

핫셀 내 연속가동장비의 냉각장치 개발

Development of Hydraulic Oil Pressure Cooler for Thermoelectric Module in HOT Cell

오연우, 오완호, 김기하, 김선덕, 김양곤, 장경덕, 윤동원
한국원자력연구소
대전시 유성구 덕진동 150

요 약

현재 조사재시험시설의 핫셀 시험용 인장시험기기, 핵연료소결로 및 전자현미경(EPMA)장비 24시간 가동을 하며 실험하는 장비로 온도를 낮추기 위하여 고가의 냉각기나 상수를 이용해 냉각하고 있으며, 이로 인한 상수의 24시간 방출로 과대한 유지관리 비용이 지출되어 비경제적이다. 따라서 본 연구에서는 유압작동유의 온도를 열전소자를 이용하여 설치면적은 최소화하며 유압장치의 작동유를 일정한 온도로 작동하게 하여 유압기의 성능을 최대화함과 동시에 경제적 효율성을 더 하였고, 간단한 장치로 고장수리가 용이하며 유지비용을 저렴하게 할 수 있는 장치를 개발하고자 함.

Abstract

Universal testing machine, heat treatment furnace and EPMA are being operated in hot cell of Irradiated Materials Examination Facility. In order to maintain the proper temperature of coolant, very expensive water chiller is operated or cooling water is used only once and then thrown it away at all times. Therefore, it is necessary to cut down on unnecessary expense for maintenance of equipments.

In this study, the cooling system was developed by using a thermoelectric module so that the uniform temperature of hydraulic oil is maintained. This system has the following advantages: 1) a compact size, 2) a high efficiency, 3) an ease of maintenance.

1. 서 론

열전냉각장치의 냉열원인 열전소자(Thermoelectric module)는 n, p type 열전쌍(Thermo couple)을 전기적으로는 직렬로 열적으로는 병렬이 되도록 π 형으로 연결한 모듈의 형태로 구성되어 있으며 직류 전류를 흘렸을 때는 열전효과로 모듈의 양면에 온도차가 발생하게 된다. 이것은 Peltier 현상에 의해 나타나는 냉각효과를 이용하는 고체식 열펌프(solid state heat pump)로 냉매를 순환시키기 위해 압축기를 가동시키는 기존의 냉각방식을 탈피한 차세대 환경친화적인 냉각방식으로서 전극전환을 통해 냉각과 가열이 동시에 가능하여 상온의 대상물을 $-75^{\circ}\text{C} \sim +300^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각과 가열을 통해 항온을 유지되도록 할 수 있다.

열전소자를 이용한 냉각장치의 특징은 공급전력량에 따른 정밀항온제어를 하고 전원공급 후 급속한 냉각이 이루어진다는 점이며 전류의 방향에 따라 흡·발열을 바꿀 수 있으며 저소음, 저 진동이고 국부 냉각이 가능하며 소형, 경량화가 가능하고 어떠한 위치나 방향에서도 작동한다. 또한 환경친화성 프레온 가스를 사용하지 않아 환경오염의 문제가 없는 것도 장점이며 20만 시간의 내구성으로 고 신뢰성을 가지고 있다.

2. 열전냉각장치 원리

열전소자를 이용한 냉각장치는 P형 열전반도체와 N형 열전반도체가 교대로 배열되어 접합되어 있으며 여기에 직류전원을 흘려주면 전류흐름의 방향에 따라 한 면이 냉각되면 다른 면에서는 가열현상이 일어나는 직접에너지 변환 기능을 갖는 소자로 N형 반도체에서 P형 반도체 방향으로 전류를 흘려주면 그 접합면에서는 주위의 열을 흡수하여 흡수된 열을 다른 쪽 면으로 방열시키고 냉각되어 저온부가 형성되고 이와 반대로 P형 반도체에서는 N형 반도체로 전류가 흐르는 접합면은 방열되어 고온부를 형성하게 되는 소자이다. 이렇게 열전소자에 전류를 흘려주면 일 측면인 흡열 면에서는 주위의 열을 흡수하여 냉각이 이루어지고 타 측면인 방열에서는 가열이 이루어져 고온 현상이 발생하게 되는 현상을 이용하여 흡열 면에 발생하는 저온의 냉각수를 연속 가동장비에 순환시켜 냉각시키는 방법이다. 본 장치는 열전소자를 이용한 유압용 작동유를 냉각하는 장치로 유압펌프 및 유압모터의 내부 마찰, 점성저항 이외에 관로의 손실 혹은 교축밸브의 교축에 의하여 작동유의 온도가 높아지면 작동유의 점도가 떨어지고 이로 인하여 유막의 파손, 기밀재의 조기노화 증기압의 증대에 인한 캐비테이션 발생으로 기포가 발생하여 체적탄성계수가 작아져 유압기의 동력전달 성능이 떨어지고 캐비테이션

