

가스 바이패스(Gas Bypass) 사이클을 적용한 오일쿨러(Oil cooler) 연구

염한길, 이승우 | 한국기계연구원
박길중 | 일림 NANO-TECH(주)

[요약문]

공작기계의 고속화, 다축화, 복잡화에 따른 열변형 오차가 공작기계에서 발생하는 오차의 대부분을 차지하고 있다. 이러한 열변형 오차를 최소화 하기 위해 공작기계의 발열부에 차가운 오일을 공급하여 냉각함으로써, 열변형을 제거하는 장치가 오일쿨러이다. 오일쿨러는 제어 방법에 따라 On-off, 가스 바이패스, 인버터 방식 등이 사용된다. 초정밀 공작기계에는 주로 가스 바이패스 및 인버터 방식이 사용되는데, 인버터 방식의 경우 고가(高價)인 관계로 주로 옵션 형태로 사용된다. 가스 바이패스 방식 오일쿨러는 인버터 방식에 비해 가격이 저렴하고 구조가 간단하며 정밀한 온도제어를 할 수 있지만 부하가 낮은 경우 구조적인 한계로 인해 온도제어 불안정을 발생시킨다. 본 연구에서는 기존 바이패스 방식 오일쿨러에서 나타나는 문제점을 해결하고 보다 정밀한 온도제어를 위해 2개의 전자밸브를 갖는 듀얼 밸브 방식 오일쿨러 시스템을 개발하였다. 개발된 듀얼 밸브 오일쿨러 시스템의 성능검증을 위해 정격운전, DIN 8602 규격, ISO/DIS 230-3 운전모드에서 성능을 비교/분석하였다.

1. 서론

최근 공작기계는 주축회전속도 및 이송속도의 고속화와 여러 개의 공작물을 동시 가공할 수 있는 다축화 방향으로 발전하고 있다. 이러한 발전 방향은 공작기계와 가공물 사이의 발열을 증가시켜 열에 의한 변형을 야기함으로써 공작기계의 가공정밀도를 떨어뜨리게 된다.^[1] 열에 의해 발생하는 가공오차는 정적인(static) 오차에 해당하는 것으로 실제 공작기계 발생오차의 70% 정도를 차지한다.^[2,3]

열에 의해 발생하는 오차를 최소화하는 방법으로 열변형에 따른 위치보정, 서보제어 등의 간접적인 방법과 열을 발생시키는 부위를 냉각하여 열변형을 최소화하는 직접적인 방법이 있다. 후자의 대표적인 경우가 오일쿨러(oil cooler)를 이용하여 공작기계의 주축을 냉각하는 것이다.

오일쿨러는 제어 또는 운전방식에 따라 On-Off 방식, 가스 바이패스(Bypass) 방식, 인버터(Inverter) 방식 등으로 나눌 수 있는데, 원하는 가공정밀도, 경제성에 의해 각각 적용대상이 결정된다. 이들 중 가스 바이패스 방식은 증기압축 사이클을 기본으로 하고 있지만 압축기 출구와 증발기 입구 사이에 바이패스 유로를 추가로 설치하여 압축기 출구의 고온 냉매가스의 일부를 증발기 입구로 공급함으로써 오일쿨러의 냉각능력 조절은 물론 바이패스 되는 가스량을 증가시킴으로써 오히려 증발기에서 냉각용 오일을 가열할 수 있는 능력도 가질 수 있게 된다. 이와 같이 가열 능력을 갖추게 됨에 따라 겨울철 공작기계의 정상기동시간을 줄일 수 있음은 물론 냉각용 오일의 온도제어 정밀도를 크게 향상시킬 수 있게 된다.

그러나 기존의 가스 바이패스 방식으로는 바이패스 되는 냉매가스의 양을 늘리는데 한계가 있다. 왜냐하면 기존



방식은 응축기 출구의 팽창장치로 모세관을 사용하는데, 모세관은 구조가 간단하고 가격이 저렴하지만 냉매의 유량을 조절하는 데는 한계가 있어 바이패스 되는 고온 냉매가스의 양을 원하는 만큼 늘릴 수가 없다. 이로 인해 경부하(Low load) 운전시 냉각오일의 온도를 원하는 온도로 제어할 수 없는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 모세관을 전자팽창밸브로 대체하여 2개의 팽창밸브를 유기적으로 제어함으로써 경부하에서의 성능을 향상시켰으며 이에 대해 정격운전, DIN 8602 규격, ISO/DIS 230-3 운전모드에 의한 실험적 평가와 기존 바이패스 방식의 오일쿨러에 대한 성능비교시험을 수행하였다.

