

레이저 섬광법에 의한 열확산계수 측정시 적외검출소에서 실시간 온도보정이 미치는 영향

Effects of the in-process calibration from IR detector for thermal diffusivity measurement by laser flash method

이 원 식*, 배 신 철**
W. S. Lee, S. C. Bae

Key words : Thermal diffusivity(열확산계수), Laser flash method(레이저섬광법), Calibration(보정), IR detector(적외검출소자)

Abstract

For measuring the thermal diffusivity by laser flash method, raw data have to be calibrated using temperature data. We have developed in-process calibration method and polynomial calibration in which thermal diffusivity can be calibrated during measuring. This method is different from existing temperature pre-process calibration method and exponential calibration having various source of error. Using this new calibration method, measurement accuracy was improved about 1~2% compare to the value by the existing method. We also studied more accurate fitting curve as in Figure 4 was shown the result of measuring output characteristics of IR radiometer with temperature.

As illustrated in data, in-process calibration method and polynomial calibration equation is proper than pre-process calibration method and exponential calibration.

1. 서 론

1961년도에 Parker⁽¹⁾가 레이저 섬광법을 제시한 이후, 고출력 펄스레이저의 개발과 더불어 열확산계수의 측정기술은 상당히 발전되어 왔다. 그러나 펄스레이저의 개발전 연구자들과 레이저 제조기술이 미비하거나 레이저 설비를 보유하지 못하였던 연구자들은 섬광램프를 사용하여 시료 전면에 열원을 가하

면 시료 후면에 열전대를 부착해서 얻은 기전력으로 시료후면의 온도이력곡선을 구해서 열확산계수를 측정⁽²⁾하였다. 이때 온도이력곡선은 150~300초간 측정된 것으로서 이 방법은 단열체와 같이 열전도계수가 낮은 재료는 가능하나 열전도계수가 보다 큰 재료에 대하여는 시간지연에 의한 오차가 발생할 수 있다. 한편 열전대를 이용하는 방법에서 진공도가 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ Torr로 유지할 수 있는 진공조를 사용했을 때 고진공 상태에서는 열전대를 설계온도까지 사용할 수 없는 경우가 발생되므로 고온측정(1,500K 이상)이 어렵게 된다. 또한 온도이력곡선을

* 정희원, 단국대학교 대학원

** 정희원, 단국대학교 공과대학 기계공학과

얻는 방법 중 상용화된 복사온도계(radiation thermometer)으로부터 온도측정의 정확성을 기하기 위하여 시료의 복사율(방사율)을 입력해야 하기 때문에 시료의 온도별로 복사율을 미리 알고 있어야 한다. 그러므로 진공조에 이미 설치된 투시구의 유리창(IR용)에서 적외선 투과율을 알고 있다해도 보정을 측정 후에 실시하여야 한다. 따라서 대부분 복사온도계들은 측정대상물의 온도를 정확히 측정을 하고자 실온보상을 위한 초퍼(chopper)의 사용, 일정 시간 동안 측정된 온도의 평균값을 구하여 나타내는 등의 회로구성 때문에 레이저 선험광법에 의한 열확산계수 측정에 응용하기 어렵다.

그렇지만 대다수의 관련 연구자들은 순간 열원인 고출력 펄스레이저를 이용하여 시료전면에 가열시키고, 이때 시료후면에 적외검출소자(IR detector)를 설치하여 진공조내에 이미 설치된 열전대의 온도값과 적외검출소자의 볼트출력(raw data)값으로 온도에 대한 전압의 이력을 구해서 온도보정을 실시하고 있다. 그러나 적외검출소자의 경우 소자의 비선형성 출력특성 때문에 시료의 측정온도범위에 따라 몇 개의 구간으로 나누어 측정하게 된다. 이와같이 측정온도에 따른 몇 개의 구간으로 측정전에 전압에 대한 온도의 보정(pre-calibration) 데이터를 미리 구하고 추후 실측정시 적외검출소자의 출력값을 이미 구한 보정 데이터를 이용해서 온도보정 후 열확산계수를 구하는 것을 측정전 보정법이라하며 온도보정방법은 지수함수법을 이용하게 된다. 이러한 온도보정방법으로 일본 계량연구소의 小野^(3,4) 등이 지수함수 보정법에 의한 지구대기 관측용 적외선 복사온도계의 온도측정법을 제안하였고, Hattori^(8,9) 등이 지수함수 보정법에 의한 보정식을 제안하였으나 측정파장의 폭이 좁은 범위에서는 유효하지만 파장폭이 넓은 경우에는 정밀도가 떨어지며 레이저 선험광법에 의한 열확산계수 측정시 투시조 유리의 오염 등에 따른 투과율변화와 시료의 온도별 분광방사율을 고려하여 볼트출력을 온도로 보정하여야 하는 어려움이 있으며, 측정결과의 오차요인으로 중첩되어 작용하게 된다.

본 연구에서는 볼트출력을 온도로 보정할 때 오차요인의 중첩효과를 줄이고자 지수함수를 사용한 측정전의 온도보정 및 이와 다른 다항식을 이용하여

적외검출소자의 출력을 실시간(측정중) 온도보정해서 열확산계수를 구하는 방법에 대하여 연구하였다.

