논문 92-05

Spline보간식을 이용한 물체재질인식센서의 성능개선

朴鍾健*, 任永澈**, 曺京永**, 金伊坤*, 張永學***

Performance Improvement of Material Recognition Sensor Using Cubic Spline Interpolation

J.G. Park, Y.C. Lim, K.Y. Cho, Y.G. Kim, and Y.H. Chang

요 약

본 연구에서는 물체의 열전도 특성을 감지하여 임의의 대기온도에서도 열전도가 다른 몇가지 물체의 재질을 식별할 수 있는 센서에 대해 연구하였다. 임의의 대기온도에서 센서의 온도값을 계산하기 위해 3차 Spline 보간식을 적용하여 계산된 센서의 온도에 따라 재질을 식별하는데, 실측된 온도와 비교하였을 경우 매우 잘 일치하였다. 열전도 특성을 이용한 물체의 재질인식용 능동센서를 설계하였으며 C 언어를 이용한 물체의 재질 식별 프로그램을 개발하였다. 동일한 대기온도상에서의 재질별 온도응답특성을 조사하였으며 대기온도변화에 따른 재질별 온도응답특성을 조사하였으며, 대기온도 변화에 따라 3 비교점의 온도는 거의 직선적으로 변화하고 평행상태를 유지함을 알 수 있었다.

Abstract

This paper describes a noble robot sensor designed to recognize an unknown material by measuring its thermal conductivity on various ambient temperature. The excellent agreement has been obtained between the measured sensor temperature and the calculated sensor temperature by cubic spline interpolation. The active sensor to measure the thermal conductivity of a gripped object was designed and the software program using C language to discriminate objects made of different materials was developed. The temperature response characteristics of different materials on the same ambient temperature was investigated. The temperatures on three comparing points varied linearly and had parallel relation with one another in accordance with various ambient temperature.

I. 서 론

현대의 과학 기술이 급속도로 발달함에 따라 종래의 단순 반복잡업 위주의 산업용 로보트와는 달리 인간의 신체와 같이 운동기능, 사고기능, 감각기능 등의 기능을 갖고 다양한 동작을 수행할 수 있는 지능화된 로보트를 구현해야 하는 필요성이 요구되고 있다. 대부분의 접촉 센서는 주로 힘 또는 압력을 감지하거나 형체를 구별하기 위해 연구가 수행되어 왔지만 물체의 재질이나 성분을 판별하는 센서에 대해서는 연구가 미진한 현실이다.[1,2] 이에 따라 Russell과 Paoloni는 물체의 열전도 특성을 이용하여 물체의 재질을 인식할 수 있는 센서를 고안하였고[3] 복합매질에서 열전도 관계식을 이용하여 열전도도와 열확산 계수를 구함으로써 물체를 식별할 수 있는 가능성을 제안하였다.[3,4]

그 후 마이크로 컴퓨터를 이용하여 물체를 식별하기 위한 실용적인 방법이 연구되었는데, 재질의 온도응답곡선을 측정하고 그 곡선으로부터 재질을 식별하는

* 全南大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chonnam Nat'l Univ.
** 正會員 : 全南大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chonnam Nat'l Univ.)
*** 正會員 : 木浦大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Mokpo Univ.)

〈접수일자 : 1992년 6월 11일〉

방법으로 대기온도의 변화에 따라 많은 오차를 발생하였다.[5] 따라서 본 연구에서는 대기온도의 변화에도 관계없이 물체를 정확히 인식하기 위해서 3차 spline 보간법을 적용하였다. 센서에서 측정된 온도변화값과 마이크로 컴퓨터에 기억된 온도변화값을 비교하여 임의의 대기온도에서도 물체의 재질을 식별할 수 있는 센서와 프로그램을 개발하였다.

II. 열전도 관계식

1. 비정상상태 열전도의 경우

비정상상태 열전도의 경우 그림 1과 같이 센서와 물체는 평판과 반무한 고체로 가정하고 경계면에서의 접촉 열저항은 무시할 수 있다고 가정한다. 이 경우는 복합매체(composite media)의 비정상 열전도 문제가 되고 열전도 방정식과 경계조건은 다음과 같이 표현할 수 있다.[3,4]

$$\frac{\partial^2 T_A(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha_1}\frac{\partial T_A(z,t)}{\partial t} \quad (0<z<L_1) \qquad (1)$$

$$\frac{\partial^2 T_B(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha_2}\frac{\partial T_B(z,t)}{\partial t} \quad (0<z<L_1+L_2) \qquad (2)$$

$$T_A(0,\ t) = T_H \qquad (3)$$

$$T_A(z,\ o) = T_H - \frac{T_H - T_{L0}}{L_1} z \qquad (4)$$

$$T_A(L_1,\ t) = T_B(L_1,\ t) \qquad (5)$$

$$T_B(z,\ 0) = T_0 \qquad (6)$$

$$T_B(L_1+L_2,\ t) = T_0 \qquad (7)$$

단) T_H : 발열부의 온도, T_A : 센서부의 온도, T_B : 물체의 온도, T_{L0} : t=0, z=L_1의 온도, T_0 : 대기의 온도, α_1 : 센서부의 확산계수, α_2 : 물체의 확산계수, K_1 : 센서부의 열전도도, K_2 : 물체의 열전도도, L_1 : 센서부의 두께, L_2 : 물체의 두께

