

인버터 타입 오일냉각기의 온도제어 특성에 관한 연구

이상호*, 이찬홍+, 박천홍+

Characteristics of Temperature Control in the Inverter Type Oil Coolers

Sang Ho Lee*, Chan Hong Lee+, Chun Hong Park+

Abstract

In this Paper, the temperature control error and cooling characteristics of inverter type coolers are evaluated to predict application validity of coolers under heating pattern and amount. The temperature control error of coolers is small in 15~70% range of the max. cooling ability. At less than 15% of max. cooling ability has the inverter type cooler a basic temperature control error $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and acts as on/off type coolers. The inverter type cooler is unsuitable for precision temperature control under the complex heating pattern. But PID control of cooler including the heating system is an alternative for the case.

Key Words : Heating Unit(발열장치), Temperature Control Error(온도제어 오차), Inverter Type Cooler(인버터 타입 냉각기), PID Control(PID 제어)

1. 서론

공작기계가 고속화 되면서 발열부품의 수는 점차 증가하고 있어, 가공 정밀도를 만족시켜야 하는 공작기계 설계자의 입장에서는 여간 신경이 쓰이는 것이 아니다. 그래서 주요 부품의 발열을 상쇄시키기 위해서 오일 냉각기를 사용하게 되는데, 지금까지 범용 공작기계에 채용된 냉각기는 주로 On/Off 냉각기로서 가격이 저렴하고 어느 정도 온도를 안정화 시키는 데 적합한 것으로 인식을 해왔다.

그러나 공작기계가 고속화, 고정밀화 또는 초정밀화 경향을 띄면서 발열로 인한 열변형을 가능한 한 배제시키기 위해서 기계의 설치장소를 향온실로 결정한다든가, 주요 발열부위를 강력한 냉각기로 적극적으로 냉각을 시키는 경우가 많아졌다. 이와 같이 공작기계 구조물의 정밀한 온도제어가 필요한 곳에서는 On/Off 냉각기로는 냉각특성상 부족한 면이 많다. 예를 들면 기계의 한 부품이 한계온도 이상의 상태라면 즉각 On/Off 냉각기가 작동을 하게 되는데, 공급되는 냉각오

일은 발열량에 비례해서 조절되는 것이 아니고 냉각기로부터 언제나 일정하게 낮은 온도(외기온도보다 -3~-4C정도)의 오일이 공급되게 되어 있다. 그래서 때로는 냉각 대상부품이 과냉각 될 때도 있고, 계속 한계온도 이상으로 존재할 수도 있다. 부품에 따라서는 온도변화가 매우 빈번히 일어날 경우 On/Off 냉각기가 작동을 빈번히 작동해서 냉각기 부품의 파손이 야기되기도 한다. 이러한 현상들이 고정밀 공작기계에서 On/Off 냉각기를 계속 채용할 수 없는 이유이기도 하다.

근래에 유럽과 일본에서 Inverter Type 냉각기가 개발되어 가격을 낮추면서 국내에서도 일부 고정밀 장비에 채용이 되고 있다. 이 냉각기의 특징은 냉각기의 Compressor 모터를 On/Off하지 않고 회전수를 조절하여 오일 냉각 유량을 변화시킬 수 있는 것으로, 대상 부품에 공급되는 냉각오일의 온도를 부품의 발열량에 상응하게 냉각능력 한도 내에서 조절하여 과도냉각이 없도록 적절히 낮은 온도의 오일을 공급하는 것이다. 이 냉각기는 On/Off Relay가 없고 기본적으로 계속 운전이 되어 전기적 충격이 없어 기계적 수명이 높다.

* 주저자, 한국기계연구원 공작기계실 (tonongi@kimm.re.kr)
주소: 305-343 대전 유성구 장동 171 번지
+ 한국기계연구원

본 연구에서는 기존 On/Off 냉각기의 단점을 개선하고자 Inverter Type 냉각기를 공작기계에 사용했을 때 열적 특성 개선에 대해서 실험적으로 규명하고, 부품의 발열조건에 따른 온도제어 오차특성을 관찰하여 오차감소를 위한 방법을 제시하였다.