2. 가스 바이패스 사이클을 적용한 오일쿨러 시스템

2.1 가스 바이패스 사이클의 이론적 배경 및 오일쿨러의 종류

가스 바이패스 냉동사이클은 압축기 출구의 고온, 고압 냉매 가스를 응축기(Condenser) 전단에서 일부를 바이패스시켜 시스템의 용량 및 온도제어를 하는 방식이다. 이러한 바이패스 냉동사이클은 주로 냉동시스템의 용량을 제어 하는데 활용하는 것으로 Yaqub, M. 등은 30%의 고온 가스의 바이패스에 의해 25%의 시스템 용량과 36%의 성능계수(COP) 저하가 있음을 제시하였고^[4], Tso, C. P. 등은 냉동 컨테이너 선박의 부분부하 제어를 위해 고온 가스의 바이패스 방법을 제시하였다^[5]. 또한 Byun, J. S. 등에 의하면 공기열원 히트펌프의 실외기 제상(defrost)에 바이패스 된 고온 가스를 이용하면 전기히터를 이용한 방법에 비해 성능계수는 8.5%, 가열능력은 5.7%가 향상되고, 바이패스 양이 20%일 때 가장 좋은 제상효과가 있음을 밝혔다^[6]. Cho, H. 등은 3개의 증발기를 갖는 쇼케이스(Showcase)용 냉동시스템의 제상 방법으로 온-오프(On-off) 방식과 고온 가스 바이패스 방식을 비교하여 고온가스에 의한 제상이 온-오프에 의한 제상보다 냉동능력이 크고, 온도편차를 줄일 수 있음을 확인하였다^[7]. 이와 같이 기존의 냉동사이클에서 바이패스 방식은 시스템의 용량제어나 증발기, 실외기 등에 발생하는 서리를 제거하기 위한 방법으로 주로 사용되고 있으며, 이는 냉동용량 제어, 온도편차의 최소화, 에너지 절감 등의 방법에 사용되고 있다.

오일쿨러의 냉각원리는 사용되는 냉매의 단열팽창 및 압축을 통한 냉매의 상변화를 유도하여 냉매온도를 변화시키고 이를 이용하여 발열체의 온도를 조절한다. 오일쿨러의 냉각방식에는 압축기의 온-오프 동작에 의해 온도를 조절하는 온-오프 방식, 압축된 냉매를 바이패스 시켜 온도를 조절하는 방식 및 압축기의 모터를 인버터에 의해 회전을 제어함으로써 온도를 조절하는 인버터 방식 등이 있다. 온-오프 방식은 온도제어 정밀도가 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 로 온도정밀도는 떨어지지만 가격이 저렴한 장점이 있어 범용 공작기계에 많이 사용 된다. 인버터 제어방식은 온도제어 정밀도가 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 로서 온도 정밀도는 가장 우수하나 제어와 시스템 구성이 복잡하고 가격이 고가인 단점이 있어 초정밀 공작기계에 옵션 형태로만 적용되고 있다. 가스 바이패스 방식은 가격과 성능면에서 온-오프 방식과 인버터 방식의 장점을 고루 갖춘 방식으로 점차 적용이 확대되고 있다^[8].

2.2 기존 바이패스 방식 오일쿨러 시스템

가스 바이패스 방식을 이용한 오일쿨러 시스템은 앞에서 언급한대로 압축된 고온, 고압의 냉매 가스를 이용한 정밀 온도제어 시스템이다. 바이패스 유로가 없는 기본 냉동사이클의 작동 원리는 압축기에서 압축된 고온, 고압의 냉매 가스는 응축기를 통해 방열을 하여 고온, 고압의 액체 상태로 상변화(Phase change)가 된다. 액화된 냉매는 모세관(capillary tube)을 통해 감압됨으로써 증발하기 쉬운 상태로 증발기(Evaporator)로 유입된다. 증발기에서는 유입된 냉매가 증발하면서 공작기계 등과 같은 발열체로부터 온 냉각유의 열을 흡수하여 가스 상태로 바뀐 후 압축기 입구로 흡입되어 순환하게 된다. 그림 1은 1개의 전자 바이패스 밸브를 이

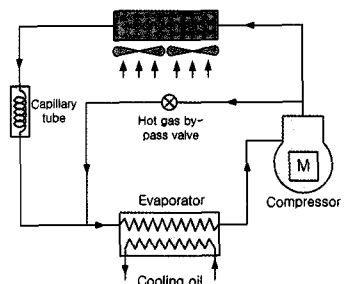


그림 1. 기존 가스 바이패스 냉동사이클

용한 시스템으로 위에서 설명한 기본 냉동 사이클에 정밀 온도제어를 위해 압축기와 응축기 사이에 바이패스 관을 설치하여 압축기로부터 나오는 고온 냉매 가스를 전부 혹은 일부를 우회시켜 증발기 입구에서 모세관을 통과한 액상 냉매와 혼합시켜 정밀한 온도 제어를 하는 것이다. 바이패스 되는 고온 가스의 양은 전자 바이패스 밸브에 의해서 조절된다. 이와 같은 가스 바이패스 방식의 오일쿨러 시스템은 온-오프 방식보다 온도제어 정밀도가 뛰어나고 에너지 효율성이 높다. 또한 실제 정밀 공작기계 적용을 통해 열 변형을 최소화하는 능력을 입증한 바 있다⁶⁾.

