

조사재시험시설의 공기조화 설비 중 폐열회수장치 운영

Heat Recovery Unit Operation of HVAC System in IMEF

백상열, 오연우, 송웅섭, 박대규, 주용선, 홍권표

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

조사재시험시설(IMEF : Irradiated Materials Examination Facility)의 급·배기를 포함하는 공기조화설비는 방사성물질의 누출에 따른 위험성을 방지해 주며, 실내의 작업 환경 유지를 위한 필수적인 시설이다. 환기 방식은 비 순환식(Once-through)으로써 오염도가 낮은 구역에서 오염도가 높은 구역으로 일정한 부압 하에 높은 환기 횟수를 가져야하기 때문에 공기조화에 소모되는 경비가 막대하다. 조사후시험시설(PIEF : Post Irradiated Examination Facility)의 운영 경험을 바탕으로 공기조화계통에 폐열 회수장치(HRU:Heat Recovery Unit)를 설계, 시공함으로써 겨울에 난방코일의 동파를 방지하고, 막대한 에너지를 절약할 수 있는 등 여러 가지 혜택을 보고 있다. 조사재시험시설에서는 히트 파이프형 열 교환기를 채택하였으며 설치 및 운영결과에 대하여 고찰하였다.

Abstract

HVAC system including a supply and exhaust air system in IMEF(Irradiated Materials Examination Facility) is an essential facility for preventing a leakage of radioactive materials and for a preservation of a working environment. It costs a lot to operate the HVAC system in IMEF because our ventilation type is once-through system, and an air flow is maintained from low level contamination area to high level and maintained high turns of ventilation air under certain conditions. As HRU(Heat Recovery Unit) at HVAC system based on PIEF(Post Irradiation Examination Facility) operation experiences is designed and adopted, it prevents from a heating coil freezing destruction in winter and makes much energy saving etc.. Heat pipe type HRU is adopted in IMEF, and a construction and operation result of HRU is examined.

## 1. 서론

공기조화는 본질적으로 인간의 활동에 필요한 환경을 조성하는 응용기술이며, 기술적으로는 “공기의 온도, 습도, 청정도, 기류 등을 목적하는 상태로 조성하기 위해 공기를 가열, 냉각, 가습, 감습, 정화, 순환시키는 일련의 과정”이라고 정의한다.

조사재시험시설(IMEF : Irradiated Materials Examination Facility)의 급. 배기를 포함하는 공기조화설비는 방사성 부유 입자, 먼지 등으로 인한 방사성물질의 누출에 따른 위험성을 방지해 주는 필수적인 중요 시설이다.

전 세계적으로 방사성물질 취급시설의 공기조화 시스템의 기능적인 설계는 IAEA에서 안전성 시리즈로 엄격하게 규정하고 있으며, 그에 따라서 각국의 시스템들에는 공통적인 설계개념들이 채택되고 있다.

일반시설과 방사성물질 취급시설의 기본적인 공기조화설비에는 원리적으로는 큰 차이가 없으나, 안전성이 보장될 수 있도록 환기 방식은 비 순환식(Once-through)으로서 오염도가 낮은 구역에서 오염도가 높은 구역으로 일정한 부압 하에 높은 환기 횟수를 가져야 하기 때문에 공기조화에 소모되는 경비가 막대하며, 안전성을 고려해서 여러 가지 자동 및 수동 제어장치들이 연동으로 작동되어야 한다.

거의 모든 나라에서 에너지 절약형 시스템을 구성하기 위해 지속적인 연구가 진행되고 있는데, 단열 성능의 향상, 열회수 시스템, 태양열이용 시스템 등으로 발전해 왔다.

조사재시험시설은 원자력시설로서 Once-through를 채택하여 환기량이 많으며 그로 인한 에너지 소모가 매우 큰 시설이다. 에너지 소비가 많은 장소의 공기조화설비에 대한 에너지 절감을 위한 기기로서 각광을 받는 HRU(Heat Recovery Unit)를 조사재시험시설의 설계 및 시공에 반영하여 운영함으로써 여러 가지 혜택을 보고 있다.

