

히트파이프의 설계 및 응용

Design and applications of the heat pipe

이 영 수
Y. S. Lee

한국에너지기술연구소 폐열이용연구팀



- 1954년생
- 히트파이프, 열펌프, 스테어링기 관 등에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

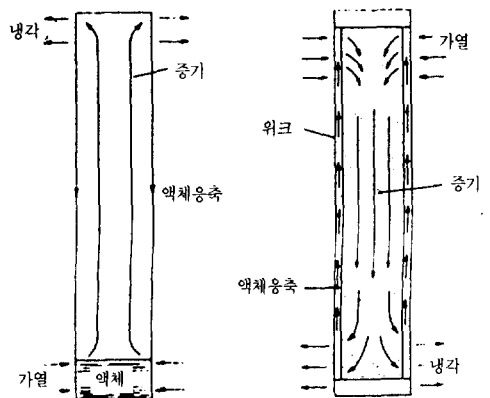
히트파이프의 매력은 열응답성이 우수하고, 구조가 간단하며, 전열성이 뛰어난 장점으로 인하여 미국, 유럽, 일본 등 선진 각국뿐만 아니라 중국, 독립국가연합 및 동구권에서 현재도 활발하게 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그 응용분야는 에너지 회수를 위한 각종 열교환기 관련산업은 물론 각종 첨단 전자장비, 컴퓨터, 항공기 및 인공위성 등 그 응용분야가 매우 광범위하여 이 분야에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

그러나 국내에서는 히트파이프와 관련된 학술적인 연구결과가 발표되고 있을 뿐, 체계적이며 지속적인 연구가 부족하며 또한 산업계에서도 관련제품의 대부분을 수입에 의존하고 있고, 일부 제품이 나오고 있으나 축적기술결여로 그 성능에 있어서 보증이 어려운 실정이므로 차후 산학연의 연구개발 및 상품화에 대한 노력이 절실히 필요하다.

2. 히트파이프의 작동원리

히트파이프의 작동원리는 그림 1에서와 같이 적당량의 작동유체를 진공용기내에 봉입하여 용

기를 가열하면 작동유체가 증발하게 된다. 따라서 용기내의 압력은 가열부가 응축부에 비하여 높고 이 결과 증기상태로 기화된 작동유체는 응축부로 이동하게 된다. 이동한 작동유체는 용기의 주변으로 열을 방출하면서 응축되어 액체상태로 된다. 이때 응축된 액체상태의 작동유체는 중력에 의하여 증발부로 환류하게 된다. 그러나 이때 환원력으로 중력만을 사용한다면 가열부는 반



(a) 써모사이폰 (b) 히트 파이프

그림 1 히트파이프와 써모사이폰

드시 하부에, 방열부는 반드시 상부에 존재하여야 하나 환원력으로 증격이외의 표면장력, 원심력 등을 사용하는 경우에는 가열부가 반드시 하부에 존재할 필요는 없다. 이와같이 히트파이프의 작동원리는 작동유체가 증발하여 가열부의 열을 응축부로 이동하고 방출한 후, 응축되어 증발부로 순환하면서 열을 지속적으로 수송하게 된다. 특히 작동유체의 증발과정에서 잠열이 크고, 증기의 유동저항이 작음으로 인해 대량의 열이 적은 온도차에도 불구하고 가열부에서 응축부로 이동된다. 또한 워이없이 증력에 의해 작동유체가 증발부로 환류하는 히트파이프를 편이상 써모사이폰이라 부른다.

3. 히트파이프의 특징

히트파이프에 의한 열전달은 고체열전도에서는 나타나지 않는 몇가지 특징이 있다.

- (1) 열전도가 매우 크다. 잠열에 의해 열을 수송하기 때문에 금속류에 비해 월등하게 많은 열량을 히트파이프의 축방향으로 수송할 수 있다.
- (2) 표면의 온도분포가 균일하다. 포화증기의 압력은 온도에 좌우되기 때문에 국부적으로 온도가 하강한 부분에 보다 많은 증기가 응축되어 온도를 일정하게 유지하게 된다.
- (3) 열의 응답성이 좋다. 히트파이프가 작동하기 시작할 때 증발하는 증기의 속도가 음속에 가까운 속도로 이동하기 때문에 히트파이프의 축방향으로 열전달 속도가 일반 금속에 비하여 매우 빠르다.
- (4) 가열부와 응축부를 분리시킬수 있다. 비교적 적은 온도차에서도 대량의 열을 먼 거리까지 수송할 수 있기 때문에 주위로 열을 방출하기 곤란한 경우 히트파이프를 이용하여 열을 먼거리까지 수송하여 열을 방출할 수 있다.
- (5) 구조가 간단하고 경량이다.
- (6) 유지 및 보수에 비용이 거의 들지 않는다.
- (7) variable conductance 히트파이프의 경우

열유속을 제어할 수 있다.

