

# 오일 냉각기용 온도센서의 동적 온도 민감도에 관한 연구

이찬홍\*, 이상호<sup>+</sup>, 박효찬<sup>++</sup>

## Dynamic Temperature Sensitivity of Temperature Sensors for the Oil Coolers

Chan Hong Lee\*, Sang Ho Lee<sup>+</sup>, Hyo Chan Park<sup>++</sup>

### Abstract

In this Paper, the dynamic temperature sensitivity and max. temperature measurement errors of oil and air sensor in oil cooler are evaluated to predict design validity of sensors under special oil and atmosphere temperature changes. The temperature tracking of oil sensors for periodic temperature changes is simulated by obtaining thermal response coefficient from experiment. By this method, it is possible to design the optimal sensors with the admitted temperature measurement errors.

**Key Words :** Oil Cooler(오일 냉각기), Temperature Sensor(온도센서), Temperature Measurement Error(온도측정 오차), Dynamic Temperature Sensitivity(동적 온도 민감도)

## 1. 서론

현대식 생산시스템에서는 과거에는 생각할 수 없었던 높은 절연속 속도와 이송속도가 가공장비 내에서 빈번히 발생되어, 공작물과 공구의 가공위치에서 상당한 발열이 야기된다. 또한 고속 이송에 따른 안내면에서의 마찰로 발열분이 구조물내에 열전달이 되면서 구조물을 심하게 열변형시키게 된다. 이뿐만 아니라, 공작기계에 부착되어 있는 각종 고용량 구동기구(회전 모터, 리니어 모터, 솔레노이드 밸브)는 주로 전기에 의존하여 동작을 부여받기 때문에 코일 발열이 매우 크다. 이 발열들은 공작기계 구조물에 퍼지면서 불균일한 온도분포를 생성시키고 삼차원의 열변형으로 변환되서 열변위 보정마저도 어렵게 되어 기계의 가공정밀도에 심한 손상을 야기 시킨다.

이와 같은 공작기계 내에서 불규칙한 발열을 억제하고 더 나아가 온도제어를 위해서 오일냉각기를 사용하게 된다 이 오일냉각기는 2개 이상의 온도센서가 장착되어 외기와

오일의 온도상태를 냉각기의 제어기에 알려 줌으로서 냉각의 정도를 적절하게 조절하게 된다. 그러나 이 중요한 외부 온도정보를 온도센서가 왜곡하여 전달한다면 냉각기의 제어기에서 이루어지는 모든 제어공정은 무용지물이 되고 만다.

특히나 오일의 온도를 측정하는 온도센서는 오일의 온도를 정확히 전달해야 하나, 온도센서가 가지고 있는 고유의 반응속도가 늦어 실제 온도에 대해 시간지연이나 절대온도 오차가 커지게 되면 원가의 절감 없이 냉각기의 성능만 심하게 저하된다. 외기온도를 측정하는 온도센서의 경우는 오일 온도센서보다는 냉각성능에 미치는 영향정도가 적기는 하지만, 정밀한 냉각제어가 필요하고 외부 환경이 빈번히 변화하는 상황에서는 외기 온도센서의 민감도 부족이 냉각온도와 대상기계의 평균온도와 차이가 커져 대상기계의 열변형을 오히려 배가 시킬 수 있어 문제가 된다.

\* 주저자, 한국기계연구원 공작기계실 (chlee@kimm.re.kr)

주소: 305-343 대전 유성구 장동 171

+ 경상대학교 계측제어과

++ 일립유압(주)

본 연구에서는 오일냉각기 온도센서의 정적 온도측정 정밀도와 외부온도 변화에 대한 동적 온도 민감도를 평가하고, 이에 따른 냉각기의 온도제어 오차를 분석하였다.