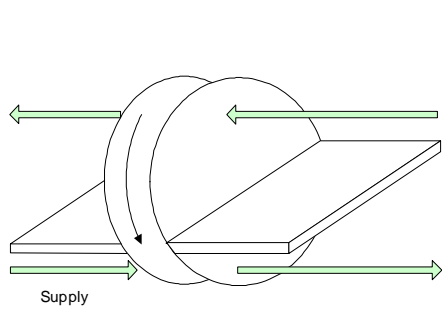
IMEF에서는 히트 파이프형 열 교환기를 채택하였으며, 그것의 설계, 설치 및 운영결과에 대하여 고찰 하고자 한다.

## 2. 폐열회수장치(HRU; Heat Recovery Unit) 선정

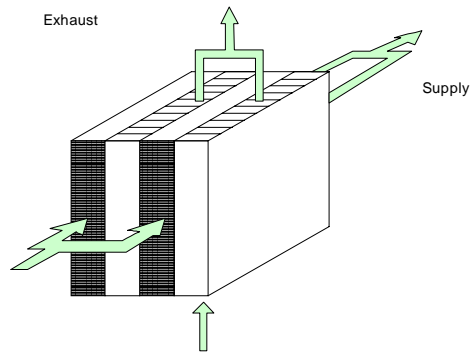
쾌적한 냉.난방을 위한 환기로 인하여 발생하는 배기 열 손실을 급기와의 열 교환으로 극소화하기 위한 장치가 폐열회수 장치이다.

배기 에너지 회수를 위한 공기 대 공기 열 교환기(Air to Air Heat Exchanger)는 로타리형, 판형, 히트 파이프형 등 여러 종류가 있다(그림1).

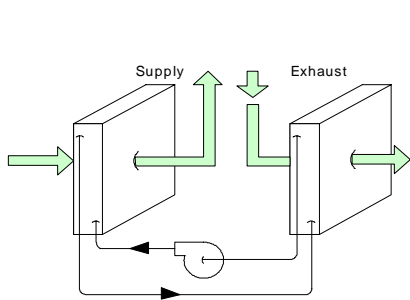
각 형태에 따라서 여러 가지 장단점이 있으나, 원자력 시설의 특성상 배기가 급기 쪽으로 이행하지 않아야 되겠으며 유지 보수의 용이성 등을 고려한 결과 조사재시험시설에서는 배기가 전혀 이행되지 않으면서 별도의 동력이 필요 없는 히트 파이프(Heat Pipe)열회수 장치를 설계에 반영하고 설치하여 운영해 오고 있다.