(8) 무중력하에서도 작동이 가능하다.

(9) 써모사이폰의 경우는 한쪽방향으로만 열을 이동시킬 수 있다.

4. 구성 및 제작방법

히트파이프를 구성하는 주요 요소는 밀폐용기, 워, 작동유체의 세요소로 구성되어 있고, 사용목적 및 작동온도에 알맞는 히트파이프를 제작하기 위해서는 물질성에 다른 재질 및 특성의 조합이 신중을 기해야 한다. 이들 서로간의 적합성(compatibility)문제는 가장 중요한 것으로 히트파이프의 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 표 1은 작동유체 및 용기재료의 적합성을 나타낸 것이다.

또한 히트파이프가 우수한 성능, 신뢰성 및 내구성을 갖기 위해서는

- (1) 밀폐용기 및 워재료와 작동유체의 적합성이 좋아야 하고,

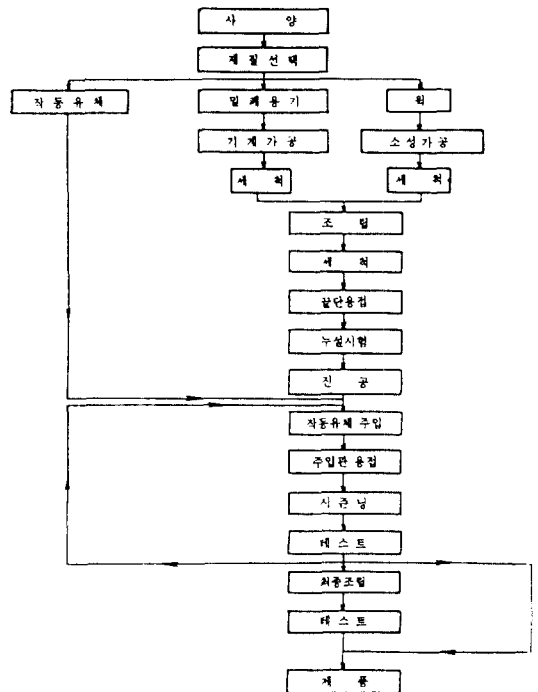


그림 2 히트파이프의 제조공정

표 1 작동유체 및 용기재료의 적합성

	Aluminum	Stainless steel	Cold rolled steel	Iron	Copper	Brass	Silica	Nickel	Inconel	Tungsten	Tantalum	Molybdenum	Rhenium	Titanium	Niobium
Water	I	C*			C		C	C	I					C	
Ammonia	C	C	C	C				C							
Methanol	I	C		C	C	C	C	C							
Acetone	C	C			C	C	C								
Freon-11	C														
Freon-21	C			C											
Freon-113	C														
C ₆ F ₆					C		C								
n-Butane	C														
n-Pentane	C	C													
n-Heptane	C														
Benzene	C														
Toluene	I														
Dowtherm A		C			C		C								
Dowtherm E	I	C*	I		C	I									
DC 200	C	C			C			C							
DC 209					C										
Perchloroethylene					C		C								
Dimethyl Sulfide					C		C								
Monsanto CP-9					C		C								
Monsanto CP-32(pyridene)	I				C										
Monsanto CP-34	I														
Lithium		I						I	I	C	C	C		I	C
Sodium		C						C	C					I	C
Potassium								C						I	
Cesium														C	C
Mercury		C#						I	I		I	I		I	I
Lead		I						I	I	C	C		I	I	
Indium		I						I	I	I	I	I			I
Silver										C	C		I		

C = Compatible

I = Incompatible

* Sensitive to Cleaning

I with Austenitic SS

표 2 온도범위에 따른 작동유체 선택

Medium	Melting point (°C)	Boiling point at atmos. press. (°C)	Useful range (°C)
Helium	-271	-261	-271 ~ -269
Nitrogen	-210	-196	-203 ~ -160
Ammonia	-78	-33	-60 ~ 100
Pentane	-130	28	-20 ~ 120
Acetone	-95	57	0 ~ 120
Methanol	-98	64	10 ~ 130
Flutec PP2*	-50	76	10 ~ 160
Ethanol	-112	78	0 ~ 130
Heptane	-90	98	0 ~ 150
Water	0	100	30 ~ 200
Toluene	-95	110	50 ~ 200
Flutec PP9*	-70	160	0 ~ 225
Thermex**	12	257	150 ~ 350
Mercury	-39	361	250 ~ 650
Cesium	29	670	450 ~ 900
Potassium	62	774	500 ~ 1000
Sodium	98	892	600 ~ 1200
Lithium	179	1340	1000 ~ 1800
Silver	960	2212	1800 ~ 2300

* Included for cases where electrical insulation is a requirement.