위 미분방정식의 해는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$T_A(z,t) = (SS)_A + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(S_{nA}\ z)\ \exp[-(S_{nA})^2 \alpha_1 t] \quad (0<z<L_1) \qquad (8)$$

$$T_B(z,t) = (SS)_B + \sum_{n=1}^{\infty} A_n C_n \sin[S_{nB}(L_1+L_2-z)]\ \exp[-(S_{nB})^2 \alpha_2 t] \quad (L_1<z<L_1+L_2) \qquad (9)$$

여기서 $(SS)_A$와 $(SS)_B$는 센서 A와 물체 B에 대한 정상상태의 해이며 A_n, C_n, S_{nA}, S_{nB}는 경계조건에 의해 결정되는 값이다. 해는 시간에 대해 감소하는 경향을 갖는 진폭의 공간에 대한 정현함수의 급수로 표현됨을 알 수 있다.

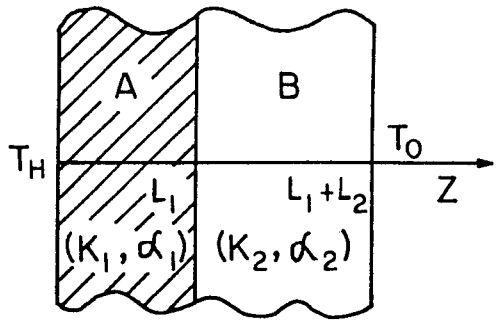


그림 1. 센서와 물체의 1차원 모형
Fig. 1. One dimension model of sensor and object.

2. 정상상태 열전도의 경우

그림 1과 같이 센서부분 A의 좌측면을 온도 T_H로 유지하고 우측면을 온도가 T_0인 대기 중에 노출하면 물체 A의 공간적 온도분포는 그림 2의 점선과 같은 온도분포를 갖게 되며, 센서부분 A에 물체 B를 접촉시켜 평형상태에 도달한 공간적 온도분포는 실선과 같이 된다. 센서내부 L_S 위치의 온도 T_S를 구하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$T_S = T_H - \frac{(T_H - T_0)}{(L_1 + L_2 K_1/K_2)} L_S \qquad (10)$$

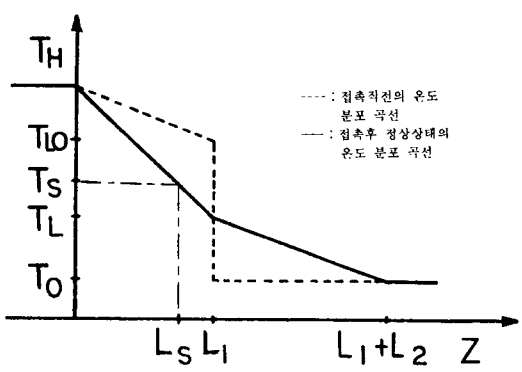


그림 2. 물체의 내부온도 분포
Fig. 2. Temperature distribution.

윗 식에서 우변의 모든 변수는 모두 측정에 의해 알 수 있는 값이고 좌변의 센서 온도 T_S도 측정에 의해 구해지므로 물체의 열전도도 K_2는 쉽게 구할 수 있다. 그러나 K_2를 구하여 미지의 물체를 구별할 수 있는 방법은 열적 평형상태에 도달할 때까지 소요되는 시간이 물체에 따라 다르며 장시간을 요하므로 실용화 면에서는 단점이 있다.

III. 온도응답곡선에 의한 물체 식별

센서에 미지의 물체를 접촉시키고 두 물체 사이의 열흐름을 감지하는 L_S점의 온도를 연속적으로 측정하여 시간에 대해 표현하면 물체의 열전도 특성에 따른 온도응답곡선은 그림 3과 같다. 센서와 물체가 접촉되기 전($t<0$)에는 센서점 L_S의 온도는 일정한 온도로 유지되나, 접촉된 순간($t=0$)부터 경계면에서 열교환 작용이 활발하게 일어나기 시작하여 센서점 L_S의 온도가 급격히 감소하며 이 작용은 점점 완화되고 수초 후에는 평형상태에 도달한다. 이러한 응답곡선은 물체의 재질에 따라 다르게 나타날 뿐만 아니라 대기온도의 변화에 대해서도 영향을 받는다. 마이크로컴퓨터에 이와같은 물체별 대기온도별 온도응답곡선을 기억시킨 다음, 센서로부터 측정된 응답곡선과 비교함으로써 물체의 재질을 빠르게 식별할 수 있다. 그러나 물체의 종류와 대기온도에 따라 기억장소의 크기가 증가하므로 보간법을 적용하여 비교점을 줄인다.

자연계에서 얻어지는 측정값은 거의 연속이기 때문에 Newton 전향 보간식과 직선 소구간 보간법은 바람직하지 못하다.

