4.2 중형 열교환기

히트파이프를 이용한 열교환기는 주로 빌딩, 공장 등의 폐열회수, 가열 및 냉각공정에서의 고효율 에너지 변환 및 이송, 공기조화 및 냉동장치 등에서 활용되고 있다. 중국에서는 제철공장, 정유소 등 중화학 플랜트의 가열로, 고온공기로, 보일러, 공기에열기, 건조탑 등에 사용하여 산업용 폐열의 30~50%를 회수할 수 있었으며, 연료절감률은 5~10%에 이르고, 초기투자에 대한 회수 기간은 불과 1~3년 정도였다. 적용 온도범위는 고온 기체 온도가 150~450℃, 배기 가스의 온도는 50~150℃로서 저온범위에 속한다. 또한 정비나 수리가 용이하고 내부식성도 훨씬 높일 수 있었다는 것이 알려져 있다

주로 사용되는 종류로는 공기히터, 에코노

마이저, 증기제너레이터의 세 종류가 있다. 공기히터는 가스-가스 열교환기이며, 빌딩 내부의 배기를 환기용의 공기로 열교환하거나 드라이어 배기에서 흡입공기로, 또한 가열로의 배기에서 연소용의 공기형태로 열교환한다.

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

4.2.1 공기히터

1) 이용형태와 구조

히트파이프를 이용한 열교환기의 기본적인 개략도를 그림 10에 나타내었다. 히트파이프의 표면과의 접촉면적을 증가시키기 위하여 각종 환과 중앙에 칸막이 판을 설치하고 좌우를 프레임으로 지지하여 구성한다. 가스 및 공기는 대개 좌우를 서로 향하여 통과하고 이 열교환기의 구조는 크게 플레이트 환(plate fin)과 래디얼 환(radial fin)으로 나눌 수 있다.

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

표 3은 작동유체, 파이프 및 환의 재질 등으로 배기온도별로 나타낸 것이다. 배기가스

중에 부식성분이 포함되어 있는 경우는 스테인리스를 사용하고 알루미늄도 내식성을 갖게 하기 위하여 알루미이트 등의 표면처리를 하는 경우도 있다.

2) 특징

히트파이프를 이용한 열교환기와 다른 형태의 열교환기를 비교한 것을 표 4에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 히트파이프를 이용한 열교환기가 같은 회수열량을 얻을 수 있는 열교환기에 비해 외형치수, 중량 등에서 작으므로 효과적으로 설치할 수 있는 이점을 가지고 있다.

3) 보일러의 설치예

보일러에는 여러 종류가 있으며, 기존의 보일러에 대한 설치예도 다양하지만 여기서는 증발량이 1200~1400 kg/hr인 가스연소용 이 연관식 보일러에 적용한 예이다. 이 경우도 배기에서 열을 회수하고 이것을 연소용 공기 예열에 이용하여 연료비의 절감을 목적으로 이용되고 있다. 열교환기는 보일러의 연소실에 설치되어 있으나 경량이며 간단하고 대향류라는 장점이 있다. 그림 11은 그 구조이다.

4.2.2 에코노마이저

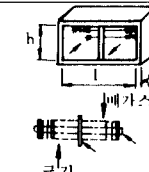
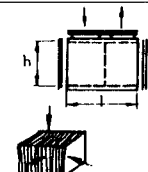
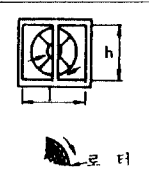
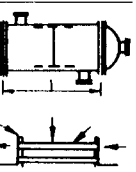
1) 구조

히트파이프를 이용한 에코노마이저의 개략적인 것을 그림 12에 나타내었다.

표 3 배기온도에 따른 작동유체 및 재질

배기온도	히트파이프		환재질	파이프와 환의 접촉부
	작동유체	재질		
상온 ~150℃	프레온	알루미늄	알루미늄	확관법 알루미늄 전조
	물	동		
150~250℃	물	동-알루미늄	알루미늄	알루미늄 전조 고주파용접
		스테인리스	스테인리스	
250~430℃	열매체유	강관	알루미늄	진공·브레이징 고주파용접
		스테인리스	스테인리스	

표 4 각종 열교환기의 비교

	히트파이프를 이용한 열교환기		플레이트 열교환기		회전형 열교환기		셀-튜브 열교환기	
구조도								
외형치수(mm)	974×1930×450		1300×2100×1200		1260×1460×1200		φ 840×5000	
전열부치수(mm)	h874×11830×w333		h1200×12000×w1100		h1200×11200		φ 820×14000	
중량(kg)	460		770		350		4000	
전열면적(m ²)	123		175				173	
	급기	배가스	급기	배가스	급기	배가스	급기	배가스
상용제한	유량(Nm ³ /min)	100	100	←	←	←	←	←
	입구온도(°C)	20	200	←	←	←	←	←
	출구온도(°C)	128	92	←	←	←	←	←
	온도효율(%)	60	60	←	←	←	←	←
	회수열량(%)	234,000		←		←		←
압력손실(mmAq)	18	21	22	30	50	70	75	40
	1		1.33		3.1		2.95	