그런데 기존 바이패스 방식의 오일쿨러 시스템은 경부하-발열체의 온도가 낮아 온도제어의 정밀도가 더 필요한 구간으로 부하가 낮은 구간-에서 온도의 안정성이 떨어진다. 온도제어의 안정성이 떨어지는 이유는 메인 팽창기구가 냉매를 조절할 수 없기 때문이다. 왜냐하면 기존 바이패스 방식의 경우, 메인 팽창기구 (밸브 또는 모세관)로 전체 냉매유량의 50% 이상이 흘러야 안정적인 냉동사이클을 이룰 수 있기 때문에 바이패스 되는 유량을 최대로 늘려도 제어할 수 있는 온도의 한계가 존재하여 온도의 안정성이 떨어지게 된다.

이를 보여주는 것이 그림 2로 전체 냉각부하의 45% 이하에서는 온도제어가 제대로 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 한계를 개선하기 위해서는 메인 팽창기구로 유입되는 냉매의 양을 조절할 수 있어야 하고 바이패스 되는 양을 늘려 오일쿨러의 가열능력을 크게 해야 한다.

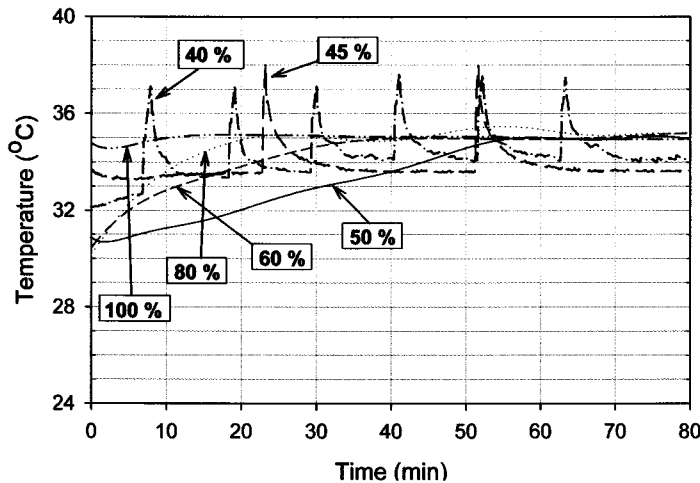


그림 2. 부하에 따른 기존 바이패스 방식 오일쿨러의 온도 제어특성

2.3 듀얼 밸브(Dual valve) 방식의 오일쿨러 시스템

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 바이패스 방식은 모세관 팽창장치와 바이패스 밸브에 의해 냉매의 순환량이 조절된다. 그런데 모세관의 경우 통과하는 냉매의 양을 임의로 조절하는 것이 곤란하고, 항상 일정량의 냉매가 흐를 수밖에 없는 구조이기 때문에 바이패스 되는 냉매의 양을 늘리는 데는 한계가 있다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위해 모세관을 전자 팽창밸브로 대체시켜 스테핑 모터에 의해 밸브 개도를 정밀하게 조절함으로써 메인 유량 및 바이패스 유량을 부하에 따라 원하는 값으로 제어할 수 있도록 하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 듀얼 밸브 방식, 즉 2개의 전자밸브로 메인 및 바이패스 유량을 연동하여 조절함으로써 추가적인 가열량을 확보할 수 있게 설계하고 이를 구현하였다.

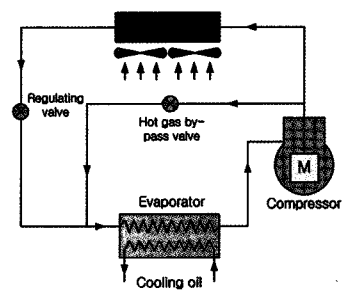


그림 3. 듀얼 밸브 방식의 오일쿨러 시스템



열부하가 큰 경우 냉매의 대부분을 팽창밸브를 통해 팽창시켜 증발기의 냉각능력을 최대한으로 활용하고, 열부하가 매우 작은 경우에는 바이패스 유량을 증가시킴으로써 증발기의 냉각능력을 최소화함은 물론 더 나아가 대부분의 냉매를 바이패스 시키는 경우에는 오히려 증발기를 히터기능으로도 사용할 수 있게 된다. 그러므로 부하의 정도에 따라 팽창밸브와 바이패스 밸브의 개도를 조절하여 부하에 가장 적절하게 냉매유량을 분배함으로써 넓은 부하영역에서 정밀한 온도제어가 가능하게 되었다. 이렇게 추가적인 가열량을 확보하게 되면 경부하에서도 안정적인 온도제어가 가능하게 된다. 이는 그림 4의 실험결과를 통해 부하율이 100~25%가 되어도 안정적으로 온도제어가 되는 것을 확인할 수 있었다.