2. 인버터 타입 냉각기의 오일온도 제어방법

인버터 타입 오일냉각기에서 오일의 온도를 주어진 오차 내로 제어하기 위해서 냉각기 내부에 2개의 핵심 유니트를 조절해야 한다.

첫째가 압축기 모터의 회전수를 제어하는 것이고, 두 번째가 전자 팽창밸브의 개폐 정도를 제어하는 것이다. 압축기의 모터는 냉각기로 입력되는 오일의 온도가 증가하면 회전수를 증가시켜 압축량을 많이 해서 냉각능력을 증가시키는 것이고, 이와 연동하여 전자 팽창밸브는 냉매의 압축량에 상응하게 밸브를 개폐하여 냉각효율을 높이는 역할을 하게 된다. 이러한 제어는 수동으로는 할 수 없고, 일반적으로 입력되는 오일의 온도변화 추세를 관찰하면서 PID제어를 하고 있다. 그러나 PID제어가 냉각기가 적용되는 발열시스템의 특성을 고려하지 못하고 냉각기만의 Feedback시스템으로 한정하여 제어를 하기 때문에 문제가 있을 수 있다.

3. 냉각기의 오일 온도제어 실험장치

인버터 타입 냉각기의 온도제어 성능을 파악하기 위해서 Fig.1과 같이 발열량을 조절할 수 있는 발열기(0 ~ 6kw)와 유량을 측정할 수 있는 전자유량계를 설치하여, 일반 기계계에서 구성되는 냉각시스템을 묘사한 장치를 구성하였다.

냉각기의 표시성능은 인버터 타입 오일냉각기, 5600 kw, 실측유량 23.5 l/min, 토출압력 2 kg/cm², ±0.1℃ 온도제어 능력으로 되어 있다. 냉각기의 셋팅은 외기 동조형에 온도차는 0℃로 하였고, 제어대상은 냉각기 입력 쪽의 오일온도를 기준온도±0.1℃로 제어하는 것으로 하였다.

냉각기의 온도제어 특성을 측정하기 위해서 열전대는 외부온도에 대해 응답이 빠른 T 타입을 사용하였고, PC에 의해 외기온도, 냉각기의 입출력 온도, 발열기의 오일 출구온도를 2초 간격으로 측정하였다.

4. 발열량에 따른 오일온도 제어오차 특성

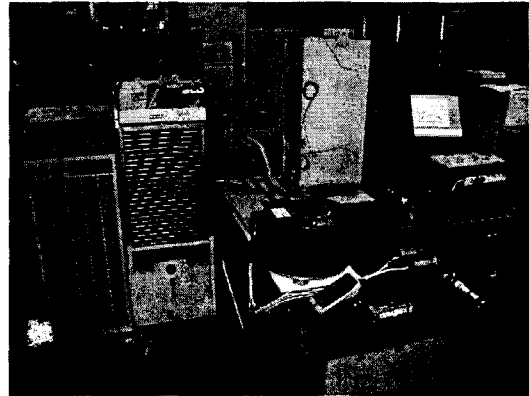


Fig. 1 Experimental Setup of Inverter Type Oil Cooler

발열기에서의 발열량에 따른 냉각기의 응답속도와 오일 온도 제어오차를 확인하기 위해서 냉각기 최대 냉각능력의 1/5정도가 되는 1 kw 발열에 대해 실험을 실시하였다. Fig.2에는 온도제어 대상이 되는 발열기에서 출력되는 오일 온도와 냉각기에서 발열기에 공급되는 오일온도, 그리고 실험장소의 외기온도를 나타내었다.