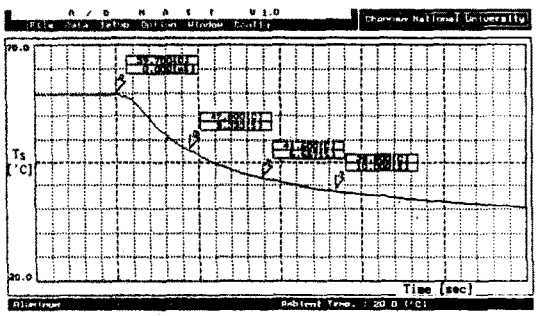


그림 3. 물체 접촉후 감지된 센서의 온도응답곡선
Fig. 3. Temperature response curve of sensor. (Aluminum, $T_H=70[℃]$, $T_0=20[℃]$, $T_S(t=0)=59.7[℃]$)

따라서 대기온도에 따라 이산적으로 얻어진 물체의 온도응답곡선으로부터 3차 Spline 보간법(cubic spline interpolation)에 의해 비교점의 온도값을 구한 후 이를 측정된 비교점의 온도값과 비교하여 물체를 식별할 수 있도록 한다. 수식의 복잡성을 피하기 위해 한가지 물체의 한 비교점에 대해서만 수식을 전개하며 대기온도 $T_0(T_{00}, T_{01}, \cdots\cdots, T_{0n})$에 대하여 미리 측정된 기지의 센서 온도값을 $T_s(T_{s0}, T_{s1}, \cdots\cdots, T_{sn})$이라 한다. 주어진 구간 $[T_{00}, T_{01}]$에서 $T_{00}<T_{01}<\cdots<T_{0n}$이고 n개의 소구간으로 이루어졌을 때 차수가 3차인 Spline 함수 $S(T_{0x})$를 적용하면 모든 소구간 $[T_{0i}, T_{0i+1}]$에서 3차 다항식으로 표시되어 3차 Spline 함수로 표현할 수 있다. 온도점(T_{0i}, T_{si})와 $(T_{0(i+1)}, T_{s(i+1)})$로 주어지는 i번째의 소구간에 대한 3차식을 일반형으로 쓰면

$$S(T_{0x})=T_{sx}=a_i(T_{0x}-T_{0i})^3+b_i(T_{0x}-T_{0i})^2+c_i(T_{0x}-T_{0i})+d_i$$
$$(\text{단, } T_{0i}<T_{0x}<T_{0(i+1)}) \qquad (11)$$

이다. 이제 이 함수는 소구간의 양끝 온도점 (T_{0i}, T_{si})와 $(T_{0(i+1)}, T_{s(i+1)})$을 통과해야 하므로 두 점을 대입하면

$$S(T_{0i})=T_{si}=d_i$$
$$S(T_{0(i+1)})=T_{s(i+1)}=a_i(T_{0(i+1)}-T_{0i})^3+b_i(T_{0(i+1)}-T_{0i})^2+c_1(T_{0(i+1)})-T_{0i})+d_i \qquad (12)$$

이고 $h_i=T_{0(i+1)}-T_{0i}$로 놓으면

$$S(T_{0(i+1)})=T_{s(i+1)}=a_ih_i^3+b_ih_i^2+c_ih_i+d_i \qquad (13)$$

이 된다. Spline의 조건에서 식 (13)을 h_i에 대해 미분하면

$$S'(T_{0x})=3a_i(T_{0x}-T_{0i})^2+2b_i(T_{0x}-T_{0i})+c_i \qquad (14)$$
$$S''(T_{0x})=6a_i(T_{0x}-T_{0i})+2b_i \qquad (15)$$

이 된다. $S''(T_{0i})$를 온도점 (T_{0i}, T_{si})에서의 2차 도함수라 하고 $S''(T_{0(i+1)})$를 온도점 (T_{0i+1}, T_{si+1})에서의 2차 도함수라 하면

$$S''(T_{0i})=6a_i(T_{0i}-T_{0i})+2b_i=2b_i$$
$$S''(T_{0(i+1)})=6a_i(T_{0(i+1)}-T_{0i})+2b_i$$

이 되는데, 윗 식에서

$$b_i=S''(T_{0i})/2 \qquad (16)$$

$$a_i=(S''(T_{0(i+1)})-S''(T_{0i}))/6h_i \quad (17)$$

이 되므로 식(12), 식(16), 식(17)을 식(13)에 대입하면

$$S(T_{0x})=T_{sx}=\frac{S''(T_{0(i+1)})-S''(T_{0i})}{6h_i}(h_i)^3+\frac{S''(T_{0i})}{2}(h_i)^2+c_i(h_i)+T_{si}$$

이고, 윗식을 c_i에 대해서 정리하면

$$c_i=\frac{T_{s(i+1)}-T_{si}}{h_i}-\frac{2h_iS''(T_{0i})+h_iS''(T_{0(i+1)})}{6}$$

이 된다. 그런데, $T_{0x}=T_{0i}$이면 식(14)은

$$S'(T_{0i})-T_{si}'=c_i \quad (18)$$

이다. 앞 구간 $T_{0(i-1)}$와 T_{0i} 사이 소구간의 $T_{0(i-1)}$에서 T_{oi}까지의 기울기 $S'(T_{oi})$을 구하면

$$S'(T_{0x})=3a_{(i-1)}(T_{0i}-T_{0(i-1)})^2+2b_{(i-1)}(T_{0i}-T_{0(i-1)})+c_{(i-1)}$$
$$=3a_{(i-1)}(h_{i-1})^2+2b_{(i-1)}h_{(i-1)}+c_{(i-1)} \quad (19)$$

