

회전형 히트파이프 열교환기의 기술현황 분석

기술의 개요 및 특징

회전용 히트파이프는 Gray가 1969년에 제안한 것으로 모터의 회전축 냉각과 회전형 히트파이프 열교환기에 사용이 가능한 것으로 모터냉각으로는 원심력작용에 의해 작동유체가 귀환하는 테이퍼 회전형 히트파이프는 이론과 실험 등에 의해 많은 연구가 진행되었다. 최근에는 조립이 간단한 회전식 히트파이프를 열교환기에 응용하는 연구 및 개발이 이루어지고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 적어 설계를 위한 자료도출이 요구되고 있는 실정이다.

히트파이프이용 회전형 열교환기는 여러개의 히트파이프요소를 회전시킬 수 있는 원통형으로 구성하여 중간부분을 분리하고 한쪽에는 고온배가스, 다른 한쪽에는 공기 또는 물을 통과시켜 온풍과 증기를 만드는 폐열회수용 열교환기이다. 히트파이프요소가 회전하므로 열전달계수가 높아 열회수율이 높고, 분진이 부착되지 않아 오염폐가스에 대해서도 안정적으로 연속적인 가동이 가능하며, 또한 히트파이프요소는 밀폐된 용기에 작동유체를 주입하여 증발잠열에 의해 열을 전달하고, 중간부분을 완전분리하여 제작하므로 고온폐가스와 저온공기 또는 물과의 교환이 없고, 누설의 염

려가 없으며, 기존 축열매체이용 회전형열교환기는 열손실이 10%정도 발생하고 양유체의 혼합염려가 있어 독성의 폐가스로부터 열회수는 불가능하지만 히트파이프이용 회전형에서는 이러한 염려가 없다.

회전형 히트파이프 열교환기는 회전축을 중심으로 평행 또는 경사각으로 설치된 상태에서 회전하며, 회전하는 히트파이프의 증발부와 응축부로 양유체가 유입되어 열교환을 하는 것으로 다음과 같은 특징을 갖고 있다. 첫째로는 오염물질이 함유되어 있는 기체의 폐열을 회수하는데 적합하다는 것으로, 열교환기가 회전하므로서 전열관의 표면에 부착하는 먼지 및 기타 오염물질을 쉽게 제거할 뿐만 아니라 회전할 때 발생하는 원심력의 작용에 의하여 먼지가 전열면에 쌓이는 것이 쉽지 않다. 둘째로는 회전작용으로 고온 및 저온기체에 대해 난류가 증가되기 때문에 대류에 의한 열전달계수값이 증가되고, 동시에 원심력의 작용으로 히트파이프내의 응축액의 귀환력을 크게 할 수 있어 열교환기의 구조를 작게 할 수 있다. 기체-기체 열교환기에서 파이프 표면의 상대속도 증가로 외부열전달계수를 향상시킬 수 있으며, 정치형히트파이프 열교환기와 비교하여 단위

전열면적당 120% 이상 열전달계수가 증가되어 총괄열전달계수가 $40\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{C}\cdot\text{hr}$ 이상으로 된다. 그리고 히트파이프관속의 회전작용으로 기체가 열교환기를 지날 때 일정한 송풍기의 효과를 얻을 수 있어 압력손실이 매우 작으며, 히트파이프의 회전속도를 변화시킴으로서 일정한 범위내에서 열교환기의 열전달량을 조절시킬 수 있어 부족한 양의 배가스 폐열이용에 적합하다는 여러가지의 장점을 갖고 있다.

이러한 회전형 열교환기는 오염폐가스가 발생되는 소각로, 유리용해로 등의 각종 공업로에서 배출되는 가스온도가 $250\sim 350\text{C}$ 인 폐열의 회수용으로 적합하며, 이 온도범위의 폐열은 아직도 높은 온도이므로 경제성은 높으나 폐가스중의 분진이 전열면에 부착하여 성능을 현저히 떨어뜨리고, 이에 대한 대책으로 증기식의 soot blow를 사용하지만 제거되지 않고 고착된 분진계거에 많은 노력과 운전관리상 큰 문제로 대두되고 있어 폐열 회수장치의 사용에 제한을 받아왔다.