## 2. 오일 냉각기 온도센서의 냉각능에 대한 영향과 실험장치

오일냉각기의 주변과 내부 온도정보를 전달하는 온도센서는 냉각기의 냉각능력을 가감하는 중요한 외부정보이다. 일반적으로 냉각기에는 2개 이상의 센서가 있다. 간단한 경우 외기온도를 측정하는 온도센서와 기계에 공급하는 오일의 온도를 측정하는 오일 온도센서가 있다(Fig. 1). 이들 온도센서의 차이값은 기본적으로 제어의 근본 정보가 된다. 이 정보의 처리 분해능에 따라 일반급과 정밀급 오일냉각기로 나뉜다. 일반급 냉각기인 경우 외기온도와 오일온도의 차이값이  $\pm 1^\circ\text{C}$  정도의 온도오차를 갖는 항온 오일을 공급하게 되고, 정밀급인 경우  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  정도의 온도오차를 갖는 항온 오일을 공급한다. 여기서 기준온도에 대한 항온오일을 공급하는 방법은 두가지가 있는데, 첫 번째가 외기온도 변화에 동조하여 공급오일의 온도를  $\pm 1^\circ\text{C}$  또는  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  오차내로 제어하는 방식이고, 두 번째가 외기온도에 관계없이 공급오일 온도를 절대 설정온도로 지정하고 공급오일의 온도를 오차내로 제어하는 방식이다.

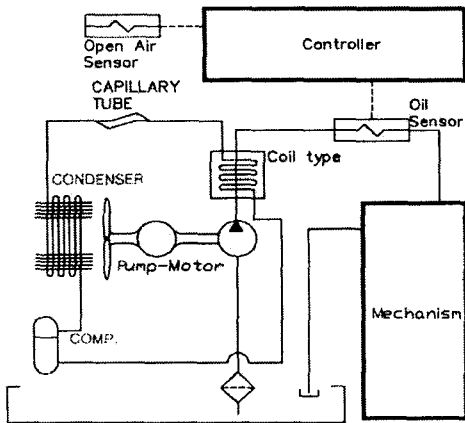


Fig. 1 Temperature Control of Oil Cooler

여기서 온도센서의 정밀도가 낮거나 측정 반응속도가 느리면 실제적인 외부온도를 정확히 파악하지 못하고 공급오일 온도제어를 하게 되어 냉각능에 치명적인 문제를 야기시킨다. 현재 시판중인 대부분의 국내 오일냉각기의 경우, 냉

각기의 특성을 고려하여 센서를 설계하기 보다는 센서 제조업체의 표준품을 우선 구입한다. 이들 온도센서는 외부에 열용량이 큰 금속 캡슐로 센서 보호조치를 취하고 있어 외부의 온도를 감지하기까지는 두꺼운 금속 캡슐을 통과해야 해서 정밀한 온도측정에는 시간지연이 불가피하다. 이것은 외부의 온도가 항온을 유지하고 있어야 하는 조건하에서 발생하는 문제점이고, 만약 외부온도가 계속 변동이 심할 경우 온도센서의 추종성 특성때문에 외부온도를 정확히 파악하기 어려워져 냉각기를 오동작 시키고 성능을 손상시키게 된다.

그래서 온도센서의 정동적 외부온도 추종성을 측정하기 위해서 Fig. 2와 같은 실험장치를 통해서 온도센서의 특성을 파악하였다.

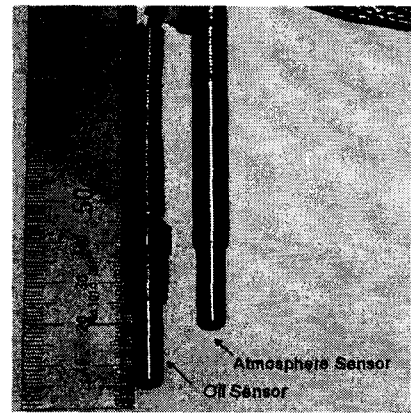


Fig. 2 Temperature Sensors for Atmosphere and Oil

## 3. 온도센서의 정적 온도측정 정밀도 평가

오일냉각기의 온도센서로는 일반적으로  $pt100\Omega$ 이 사용된다. 이 저항형 온도센서는 온도의 변화에 따라 저항치의 변화가 생기는 원리로 작동되는 센서로서 측정구간 내에서 우수한 선형성을 나타내서 온도 측정 정밀도가 높은 것으로 알려져 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 외기온도를 측정하는 센서는 캡슐이 얇고 길며, 오일의 온도를 측정하는 센서는 캡슐이 짧고 두껍다. 온도센서의 무게는 오일 온도센서가 다소 커서 열용량 또한 큰 것을 예상할 수 있다.