이다. 그런데 이 식은 T_{0i}에서도 연속이므로 식(18)과 식(19)은 같은 T_{0i}점에 관한 기울기이므로 같아야 한다. a, b, c, d 대신에 $S''(T_{0i})$와 T_{si} 등의 관계식으로 표현하면

$$T_{si}'=\frac{T_{s(i+1)}-T_{si}}{h_i}-\frac{2h_iS''(T_{0i})+h_iS''(T_{0(i+1)})}{6}$$
$$=3\frac{S''(T_{0i})-S''(T_{0(i-1)})}{6h_i}h^2_{(i-1)}+2\frac{S''(T_{0(i-1)})}{2}h_{(i-1)}+\frac{T_{si}-T_{s(i-1)}}{h_{(i-1)}}-\frac{2h_{(i-1)}S''(T_{0(i-1)})+h_{(i-1)}S''(T_{0i})}{6}$$

가 되고 위 식을 간단하게 정리하면 다음과 같다.

$$h_{(i-1)}S''(T_{0(i-1)})+(2h_{(i-1)}+2h_i)S''(T_{0i})+h_iS''(T_{0(i+1)})$$
$$=6\left(\frac{T_{s(i+1)}-T_{si}}{h_i}-\frac{T_{si}-T_{s(i-1)}}{h_{(i-1)}}\right) \quad (20)$$

식(20)을 전구간 내의 모든 소구간에 대해서 수행하면 (n+1)개의 주어진 점에서 양 끝 점이 제외되므로 (n−1)개의 $S''(T_{0i})$값을 얻는다. 양 끝 점을 지나는 Spline 함수는 몇 가지 방법이 제시되어 있으나 본 연구에서는 $S''(T_{00})=S''(T_{0n})=0$인 1차 함수로 가정한다.

각 소구간에 대해서 $S''(T_{0i})$의 값이 구해지면 위에서와 같이 a_i, b_i, c_i, d_i를 구할 수 있어 3차 Spline 함수를 유도할 수 있다. 이를 모두 정리하면 i번째 소구간의 계수들은

$$a_i=\frac{S''(T_{0(i+1)})-S''(T_{0i})}{6h_i}$$
$$b_i=\frac{S''(T_{0i})}{2}$$
$$c_i=\frac{T_{s(i+1)}-T_{si}}{h_i}-\frac{2h_iS''(T_{0i})+h_iS''(T_{0(i+1)})}{6}$$
$$d_i=T_{si} \quad (21)$$

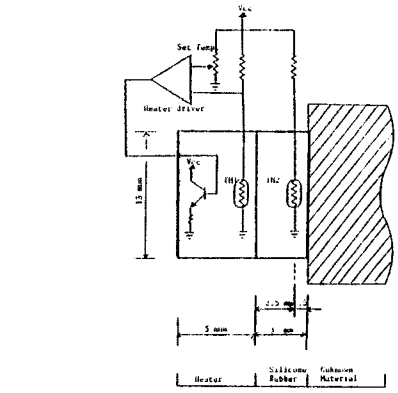
따라서 3차 Spline식은

$$S(T_{0x})=\frac{S''(T_{0(i+1)})-S''(T_{0i})}{6h_i}(T_{0x}-T_{0i})^3+\frac{S''(T_{0i})}{2}(T_{0x}-T_{0i})^2+\left(\frac{T_{s(i+1)}-T_{si}}{h_i}-\frac{2h_iS''(T_{0i})+h_iS''(T_{0(i+1)})}{6}\right)(T_{ox}-T_{0i})+T_{si}$$
$$(\text{단, } T_{0i}<T_{0x}<T_{0(i+1)}) \quad (22)$$

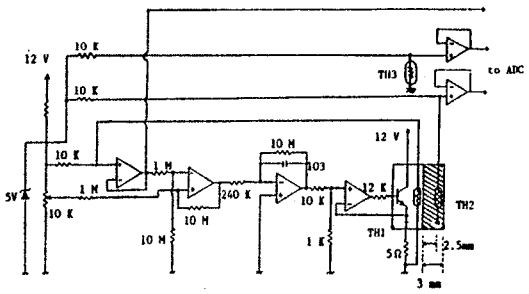
위와 같은 3차 Spline 보간법을 이용하면 측정된 대기온도가 등간격이 아닐지라도 관계없으며 기억장소 크기가 3×W×Y으로 되고 측정데이타가 많을지라도 식(22)에서 보는 바와 같이 3차의 다항식으로 해결된다.

Ⅳ. 하드웨어 구성

센서의 구조와 회로는 그림 4와 같으면 손가락의 혈액과 같이 일정 온도를 유지하게 하는 발열부와 온도 변화를 측정하기 위한 측온부로서 실리콘 고무 속에 더미스터를 삽입하였다. 발열부를 트랜지스터를 사용하여 약 70[℃]로 유지시키며, 이 때 센서부 표면 온도는 대기의 온도에 따라 약간의 변동이 있으나 대기온도 20[℃]일 때 약 60[℃]정도이다. 따라서 센서의 표면열로 인하여 측정대상물의 구조를 변형시키거나 악영향을 미치치지는 않으며 실리콘 고무가 지닌 유연한 탄성으로 인해 접촉되는 표면이 약간 매끄럽지 못할지라도 잘 접촉되어 열전도에 대한 영향을 줄일 수 있다. 구성된 센서의 크기는 13㎜(W)×25㎜(H)×8㎜(D)로 하였으며 측정용 시료의 크기는 재질마다 동일한 크기로 직경이 30㎜이고 두께가 12㎜인 둥근 원판으로 구성하였다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 센서의 구조
(b) 센서의 회로도
Fig. 4. (a) Schematic diagram of the thermal sensor.
(b) Circuit diagram of sensor.