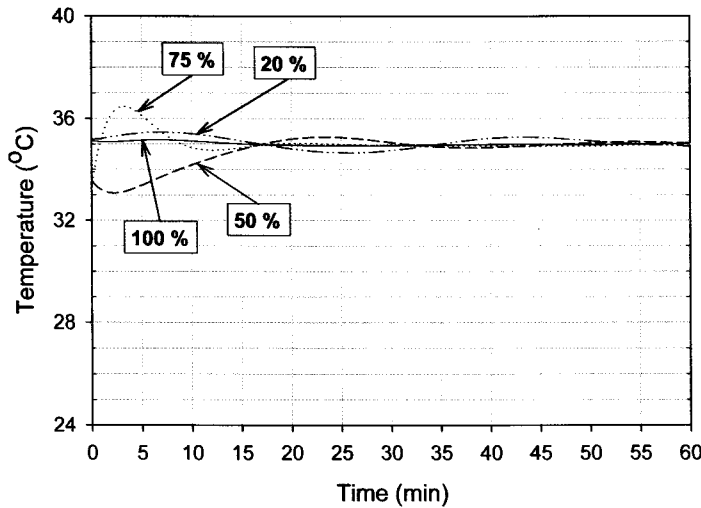


그림 4. 부하에 따른 듀얼 밸브 오일쿨러의 온도 제어특성

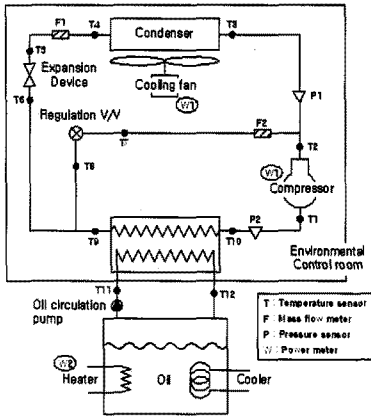
3. 기존 가스 바이패스 및 듀얼 밸브 방식 오일쿨러 시스템의 성능비교

3.1 성능평가 실험장치

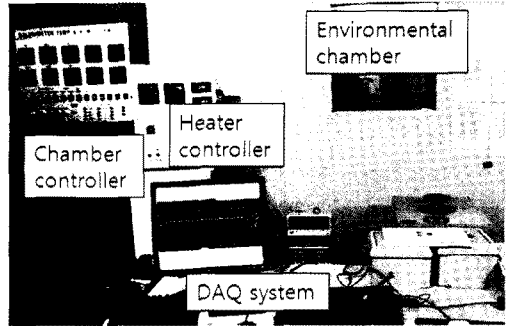
개발된 오일쿨러의 성능확인을 위해 그림 5와 같은 성능실험 장치를 제작하였다. 오일쿨러의 운전환경을 모사할 수 있는 환경챔버(5~45 ± 0.5°C)와 열부하를 모사할 수 있는 부하조절장치(0~10 kW), 측정데이터를 모니터링하고 수집할 수 있는 데이터 수집장치 등으로 구성되어 있다. 부하조절장치는 전기히터와 쿨러에 의해 조절된다. 즉 냉각부하는 전기히터에 의해 조절되고, 가열부하는 별도의 쿨러에 조절된다. 오일쿨러로 공급되는 열량은 냉각유의 온도차와 유량을 측정하여 모니터링 할 수 있다. 냉각유의 유량은 기어타입 오일 유량계(Oval사, FLOWPET LS5276)로 측정하였고, 오일쿨러 각 부위(압축기 입/출구, 응축기 입/출구, 팽창밸브 입/출구, 열교환기 입/출구, 바이패스 밸브 입/출구)의 온도는 열전대(Thermocouple, T-type) 및 측온 저항체(RTD) 센서로 측정하였다. 바이패스 되는 가스의 유량 및 전체 냉매유량 측정을 위해 RHEONIK사의 RHM 04 질량유량계를 각각 압축기 출구 및 응축기 출구에 설치하였다. 또한 오일쿨러 냉동사이클의 고압과 저압 측정은 KELLER사의 PA-21SR 압력센서를 이용하였으며, 소비전력량은 YOKOGAWA사 CW240을 이용하여 측정하였다. 각종 측정 데이터(유량, 온도, 압력, 전력량 등)는 데이터 수집장치(Agilent사 34970A, 34901A, LabVIEW software)로 모아져 PC로 전송, 저장된다.

부하 조절기에서 원하는 부하량을 냉각유에 실어 오일쿨러로 공급하면, 오일쿨러는 이 부하를 처리하기 위해 운전

되고, 설정된 온도를 맞추기 위해 스테핑 모터로 개도가 조절되는 바이패스 밸브를 이용하여 바이패스 가스량을 조절한다. 바이패스 밸브의 개도는 0~850 펄스까지 정밀하게 조절된다. 응축기의 냉각 팬은 응축기 압력이 21 기압 이상이 되면 가동되게 제어함으로써 압축기 출구 냉매 즉 고온 가스의 열량을 충분히 확보하여 가열 용량을 증대시키고, 냉각 팬의 속도변화를 제어하여 냉각 팬의 소비전력을 절감하고 가열용량을 증대할 수 있도록 하였다.



(a) 실험장치 개략도



(b) 부하조절 및 데이터 측정장치

그림 5. 오일쿨러 성능실험 장치

3.2 성능실험

기존 바이패스 및 듀얼 밸브 방식의 오일쿨러 성능비교를 위해 KS B 4921의 정격용량 시험을 통해 설계점에서의 성능을 확인한 후, 두 가지 경우의 동작기계 운전모드(DIN 8602, ISO/DIS 230-3)에 대해 성능시험 챔버 내에서 비교시험을 수행하였다.