온도센서의 정적 온도측정 정밀도를 평가하기 위해서는 대상 온도의 변화가 거의 없어서 센서의 고유 열용량이 측정에 영향을 미치지 못하도록 항온실에서 실험을 실행할 수 있다. 그러나 이러한 시설은 사용에 많은 비용이 필요하고

항온온도 오차도  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  이하로 유지하는 것이 쉽지 않으므로, 대상 온도가 매우 서서히 변화하여 센서의 열용량 영향이 거의 없는 자연적인 대기 온도변화를 실험대상으로 선택하였다.

Fig. 3에는 밀폐된 공간에서 2일간 대기온도를 측정할 결과로서 외기와 오일 온도센서를 표준이 되는 정밀한 온도센서와 함께 대기온도를 측정하였다. 부분적으로 대기 온도 변화 속도가 빠른 부분이 있으므로 이 부분을 제거하고 온도센서의 정적 온도측정 정밀도를 측정하였다. 그런데 그림 3에는 표준 온도센서와 pt100 $\Omega$  센서간에 일정한 온도차이가 보이고 있다. 이것은 pt100 $\Omega$  센서가 저항을 기준으로 온도를 측정하게 되기 때문에 센서에 연장 신호선이 연결되면 저항이 증가해서 온도가 높게 평가되어 발생한 현상이다. 그래서 이들 저항형 온도센서는 온도 offset기능이 반드시 필요하다. 정밀도 평가에서도 온도 offset을 실행한 다음 정적 온도측정 정밀도를 평가하였다. 온도 offset후 pt100 $\Omega$ 의 측정 정밀도는 표준 온도센서의 측정 정밀도 수준에 드는 것을 알 수 있다. 다만 정밀한 온도 offset은 작업자가 실제로 정확히 조정하기 어려워서 약간의 인위적인 온도오차가 존재하게 된다.

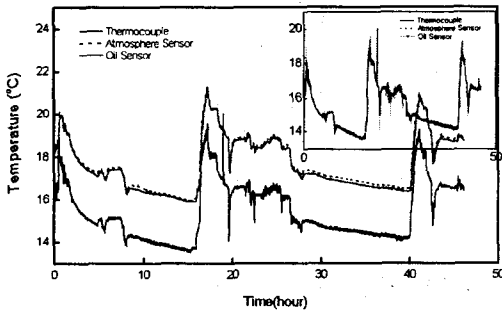


Fig. 3 Comparison between pt100 $\Omega$  Sensor and Standard Temperature Sensor

## 4. 온도센서의 동적 온도 민감도 평가

### 4.1 외기와 오일온도의 변화 패턴

일반적인 온도센서가 접할 수 있는 온도환경은 여러 가지가 있을 수 있으나 오일냉각기와 관련된 외부 온도환경 패턴은 몇 가지로 압축할 수 있다. 외기온도센서의 경우 냉각기가 개방된 공장에 설치되었다면 4계절, 밤/낮, 맑음/흐

림, 북향/남향에 따른 온도변화 정도를 온도환경이라 할 수 있지만 대부분의 공장환경은 지붕과 벽, 대형 문으로 둘러싸인 일부 차폐공간으로 형성되어 있으므로 앞에서 설명된 온도 변화가 감쇄된 형태로 온도환경이 조성된다.