본 연구에서 제안된 장치구성은 그림 5와 같이 실험용 로보트와 센서, 센서 구동회로, IBM-PC 그리고 A/D 변환기로 구성되어 있다. 센서에서 출력되는 각 더미스터(TH1, TH2, TH3)의 단자전압을 컴퓨터에서 A/D 변환기를 통해 측정하고 온도로 환산한다.

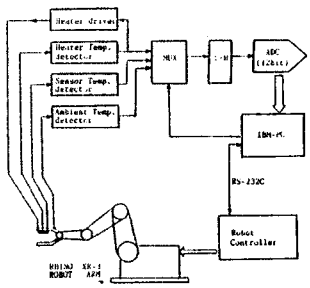


그림 5. 하드웨어 구성
Fig. 5. Hardware configuration.

V. 소프트웨어 구성

소프트웨어는 대부분 'C 언어'를 사용하여 구성하였고, 8086/8088 어셈블리 언어로 된 몇개의 모듈을 포함하고 있으며 그 흐름선도는 그림 6과 같다.

측정이 시작되면 A/D 변환기로부터 일정 시간 간격으로 센서부에서 측정되는 온도(T_s) 뿐만 아니라 발열부 온도(T_H)와 대기온도(T_{0x})를 읽기 시작한다. 측정 상태의 현재 대기온도(T_{0x})가 입력되면 3차 Spline 보간식에 의해서 컴퓨터에 기억된 물체별로 세 점의 비교점 온도가 계산되고 표로 작성되며, 이

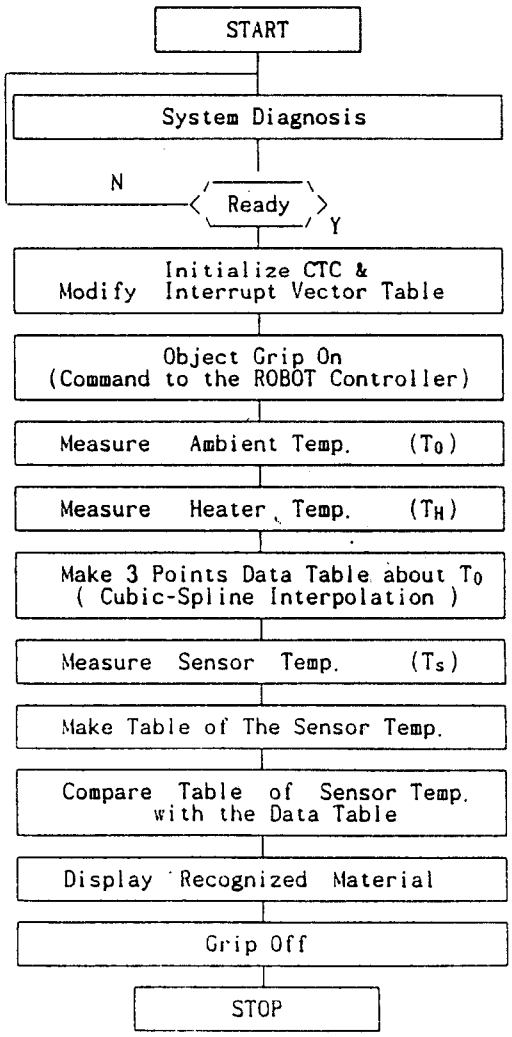


그림 6. 소프트웨어 흐름선도
Fig. 6. Software flow chart.

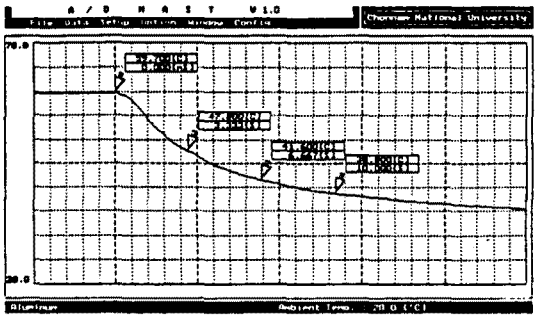
표에 따라 센서부에서 입력된 세 점의 값을 비교하는데 그 오차범위가 ±0.25[℃] 이내일 때 물체를 정확히 식별한 것으로 간주한다. 비교되는 세 점의 시간은 3.333[sec], 6.667[sec], 10.000[sec]로 하였다. 측정된 데이터로써 센서의 발열부 온도(T_H)와 측온부 온도(T_s), 대기온도(T_0)의 변화되는 상황과 온도값을 관찰할 수 있도록 계속 그래프 화면에 나타내고 물체를 정확히 식별하였을 때 물체의 재질을 화면의 좌측 하단에 표시한다.

데이터 베이스는 1[℃]간격으로 작성하여 메모리에 저장하였는데 사용된 메모리의 크기는 192byte이다.

