

# Hot Gas 방식의 Oil Cooler 성능평가기술 Assessment Capability of Oil Cooler with Hot Gas

\*#이승우<sup>1</sup>, 이창우<sup>1</sup>, 박길종<sup>3</sup>

\*#S. W. Lee(lsw673@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C. W. Lee<sup>1</sup>, K.J. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 지능기계연구센터, <sup>2</sup>일림나노텍(주) 냉기사업부

Key words : Hot Gas By Pass, Oil Cooler, Capability, Heating Performance, Cooling Performance

## 1. 서론

공작기계의 최근 개발 방향은 고속화, 고정도를 추구하고 있다. 고속화, 고정도를 위해서는 구동부의 고속회전, 이송계의 급속이송이 필요하며, 이로 인한 열 발생이 정밀도에 중요한 문제가 되고 있다. 공작기계에서 발생하는 오차 중 약 70% 정도가 열 변형에 의한 오차로 보고되고 있으며, 이들 오차를 최소화하는 방법으로는 원점보정, 공작기계 서보계의 제어 및 오일 혹은 물을 이용한 냉각기구의 이용 등이 있다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 방법 중 하나는 열이 발생하는 구동부와 이송계 등에 직접적인 냉각을 하여 발생하는 열의 온도를 제어하는 Oil Cooler를 사용하는 것이다.

Oil Cooler는 On/Off 방식, Hot Gas By Pass 방식, Invertor 방식 등이 있으며, 사용자의 요구에 따라 필요한 제어방식을 선택한다. On/Off 방식은 설정온도에 따라 Compressor의 동작을 on/off 하는 것으로 냉각정밀도 ±0.5℃의 낮은 온도 제어에 사용된다. Hot Gas를 이용한 Oil Cooler는 Invertor 보다 경제적으로 냉각정밀도 ±0.1℃의 온도제어를 사용한다. Invertor 펌프를 이용한 Invertor 방식은 Hot Gas 방식과 비슷한 온도정밀도 ±0.1℃의 온도제어가 가능하나 경제적인 면에서 고가이다.

본 연구에서는 Hot Gas 우회 방식을 이용한 Oil Cooler의 성능평가 위해 Regulating Valve의 개폐에 의한 온도변화 특성, Hot Gas 량 측정 등을 분석하였다.

## 2. Hot Gas By Pass Oil Cooler

온도의 정밀한 제어를 위해서는 Cooler의 기본 냉각 기능과 함께 과냉각된 오일을 가열하여 원하는 온도로 유지하여야 한다. Invertor 방식을 제외한 종전의 Oil Cooler에는 정밀온도제어를 위해 별도의 히터를 부착하여 과냉각된 오일을 가열하는 경우도 있었다. Hot Gas 우회 방식의 Oil Cooler는 Compressor에서 압축된 고온의 냉매 Gas를 이용하여 과냉각된 오일을 가열하여 설정된 온도로 정밀 제어하는 기능을 한다. Fig. 1은 Hot Gas By Pass 방식의 Oil Cooler를 나타낸 것이다.

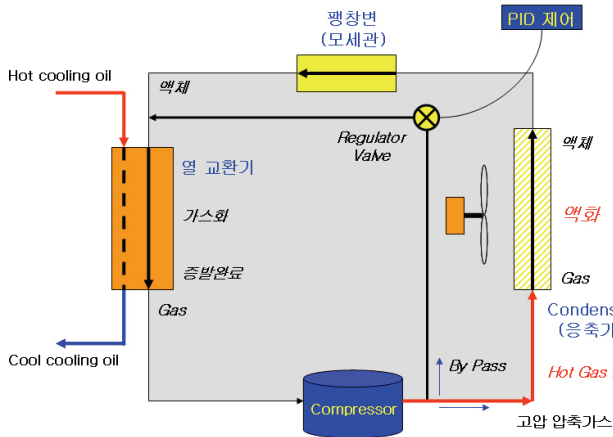


Fig.1 Principles of Hot Gas By Pass Oil Cooler

Oil Cooler의 냉각 사이클은 다음과 같다. 기체 상태로 되어 있는 냉매는 Compressor에 의해 고온, 고압의 가스 상태로 되어 있다. 응축기를 통과하면서 팬에 의해 냉각된 Hot Gas는 기체