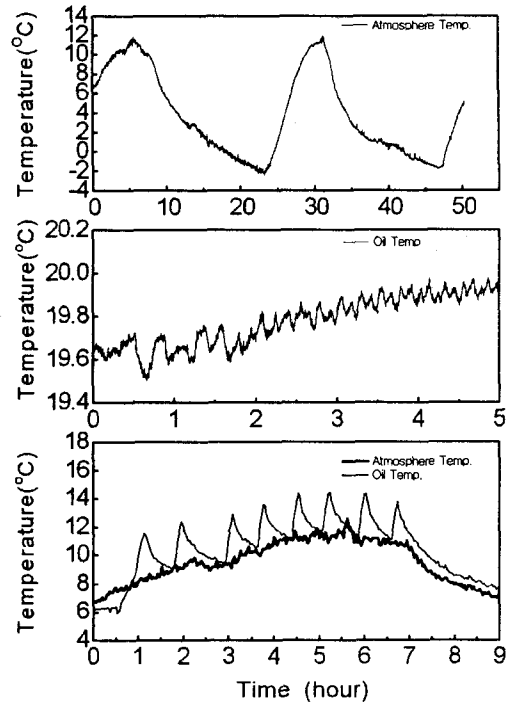


Fig. 4 Pattern of Air and Oil Temperature Changes

Fig. 4의 (a)는 일반적인 공장에서 2일정도의 겨울 온도환경을 나타낸 것으로서 24시간을 주기로 한 반복된 형태의 온도곡선을 보이고 있다. 겨울의 경우는 작업시간동안의 부분난방으로 여름에 비해 일간 최대 기온차이가 커진다. 오일냉각기를 외기온도 동조형 제어로 셋팅할 경우 이 반복적인 외기온도를 중심으로 오일의 온도가 제어된다.  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  오일냉각기의 사용환경은 주로 이범주에서 사용된다. (b)의 경우는 온도환경이 항온실의 것을 나타내고 있는데 온도변화의 주기가 10분이하이고 변화폭은  $0.4^{\circ}\text{C}$  이하가 된다. 이렇게 빠르고 변화폭이 작은 경우에는 냉각기의 작동과 온도센서가 매우 민감해야 오일온도를 더욱 미세하게 제어할 수 있다.  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  오일냉각기는 사용 환경이 이러한 항온실이나 그에 유사한 환경에서 주로 사용된다. (c)는 냉각기에 입력될 외부에서 가열된 오일의 온도곡선을 나타낸 것으로 외부의 가열상태에 따라서 변화하겠지만 냉각용량이 큰 냉각기를 사용한 경우 보통 회전되는 오일의 온도는 톱니파 온

도곡선을 나타나게 된다. 이 온도곡선의 주기는 약 40분정도로써 온도상승 속도는 매우 빠르고 하강속도는 느리다. 오일 온도센서는 하강속도는 적응할 수 있지만 상승속도를 추종하지 못해 냉각기에 입력되는 오일의 온도를 낮게 평가해서 오일의 냉각시기를 놓치는 경우가 빈번히 발생한다. 외부 냉각되어야 할 기계의 발열이 급격하게 변하는 경우는 냉각기의 반응이 민감해야 향온 오일을 기계에 공급할 수 있다.

#### 4.2 외기와 오일온도 변화에 대한 온도센서의 추종성

외기와 오일온도 센서의 외부조건에 대한 추종성을 측정하기 위해서 Fig. 5와 같이 실험을 실시하였다. 오일온도 센서의 경우 온도가 각각 42, 36, 20℃인 탱크내의 물에 실험대상 센서와 표준이 되는 센서(온도반응속도가 매우 빠름)를 함께 묶어 오일 평균 유동속도로 각 탱크를 연속해서 스킷하도록 하여 오일센서의 온도상승율을 살펴 보았다. 오일 온도센서가 고유의 열용량을 내재하고 있어 외부온도에 즉각 반응하지 못하여 많은 측정오차를 나타내고 있다. 외기 온도센서의 경우는 밀폐된 박스에 열풍기로 열풍을 주기적으로 가하는 상황에서 실험대상 센서와 표준이 되는 센서를 함께 묶어 변화가 심한 대기온도를 측정하도록 하였다. 이 경우에도 센서의 반응속도 때문에 많은 측정오차가 발생됨을 알 수 있다.

이와 같은 입력온도(표준센서의 온도)에 대한 출력온도(실험대상 외기 및 오일센서)의 관계를 전달함수 기법으로 센서의 외부온도에 대한 추종계수를 얻을 수 있다. 오일 온도 센서에서는 실험에 의해  $Trc=0.066385$ 가 측정되었고, 외기온도 센서에서는  $Trc=0.010749$ 가 측정되었다. 열이 전달되는 매질은 유체와 기체로 다르지만 각 외부조건하에서 추종성으로 볼 때 오일온도 센서가 외기온도 센서보다 빠르게 반응함을 알 수 있다. 무엇보다도 중요한 것은 외부 조건(오일의 유속과 공기의 유동상태)에 따라서 동일 센서라 해도 추종계수는 어느 정도 변화 한다. 그래서 실험에 의해서 상용 센서 사용조건을 결정하고 이를 바탕으로 실험을 실시해야 한다.