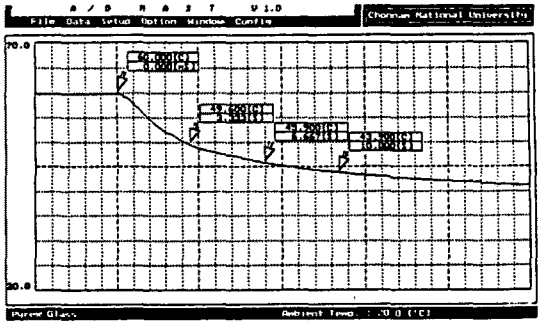
Ⅵ. 실험결과 및 고찰

1. 물체별 온도특성

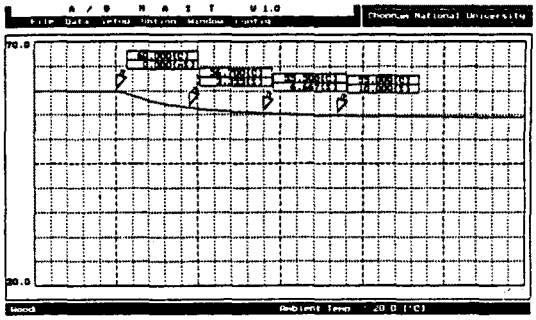
물체의 재질에 따라 온도 특성은 세 가지의 종류로 나눌 수 있는데 알루미늄과 같은 열전도성이 매우 양호한 재질일 경우 온도응답곡선은 지수적으로 급격히 단조 감소하고 곧 평형 상태에 도달하며 그 상태를 계속 유지하게 된다. 유리와 같은 중간정도의 열전도성을 갖는 재질의 온도응답곡선은 지수적으로 단조 감소하게 되다가 수 초 후 다시 천천히 상승하는 형태가 되지만 초기 온도 이상으로 상승하지는 않는다. 그러나 나무나 왁스와 같이 열전도성이 매우 좋지 않으며 단열성이 강한 물질은 초기에 약간 감소하다가 온도곡선이 다시 상승하는데 그 경향은 열 평형상태에 도달할 때까지 계속되어 초기 온도값 이상으로까지 상승하는데, 이 현상은 물체로 열전달이 일어나지 못하고 열이 축적되는 현상에 의해 센서부의 온도가 계속 상승하기 때문이다. 그림 7은 각 물체별 온도 특성곡선이다.



(a)



(b)



(c)

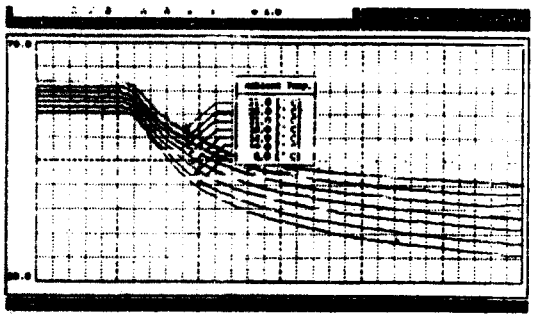
그림 7. 재질 변화에 따른 센서 응답곡선
(a) 알루미늄 직경 30㎜, 두께 12㎜
(b) 파이렉스 유리 직경 30㎜, 두께 12㎜
(c) 나무(나왕) 직경 30㎜, 두께 12㎜

Fig. 7. Sensor response curves for various materials.
(a) Aluminum Diameter 30㎜, Thickness 12㎜.
(b) Pylex glass Diameter 30㎜, Thickness 12㎜.
(c) Wood Diameter 30㎜, Thickness 12㎜.

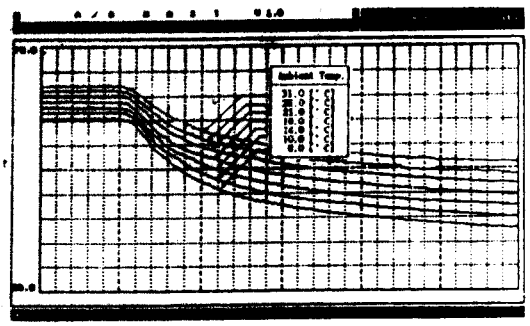
2. 대기온도 변화에 따른 온도응답곡선

안정된 대기상태에서 대부분의 물체는 대기온도와 같은 온도로 열평형이 되어 있으므로 센서가 물체와 접촉하여 열이 전달될 때 열전도의 상황은 물체의 초기 온도값에 따라 다르게 나타난다. 열전도성이 좋은 알루미늄의 재질에서 대기온도가 6.0, 10.0, 14.0, 18.0, 21.0, 26.0, 31.0[℃] 등으로 달라질 때 응답곡선의 변화는 그림 8(a)와 같이 나타났다. 물체와 접촉되기 직전의 상태에서 센서의 초기 표면온도값은 대기의 온도값 차에 따른 다르게 얻어지고 접촉 후 시간이 경과함에 따른 응답곡선간의 차가 더 크게 나타난다. 그림 8(b)은 유리의 경우 얻어지는 온도응답곡선이고, 그림 8(c)는 나무의 경우 얻어지는 온도응답곡선인데 열전도성이 좋은 재질일수록 대기온도에 따라 응답곡선간의 차가 커지고 단열성이 강한 물질일수록 응

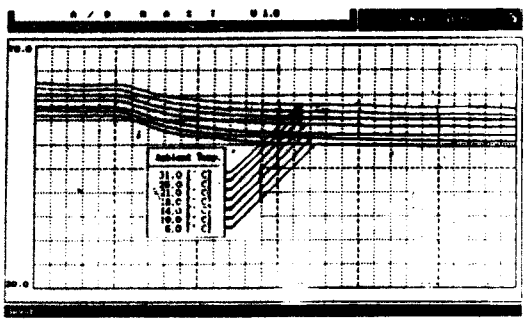
답곡선간의 차이는 초기값의 차와 거의 유사하였다.