** Also known as Dowtherm A, an eutectic mixture of diphenyl ether and diphenyl.

- (2) 밀폐용기 및 워이 높은 청정도를 유지하여야 하며,
- (3) 적당량의 작동유체가 히트파이프내에 주입되어야 하며,
- (4) 진공누설이 없어야 한다.

보통 히트파이프의 작동범위는 작동유체의 빙점과 비등온도에 따라서 극저온(crogenic), 저온(moderate), 고온(liquid metal)으로 구분한다. 산업적 측면에서 볼때 위 세가지 히트파이프 가운데 저온용 히트파이프의 응용성이 가장 높고 따라서 연구도 저온 히트파이프에 대해서 가장 많이 수행되어 왔다. 표 2는 작동유체와 그 선택 온도범위를 나타낸 것이고, 그림 2는 히트파이프의 제작공정을 나타낸 것이다.

통상 작동유체의 주입량은 워이 있는 히트파이프에서는 워이 충분히 젖는 정도면 되고, 써모사이폰의 경우 가열부와 나머지 부분의 길이에 따라 복잡한 관계를 가지나 일반적으로 가열부 체적의 25~35%가 적당하며, 정확한 주입량의 산출은 실험을 통하여야만 알 수 있다.

5. 히트파이프의 작동한계

히트파이프의 작동은 작동유체와 증기의 질량 balance에 의해 이루어지기 때문에 이것에 대한 여러가지의 제한이 열수송의 한계를 만든다. 증기의 유동과 워내의 액체의 유동에 관한 것으로 나눌 수 있는데 그림 3는 히트파이프에서의 열

수송한계를 나타낸 것이며, 히트파이프의 작동은 작동유체나 워의 형태, 히트파이프의 종류에 따라 달라질 수 있다.

5.1 점성한계(viscous limit)

증기의 온도가 낮은 경우 점성력이 증기의 흐름에 지배적인 인자가 된다.

5.2 음속한계(sonic limit)

converging-diverging노즐에서 일어나는 choking현상과 마찬가지로 특히 고온의 액체급속을 작동유체로 사용하는 히트파이프에서 작동할 때 일어나는 현상으로 작동유체가 증발됨에 따라 증기속도가 가속되고 증발부의 끝부분에서 음속에 도달하면 이 이상 작동유체가 증발할 수 없는 한계에 도달하며 이를 음속한계라 한다.

5.3 비산한계(entrainment limit)

히트파이프의 온도가 상승하고 증기의 속도가 증가하면 증기와 액체의 경계면에서 증기에 의해 액체면의 전단력이 워중의 작동유체를 지지하고 있는 표면장력보다 크게 되어 액체면이 찢어지게 되며 응축된 액체가 응축부로 다시 귀환하지 못하므로 증발부가 dry out되는 현상을 비산한계라 한다.

5.4 모세관한계(capillary limit)

증발부와 응축부에서 작동유체의 증발과 응축이 일어나며 그 결과 증기부와 액체부사이의 압

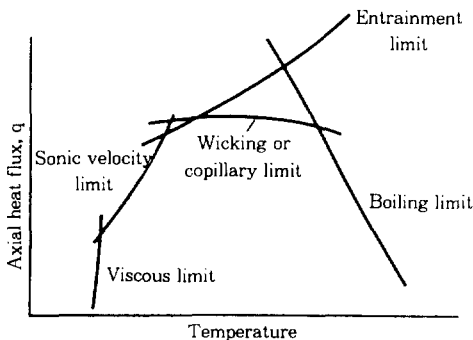


그림 3 히트파이프에서의 열수송 한계

력차로 인해 모세관 압력강하가 발생되어 응축된 액체가 증발부로 되돌아 오게 된다. 그러나 외부의 요인에 의해 응축부에서 증발부로 충분하고 계속적인 액체의 공급이 이루어지지 않을 때 증발부 워내의 액체는 점점 감소하여 증발부에서 작동유체가 말라버리는 현상(dry out)을 모세관 한계라 한다.