#### 4.3 온도센서의 동적 온도에 대한 민감도 평가

온도센서의 추종계수는 외부온도에 대한 반응속도를 예견할 수 있게 해주지만, 동적 외부온도의 크기에 대해 몇 %

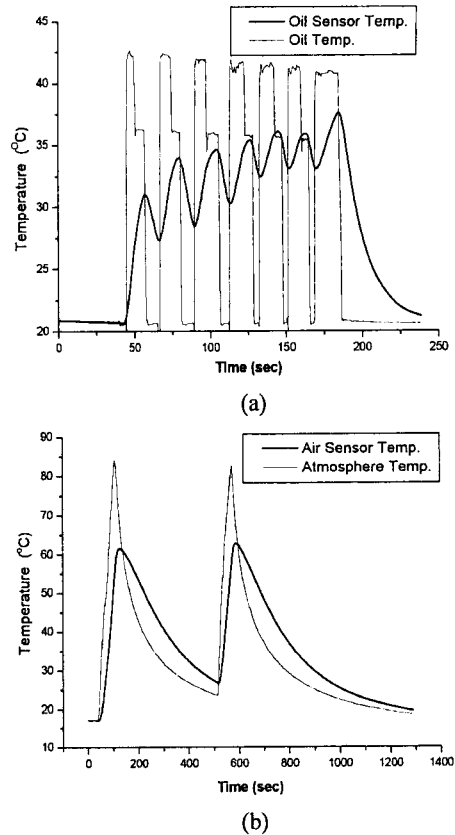


Fig. 5 Tracking coefficient of Oil and Air Sensors for Oil (a) and Atmosphere (b) Temperature Changes

정도 추종되는 지는 추종 Simulation을 통해서 알 수 있다. 이 Simulation은 외부온도가 동적, 즉 Sine파와 같이 변화가 심한 경우에 센서가 어떻게 반응하고 측정오차는 얼마나 되는지를 관찰하는 데 주 목적이 있다. 이때 Sine파의 주기를 변화시켰을 때 센서의 측정값이 변화하는 것을 하나의 지표로 만든 것이 센서의 민감도라고 할 수 있다. 또한 주기에 따른 측정오차의 변화도 지표로 만들면 차후 외부온도의 변화폭만 가지고 해당 온도센서가 발휘할 수 있는 측정오차를 예측할 수 있다.

Fig. 6에는 오일의 온도가 진폭 5℃의 Sine파로 변화할 때 오일 온도센서의 측정온도를 Simulation한 예를 보여주고 있다. Fig. 6(a)는 주기 15초의 Sine파 온도변화 오일을 흘릴 때 온도센서가 약 0.8℃ Sine파로 측정되는 것을 알 수 있다. 온도센서의 반응이 느린데 비해서 오일의 온도변화가 빨라 센서가 미처 반응을 하지 못해 측정오차가 매우

크게 나타나고 있다. Sine파의 주기가 90초로 온도변화 속도가 느려질 때 측정되는 온도는 3.4℃가 되서 외부의 오일 온도 주기가 커질수록 추종성이 좋아짐을 알 수 있다.