3.2.1 정격운전시험

정격운전시험 (KS B 4921)은 표 1에 나타낸 바와 같이 챔버(Chamber) 온도와 오일쿨러 제어기 설정온도를 35℃로 설정하고, 오일쿨러에 정격용량의 부하를 가한 상태에서 오일쿨러를 가동하여 순환되는 오일 온도와 제어기 설정온도를 비교하여 오차를 측정하고, 순환 오일의 입출구 온도와 유량을 이용하여 실험용 오일쿨러의 정격용량을 측정하는 시험이다. 측정결과는 표 1에 정리한 바와 같이 정격출력은 기존 바이패스 및 듀얼 밸브 방식 모두 5980W로 정격용량 5700W를 상회하는 값으로 나타났으나, 온도 제어 정밀도에서는 듀얼 밸브 방식 오일쿨러가 35±0.07℃로 기존 바이패스 방식의 0.11℃에 비해 훨씬 뛰어난 것으로 나타났다(그림 6, 7 참조).

표 1. 정격부하에 대한 성능비교

Type	Chamber set temp.	Cooper set temp.	Load	Accuracy	Rated output
Single valve	35℃	35℃	100%	0.11℃	5980W
Dual valve	35℃	35℃	100%	0.07℃	5980W

3.2.2 DIN 8602 운전모드 비교시험

DIN 8602 규격은 그림 8과 같이 일정 시간 동안 동작기계의 운전부하를 25 → 50 → 75 → 100 → 25 → 50%로 변화시키면서 발생하는 동작기계의 열변형량 측정을 위한 운전모드로 본 실험에서는 열변형 제어기의 응답성 등을

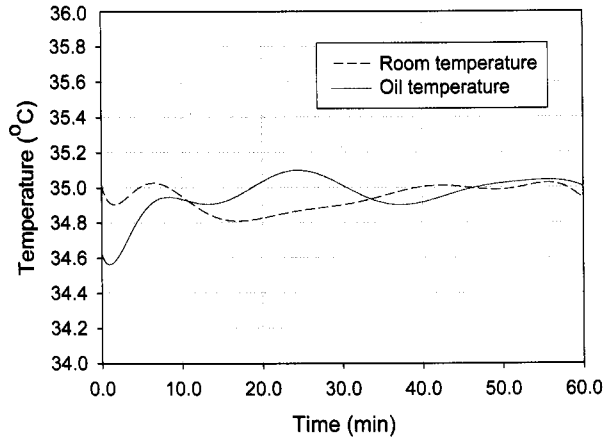


그림 6. 기존 바이패스 방식 오일쿨러의 정격운전 데이터

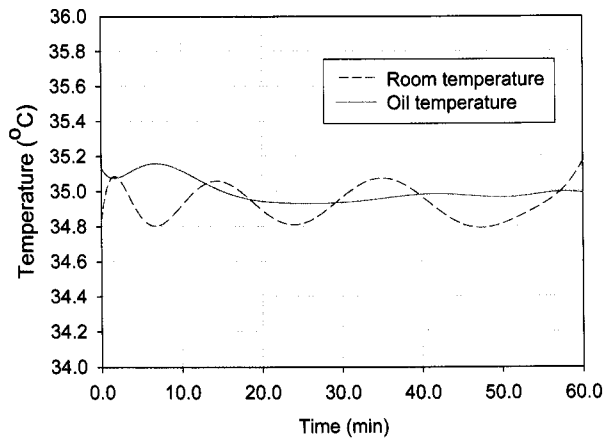


그림 7. 듀얼 밸브 방식 오일쿨러의 정격운전 데이터

고려하여 각 시간 간격을 30분씩 하여 전체 3시간을 1사이클로 각각 3회 반복실험을 하여 측정데이터의 신뢰성 및 재현성을 확보하고자 하였다.

공작기계의 주변온도는 환경챔버 내의 온도로 모사가 가능한데 20°C로 설정하였다. 또한 각 열변형 제어기의 운전제어는 추종식 모드로 공작기계 주변온도에 맞게 오일온도를 제어하여 공작기계 주축의 열변형을 최소화 하는 운전방식을 채택하였다.

그림 9, 10은 기존 바이패스 및 듀얼 밸브 방식 오일쿨러에 대한 실험 결과를 보여주는 것으로 전체적으로 오일온도가 챔버의 설정온도 20°C를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 그림에 나타난 바와 같이 공통적으로 부하변동이 있을 때 온도편차가 크게 발생하였고 특히 가장 급격한 부하변동 (100→25)시에 가장 큰 온도편차를 나타냈다(기존 바이패스 방식 : 0.98°C, 듀얼 밸브 방식 : 0.82°C). 이는 설계 온도편차보다 큰 값이지만 실제 공작기계에서는 DIN 8602의 실험조건과 같은 급격한 부하변동이 없기 때문에 이러한 차이에 의해 발생하는 열변형 오차는 거의 없을 것으로 판단된다.

표 2에 정리된 실험결과에서 알 수 있듯이 듀얼 밸브 방식의 오일쿨러가 기존 바이패스 방식에 비해 더 정밀한 제어결과를 보이고 있다. 이는 바이패스 되는 냉매 가스의 양으로 냉각용량을 조절하는데 있어 듀얼 밸브 오일쿨러 시스템이 온도 안정화에 소요되는 시간을 줄일 수 있기 때문이다.