5.5 비등한계(boiling limit)

모세관 한계보다 히트파이프에 열이 더욱 부가하게 되면 증발부 워내부에 핵비등이 일어나게 되고 발생하는 기포에 의해 모세관 현상이 저해 되게 되어 히트파이프의 열수송 능력이 한계에 이르며 이를 비등한계라 한다.

6. 히트파이프에서의 열저항

히트파이프를 이용하여 열교환을 하고자 할 때 히트파이프에 의한 열저항과 온도강하를 고려하여야 한다. 히트파이프에서의 온도강하는 열저항으로 나타낼 수 있고 그 등가회로를 그림 4에 나타내었다. 온도차 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$, 전체저항 $R(^{\circ}\text{C h/kcal})$ 및 단위시간당 이동열량 $Q(\text{kcal/h})$ 과의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta T = R * Q = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9) * Q = (R_1 + R_p + R_9) * Q \quad (1)$$

여기서 R_p 는 히트파이프 자체의 등가열저항이다. 또한 히트파이프에서의 열출입은 열원과 heat sink에서의 전도, 대류 및 복사 등에 의해서 이루어진다. 따라서 R_1 과 R_9 는 이것을 나타내는 일반적인 방법으로 구해지며, R_2 와 R_8 은 히트파이프벽의 반경방향의 열저항이다. 따라서 일반적인 관의 열전도식에 의해 구할 수 있고, R_3 , R_7 은 워의 열저항으로서 작동유체가 충분한 워내의 열전도의 벽면과 액체간의 온도차를 고려한 것이다. 그러나 실제로 비등이 일어나고 있을 때의 R_3 를 산출하기는 매우 어려운 문제이다. R_7 은 응축부의 내부저항으로서 주로 작동액이 충분한 워의 열저항을 나타내나 상당히 큰 열저항이 존재할 때에는 수정이 필요하다. R_4 와 R_6 는

증기와 액체표면 사이의 열저항인데 다른 저항에 비해서 통상 무시할 수 있을 정도로 작은 값을 갖는다. 기체-액체 경계면을 통해서 출입하는 열량은

$$q=L^2P/(2 \times 3.14 \times RT)^{1/2} \times 1/RT^2 \times \Delta T \quad (2)$$

로 구할 수 있다. 여기서 L은 잠열을 나타낸다.

R₅는 증기공간 양단의 온도차 ΔT₅에 대응하는 열저항이다. ΔT₅는 Clapayron의 식에 의해서 증기압력강하 ΔP_v의 함수이고

$$dP/dT=L/TV \quad (3)$$

이며, 여기에 이상기체 상태방정식을 이용하여

$$dP/dT=LP/RT^2 \quad (4)$$

이 된다. 이로부터 ΔT₅를 구하면

$$\Delta T_5=(RT^2/LP) \times \Delta P_v \quad (5)$$

가 된다. ΔP_v는 증기류 양단의 압력강하이다.

실제로 증기류 양단의 압력강하는 적으므로 R₅ 저항은 통상 무시할 만하다. 한편 히트파이프 주변의 열저항의 크기를 비교하기 위하여 히트파이프 단위면적당 열저항을 비교하면 표 3과 같다.

표 3에서 열저항의 크기를 비교하면 히트파이프 내부의 열전달은 증발과 응축과정에 의한 것으로서, 앞서의 열저항 계산에서 증발 및 응축과정의 열저항 R₄, R₅, R₆은 그외의 열저항보다 매우 작음을 알 수 있다. 따라서 히트파이프가 일

반급속에 비하여 열전달 능력이 뛰어난 것은 축방향 열저항인 R₁, R₂, R₃가 매우 적기 때문이다. 그러나 실제로 히트파이프를 이용하여 열전달을 수행할 때 지배적인 열저항은 히트파이프의 외부 열저항인 R₁과 R₉이므로 다른 열교환기에 비해 R₁과 R₉를 줄일 수 있는 곳에 적용되어야 효과가 있으리라 사료된다.

7. 히트파이프의 열교환기의 구조

히트파이프 열교환기는 환이 있는 히트파이프를 다수 배열하여 분리판에 의해 급배기를 분할한 열교환기로서, 그 구조를 그림 5에 나타내었다. 원형환과 판형환이 일반적으로 사용되고 있으며 표 4, 5에 나타낸 것과 같은 관직경, 환직경, 환피치, 재질이 주로 사용되고 있다.

판형환은 원형환에 비해서 전열면적이 커서 compact하게 되지만, 분진이 많은 경우에는 원형환보다 막히기 쉬워 분진제거가 어려운 단점이 있다. 또한 히트파이프의 열교환기는 증발부측을 응축부보다 아래에 설치한다. 일반적으로 경사각은 3도 이상이면 충분하고 그 이유는 히트파이프의 열전달량이 경사각이 0도에 가까게 될수록 급격히 감소되기 때문이다.