상태에서 액체 상태로 변한다. 그러나 이 부분에서도 여전히 압력은 높은 상태이므로 팽창변을 이용해 압력을 감소시키고, 증발하기 쉬운 조건, 즉 압력과 온도는 비례하기 때문에 원하는 증발온도로 설정할 수 있다. 압력이 낮아진 액체 냉매는 열교환기에서 뜨거운 오일의 열을 흡수함으로써 다시 기체의 상태로 환원된다. 열교환기에서 온도가 낮아진 냉각오일은 냉각 대상으로 간다.

Hot Gas By Pass 방식은 Compressor에서 나온 고온 고압의 Gas 일부 혹은 전부를 우회시켜 팽창변에서 나온 냉매와 혼합함으로써 원하는 온도제어를 할 수 있게 한 것이다. Hot Gas의 양을 제어하는 것은 stepping 모터에 의해 구동되는 Regulating Valve의 개폐각도에 의해 결정되며, stepping 모터는 PID제어를 한다. 본 연구에서 사용된 Oil Cooler는 Hot Gas와 냉매의 Mixing을 통하여 온도제어 정밀도 ±0.1℃를 목표로 한다.

## 3. 성능평가

Hot Gas By Pass Oil Cooler의 성능평가 기술은 냉각 oil inlet/outlet의 온도측정, Hot Gas 측정 기술, Hot Gas 개폐에 따른 Heating 온도의 변화 등의 측정이다.

Hot Gas를 이용한 Oil Cooler의 정밀한 온도제어를 위해서 냉각용 oil은 냉각과 가열에 의해 설정된 온도를 일정하게 유지하기 위해서는 by pass되는 hot gas의 양이 매우 중요하다. 본 연구의 대상 oil cooler는 R-407C 냉매를 이용한 증기압축 사이클에 의해 운전된다. 이 냉매는 R-22와 비슷한 압력 특성을 가지며, 지구 온난화 지수도 상당히 낮은 편이다. Fig. 2는 R-407C 냉매를 이용한 증기압축 냉동사이클의 각 상태점을 압력-엔탈피 선도에서 나타낸 것이다. 사이클의 고압과 저압이 각각 2.31, 0.63 MPa이고 압축기 입력을 2220 W, 냉동능력을 6250 W라 하면 아래의 압력-엔탈피 선도를 이용하여 아래의 식에 의해 사이클의 순환 냉매유량을 구할 수 있다. 여기서, Q는 냉동능력,  $\dot{m}$ 은 순환 냉매유량,  $\Delta h$ 는 엔탈피 변화량으로 (h3-h1)이다.

$$Q = \dot{m} \Delta h \quad (1)$$

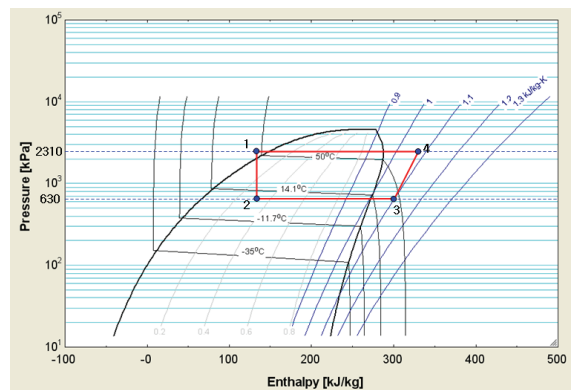


Fig. 2. Graph of Pressure-Enthalpy about R-407C

식 (1)을 이용하여 구한 순환 냉매유량은 37.66g/s 이며, 압력-엔탈피 선도 상의 점 4에서의 온도를 구하면 114.5℃를 얻을 수 있다. Hot Gas의 혼합점에서 압축기 출구로부터 by pass된 114.5℃