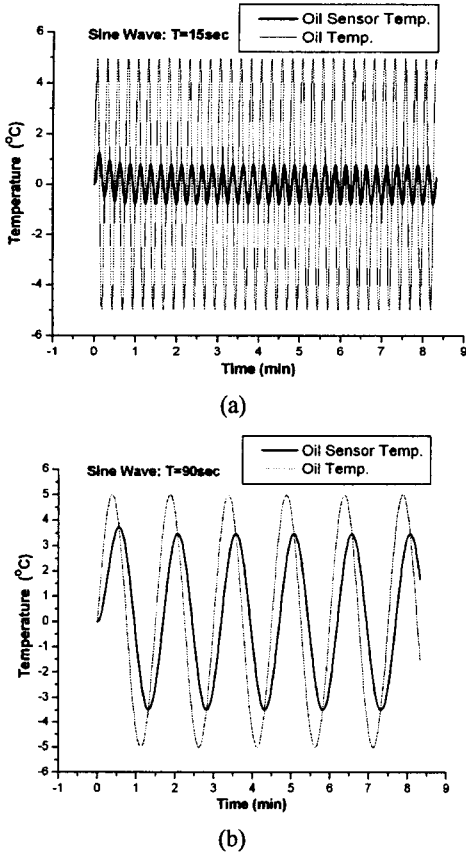


Fig. 6 Temperature Tracking of Oil Sensors

Fig. 6에는 센서의 추종성을 입력진폭에 대한 출력진폭의 비고형태로 나타내었으나 실제로 센서가 매 시간마다 측정하는 온도에 대해 실제 온도의 차이, 즉 측정온도 오차가 센서의 평가에서 중요한 대상이 된다. Fig. 6에서는 측정온도가 단지 약간의 시간축 이동을 나타내면서 외부온도를 추종하는 것으로 보이지만 실제 온도차를 계산해 보면 의외로 큰 온도오차를 보이고 있다. Fig. 7(a)와 (b)에서는 측정오차의 최대치가 각각 4.7℃, 3.6℃를 보이고 있다.

이러한 측정 온도진폭을 Sine파의 주기에 대해 나타낸 것을 대상센서의 민감도로 정의하고 Fig. 8(a)와 같이 나타내었다. 그림에서 주기가 4분이상이 되면 외부 오일온도를 4.7℃로서 거의 추종하고 있다.

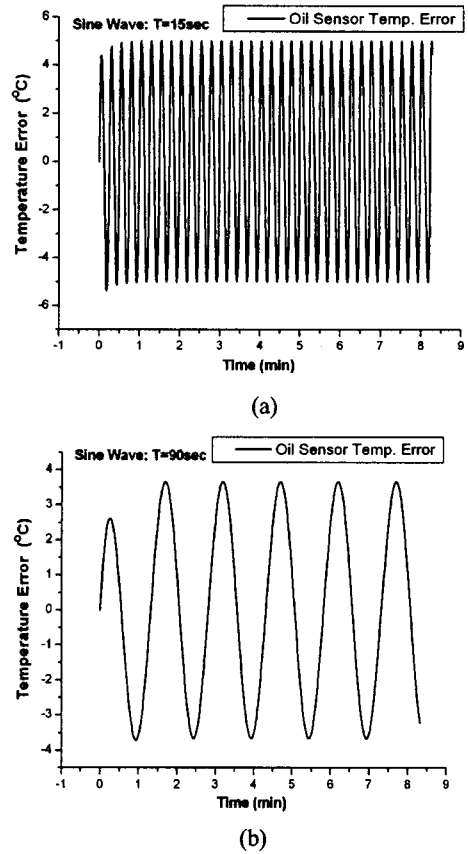
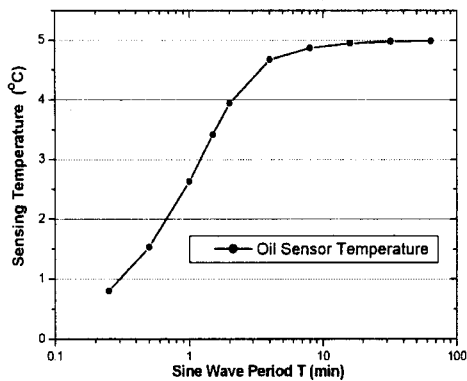


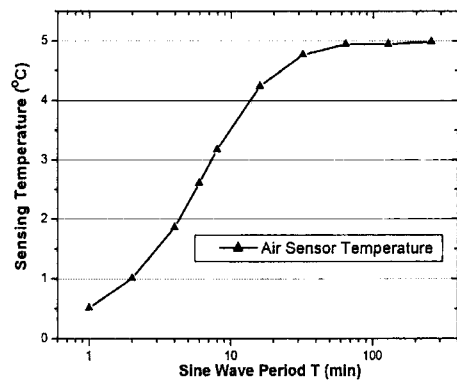
Fig. 7 Temperature Tracking Error of Oil Sensors