그림에서 급격한 발열이 시작되면서 냉각기에서 PID제어로 인해 상응한 냉각이 이루어지고, 계속해서 이러한 현상이 일정시간 일어나서 파형이 온도오차 1℃의 불안정한 형태를 보이고 있다. 발열이 시작된 40분 후 ±0.1℃ 정도의 온도오차로 안정화 되었다. 여기서 제어대상 온도가 외기온도보다 1℃정도 높은 온도를 보인 것은 인버터 타입 냉각기의 냉각능력이 항상 최대 냉각능력을 사용하는 것이 아니고 제어대상 온도를 파악해서 상응한 냉각능력만 사용하기 때문이다. 이러한 1℃의 오차는 냉각초기에, 외기온도에 대한 제어온도 셋팅을 -1℃로 하면 보정된다.

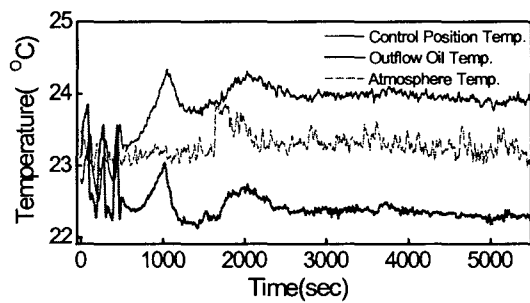


Fig. 2 Cooling Performance in 1 kw Heating

Fig.3에서는 3kw 발열에 대한 온도제어 능력을 보여 주고 있다. 갑작스런 고발열에 냉각기가 빠르게 반응해서 1kw때 보다 빠른 6분후에 안정된 상태를 보이고 있고 온도 제어 오차는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이하를 유지하였다. 여기서도 3kw의 고발열로 인해 외기온도보다 2.5°C 높은 온도에서 안정된 상태를 유지하고 초기 온도보정 셋팅으로 온도를 제어할 수 있다.

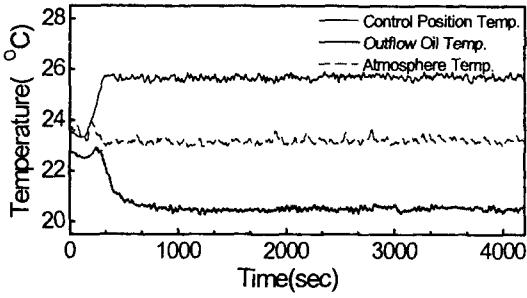


Fig. 3 Cooling Performance in 3 kw Heating

인버터 타입 냉각기는 냉각능력을 자유롭게 변화시킬 수 있는 고급 냉각기이지만 냉매 압축기의 냉각능력을 무한정 작게 제어할 수는 없다. 그래서 최소 제어 냉각능력이 존재할 수 밖에 없다. 그런데 어떤 인버터 타입 냉각기가 이 최소 제어 냉각능력보다 작은 발열량을 제어하게 될 경우에는, 냉각기가 압축기의 회전수 제어로 냉각능력을 더 이상 조절할 수 없으므로 결국 압축기 모터의 전원이 단락되는 On/Off제어로 변환하게 된다. 그래서 인버터 타입 냉각기의 최대 냉각능력이 큰 경우에는 이 최소 제어 냉각능력도 증가할 것으로 예상된다. Fig.4에는 200w의 발열을 하는 시스템을 냉각기와 연결시켰을 때 온도제어오차에 대해서 실험을 해 보았다.

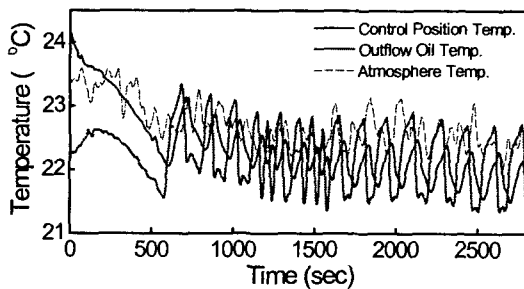


Fig. 4 Cooling Performance in 200 w Heating

그림에서 보듯이 냉각기는 부드럽게 오일온도를 제어하지 못하고 냉각기의 On/Off로 인해 오일온도가 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 사이를 급격히 진동하고 있다. 그러나 높은 발열 때와는 다르게 외기온도를 중심으로 진동이 일어나고, 이러한 온도진동 현상은 최대 냉각능력의 15%정도 발열량까지 나타났다.