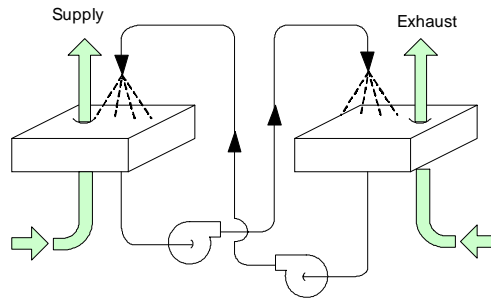
(a) Rotary



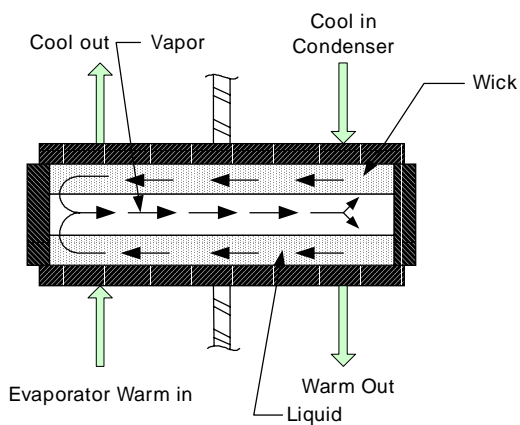
(b) Plate



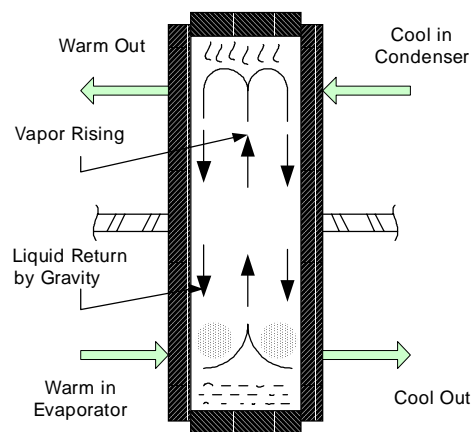
(c) Run - around, Coils and pump



(d) Run - around, Multiple Tower and Desiccant spray



(e) Capillary Wick Type



(f) Gravity Return Type

그림 1. Schemes of several principles of Air-to-Air heat exchangers.

### 가. 히트 파이프 열 교환기

히트 파이프 열 교환기는 급기와 배기의 대향류 공기 대 공기 열 교환기로서 그림 2와 같다. IMEF에 사용한 것은 특히 파이프로서  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 사용하는 것으로, 뜨거운 공기가 교환기의 한쪽 면을 통과하며 찬 공기가 다른 쪽에서 반대 방향으로 통과한다. 이때 열 교환기 사이에는 상호 오염을 막기 위하여 완전히 밀봉된 판을 설치하고 있다. 찬 공기가 그 열을 흡수하여 폐열을 회수하게 된다. 히트 파이프 열 교환기는 기본적으로 현열 전달 장치이다. 일반적으로 두 공기 흐름 사이의 현열 에너지 차이의 60-80%가 열 회수 장치에 의해 효과적으로 회수된다.

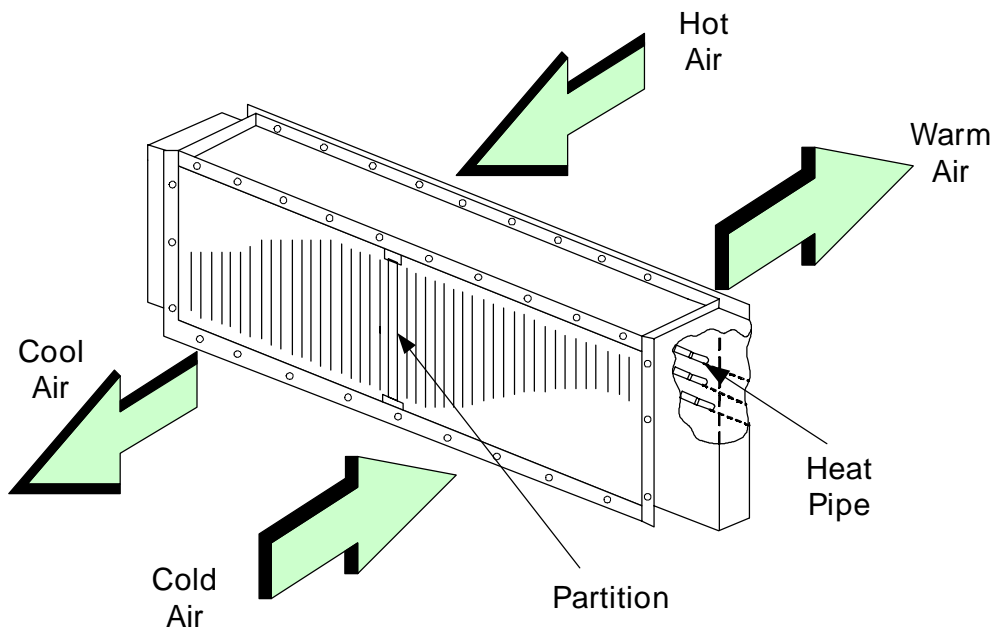


그림 2. Heat recovery system of heat pipe.

### 1) 히트 파이프의 구조 및 특성

#### (가) 구조

히트 파이프의 개략도는 그림 3과 같다.