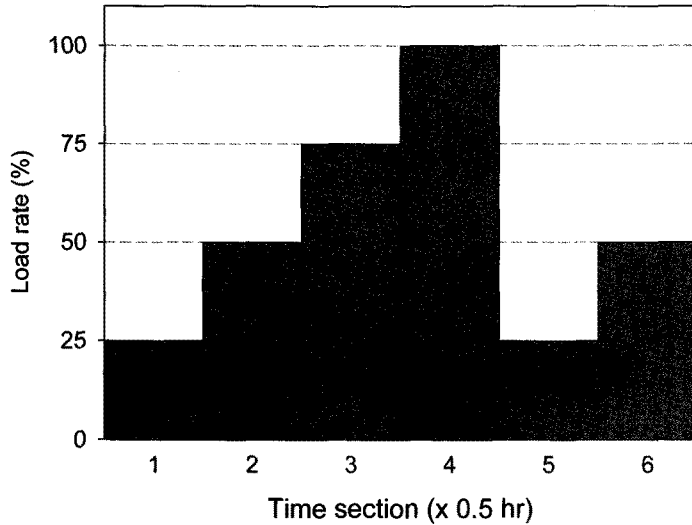


그림 8. DIN 8602 실험의 부하패턴

표 2. DIN 8602 실험 조건에 의한 성능비교

Type	Chamber set temp.	Oil temp.	Load	Accuracy
Gas bypass	20°C	20.1°C	100%	0.98°C
Dual valve	20°C	20.0°C	100%	0.82°C

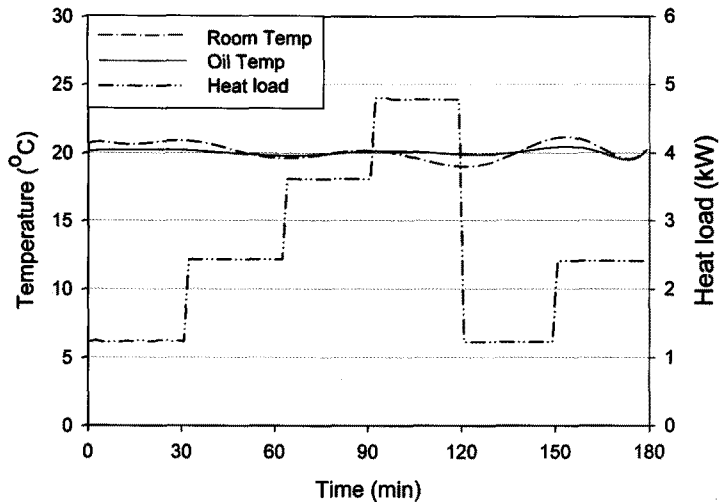


그림 9. DIN 8602 실험 조건에 따른 기존 바이패스 오일쿨러의 운전 데이터

3.2.3 ISO/DIS 230-3 운전 모드에 대한 비교

ISO/DIS 230-3 규격은 공작기계 주축을 각각 4시간씩 회전수 4000→6000→5000rpm으로 운전한 후 12시간 동안 자연 방치하여 주축의 열변형을 측정하는 것으로 본 연구에서는 기존의 측정데이터를 이용하여, 실험용 오일쿨러의 용량에 맞게 실제 운전환경을 모사할 수 있도록 챔버온도 및 부하패턴을 작성하여 성능측정에 이용하였다. 그

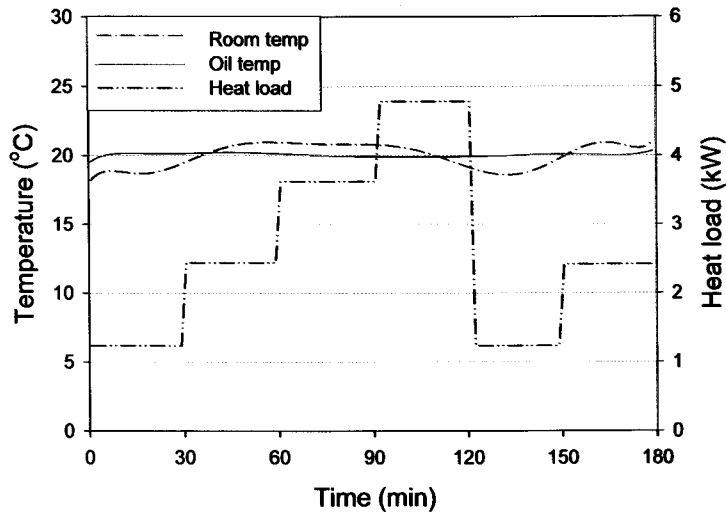


그림 10. DIN 8602 실험 조건에 따른 듀얼 밸브 오일쿨러의 운전 데이터

림 11에 나타난 바와 같이 12시간을 1사이클로 각각 3회 반복 실험하여 성능분석에 활용하였다.

표 3에 정리된 실험결과에서 알 수 있듯이 ISO/DIS 230-3 운전 모드 실험에서도 DIN 8602 실험과 마찬가지로 듀얼 밸브 방식의 오일쿨러가 기존 바이패스 방식에 비해 더 정밀한 제어결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 12, 13은 기존 바이패스 및 듀얼 밸브 방식 오일쿨러에 대한 실험 결과를 보여 주는 것으로 듀얼 밸브 방식은 0.11°C, 기존 바이패스 방식은 0.15°C의 정밀도로 잘 제어되고 있음을 알 수 있다. 특히 듀얼 밸브 방식은 6시간 전후의 최대 부하지점 뿐만 아니라 10~12시간 대의 경부하 구역에서도 기존 바이패스 방식에 비해 안정적으로 설정 온도를 추종하는 것으로 나타났다.