으로 인한 진동의 발생 된다. 이런 현상을 방지하기 위하여 유압 작동유의 온도를 열전소자를 이용하여 냉각 또는 가열시켜 항상 일정하게 유지시켜 유압기의 성능을 최대화하기 위한 것이다.

상기 열전소자는 직류전류를 인가하면 열전현상이 발생하여 한 쪽 면에는 흡열반응이 발생하고 다른 쪽 면에는 발열반응이 발생하는 반도체 소자로 유압기 작동 시 작동유에 발생하는 열을 순환수와 순환펌프로 열전소자의 흡열 반응 면에서 흡수하여 발열 반응 면으로 방출시키고 발열 반응 면에서 발생하는 열은 순환수로 흡수하여 방열 팬을 통해 외기와 열 교환하여 배출시켜 유압 작동유를 냉각시키며, 이와 반대로 전류방향을 전환하여 작동유를 가열할 수 있도록 구성한 것을 특징으로 한다.

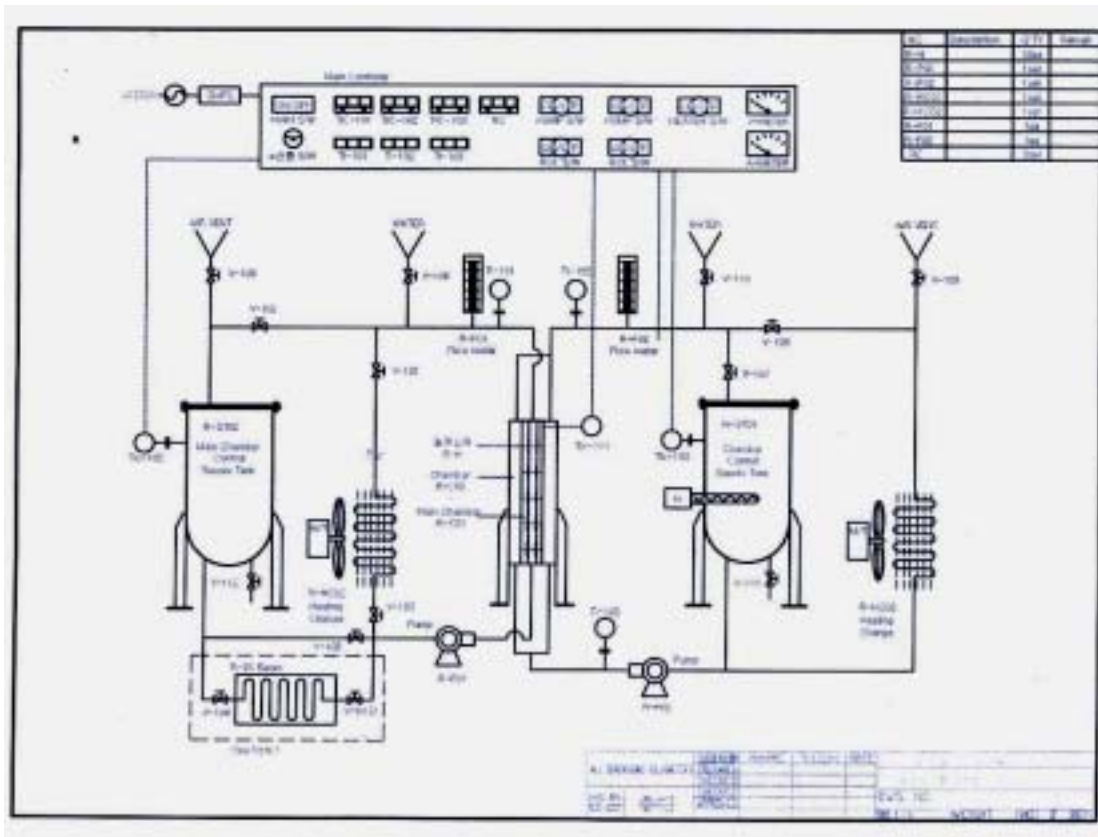
3. 열전냉각장치의 구성체

3-1. 열전소자 주요사양

열전소자 선택시 기술적인 면은 냉각 대상물의 냉각 유지 온도, 발열체로부터 얼마만큼의 열을 제거해야 하는지, 예상되는 주위의 대기 온도, 열전소자의 장착에 할애되는 기기내의 공간, 어떤 전원 공급기를 사용할 것인지, 냉각온도의 변환이 필요한지, 어떤 정도(크기, 냉각효율)의 방열기를 사용할 것인지와 제품내용적인 면은 N, P 형 소재의 생산 시 할로겐족의 원소를 사용했는지 소자의 세라믹 두께는 충격과 강도를 가진 플레이트 구조를 가지고 있는지 또한 소자의 각 부분의 두께가 0.02mm안에 들어가는지 내부 댄납의 용해온도, 델타 T값이 70이상, 세라믹사이의 공간이 적절한 매질로 습기방지 처리가 되어 있는지를 고려하여 선정한다.

3-2. 열전냉각장치의 구성도

소자의 적절한 냉각을 위해서는 최대의 성능을 발휘 할 수 있도록 구성체간의 적절한 조합이 이루어져야 하며 구성체로는 열전소자, 냉각기, 방열기, 냉각 팬, 전원 공급기, 방열그리스, 방열 컴파운드, 방열패드, 체결부품 등으로 구성된다. (그림 1 참조) 응용 기술로는 열전 열해석 통한 열전소자 선정, 구성체의 가공기술(표면정밀도, 접촉면 평활도, 방열기 표면처리), 직류전력 제어기술, 구성체간 접합기술 등을 고려하여 제작한다.