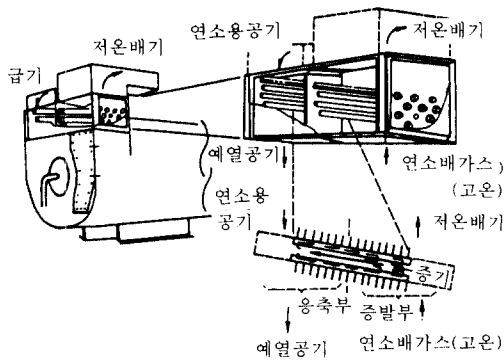


그림 11 가스연소용 연관식보일러의 설치예

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

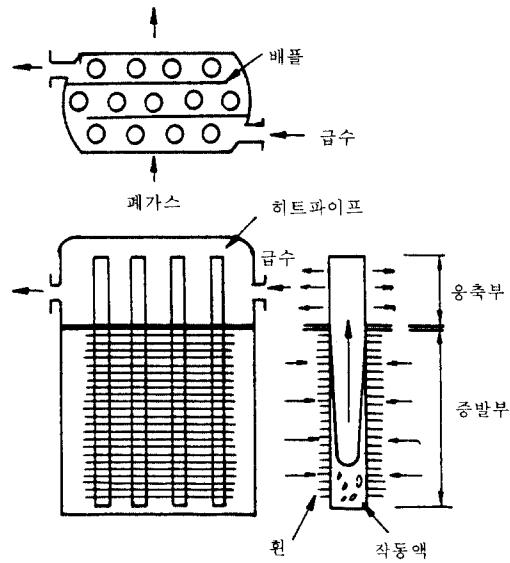


그림 12 에코노마이저의 개략도

2) 특징

중래의 수관식 에코노마이저와 비교해서 물쪽의 전열면적을 배가스측보다 자유롭게 적게 설정할 수 있으므로 배가스측 관벽온도를 높게 유지할 수 있고, 산노점온도를 피할 수 있다. 또한 수관식 에코노마이저의 경우 부식 등으로 파이프가 파손되면 물이 배가스측으로 누설되지만, 히트파이프의 경우에는 몇 개의 파이프가 파손되어도 직접 물이 배가스측으로 누설되지 않고, 성능이 쉽게 떨어지지 않는다.

3) 설치예

화학공장의 중유 연소보일러에 설치된 예가 그림 13에 나타나 있다. 이 보일러에서는 에코노마이저가 있으므로 배가스 입구온도는 180℃가 되어 낮은 온도이다.

4.2.3 증기제너레이터

배가스에서 열을 회수하여 증기를 발생시키는 것이며 배가스 보일러가 한다. 폐열을 증기로 회수하므로 용도가 매우 넓고, 구조는 에코노마이저와 거의 같지만 증기 발생용기 중간 칸막이를 내압구조로 제작하여야 한

다. 표 5에 성능사양을 나타내었다.

연료(중유)의 연간 절약량은 360 kg이며, 본체가격, 공사비 등의 총비용이 1년 이내로 회수된다.

4.3 대형 열교환기

히트파이프를 사용한 대형 열교환기는 주로 중공업에 이용되며 그 종류 또한 다양하지만 여기서는 히트파이프의 특징을 살린 분리형 히트파이프에 대해서 설명하고자 한다.

4.3.1 분리형 히트파이프

1) 특징

히트파이프 내부의 유동은 증기의 흐름에 대하여 액체 흐름은 역방향이다. 그 결과 증기에 포함된 가스는 응축부에 모이는 특성이 있으며 가스만 제거하는 구조로 비교적 간단하다. 그러나 내부에 액체가 있는 용기라는 점에서 범규의 적용을 고려하면 히트파이프 '내부압력×내용적'이 규정치 이상의 경우 각 관마다 안전밸브 및 압력계를 설치하여야 하며 관의 갯수가 증가하는 대형 히트파이프에는 적당하지 않다. 더욱이 가열유체와 냉각유체는 칸막이판의 접촉부분의 구조에 주의가 필요하며, 또한 칸막이판을 끼고 두 유체

표 5 히트파이프를 이용한 증기제너레이터의 성능사양

	배가스측	증기측
유 량(kg/hr)	13,713	625
입구온도(℃)	222	100
출구온도(℃)	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	