의 hot gas와 팽창변을 지난 건도 약 0.2-0.3 정도의 냉매가 혼합된다. Fig. 3은 by pass되는 hot gas의 양에 따른 증발기의 cooling 및 heating 능력의 변화를 보여주고 있다. Hot gas의 양이 전체 유량의 약 42.5% 이하이면 냉각 oil을 냉각시킬 수 있고 이상이 되면 가열을 하여 필요한 온도로 냉각 oil의 온도를 제어할 수 있다.

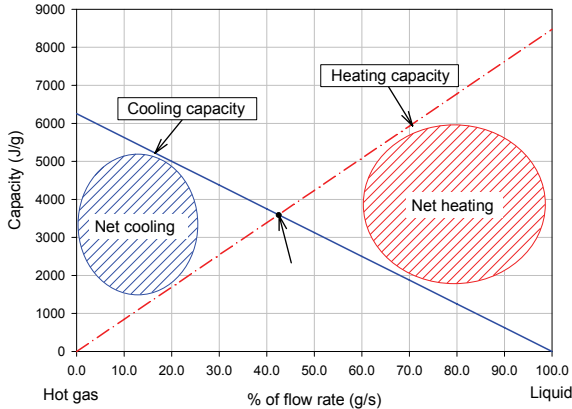


Fig. 3 Change of cooling & heating on hot gas volume

Hot gas를 이용한 온도제어 중 경부하시나 외기 기온이 낮은 초기 가동 시에는 Hot gas를 이용한 Heating 능력이 떨어진다. Hot gas by pass에서 이론적으로 Regulator Valve가 충분한 용량을 가지고 있어 많은 양의 고온고압의 Gas를 열 교환기에 보냄으로써 Heating 가능한 것으로 나타나 있다. 그러나 제품의 경쟁력을 고려하여 용량이 적절한 Regulator valve의 사용으로 Hot gas에 의한 충분한 Heating 능력을 확보하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 2개의 solenoid valve를 사용해서 4가지의 다른 state를 만들고 Regulator valve의 개폐량에 따라 Heating 능력을 실험하였다.

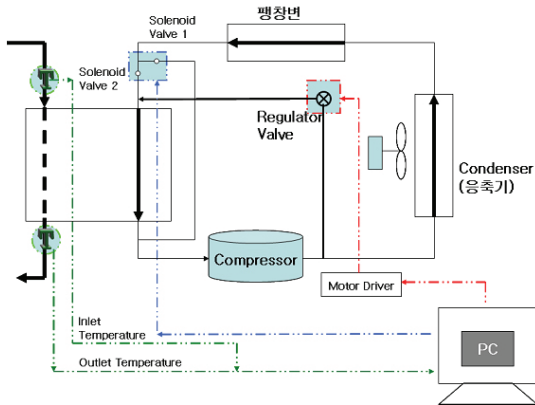


Fig. 4 Heating oil using hot gas with two solenoid valve

가장 냉각능력이 좋은 것은 Solenoid valve2를 열고 1을 닫는 것이다. 다음으로는 두 개의 밸브를 모두 여는 것이고, Solenoid valve2를 닫고 Regulator 밸브를 모두 열면 가열이 일어난다. 실험에 의해서 가장 가열이 잘 되는 것은 2개의 Solenoid valve를 모두 닫고 Regulator 밸브로 최대한 여는 것이다. Fig. 5는 solenoid valve1을 닫고 solenoid valve2를 열고 regulator valve의 320 pulse 까지 개폐한 경우를 나타낸 것이다.