(그림 1 냉각 효율성능 시험장치)

3-3. 핫셀용 냉각장치 기술적 해결과제

종래의 열전소자와 열교환 방법은 공기를 이용하거나 방열핀을 이용하여 방열면과 흡열면의 열교환을 하였으나 이 방법은 열교환 효율도 낮고 방열핀의 제작부착도 힘들었다. 본 장치는 순환수를 이용하여 직접 열교환 하는 방법으로 열 교환효율도 높고 제작 및 수리도 용이하다.

냉각과 가열을 동일한 장치로 수행할 수 있도록 함으로서 설치면적을 최소화 하고 유압기중 정밀한 제어를 필요로 하는 유압을 이용한 인장시험기와 같은 유압기의 작동유를 일정한 온도로 작동하게 하여 유압기의 성능을 최대화 하는 장치이다.

3-4. 냉각을 위한 소비전력

열전냉각장치에서 소비하는 전력 p 는 고온 전극에서 방출하는 열량 q_h 와 저온 전극에서 흡수하는 열량 $|q_c|$ 의 차이다. 즉,

$$P = q_h - |q_c| = (a_e \Delta T_j + r_l)I$$

이며 이 식에서

$$V_c = \alpha_e \Delta T_j + r_e I$$

즉, V_c 는 전류 I 를 소자에 흐르게 하기 위한 단자 전압이다. 소자 양단에 온도차가 없을때, $V_c = r_e I$ 이지만 온도차가 있을 경우는 Seebeck 효과에 의하여 $\alpha_e \Delta T_j$ 만큼의 여분의 전압을 더 가할 필요가 있다. 따라서 $p = V_c I$ 는 열전냉각을 하기 위한 소비 전력이다.[1]

4. 핫셀용 냉각장치 개발내용

종래의 일반적인 유압 회로는 유압프레스를 작동시키기 위하여 모터를 가동하면 유압펌프는 작동유 탱크에서 작동유를 토출시키기 시작한다. 토출된 작동유는 관로를 흘러 방향제어밸브와 교축밸브를 통하여 유압피스톤을 움직이게 하고 펌프에서 발생하는 과도한 토출 압력은 릴리프밸브를 통하여 탱크로 복귀하는 회로이다. 이 때 열순환은 작동유가 관로를 흐르면서 작동유의 점성저항에 의한 관 내벽과의 마찰열뿐만 아니라 교축밸브에서 발생하는 교축 과정에서 열이 발생한다.