8. 히트파이프 열교환기의 특징

- ① 고온측에서 저온측으로 작동매체의 증기압

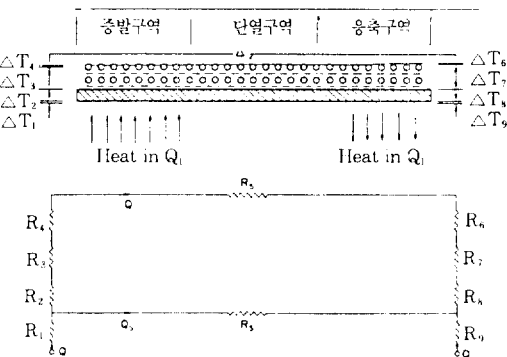


그림 4 히트파이프에서 온도강하와 등가열저항

표 3 히트파이프의 열전달 경로사이의 열저항 크기

열 저항	[°C/W]
R ₁	10 ³ ~10
R ₂	10 ⁻¹
R ₃	10
R ₄	10 ⁻⁵
R ₅	10 ⁻⁵
R ₆	10 ⁻⁵
R ₇	10
R ₈	10 ⁻¹
R ₉	10 ³ ~10

표 4 원형관을 사용한 열교환기

(단위 : mm)

관직경	원직경	원피치	재 질	비 고
φ14	φ24	P5	알루미늄	
φ19	φ32.2	P2.5, P5 P7, P8	스테인레스	
φ19	φ42		철	
φ25.4	φ44.6		스테인레스	
φ25.4	φ51.8		철	
φ28.3	φ50.8	P3, P5	알루미늄	
φ34	φ57	P10, P11	"	

표 5 판형관을 사용한 열교환기

(단위 : mm)

관직경	원피치	재 질	비 고
φ25.4	P10, P14	알루미늄	
φ31.8	P16		
φ25.4	P10, P14	철, 동	
		스테인레스	

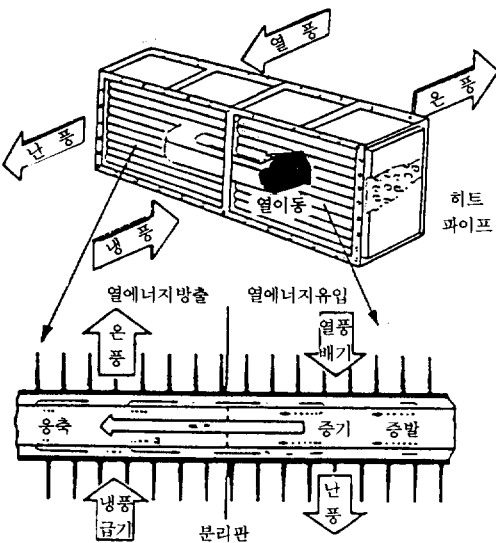


그림 5 히트파이프 열교환기의 구조

차로 이동하므로 별도의 동력원이 필요없다.

② 배기가스와 공급공기 사이에 칸막이가 존재하므로 배기가스가 공급공기와 직접 닿

지않아 오염의 염려가 없다.

- ③ 대향류 열교환기 형태로 사용할 수 있어 효율이 높다.
- ④ 열교환면적에 비해 전열능력이 우수해 배기가스와의 접촉면적을 줄일 수 있으며, 따라서 압력손실을 줄일 수 있다.
- ⑤ 중앙부에 히트파이프의 중앙을 고정하는 구조로 설치하므로 열팽창을 고려한 설계한 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.

9. 히트파이프 열교환기의 용도

히트파이프 열교환기의 종류와 용도를 표 6에,

표 6 히트파이프 열교환기의 종류와 용도

전열방식	종 류	용 도	특 징
대류전열	가스-가스 열교환기	<ul style="list-style-type: none"> • 공조용 환기열손실 회수용 • 보일러 배열이용 급기에열 백열방지용 • 탈취장치 배열 회수용 • 건조기 배열이용 급기에열 용제 회수용 • 석유화학플랜트 배출가스 배열회수용 • 기타 	고성능 compact 산노점회피, 안정성, 청결
	가스-물 열교환기	<ul style="list-style-type: none"> • 보일러용 에코노마이저 • 태양열 온수기, 태양 집열기 	안전성, 산로점회피 내동결성, 비등방지
전도, 대류전열	단일본 히트파이프	<ul style="list-style-type: none"> • 오디오 트랜지스터 방열소자 • 기계장치의 제어기의 방열소자 • 전자제품의 방열용 • 모터냉각소자 	균일한열, 고성능 compact 박형, 경량
	길고 단일본의 히트파이프	<ul style="list-style-type: none"> • 용설용(도로, 주차장) 	고성능 균일온도, 원거리열이용

가스-가스 열교환기의 주 사용처를 표 7에 나타내었다.