모세혈관상의 위크(wick)를 내면에 포함하는 구조의 내부에 작동유체를 밀봉시킨 파이프로서, 파이프 한쪽을 가열하면 봉입 되어 있는 유체는 표면으로부터 열을 받아 증발하고 발생한 증기는 다른 쪽으로 이동하여 차가운 표면에 접촉함으로써 열을 방출함과 동시에 응축하고 액화된 작동유체는 wick를 통하여 증발부로 환류 된다. 또한 히트 파이프에 의한 처리 용량은 각도 조절장치를 이용하여 증발부를 수평보다 내려서 경사( $3\sim 5^{\circ}$ )를 주어 운전함으로써 대폭 증가된다.

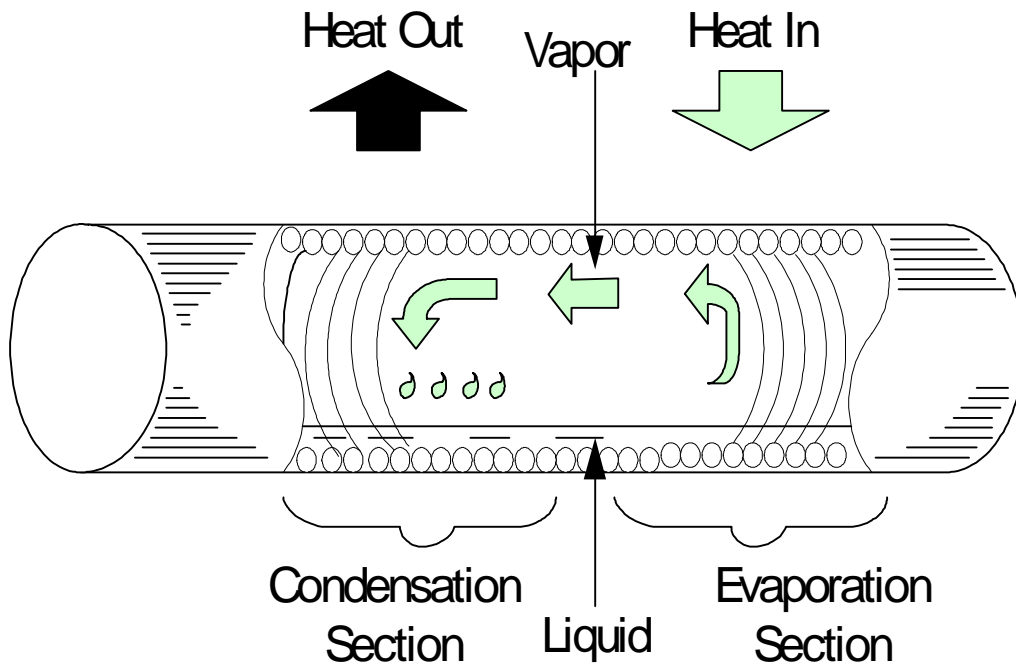


그림 3. Schemes of heat exchange.

(나) 특성

특징은 인공위성용 히트파이프의 기술을 적용시키는데 있으며 일반 공조산업에서 고효율이라고 불리워 지는 핀 튜브(Fin Tube)기술과 병행 사용하고 있다.

- Wickng 방식의 채용

히트 파이프로의 경 방향의 열 특성을 개선하기 위해서 일반적인 히트 파이프로에는 금망상의 wick가 사용되고 있으나 IMEF에 적용한 히트 파이프로는 파이프 내벽에 미세 가공을 하고 있다 (그림 4).

특징으로는 첫째로 작동유체의 전열계수가 2배 이상으로서 소형이면서도 고성능이며 둘째로 금망 wick는 변형으로 인한 성능저하가 우려되나 구형 위크에선 이런 문제가 발생하지 않기 때문이다.