(a)



(b)



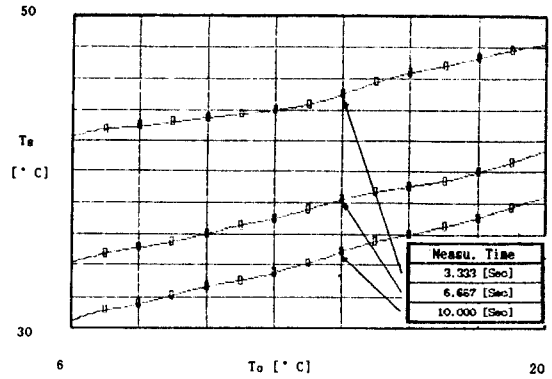
(c)

그림 8. 대기온도 변화에 따른 센서 응답곡선
(6.0, 10.0, 14.0, 18.0, 21.0, 26.0, 31.0[℃])
(a) 알루미늄, (b) 파이렉스 유리, (c) 나무(나왕)

Fig. 8. Sensor responses for various ambient temperature.
(6.0, 10.0, 14.0, 18.0, 21.0, 26.0, 31.0[℃])
(a) Aluminum, (b) Pylex glass, (c) Wood.

3. 대기온도 변화에 따른 비교점에서의 온도특성

다음은 임의의 대기온도에서 3차 Spline 보간식에 의해 얻어지는 예상 온도값과 실제 실험에서 얻어지는 센서의 온도값을 비교한다. Fig. 9(a)는 알루미늄의 경우에 있어서 대기온도의 변화에 따른 세 비교점의 온도값을 Spline 보간식에 의해 계산한 그래프이다. 또 이 경우 Fig. 9(b)에서와 같이 대기온도가 14.3[℃]일 때 센서에서 측정되는 세 비교점의 온도값과 Spline 보간식에 의해 얻어지는 온도값을 비교해 보면 오차는 ±0.20[℃] 정도로 나타났다. 동일한 방법으로 대기온도가 17.1[℃]일 때 유리의 경우에서 얻어지는 온도값의 비교와 실험결과를 Fig. 10에 나타내고 Fig. 11은 대기온도가 9.7[℃]일 때 나무의·경우에서 나타나는 온도값과 실험결과이다.



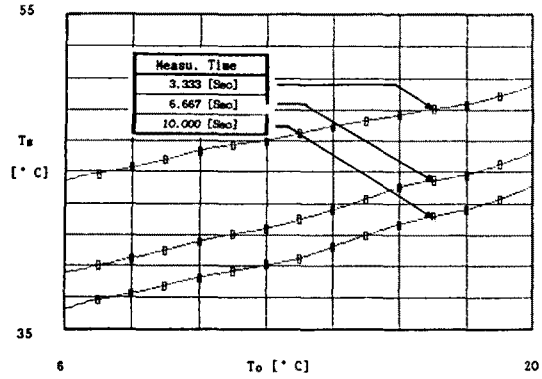
(a)

Ambient Temp.[° C]	Known S.Temp. [° C] (Time)	Spline Int. Temp. [° C]	Measu. Sensor Temp. [° C]	Error
14.0	45.0(3.33[S])			
	38.2(6.66[S])			
	34.9(10.0[S])			
14.3	(3.33[S])	45.24	45.1	- 0.14
	(6.66[S])	38.37	38.4	+ 0.03
	(10.0[S])	35.10	35.3	+ 0.20
15.0	45.7(3.33[S])			
	38.8(6.66[S])			
	35.5(10.0[S])			

(b)

그림 9. (a) 재질이 알루미늄일 때 대기온도 변화에 따른 세점의 센서 온도응답곡선.
(b) 알루미늄일 때 계산된 센서온도와 측정된 온도값.

Fig. 9. (a) Sensor temp. curves of the three comapring points with various ambient temp. in aluminum.
(b) Calculated sensor temp. and measured sensor temp. in aluminum.



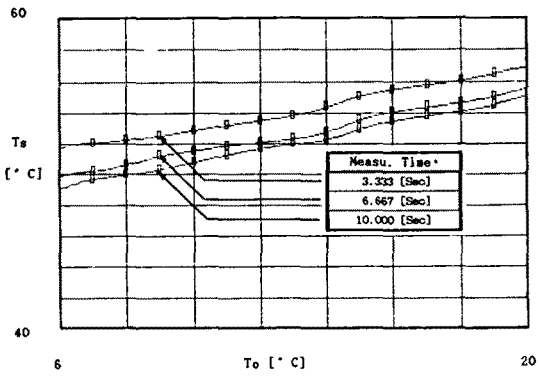
(a)

Ambient Temp.[° C]	Known S.Temp. [° C] (Time)	Spline Int. Temp. [° C]	Measu. Sensor Temp. [° C]	Error
17.0	49.0(3.33[S])			
	44.5(6.66[S])			
	42.2(10.0[S])			
17.1	(3.33[S])	49.09	49.0	- 0.09
	(6.66[S])	44.53	44.5	- 0.03
	(10.0[S])	42.24	42.2	- 0.04
18.0	49.4(3.33[S])			
	44.8(6.66[S])			
	42.6(10.0[S])			

(b)

그림 10. (a) 재질이 파익렉스 유리일 때 대기온도변화에 따른 세점의 센서 온도응답곡선
(b) 유리일 때 계산된 센서온도와 측정된 온도값

Fig. 10. (a) Sensor temp. curves of the three comapring points with various ambient temp. in pyrex glass.
(b) Calculated sensor temp. and measured sensor temp. in pyrex glass.