회전형 히트파이프식 열교환기는 이러한 문제를 해결할 수 있는 열교환기로서 전열관으로 사용하는 히트파이프를 회전시켜 열전달계수값을 향상시키므로 폐열회수율을 증가시킬 뿐만 아니라 분진대책이 용이하여 오염폐가스에 대해서도 연속적으로 안정운전이 가능하게 된다. 더욱이 회수열의 형태도 공기뿐만 아니라 증기형태로도 회수가 가능하여 사용용도가 광범위하다는 것이다.

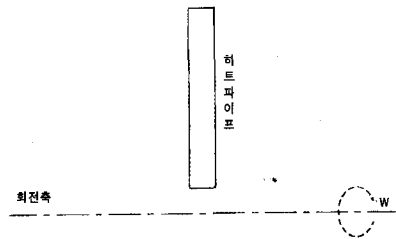
회전형 히트파이프의 분류

회전형 히트파이프를 산업용에 적용하기 위한 연구가 선진국에서는 오래전부터 시도되어 왔지만 국내에서는 모터냉각에 응용한 연구가 있을 뿐이다. 회전형 히트파이프는 1차원 모델로 정리

되어 있는 정지상태에서의 작동과 달리 회전운동에 의한 원심력에 의해 작동유체를 귀환시키므로 작동에 대한 특성해석이 복잡하게 된다. 일반적으로 회전상태에서 사용되는 경우, 회전축과 히트파이프의 부착위치와의 관계로부터 3가지의 형태로 분류되며, 이러한 3가지의 형태에 관하여 간략히 기술하면 다음과 같다.

가. 회전축과 히트파이프 중심축이 수직

이것은 [그림 1]에 나타난 바와 같이 회전축과 히트파이프의 중심축이 직교하는 것으로 히트파이프내의 작동액에 작용하는 원심력은 히트파이프의 축방향과 일치하므로 회전축에 가까운 쪽을 응축부로 하고, 다른 끝을 증발부로 하면 작동액의 귀환은 원심력에 의해 도움을 받는다.



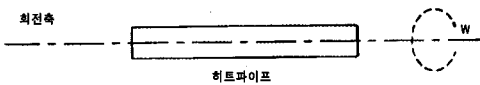
(그림 1) 회전축과 히트파이프 중심축 수직

그러나 그와 역의 경우에는 워의 모세관력을 이용하는 것으로 하여도 작동액에 걸리는 원심력은 마이너스방향으로 작동하므로 안정하게 작동할 수 있는 조건은 매우 한정된 범위에서 가능하다. 응용예로는 축회전하는 인공위성에 이용실적이 있으며, 이것은 궤도에 수직인 회전축을 중심으로 하여 맴돌고 있는 인공위성의 측면에 있는 태양열집열판에서 포착한 열을 회전축에 직교하는 축을 갖는 히트파이프내부에 있는 장치에 전하여

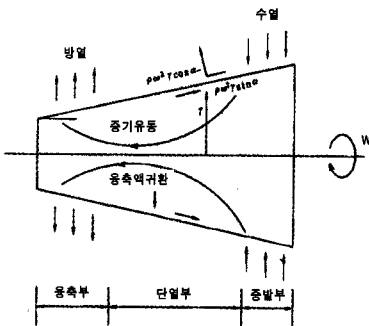
열전소자에의 열공급으로 사용된다. 따라서 이 경우는 회전축으로부터 먼 위치에 있는 끝이 증발부, 회전축에 가까운 쪽이 응축부로 되므로 원심력은 작동액의 귀환을 도와 마치 지상에서 증력형 히트파이프를 작동시키는 것과 같이 된다.

나. 회전축과 히트파이프 중심축 동심

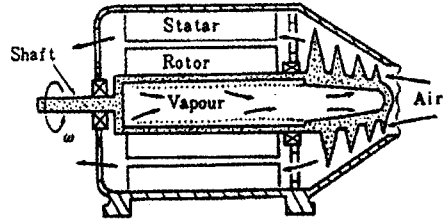
이것은 [그림 2]에 나타낸 바와 같이 회전축과 히트파이프의 중심축이 완전히 일치하는 회전장에서는 파이프내면에 테이퍼를 가공하여 회전에 의해 발생하는 원심력에 의해 작동액을 귀환시킬 수 있다. 즉, [그림 3]과 같이 축회전에 의해 원심력이 발생하고 테이퍼벽에 따른 분력이 작동액을 귀환시키는 힘으로 된다. 이러한 히트파이프의 응용은 다방면에 있어서 검토되고 있고 실용화되어 있는 것도 많으며, 특히 모터냉각을 비롯한 회전장의 축에 응용한 것이 있다. [그림 4]에 나타낸 것은 교류전동기에 응용한 것으로 모터표면에서