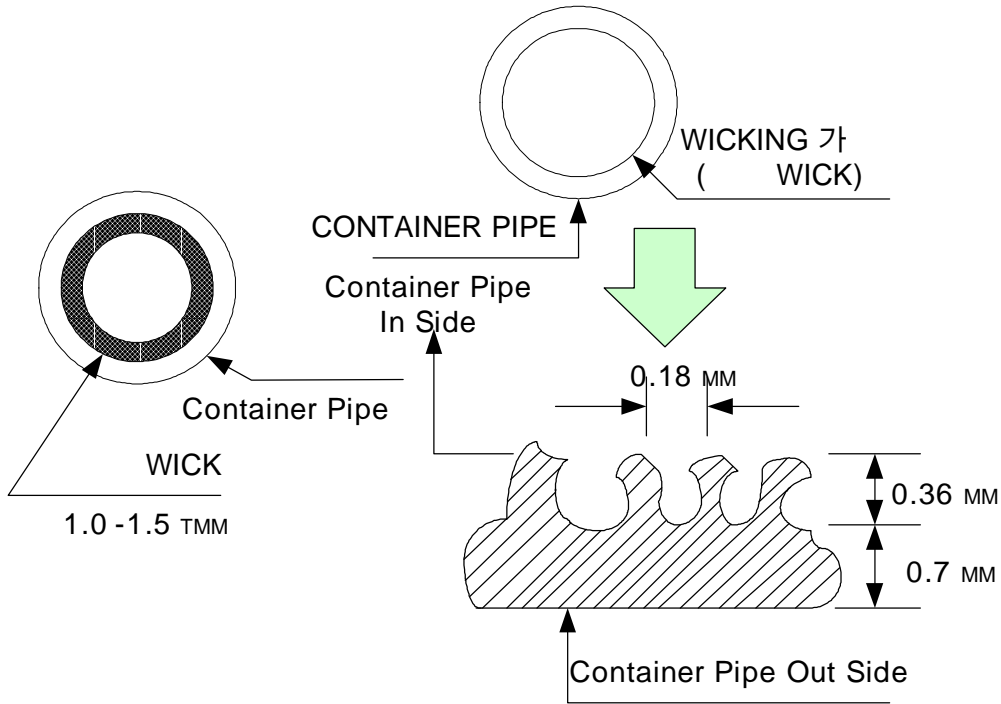


그림 4. Comparison of heat pipe.

- Artery의 채용

히트 파이프 1분당 열 수송량은 히트 파이프 내경의 함수로 되어 있으며, 내경이 클수록 열 수송량은 많아진다. 그러나 내경이 커지면 크기가 커지며 효율이 감소할 뿐 가격면에서는 불리해진다.

인공위성용 파이프는 이 문제를 해결하기 위하여 콘테너 파이프를 열적으로 분리한 작동액의 순환통로를 히트 파이프 내부에 설치하였으며, 조사재시험시설에 설치한 히트 파이프도 이와 같이 세공을 콘테너 파이프의 내면에 장치하였다. 이 결과 아주 긴 히트 파이프의 설치가 가능하여졌으며 파이프의 본 수도 타 종류에 비해 적어진다(그림 5).

공조기용이나 건조기용은 핀의 전열에 유리한 콜게트형 Sheet 핀을 채용하고 있으며, 배기 가스의 성질에 따라 적당한 제품을 선택할 수 있다(그림 6).

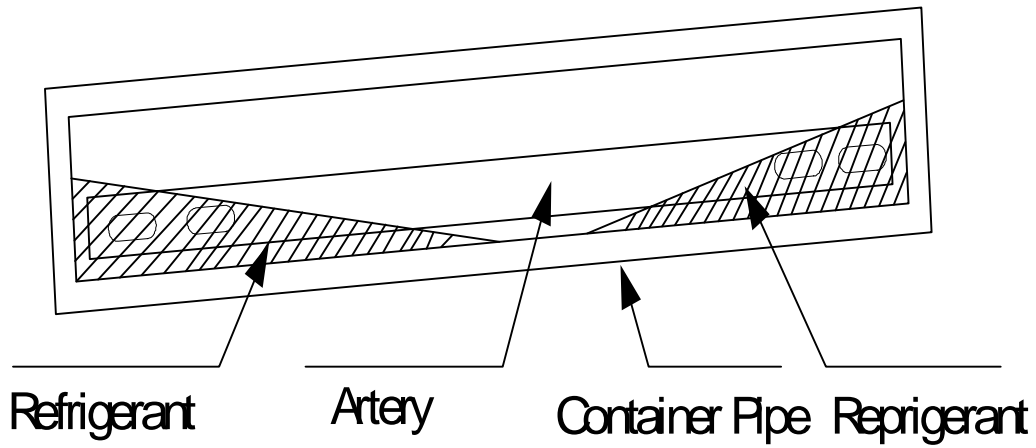


그림 5. Cross-sectional view of heat pipe.