표 3. ISO/DIS 230-3 실험 조건에 의한 성능비교

Type	Chamber set temp.	Oil temp.	Load	Accuracy
Gas bypass	Variable	Follow-up type	Variable	0.15°C
Dual valve	Variable	Follow-up type	Variable	0.11°C

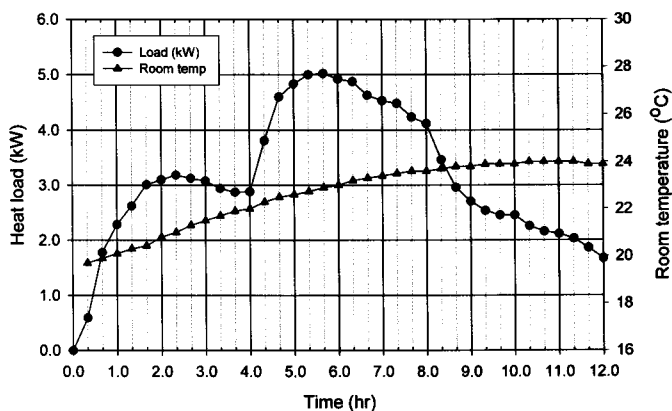


그림 11. ISO/DIS 230-3 실험의 부하패턴

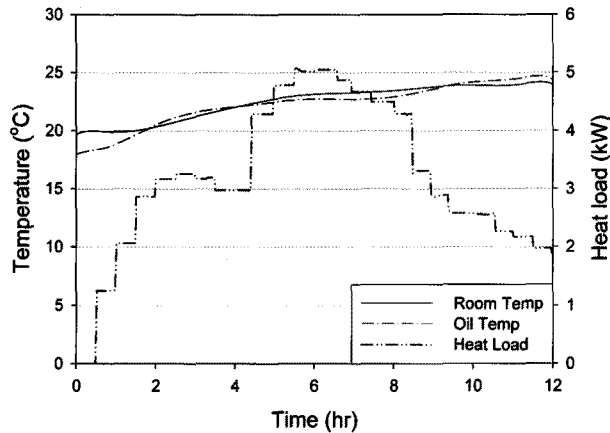


그림 12. ISO/DIS 230-3의 실험 조건에 따른 기존 바이패스 방식 오일쿨러의 운전 데이터

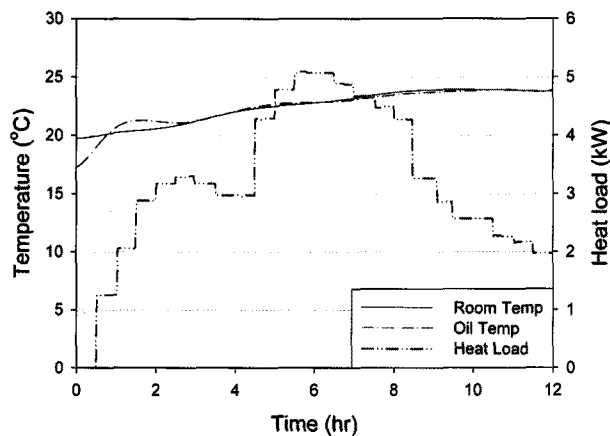


그림 13. ISO/DIS 230-3의 실험 조건에 따른 듀얼 밸브 방식 오일쿨러의 운전 데이터

3.2.4 에너지 소비량 비교시험

에너지 소비량 비교를 위해 온-오프, 기존 바이패스, 듀얼 밸브 방식 오일쿨러에 대해 12시간 동안 ISO/DIS 230-3의 실험 조건에 따라 운전하면서 각 오일쿨러의 소비전력량을 측정하였다. 그림 14에 보는 바와 같이 온-오프 방식 오일쿨러의 소비전력이 가장 큰데 이는 경부하에서 냉각 오일의 온도를 상승시키기 위해 별도의 전기 히터를 사용해야 하기 때문이다. 왜냐하면 온-오프 방식 오일쿨러의 경우 자체적으로는 냉각능력을 조절할 수 없어 냉각부하가 작은 경우에는 냉각 오일의 온도가 지속적으로 하강하기 때문이다. 따라서 이를 방지하고 냉각 오일의 온도를 설정 온도로 유지하기 위해서는 별도의 전기히터를 이용해 가열을 해주어야 한다. 각 운전 방식에 대한 에너지 절감량은 표 4에 정리하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 에너지 절감율은 온-오프 방식의 오일쿨러를 기준으로 계산하면 기존 바이패스 방식이 40.5%, 듀얼 밸브 방식이 40.7%로 나타났다. 에너지 소비량에서 기존 바이패스와 듀얼 밸브 방식의 차이가 없는 것은 같은 냉동사이클을 사용하기 때문이다.