9.1 공조용 환기열회수

적용분야를 표 8에 나타내었으며 급·배기의 혼합이 적기 때문에 악취가 있고, 균 등의 혼합이 문제로 되는 경우, 특히 한냉지에서 환위에 결빙이 문제로 되는 경우에 유용하다. 그림 6은 한냉지의 일반건물공조에 환기용 공기에 의해 외기를 예열하여 공기취급유니트의 온수가열용 보일러의 연료절감을 나타내고 있다.

9.2 보일러 배열회수

적용분야를 표 9에 나타내었으며 배가스가 산노점 이하로 되면 히트파이프 재질의 내식성이 문제로 되기 때문에 통상 산노점 이상에서 열회수가 이루어진다. 그림 7은 보일러 배가스중의 배열을 회수하여 연소용 공기를 예열하는것으로 연료를 절약할 수 있다.

9.3 공업로 배열회수

적용분야를 표 10에 나타내었으며, 그림 8은 장치의 배가스중 배열을 회수하여 건조용 공기를 예열하는 것으로 연료를 절약하고 있다.

표 7 히트파이프 가스-가스 열교환기의 사용처

용 도	수 요 내 역
공 조 용	35%~36%
건 조 용	29%~30%
보 일 러 용	21%~10%
공 업 로 용	9%~ 8%
기 타	6%~ 7%

9.4 건조용 배열회수

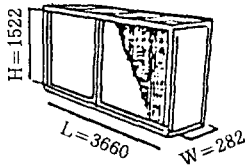
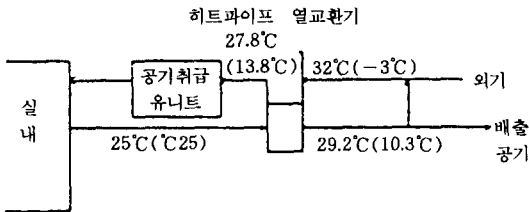
적용분야를 표 11에 나타내었으며, 그림 9는 건조기 배가스중의 배열을 회수하여 건조용 공기를 예열하는 것으로 증기사용량의 절감을 도모하고 있다. 그림 10은 건조기 배기가스중의 용제 회수를 하므로써, 냉각기 부하의 경감과 증기 가열기에서 증기사용량의 절감을 도모하고 있다.

10. 최근의 기술동향

히트파이프의 연구 및 응용에 관한 최근의 동향에 관해서는 환경과피의 방지, 주거환경의 개선, 대체에너지에의 적용, 자원절약(기기효율의 향상)등의 관점에서 개발이 되고 있다.

표 8 공조용 환기열손실회수 용도

용도	사용온도 범위	적용분야
일반공조	-20℃ 내지 40℃	빌딩공조, 주방공조(식당), 공장공조, 풀장공조
급배기의 혼합이 없는 공조		병원공조, 동물사육공조, clean room공조
농업용공조		온실공조
팬일체형공조		가정용 공조환기 및 소규모 공조

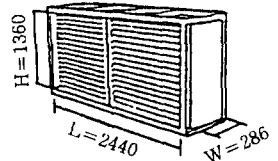
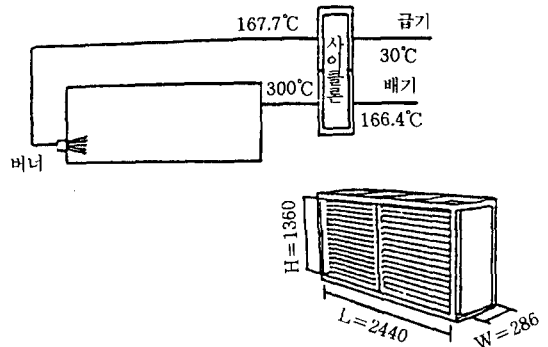


외형크기	H1622×L3760×W406
히트파이프	알루미늄튜브 판형핀

■ 성능사양

	급기측	배기측	
풍량	286	286	m³N/min
입구온도	32(-3)	25(25)	℃
출구온도	27.8(13.8)	29.2(10.3)	℃
온도효율	60	60	%
회수열량	26(104)		KW