(a)

Ambient Temp.[° C]	Known S.Temp. [° C] (Time)	Spline Int. Temp. [° C]	Measu. Sensor Temp. [° C]	Error
9.0	52.5(3.33[S])			
	51.3(6.66[S])			
	50.3(10.0[S])			
9.7	(3.33[S])	52.77	52.6	- 0.17
	(6.66[S])	51.44	51.5	+ 0.06
	(10.0[S])	50.65	50.8	+ 0.15
10.0	52.9(3.33[S])			
	51.8(6.66[S])			
	50.8(10.0[S])			

(b)

그림 11. (a) 재질이 나무일 때 대기온도변화에 따른 세점의 센서 온도응답곡선
(b) 나무일 때 계산된 센서온도와 측정된 온도값

Fig. 11. (a) Sensor temp. curves of the three comapring points with various ambient temp. in wood.
(b) Calculated sensor temp. and measured sensor temp. in wood.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 물체의 열전도 특성을 이용한 물체 인식 센서에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 물체의 재질을 인식하기 위하여 능동센서를 설계하고 임의의 대기온도에서도 3차 spline 보간식에 의해 계산된 센서점의 온도변화와 측정된 세 비교점의 온도변화를 비교하여 물체의 재질을 10초 이내에 정확히 식별할 수 있었다.
2. 열전도성이 매우 양호한 금속성 재질의 경우 온도응답곡선은 지수적으로 급격히 감소하여 곧 평형상태에 이르나 단열성이 강한 재질의 경우 초기에는 지수적으로 약간 감소하지만 수 초 후 다시 상승하여 열축적 현상이 나타났다.
3. 동일 재질에서 온도응답곡선은 대기온도의 상태에 따라 다르게 나타나고 열전도성이 우수한 재질에서는 시간이 지남에 따라 응답곡선간의 차가 더 커지고 단열성이 강한 재질에서 시간에 대해 응답곡선간의 차가 적음을 알 수 있었다.
4. 세 비교점의 온도는 대기온도의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 평행 상태를 유지하는 경향을 갖고 있으며 비교점간의 온도차는 열전도성이 양호할수록 커지고 대기온도의 변화에는 무관함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Alan, Pugh, "Robot Sensors-A Personal View", 1985 ICAR. pp.521-532, 1985.

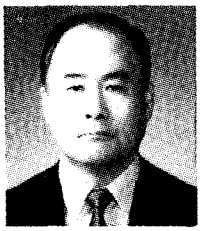
[2] Masuda, R. and Hasegawa K., "A Design Approach to Total Sensory Robot Control", *Sensor Review*, pp.20-24, Jan. 1982.

[3] R.A. Russell and F.J. Paoloni, "A Robot Sensor Measuring Thermal Properties of Gripped Objects", *IEEE Trans. Inst. Meas.*, vol.IM-34, no. 3, pp.458-460, Sep. 1985.

[4] Tittle, C.W., "Boundary Value Problems in Composite Media : Quasi-orthogonal Functions", *J. App. Phys.*, vol.36, pp.1486-1488, 1965.

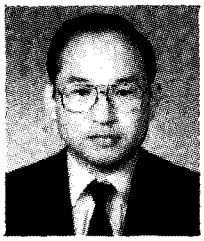
[5] LIM Y.C., "Implementation of Recongnition Sensor for Robot Using Thermal Properties of Object", *TECH. REV. Chonnam Nat. Univ.*, vol. 30, pp.31-42, 1988.

著 者 紹 介



朴 鍾 健

1934年 8月 24日生. 1957年 全南大 工大 電氣工學科 卒. 1962年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1985年 全北大 大學院 電氣工學科 卒(工博). 現在 全南大 工大 電氣工學科 教授.



任 永 徹

1953年 4月 23日生. 1975年 全南大 工大 電氣工學科 卒. 1977年 高麗大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1990年 高麗大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 現在 全南大 工大 電氣工學科 副教授.

曺 京 英

1962年 9月 19日生. 1987年 全南大 工大 電氣工學科 卒. 1990年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 現在 全南大 大學院 電氣工學科 博士課程.

金 伊 坤

1955年 11月 11日生. 1985年 東亞大 電子工學科 卒. 1988年 韓國航空大學 大學院 航空電子工學科 卒(碩士). 現在 全南大 大學院 博士課程.

張 永 學

1960年 3月 1日生. 1981年 全南大 工大 計測工學科 卒. 1984年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1991年 全南大 大學院 電氣工學科 卒(工博). 現在 木浦大 工大 電氣工學科 專任講師.