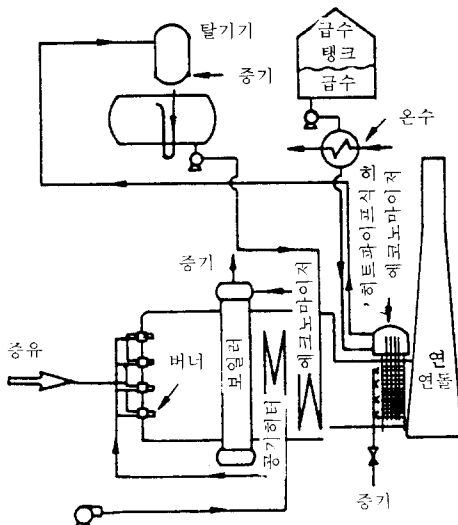


그림 13 히트파이프를 이용한 에코노마이저 설치예

를 병류(parallel flow) 또는 향류(counter flow)로 흘러야 하며 대형 열교환기에서는 덕트를 설치하는데 넓은 공간과 많은 비용이 든다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 그림 14와 같은 분리형 히트파이프를 이용한 열교환기가 고안되었다.

이 형식은 불응축가스의 제거에 특수한 기구를 붙일 필요가 있다. 그림 14의 오른쪽에 표시한 것과 같은 가스를 모아 놓은 파이프와 가스를 제거하기 위한 특수한 기구를 붙일 필요가 있다. 그림 14의 오른쪽에 표시한 것과 같이 가스를 모아 놓은 파이프와 가스를 제거하는 밸브를 설치하였다. 문헌에 따르면 운전초기에는 불응축가스가 많이 발생하여 파이프 재질을 강, 작동유체를 물로 한 경우에 1주일 후에 1회, 그리고 한달 후에 1회의 가스배출이 필요하였으나, 그 후에는 7개월 동안 가스배출없이 운전할 수 있었다고 한다.

여기서 분리형 히트 파이프 열교환기의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

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

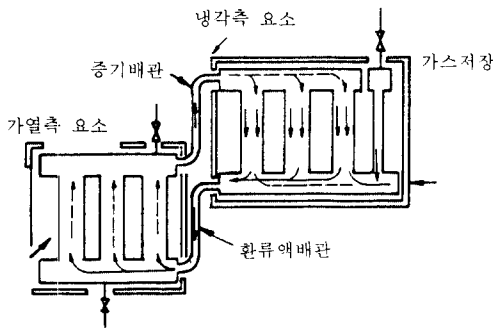


그림 14 분리형 히트파이프의 열수송 원리

2) 열풍로 폐열회수 공기에열 시스템의 적용예

그림 15는 분리형 히트파이프를 열풍로의 폐열을 회수하여 연소실에 공급하는 공기를 예열하는 시스템이고, 설계조건과 시스템 전체의 사양은 표 6, 7에 나타내었다.

히트파이프 내의 작동유체는 물이며, 배기가스 입구온도는 230℃, 유량은 460,000 Nm³/hr 이고 260,000 Nm³/hr의 공기를 15℃에서 180℃로 예열하고 있다. 배가스 출구온도는 147℃이나 산노점 대책으로서 저온이 되는 열교환기의 현재질은 부식에 강한 강을 사용하였다. 또한 배가스 출구덕트 연통 내부 라이닝의 부식 방지에는 연통부의 배가스온도를 감지하여 산노점온도 이하가