또한, 유압피스톤이 일을 하기 위해서 일정한 압력을 유지하는 동안 압축열도 발생하게 된다. 이렇게 발생된 열들은 유압작동유의 복귀관로를 통하여 작동유 탱크로 흘러들어가고 이러한 과정을 반복하게 되면 점차로 작동유의 온도가 높아지게 되고 작동유의 온도가 높아지면 점도가 떨어짐으로서 윤활 개소에서 유막의 파손, 기름의 누설, 기밀재의 조기노화는 물론 증기압의 증대로 인한 캐비테이션 현상이 발생하여 유압프레스의 성능이 저하하게 되기 때문에 유압 작동유를 냉각시키기 위한 냉각기가 유압작동유의 온도를 낮추기 위해 사용되고 있다. 그러나 종래의 열 교환을 위해 사용되는 냉각기는 사용되는 에너지에 비해 열 교환 효율이 낮고 장치가 복잡하며 프레온 가스 같은 냉매를 사용함으로써 누출에 의한 환경오염이 발생할 소지가 많다. 이와 반대로, 작동유의 온도가 과도하게 떨어지면 점도가 상승하여 유압 장치의 기동이 곤란해지거나 동력전달의 효율이 낮아지고 캐비테이션이 일어나 진동이 발생한다. 특히 조사재시험시설의 핫셀과 같은 고방사선 지역에서는 방사선에 영향을 받지 않고 항상 안정된 상태를 유지해야 하며 구조가 간단하고 고장이 없어야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 그림 1에 도시한 바와 같은 본 장치인 열전소자를 이용한 유압 작동유 항온기는 방사선에 별로 영향을 받지 않고 작동하는 열전소자를 이용하여 종래의 냉각기 장치보다 간단하고 에너지 소비를 최소화하면서 작동유의 온도를 냉각 또는 가열하여 항상 작동유의 온도

를 일정하게 유지시켜 유압기의 성능을 최대화하기 위한 것으로 열전소자의 원리와 같이 직류전류를 흘려주면 한 쪽 면에서는 흡열이 일어나고 다른 쪽 면에서는 발열이 일어나는 열전 현상을 일으키고, 전류의 흐름을 반대로 하면 흡열과 발열이 반대가 되는 소자이기 때문에 단지 전류의 흐름만을 제어하여 작동유의 온도를 동일한 장치로 항상 일정하게 유지할 수 있도록 할 수 있다.

유압프레스를 작동시키면 유압펌프가 유압 작동유를 가압하여 유압실린더를 작동시키게 되는데 방향제어밸브와 교축밸브를 통과하여 관로를 흘러 가압된 작동유는 작동유 점성에 의한 마찰열, 교축과정에서 발생하는 열 및 압축열이 발생하게 된다.

작동유의 압력을 제거하면 작동유는 이렇게 발생된 열을 가지고 복귀관로를 흘러 열교환기에서 열교환 탱크의 저온의 냉수와 열 교환을 하고 작동유 탱크로 흘러 들어간다. 이 때 열교환 탱크에는 열전소자의 단열재로 쌓여있고 기밀처리 된 흡열통에서 발생된 저온의 순환수를 순환펌프로 강제 순환시켜 열교환 탱크내부에는 저온의 냉수가 있게 된다. 이렇게 열교환 탱크에서 작동유의 열을 흡수한 순환수는 열전소자의 외부가 단열재로 쌓여있고 기밀 처리된 방열통으로 열을 방출하고 다시 저온의 냉수가 되어 열교환 탱크로 순환하며 방열통에 흡수된 작동유의 열은 순환펌프에 의하여 방열기로 이송되어 냉각 팬에 의해 방열하게 한다.