시험에서 분석된 특이한 점은 Regulator Valve가 5에서 40 pulse까지는 비슷한 냉각특성을 가지는 것이다. 이것은 기계적으로 40 pulse 근방까지 valve가 내부적으로 열리지 않아 고온의 Gas가 통과하지 못하거나 매우 미량으로 유동하기 때문일 것으로 예상된다. 80 pulse에서는 평행상태에 도달하여 외부 부하가 평형이 되는 순간이고 이후에는 Hot gas에 의해 온도조절(가열)이 가능한 것으로 분석되었다.

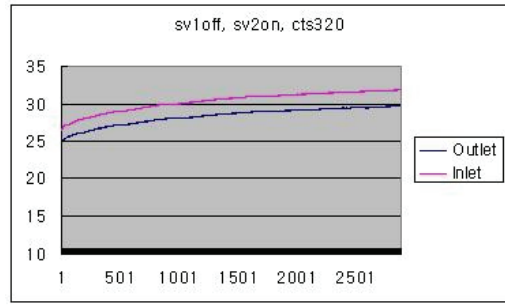


Fig. 5 Heating on combination of two solenoid valve and regulator valve

Fig. 6은 개루프 성능평가를 바탕으로 피드백 제어를 수행한 결과를 나타내고 있다. 오일쿨러의 온도제어 특성상 시간 뒤집이 나타나고 빠른 응답속도를 가지지 않으므로 미분제어기는 큰 역할을 하지 않으므로 비례적분 방법을 사용하였다. 실제 Oil 펌프 구동 시 외부부하를 조금씩 증가하여 외부 부하 변동에 대한 제어기 성능 평가한 것이다. 부하를 변동한 시점에서 최대 0.2℃의 오차를 갖지만 1분 이내에 0.1℃ 이내로 온도제어가 됨을 알 수 있다.

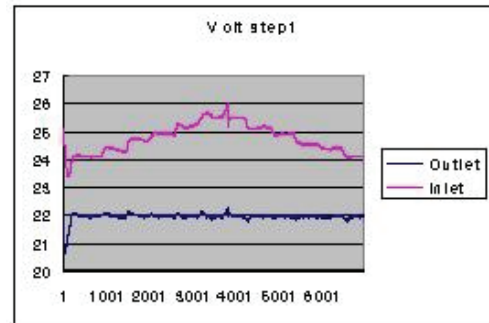


Fig. 6 Feed back control based on open loop performance

#### 4. 결론

본 연구에서는 Hot gas 우회 방식의 오일쿨러 성능평가를 수행하였다. Hot gas 우회 방식은 정밀한 온도제어를 위해 compressor에서 압축된 gas의 일부 혹은 전부를 regulator valve의 개폐를 통해 냉각과 가열하는 방식이다. 이를 위해 hot gas의 량과 냉매의 물성을 고려하여 hot gas의 온도를 측정하였으며, hot gas 량 42.5%를 기준으로 냉각과 가열됨을 알 수 있었다. 또 경부하시 오일쿨러의 heating 능력을 시험하고 부하에 따른 온도 제어를 시험하였다. 시험결과 대상 오일쿨러에서 목표로 하고 있는 온도제어정밀도  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 를 유지하는 것을 확인하였다. 제안된 방법을 통해 오일쿨러의 성능평가뿐만 아니라 이러한 냉동사이클을 가지는 장비 및 시스템의 성능평가를 할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 이장무, 한주환, "공작기계 성능향상의 이론과 실제 - 공작기계의 열변형, 대한기계학회지, 21, 6-9, 1981.
2. 신현장, 이석원, 박희재, 김두근, "공작기계 회전정밀도, 열변형 측정 및 평가기술," 대한기계학회 1996년도 춘계학술논문집 A, 1, 1028-1033, 1996.
3. Lee, S.W., Han, S.W. and Lee, H.K., "Reliability evaluation of High Precision Oil Cooler," Proceedings of AIWARM2006, 1, 533-540, 2006.