그림 6 공조용 환기 열회수용



외형크기	H1460×L2540×W406
히트파이프	철파이프-A1원형핀튜브형 동파이프-A1원형핀튜브형

■ 성능사양

	급기측	배기측	
풍량	130	130	m³N/min
입구온도	30	300	℃
출구온도	167.7	166.4	℃
온도효율	51	49.5	%
회수열량	387.2		KW

그림 7 보일러용 배열회수(공기에열)

표 9 보일러배열 회수용도

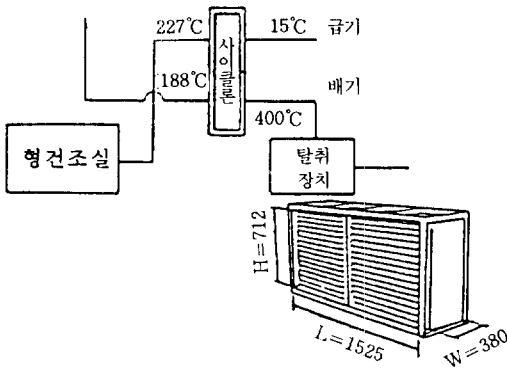
용도	사용온도 범위	적용분야
일반보일러	상온	1ton~50ton 보일러의 연소공기에열
에코너마이저	내지	1ton~50ton 보일러의 급수에열
대형보일러	630℃	발전용, cogeneration

표 10 공업로용 배열회수용도

용도	사용온도 범위	적용분야
석유정제, 석유화학 플랜트	상온 ~ 430°C	납사분해로, 에탄분해로, 에틸렌분해로, BTX분해로, 다우삼가열로, 가솔린정제, 상압증류장치
공업료		금속열처리로, 요업소성로, 주물사재생로
탈취장치		촉매탈취로

표 11 건조용 배열회수 용도

용도	사용온도 범위	적용분야
tape건조 및 용제회수	-10°C ~ 250°C	자기테이프건조로, 사진필름건조로, 일반수지필름제조공정, 점착테이프제조공정, 라미네트제조공정
일반건조		인쇄공정, 도장공정, 목재합판제조공정, 합성피혁제조공정
분진제거 일체형		분체건조공정
오물처리용		인조비료 제조공정

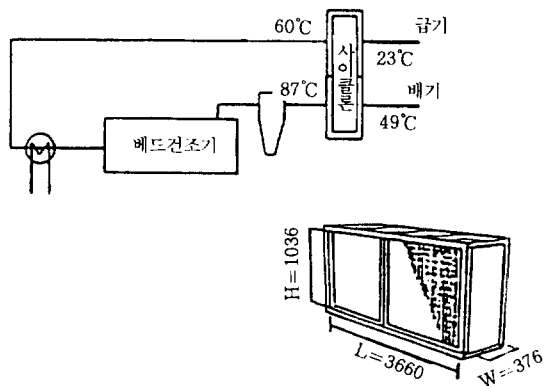


외형크기	H812×L1625×W500
히트파이프	철원형환튜브 동원형환튜브형

■ 성능사양

	급기측	배기측	
풍량	60	60	m ³ N/min
입구온도	15	400	°C
출구온도	227	188	°C
온도효율	55	55	%
회수열량	275.6		KW

그림 8 공업로용 배열회수(건조용 공기)

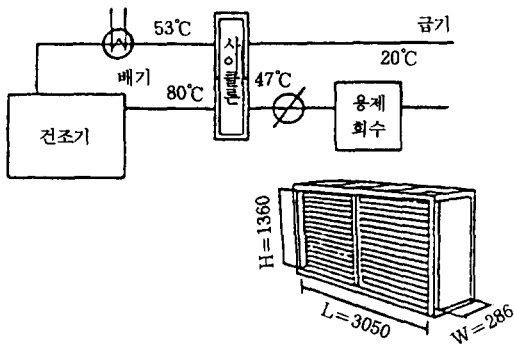


외형크기	H136×L3760×W500
히트파이프	알루미늄튜브, 판형환형

■ 성능사양

	급기측	배기측	
풍량	340	340	m ³ N/min
입구온도	23	87	°C
출구온도	60	49	°C
온도효율	59	59	%
회수열량	272		KW

그림 9 건조기 배열회수(1)



외형크기	H1460×L3150×W406
히트파이프	알루미늄원형핀튜브형

■ 성능사항

	급기측	배기측	
풍 량	330	330	m ³ N/min
입구온도	20	80	°C
출구온도	53	47	°C
온도효율	55	55	%
회수열량	236		KW

그림 10 건조기 배열회수(2)

표 12 대체작동액

종래의 작동유체	대체작동유체
R11	R123 또는 포화탄화수소
R12	R134a
R113	포화탄화수소 또는 물
R114	포화탄화수소
R115	포화탄화수소

10.1 환경파괴의 방지

오존층 파괴로 문제가 되고 있는 프레온(CFC)에 대신하여 작동유체의 검토가 이루어지고 있으며 표 12에 대체 작동유체를 나타내었다.