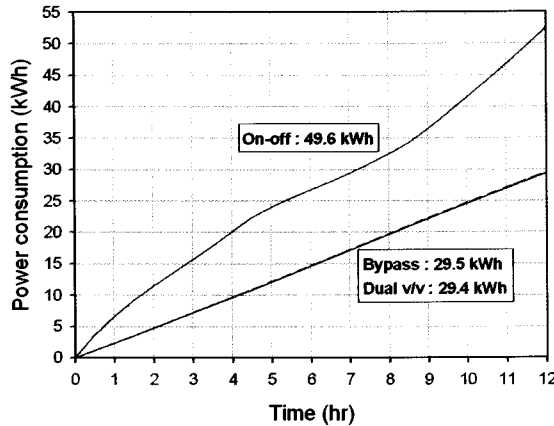


그림 14. ISO/DIS 230-3의 실험 조건에 따른 소비전력량 비교

표 4. ISO/DIS 230-3 실험 조건에 의한 에너지 소비량 비교

Type	Oil temp.	Power consump. (12hr operation)	Rate of energy Consumption	Rate of energy saving
On/Off	Follow-up	49.6kWh	100%	0.0%
Gas bypass	Follow-up	29.5kWh	59.5%	40.5%
Dual valve	Follow-up	29.4kWh	59.3%	40.7%

4. 결론

경부하에서 기존 바이패스 방식의 오일쿨러가 갖는 단점, 즉 바이패스 유량이 부족하여 정밀한 온도제어가 불가능했던 것을 보완하기 위해 두 개의 전자팽창밸브를 적용한 개선된 바이패스 방식의 오일쿨러를 개발, 이에 대한 성능 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 정격부하(부하율 100%)에서는 두 가지 방식의 오일쿨러에 대한 성능차이는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 기존 바이패스 방식의 경우 부하율을 변화시키면서 성능을 측정할 결과 부하율 50% 이하에서는 냉매압축기가 작동과 정지를 반복하면서 원하는 온도를 유지하지 못함을 알 수 있었다.
- 개선된 듀얼 밸브 방식의 오일쿨러는 25%의 경부하에서도 정밀하게 온도를 제어할 수 있음을 알 수 있었다.
- 또한 실제 공작기계의 운전환경을 모사한 시험(DIN 8602, ISO/DIS 230-3)에서도 듀얼 밸브 방식이 보다 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.
- 에너지 소비를 비교한 결과 온-오프 방식에 비해 가스 바이패스 방식 오일쿨러가 약 40%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

이를 통해 기존 바이패스 방식 오일쿨러가 경부하에서 온도제어가 불가능했던 이유는 바이패스 유량 부족이 원인이었음을 확인할 수 있었고 이를 개선하기 위한 방안, 즉 두 개의 전자팽창밸브를 적용한 오일쿨러가 경부하에서 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 바이패스 방식의 오일쿨러가 온-오프 방식의 오일쿨러에 비해 온도 정밀도 뿐만 아니라 에너지 절감에서도 뛰어난 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

✻ 참고 문헌

- [1] Seung Woo Lee, Han Kil Yeom and Kil Jong Park, 2009, "Performances of hot gas bypass type oil cooler system," Korea Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 73~80.
- [2] Bryan, J. B., 1990, "International status of thermal error research", Annals of the CIRP, 39/2, pp. 645-656.
- [3] Weck, M., McKeown, P. A., Bonse, R., and Herbst, U., 1995, "Reduction and compensation of thermal error in machine tools," Annals of the CIRP, 42/2, pp. 645-656.
- [4] Yaqub, M., and Syed M. Z., "Capacity Control for Refrigeration and Air-Conditioning Systems: A Comparative Study," Journal of Energy Resources Technology, Vol. 123, No. 1, pp. 92-99, 2001.
- [5] Tso, C. P., Wong, Y. W., Jolly, P. G., and Ng, S. M., 2001, "A comparison of hot-gas by-pass and suction modulation method for partial load control in refrigerated shipping containers," International Journal of Refrigeration, Vol. 24, pp. 544-553.
- [6] Byun, J. S., Lee, J., and Jeon, C. D., "Frost retardation of an air-source heat pump by the hot gas bypass method," International Journal of Refrigeration, Vol. 31, No. 2, pp. 328-334, 2008.
- [7] Cho, H., Kim, Y., and Jang, I., "Performance of a showcase refrigeration system with multi-evaporator during on-off cycling and hot-gas bypass defrost," Energy, Vol. 30, No. 10, pp. 1915-1940, 2005.
- [8] Lee, S.W., Yeom, H.K. and Park, K.J, "Performances of Hot Gas Bypass Type Oil Cooler System," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 3, pp. 73-80, 2009.



염 한 길

· 한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부
에너지기계연구실 책임연구원
· 관심분야 : 냉동공조시스템
· E-mail : hkyeom@kimm.re.kr



이 승 우

· 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부
광응용생산기계연구실 책임연구원
· 관심분야 : 생산시스템
· E-mail : lsw673@kimm.re.kr



박 길 중

· 일림 NANO-TECH(주) 냉기사업부장
· 관심분야 : 오일풀러, 공작기계
· E-mail : kjpark@ilrim.com