이와 반대로, 유압 작동유의 온도가 낮아지게 되면 열전소자의 전류흐름을 반대로 흐르게 하여 흡열통과 방열통의 열 흐름을 반대로 하여 유압 작동유를 열전소자의 전류흐름 방향만을 바꾸어 주는 동작만으로서 간편하게 가열과 냉각을 할 수 있게 된다.

그림 1에서 항온기의 동작을 제어하는 제어부는 유압 작동유의 온도를 감지하는 각 각의 온도감지기에 의해 작동유의 온도에 따라 열전소자의 전류흐름 및 순환펌프 그리고 냉각 팬의 작동을 제어하는 장치이다.

입력회로는 온도감지기에서 감지된 온도 값을 전기적 데이터로 변환하여 제어부로 보내주는 회로이고 구동회로는 입력회로에서 제어부 입력된 신호를 처리한 후 제어부가 보내는 신호에 따라 열전소자, 순환펌프 및 냉각팬을 작동시키는 회로이다.

본 장치의 유압 프레스를 작동시키기 위해서 전원을 켜면 제어부는 온도감지기의 온도값을 입력회로를 통하여 입력받아 조작부에서 사용자가 설정한 온도 값과 비교한 후 유압 작동유의 온도가 높으면 열전소자의 흡열통이 유압 작동유와 열 교환 되도록 전류 흐름을 흐르게 하면서 순환펌프 및 냉

각 팬을 구동회로를 통하여 작동시키게 된다. 작동유의 온도가 낮아져 설정된 값과 같아지면 유압프레스는 작동을 시작하게 되고 관로의 마찰, 압축, 교축 등에 의해 작동유는 온도가 상승하여 복귀회로로 복귀하게 되는데 복귀 회로중 전열면적을 넓게 한 열교환기에서 열교환 탱크의 순환수와 열 교환이 일어난 후 작동유 탱크로 복귀한다. 이때 열교환 탱크에는 열전소자의 흡열통에서 흡열이 일어나 온도가 낮아진 냉수를 순환펌프로 공급하여 저온의 냉수가 들어 있게 된다. 작동유의 열을 흡수한 순환수는 다시 순환하면서 열전소자의 다른 면 즉 방열작용면으로 열을 방출시키고 열교환 탱크로 순환한다. 방열통은 작동유의 열을 전달받아 순환펌프에 의해 방열기로 보내져 냉각팬으로 방열하는 과정을 연속적으로 수행하면서 작동유의 온도를 낮춘다. 이와 반대로, 작동유의 온도가 너무 낮을 때에는 열전소자의 흡열통에 방열작용이 발생하게하고 방열통에 흡열작용이 발생하도록 전기흐름을 반대로 흐르게 하여 작동유의 온도를 항상 일정하게 유지하도록 한다. 이와 같이 동일한 장치와 간단한 조작만으로 작동유의 가열과 냉각을 할 수 있기 때문에 에너지 소비를 최소화하면서 작동유의 온도를 항상 일정하게 유지하여 유압기의 성능을 최대화할 수 있게 한 것으로 본 장치에 의한 동일한 구조를 갖는 유압을 이용한 유압기의 어느 곳에서도 사용할 수 있다.

5. 결 론

조사재시험시설에 사용 중인 인장시험기, TEM, 핵연료 소결로 등은 장비의 온도를 낮추기 위해서 고가의 냉각기나 혹은 상수도를 이용한 쿨러를 사용함으로써 에너지 소비와 상수의 사용이 많아 비경제적이므로 유압작동유의 온도를 열전소자를 이용하여 설치면적은 최소화하며 유압장치의 작동유를 일정한 온도로 작동하게 하여 냉각시키는 장치를 개발하여 유압기의 성능을 최대화함과 동시에 경제적 이익을 얻고 간단한 장치로 고장수리가 용이하게 되었으며 그로 인한 유지비용을 저렴하게 할 수 있을 뿐만 아니라 본 개발을 통하여 연구소 내 유사장비에도 보급, 활용하고자 한다.

(Reference)

1. "열전소자를 이용한 소용량 Aircon system의 개발" 산업자원부, 오석재