4. 복합 발열조건에 따른 오일온도 제어오차 특성

인버터 타입 냉각기는 고정밀 오일온도를 제어하는 냉각기로서 일반적으로 발열조건이 급격히 변화하는 곳에서는 사용하지 않는다. 그러나 공작기계의 가공조건에 따라서는 발열의 정도가 심해질 수 있으므로 이러한 상황을 가정하여 인버터 타입 냉각기의 성능을 실험하였다. 발열조건은 10분 단위로 0, 400, 2400, 4000, 800, 2000, 0 w를 가하였다. Fig.5에는 이러한 복합적인 발열조건에서 오일온도 제어오차에 대한 경향을 나타내었다.

그림에서 보듯이 냉각기에서 출력되는 찬 오일은 발열기에 아무런 발열이 이루어지지 않았을 때는 약간의 온도진동이 있고, 제어대상 온도가 상승하면 역방향으로 냉각을 급격히 시켜 냉각기의 동적 반응속도가 작지 않음을 나타내고 있다. 그러나 발열조건이 변화하는 장시간에 걸친 경향으로 보면 2°C 정도 오일온도 오차를 야기 시키고 있어, 발열조건이 안정되지 않은 시스템에서는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 급 냉각기가 무용지물이 될 수 있음을 알 수 있다.

그래서 인버터 타입의 냉각기에서 냉각기 자체만을 PID 제어 대상으로 하지 말고 발열시스템의 특성을 고려한 PID 제어가 필요하고, 이러한 시스템은 발열조건이 변화에도 잘 적응하여 장시간의 제어에서도 상당히 정확한 온도제어가 되리라 생각된다.

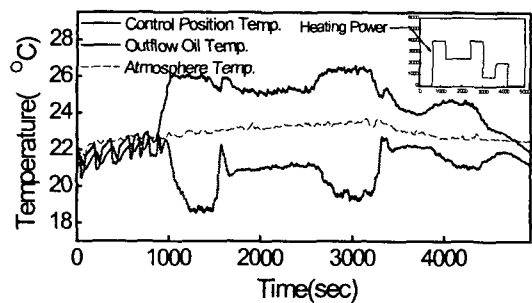


Fig. 5 Cooling Performance in Complex Heating

5. 결론

인버터 타입 냉각기는 On/Off 냉각기보다 많은 장점을 가지고 있지만, 발열시스템의 부하와 변화경향을 잘 파악해서 사용해야 고정밀의 오일 온도를 제어할 수 있다.

본 연구에서는 발열량에 따른 오일온도 제어오차와 복합 발열조건에 대한 제어오차를 평가하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 인버터 타입 냉각기는 발열에 상응한 냉각능력을 발휘하지만 대부분 기준온도보다 높게 제어되므로 목표온도를 $-1\sim-4^{\circ}\text{C}$ 로 낮게 결정하는 것이 좋다.
- 2) 인버터 타입 냉각기는 최대 냉각능력의 15~70%사이에서 목표 온도제어 오차인 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 를 만족한다.
- 3) 인버터 타입 냉각기의 최대 냉각능력 15%이하의 발열량에 대해서는 온도 제어 시 On/Off 냉각기같이 동작하여 온도오차가 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 정도 크게 발생한다.
- 4) 복합발열조건에 대해서는 인버터 타입 냉각기의 오일 온도제어 능력이 부족하므로, 발열조건의 변화가 적고 정밀한 온도제어용으로 사용하는 것이 좋다.
- 5) 복합발열조건에 대한 성능개선 방법으로 발열시스템을 고려한 PID제어시스템이 필요하다.

참고문헌

- (1) GORDON R. SLEMON, 1994, "Electrical Machines for Variable-Frequency Drives", IEEE, Vol.82, No. 8, pp.1123~1138.
- (2) Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, 1999, Modern Control Systems, Pearson Education Korea, pp. 521~574.
- (3) Anthony Esposito, 2000, FLUID POWER with Applications, SciTech, pp. 461~512.