Fig. 8(b)에는 각 주기에 대해서 최대 측정온도 오차를 나타낸 것으로 주기가 짧을 때는 오차가 거의 5℃에 가깝고, 외부의 오일 온도변화가 주기 8분정도이면 최대오차가 1℃ 이하로 감소해서 대부분의 측정시간 중에는 오일의 온도를 잘 추종하기 때문에  $\pm 1^\circ\text{C}$  오일냉각기의 센서로 사용할 수 있음을 보여 주고 있다. 참고로 주기 8분의 Sine파는 온도변화가 10초당 0.5℃정도이고 1분당 3℃정도이다.

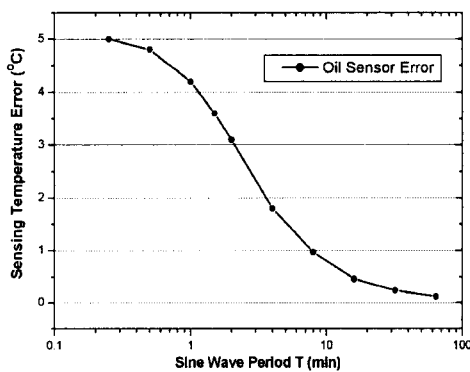
Fig. 9(a)와 (b)에는 외기 온도센서의 민감도 곡선과 최대 온도오차 곡선을 보이고 있다. 이 센서의 경우는 주기 32분정도가 되어야 외기온도를 4.7℃까지 추종하게 된다. 결국 센서의 반응속도가 매우 느림을 보여 주고있다. 측정오차 1℃이하를 나타낼 수 있는 주기는 약 48분으로서 온도 변화속도가 1분당 0.7℃정도가 된다. 만약 이 변화속도를 넘게 되면 측정오차가 1℃이상이 됨을 나타내고 있다.



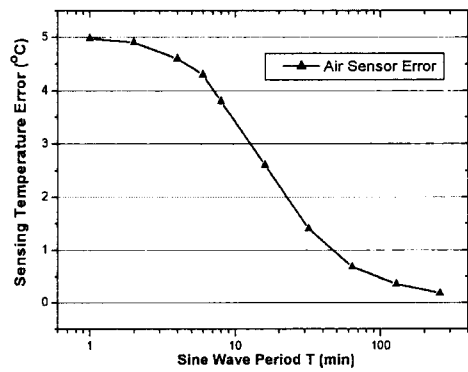
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 8 Temperature Sensitivity and Tracking Error with Sine Wave Period in Oil Sensors

Fig. 9 Temperature Sensitivity and Tracking Error with Sine Wave Period in Air Sensors

## 5. 결론

온도센서의 외부온도에 대한 추종성을 측정하여 센서의 민감도와 최대 측정오차를 평가하였고, 이 평가 데이터를 바탕으로 선택된 외기와 오일의 온도센서가 외부 온도변화 속도에 대해서 어느 정도 측정오차를 나타낼 것인지 예측하였다. 역으로 외부의 온도변화에 대해서 결정한 측정 온도 오차가 가능하도록 센서의 설계를 실행하는 데 기본 데이터를 제공하였다.

1) 저항형 온도센서인 pt100의 정적온도 측정 정밀도를 소프트웨어적으로 평가하기 위해 1차원 Curve Fitting 법을 사용하였다.

2) 오일냉각기의 주위 온도변화 패턴을 파악하여 온도센서의 적절한 반응속도 범위를 결정하였다.

3) 외기 및 오일 온도센서의 외부온도 추종계수를 실험적으로 추출하여 동적 온도변화에 대한 온도센서의 민감도와 최대 측정오차를 계산하였다.

4) 온도센서의 민감도를 이용하여 외부 온도변화에 대한 측정오차를 예측하였고, 역으로 결정된 측정오차에 대해 센서 설계의 기본 자료인 추종계수를 제공하였다.

## 참고 문헌

- (1) Incropera, F. P. and Dewitt, D. P., 1999, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, Fourth Edition.
- (2) Schluender, E. U., 1997, VDI-Waerme Atlas, VDI Verlag.