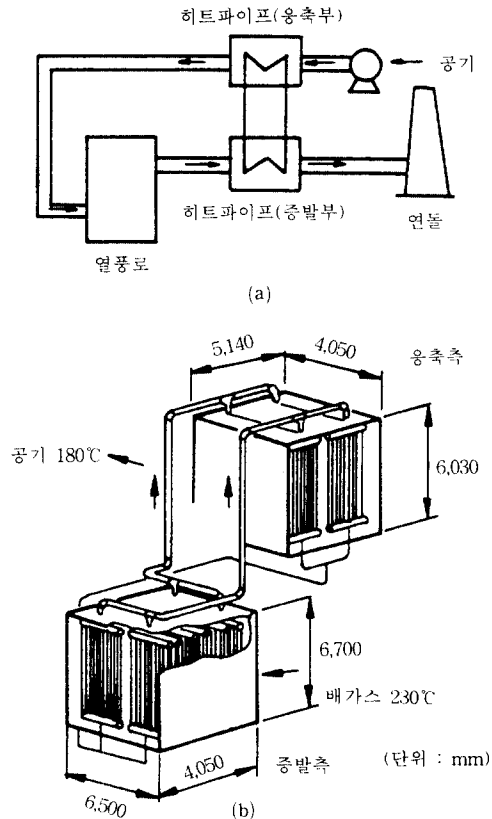


그림 15 열풍로 폐열회수 공기에열시스템의 배치도

표 6 열풍로 폐열회수 공기에열시스템의 조건

설 계 조 건		
항 목	가 열 측	냉 각 측
유 체 명	열풍로 배가스	연소용 공기
유 량	460,000 (Nm ³ /hr)	260,000(Nm ³ /hr)
입구온도	230(°C)	15(°C)
출구온도	147(°C)	180(°C)
유체상태	5(mg/Nm ³) SO ₂ :40(ppm)	
압력손실	60(mmAq)이하	60(mmAq)이하
교환열량	15.67×10 ² (W)	

표 7 열풍로 폐열회수 공기에열시스템의 장치 사양

장 치 사 양			
항 목		가열측	저온측
적용법규		제1종 압력용기	
설계온도(압력)		240 °C (33 kg/cm ² G)	
사용매체		물	
전열관	재 질	STB 35S	STB 35S
	본 수	282본	936본
	외 경	50.8φ×2.3t	38.1φ×2.3t

되도록 공기 바이패스를 조작하여 관리하도록 하였다.

관군은 배가스 공기의 흐름을 직각으로 그림 15(b)와 같이 1블록마다 독립된 히트파이프관을 구성시켜 이것을 6블록이 되도록 배열하고 보수를 위하여 떼어내기가 쉬운 구조로 되어 있다.

5. 맺음말

히트파이프에 관련된 사항중 국내에서 가장 시급한 것은 기초기술의 개발과 이용도의 개발을 병행하여 수행해야만 할 것이다.

설계와 제작에 관련된 기술의 구축을 위해

서는 구조물의 기하학적 변화에 따른 성능에 측은 물론 외부의 형상이나 작동조건의 변화에 따른 성능과 제반 효과를 예측할 수 있어야 하고, 진공 및 작동유체의 충전기술, 내벽의 가공기술, 워 등 모세관구조물의 제작 및 부착기술 등은 제작비와 직결된 문제이므로 실용화를 위해서 많은 노력과 투자가 필요하다. 장래의 보급과 제품의 호환성 등을 고려한다면 히트파이프에 대해서도 조만간 기술적 표준화 작업이 수행되어야 할 것이다. 또한 많은 사례에서 볼 수 있듯이 히트파이프가 단독으로 어떤 역할을 수행하기보다는 다른 요소 또는 기기들과 결합되거나 조화되어 사용되는 경우가 대부분이므로 타 부품과의 연결 혹은 구성상의 문제를 해결할 수 있는 기술도 필요하다.

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

참고문헌

- (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, pp. 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 Theory and Practice*, A Source Book, Hemisphere Pub. Corp.
- (6) Negichi, K. N. et al. (eds), 1985, *Practical Heat Pipes*, Japan Heat Pipe Association, Tokyo, Japan (in Japanese).
- (7) Tien, C. L., ed., 1973, "Heat Pipes," *AIAA Selected Reprint Series*, Vol. 16.
- (8) Vasiliev, L. L. and Koney, S. V., 1974, *Heat Pipes*, Scripta Technica, Washington.
- (9) Ivanovskii, M. N., Sorokin, V. P. and Yangodkin, I. V., 1982, *The Physical Principles of Heat Pipes*, Clarendon Press, Oxford.
- (10) General Electric, 1986, "Heat Pipes," *Handbook of Heat Transfer Data Book*, 507. 5.
- (11) Tien, C. L., 1986, "Heat Pipes," *Handbook of Heat Transfer Data Book*, 507. 5.
- (12) Shah, R. K. and Giovannellu, A. D., 1988, *Heat Transfer Equipment Design*, Hemisphere Pub. Co., pp. 609~653.
- (13) *Proc. 3rd International Heat Pipe Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Palo Alto, USA, 1978.
- (14) Oshima, K. (ed), 1984, "Research and Development of Heat Pipe Technology, Parts I and II," *Proc. 5th Int. Heat Pipe Conf., May 14~18*, Tsukuba, Japan, Japan Technology Economics Center Inc.
- (15) *Proc. 6th Int. Heat Pipe Conf.*, Grenoble, France, May 25~29, 1987.
- (16) *Proc. 7th Int. Heat Pipe Conf.*, Minsk, USSR, May 21~25, Preprints 1st, 2nd and 3rd Sessions, 1990.
- (17) *8th International Heat Pipe Conference*, Beijing, China, September 14~18, Preprints, 1992. ■