10.2 주거환경의 개선

주택은 고밀화의 방향으로 진행되면서, 주택내

부의 결로방지가 중요해진다. 특히 한냉지에서는 외기가 저온이므로 열교환기가 결빙하여 기계적 강도가 문제로 되는 것과 함께 판형열교환기에서는 직교류로 되기 때문에 결빙의 영향이 많은 것 등으로 히트파이프 열교환기가 사용되기 시작하고 있다.

10.3 대체 에너지에의 적용

기기효율의 향상과 분진제거를 동시에 도모하기 위해 유동입자를 순환시키는 방식이 검토되고 있다. 또 석탄보일러에 적용하기 위해 산노점 대책용 재료, 히트파이프의 수평작동화, 고성능화의 검토도 행해지고 있다. 또 지열이용을 위한 길이가 긴 히트파이프와 내식성 재료의 검토도 행해지고 있다.

10.4 자원절약(기기효율의 향상)

기계가공을 위한 기계가공센터 등을 제어하는 반도체소자의 냉각에 종래하는 압출형태가 사용되었지만, 히트파이프를 사용하는 것이 제어반 전체의 두께와 히트싱크의 중량이 약 반으로 되고 성능도 향상되어 시판되기 시작하고 있다. 또한 판형핀식 히트파이프 열교환기의 성능향상도 진행되고있고, 히트파이프내면 그루우브현상의 개선으로 종래에 비해 약 60%이상의 성능이 향상된 제품도 개발되고 있다.

11. 맺 음 말

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 써모사이폰의 산업에의 응용은 커다란 효과를 가져올 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Lee, Y.S., Lee, Y.P. and Lee, Y., 1996,

- “The Effects of Surface Tension and Wire Diameter on the Rise Velocity of a Bubble in a Miniature Two-Phase Closed Thermosyphon”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 16, Nos 8/9, pp. 655~668.
2. Lee, Y.S., Lee, K.W. and Jang, Y.S., 1996, “Heat Transfer Effect on the Electric Motor with Rotating Heat Pipe”, *Int. Ondol Conference*, pp. 145~151.
 3. 이영수의 2인, 1996, “증발부 양단에 테이퍼 용축기를 가진 회전형 히트파이프의 전열해석”, *공기조화 냉동공학 논문집*, Vol. 8, No. 1, pp. 13~25.
 4. 이영수, 이기우, 1995, “히트파이프 열교환기”, *대한기계학회지*, Vol. 35, No. 9, pp. 805~815.
 5. Lee, Y.S., Lee, Y.P. and Lee, Y., 1994, “The Behaviour of a Bubble in a Micro Two-Phase Closed Thermosyphon with a Thin Wire Insert”, *4th Int. Heat Pipe Symposium*, pp. 67~76, May 16~18, Tsukubar, Japan.
 6. 이영수, 1992, “히트파이프를 이용한 공조용 열교환기”, *공기조화 냉동공학*, Vol. 21, No. 5, pp. 423~438.
 7. Lee, Y. and Mital, U., 1972, “A Two-Phase Closed Thermosyphon”, *Int. Jour. Heat and Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 1695~1707.
 8. Dunn, P. and Reay, D.A., 1982, “Heat Pipes”, 3rd Ed., Pergamon Press.
 9. Chi, S.W., 1976, “Heat Theory and Practice”, A Source Book, Hemisphere Pub. Corp.
 10. Negichi, K.N. et al. (eds), 1985, “Practical Heat Pipes”, Japan Heat Pipe Association, Tokyo, Japan (in Japanese).
 11. Tien, C.L., 1986, “Heat Pipes”, *Handbook of Heat Transfer Data Book*, 507.5.
 12. Proc. 6th Int. 1987, Heat Pipe Conf., Grenoble, France, May 25~29.
 13. Proc. 7th Int. 1990, Heat Pipe Conf., Minsk, USSR, May 21~25, Preprints 1st, 2nd and 3rd Sessions.
 14. 8th Int. 1992, Heat Pipe Conference, Beijing, China, September 14~18, Preprints.