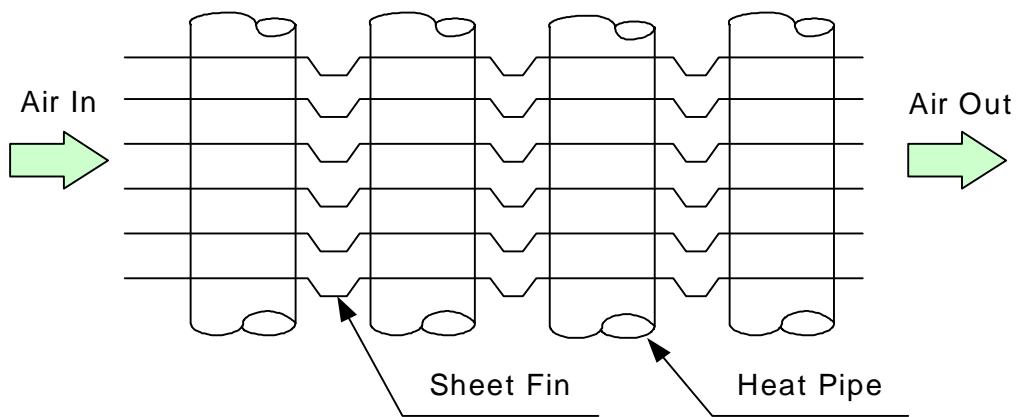


그림 6. Fabrication of sheet fin and heat pipe.

양측에 온도 차이가 있는 한 연속적으로 냉매의 응축 및 증발에 의해서 열 교환이 이루어지며, 두 개의 격벽을 설치하여 배기가 급기 쪽으로 유입되는 것을 방지토록 하였다.

### 3. 운영결과 및 고찰

조사재시험시설에 히트 파이프 열 교환기를 설치하여 운영함으로써 많은 열량의 폐열을 회수할 수 있으며, 그로 인하여 연간 냉·난방비용을 상당히 절감할 수 있고, 추운 겨울에 프리 히팅 코일의 동파를 방지할 수 있으며, 신축 건물이므로 열원설비(보일러, 냉동기 등) 및 AHU(Air Handling Unit)의 크기도 줄일 수 있는 등 많은 이점이 있다.

IMEF에서는 사무실 공기의 재 순환 이용으로 인하여 외기와 배기량이 차이가 나고 있으나, 여름과 겨울에 약 47% ~ 53%의 에너지 절약으로 겨울에 약 267,400 kcal/h, 여름에 약 45,200 kcal/h의 열량을 회수 이용하고 있다.

2003년 초의 IMEF의 온 습도 측정 결과를 표 1에 나타내었는데, HRU를 이용하여 배기 되는 폐열을 많이 회수하고 있음을 알 수 있다.

표 1. HRU 성능시험 결과(℃)

순서	외기온도	HRU 통과후 외기온도	배기온도	HRU통과후 배기온도
1	-6	9	19	7
2	-4	10	20	9
3	-2	11	19	8
4	0	12	21	11
5	2	13	20	10
6	4	15	19	9
7	6	16	18	9
8	8	16	20	12

조사후시험시설(PIEF : Post Irradiated Examination Facility)의 운영 경험을 바탕으로 공기조화계통에 히트 파이프형 HRU를 설계, 시공함으로써 겨울에 난방코일의 동파를 방지하고, 막대한 에너지를 절약할 수 있는 등 여러 가지로 유용하게 사용하고 있다고 사료된다.

따라서 새로 신축하는 원자력 시설들에도 폐열회수 장치를 도입하여 에너지 절약 등 여러 좋은 점들을 공유하기를 기대한다.