[그림 2] 회전축과 히트파이프 중심축 동일



[그림 3] 작동유체의 귀환력

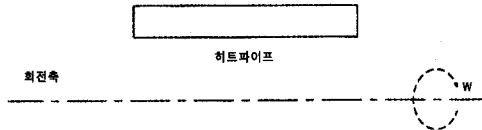


[그림 4] 동일중심축 회전형의 모터냉각 응용에

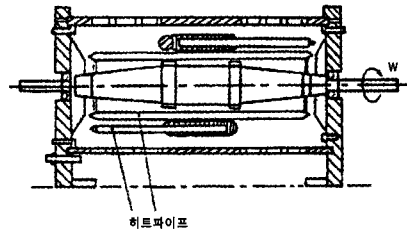
발생하는 열을 축으로 전달하여 히트파이프의 스크류핀에 전하여 방열하는 것이다.

다. 회전축과 히트파이프 중심축 평행

이러한 종류가 회전형 히트파이프식 열교환기에 사용되는 것으로 히트파이프 중심축이 회전축과 평행이지만 회전반경을 갖고 회전을 하는 것으로 [그림 5]로부터 알 수 있는 바와 같이 회전운동을 하고 있을 때에는 히트파이프 내부의 작동액에 미치는 원심력은 내주방향의 위치에 의해 내벽으로 향하는 방향에 있기도 하고, 또 역으로 있기도 하므로 내용은 매우 복잡하다. 이것은 2차



[그림 5] 회전축과 히트파이프 중심축 평행



[그림 6] 회전식 히트파이프의 응용에

원모델을 적용하여야 하며, 이러한 종류의 회전형 히트파이프의 작동특성에 대한 이론적인 접근방법은 매우 적고, 제한적인 연구가 검토되었을 뿐이다.

[그림 6]에 나타난 것은 회전식 히트파이프의 예이며, 히트파이프의 이용형태로서는 회전식 히트파이프 열교환기와 유사한 것으로 외주로부터 중심으로의 흐름과 중심으로부터 외주로의 흐름으로 대향류로 하고 있다.

기술의 중요성

산업체에 많이 활용되고 있는 보일러, 열풍로로부터의 배열은 가스형태이므로 전열면적이 커져 장치가 대형화하는 단점이 있으며, 또한 보일러 또는 열풍로로부터 배출되는 폐가스의 에너지는 20%에 이르고 있으며, 이러한 폐가스열을 회수이용하기 위한 장치들로는 에코노마이저, 공기예열기와 기존의 회전축열식 열교환기가 있으나, 기존 축열매체이용 회전형열교환기에서는 가스의 누설등으로 에너지손실이 10%에 상당하고 있다.

특히 기존의 폐열회수용 열교환기는 오염물질이 포함된 폐가스로부터 열을 회수하는 경우에 전열면에 분진의 부착으로 회수열량이 감소하고, 통풍저항의 증가로 인하여 계속적으로 안전운행을 실행하기가 어려우며 보수관리에 많은 인력을 필요로 하여 폐열회수용으로서의 실용화에 문제로 작용하고 있다.

히트파이프이용 회전형 열교환기는 히트파이프요소 여러개를 회전시킬 수 있는 원통형으로 구성하여 중간부분을 분리하고 한쪽에는 고온배가스, 다른 한쪽에는 공기 또는 물을 통과시켜 온풍과 증기를 만드는 폐열회수용 열교환기이며, 히트파이프요소가 회전하므로 열전달계수가 높아

열회수율이 높고, 분진이 부착되지 않아 오염폐가스에 대해서도 안정적으로 연속적인 가동이 가능하다.

또한 히트파이프요소는 밀폐된 용기에 작동유체를 주입하여 증발잠열에 의해 열을 전달하고, 중간부분을 완전분리하여 제작하므로 고온폐가스와 저온공기 또는 물과의 교환이 없고, 누설의 염려가 없어 폐열회수장치로서 개발의 필요성이 크다고 할 수 있다.

용도는 폐가스로부터 열풍 또는 증기의 발생에 이용가능하여 제철소, 요로, 보일러 등의 오염폐가스배출업체의 폐열회수장치로 활용, 공정용 폐가스로부터 연소용 공기예열, 공정용가스의 가열에 활용가능하고, 증기회수형은 폐열발전장소로부터 이용장소까지 증기형태로 이송이 가능하므로 난방용열원, 흡수식냉동기 및 열펌프의 열원, 저압증기터빈의 구동원으로 광범위하게 활용이 가능하다.

일본에서는 Moonlight과제로 이미 개발하여 실용화된 상태로 회수열의 형태도 공기에 의한 열풍회수형뿐만 아니라, 증기회수형으로도 회수가 가능하며 사용처가 광범위하고 파급효과도 높은 기술로 인정되고 있어 이의 개발에 대한 필요성은 크다고 사료된다.

당면애로기술

당면애로기술로는 다음과 같이 요약할 수 있다.

○ 회전형 히트파이프요소의 열전달해석에 대한 연구결과의 발표자료가 적어 기초실험자료의 확보

○ 다수의 히트파이프요소를 원통형으로 조립하고 원심력에 의한 작동유체의 귀환이 가능토록 하여야 하므로 설치각도에 따른 제작의 난점해결

○ 히트파이프요소를 원통형으로 배치하고 경사각을 유지하여야 하며 설계전산화시의 배치문제 해결

○ 증기회수형은 폐열발생장소로부터 이용장소까지 증기형태로 이송이 가능하므로 난방용열원, 흡수식냉동기 및 열펌프의 열원, 저압증기터빈의 구동원으로 광범위하게 활용이 가능하도록 회전장에서의 열전달 특성에 대한 이론해석과 설계전산프로그램 개발

국내외 기술현황

가. 국내의 경수

국내에서의 히트파이프기술은 증온폐열회수를 위한 히트파이프요소기술을 확보한 정도로 회전형이 아니며 정지된 상태에서 작동하는 저온용 히트파이프기술은 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 모터냉각을 위한 회전형 히트파이프가 연구되었으나 이것은 모터냉각효과를 향상시키기 위해 모터축 자체를 히트파이프로 하여 회전시키는 것으로 회전형 열교환기에 사용을 목적으로 하는 회전형 히트파이프 열교환기 연구는 이제 시작단계에 있다.

회전형 히트파이프는 하나의 축에 여러개의 히트파이프를 설치하고 히트파이프 전체를 회전장에서 작동하는 것으로 이제까지 연구된 히트파이프와는 작동방식이 다르고 열전달 특성 또한 다르므로 국내에서는 이의 연구사례가 적다.

나. 국외의 경수

히트파이프를 이용한 회전식 열교환기는 오염물질이 함유된 폐가스열로부터 열을 회수이용하기 위해 개발된 제품으로 일본에서는 Moonlight계획에 의해 개발되어 폐가스열의 회수용으로 보급

실적이 있으며, 일반 열교환기에 의한 폐열회수형과는 달리 폐가스열로부터 열풍과 증기를 발생시킬 수 있고, 분진의 처리문제가 용이하여 계속적으로 안정운전이 가능한 장점도 있어 난방용 열원, 흡수식냉동 및 열펌프의 열원, 연료예열 및 저압증기터빈의 구동원으로까지 이용가능한 폐열회수장치로 응용되고 있다.

경제성도 현재 일본에서 투자비회수기간이 1년 전후로 평가되어 경제성이 매우 높은 것으로 평가되고 있으며, 특히 일본에서는 문라이트계획에 의한 연구개발이 진행되어 폐가스열의 회수용으로 Furugawa, Ebara회사등에서 연구 및 실용화가 되어 있다.

기대효과 및 경제성

가. 기대효과

○ 오염폐가스열의 회수용열교환기로 적용시 분진문제의 해결과 효율60%로 에너지절약기대

○ 폐가스열로부터 열풍 및 증기발생에 이용가능하여 폐열회수장치로 적용이 광범위하므로 에너지절약장치로 보급증대가 기대됨.

○ 기존 축열식 회전열교환기의 누설에 의한 열손실이 10%인데 비해 본장치는 손실이 없음.

나. 활용방안

○ 제철소, 요로, 보일러 등의 오염폐가스배출업체의 폐열회수장치로 활용

○ 폐가스열의 회수에 의한 연소용 공기에열, 공정용가스의 가열에 활용

○ 증기회수형 열교환기는 폐열발생장소로부터 이용장소까지 증기형태로 이송이 가능하므로 난방용열원, 흡수냉동기 및 열펌프의 열원, 저압증기터빈의 구동원으로 활용