2. 관련이론 및 해석

레이저선험광법은 시편전면에 순간적 선험광으로 열을 투사시킨 후, 시료 후면의 온도이력을 측정한 온도와 시간에 대한 곡선으로부터 선험광이 가해진 시간을 0이라고 할 때 시편 후면에서 최대온도에 이르기까지 걸리는 시간 t_{max} 와 이 온도의 1/2까지 걸리는 시간 $t_{1/2}$ 을 산출하여 이 두 값을 열확산방정식에 대입하여 열확산계수를 구하는 방법이다. 또한 레이저선험광법을 사용시 시료의 분광흡수율과 레이저의 입사 에너지를 정확하게 알 수 있다면 열확산계수를 이용하여 비열 및 열전도계수를 얻을 수 있게 된다. 그러나 레이저선험광법은 다음과 같은 가정조건으로 단순화된 모델에 의해서 해석하였다. 즉

레이저펄스의 시간폭은 무시할 수 있을 정도로 짧고, 레이저빔은 공간적으로 균일한 분포를 가지며 시료의 표면은 균일하게 가열되며, 시료는 단열된 상태이고, 시료는 균질하며, 시료는 불투명성 재료이며 펄스레이저는 시료의 매우 얇은 표면층에서 에너지의 흡수가 이루어진다. 이러한 가정에 의한 단점에도 불구하고 레이저선험광법의 장점은

측정이 단시간에 가능하며, 데이터 취득이 용이하고, 시편의 크기를 작게할 수 있으며, 고온 및 저온에서도 측정이 가능할뿐만 아니라 전도성재료와 비전도성 재료 모두 측정이 가능하다.

이와같은 장점에 의하여 레이저 기술의 발달과 더불어 감응파장과 광학필터 또는 광학창에 의하여 일정 파장범위의 적외선만이 소자의 수광관에 입사되도록 제작되어 있으며, 검출소자의 출력특성은 수광관에 흡수된 에너지에 비례하게 된다.

2.1 적외검출소자의 원리

흑체(black body)가 온도 $T(K)$ 를 가졌다면 전 파장영역에 대하여 단위면적, 단위시간당 발생하는 열방사인 방사강도 W 는 스테판 볼츠만(Stefan-Boltzmann)의 법칙에 따라 다음과 같이 표시된다.⁽⁵⁾

$$W = \sigma T^4 \quad (1)$$

스테판 볼츠만의 상수는 다음과 같이 표시된다.

$$\sigma = (5.67032 \pm 0.000071) \times 10^{-8} \cdot W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$$

또한 열평형 상태에 있는 절대온도 $T(K)$ 인 흑체가 방출하는 분광방사강도는 플랑크식에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$L_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\pi \lambda^5} (e^{C_2/\lambda T} - 1)^{-1} \quad (2)$$

여기서,

$L_{\lambda,b}(\lambda, T)$: 분광방사강도

λ : 파장

T : 절대온도

C_1 : 방사 제1상수(3.741832 ± 0.000020)
 $\times 10^{-6} W \cdot m^2$

C_2 : 방사 제2상수(1.438768 ± 0.000045)
 $\times 10^{-2} m \cdot K$

식 (2)에서 어떤 임의의 파장에 대한 분광방사강도 $L_{\lambda,b}(\lambda, T)$ 를 정확히 알 수 있다면 흑체의 온도를 구할 수 있다. 그러나 실제로는 분광방사강도의 절대치를 측정하는 것은 매우 어렵기 때문에 흑체로를 사용해서 비교 보정방법을 이용하며, 백금저항 온도계 또는 표준열전대에 의한 흑체로의 지시온도와 흑체로에 대한 복사온도계의 출력사이의 관계식을 구하여 이를 보정식으로 사용함으로써 온도 측정이 가능하게 된다.

이러한 복사온도계용 적외검출소자는 용도, 측정 온도, 측정속도, 측정분위기 등에 따라 개발되어 있지만, 레이저선험법용 적외검출소자는 수밀리초(ms) 내에 변화되는 시료의 온도변화를 정밀 측정할 수 있어야 하기 때문에 시간 분해능력이 10^{-5} 초 이내이어야 한다. 또한 대기중의 수증기나 탄산가스는 광범위한 적외선 흡수파장대역을 지니고 있으며, 온도 변화에 의한 흡수율의 변화가 크므로 측정치의 재현성이 나빠지거나 측정이 불가능하게 될 수 있기 때문에 대기중의 탄산가스 및 수증기에 의한 흡수가 적어 대기의 창이라고 일컫는 파장대역인 $3 \sim 4\mu m$ 또는 $8 \sim 12\mu m$ 에서 감도가 높아야 하며 보정곡선을

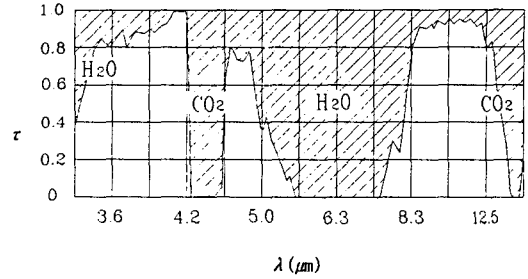


Fig.1 Relative transmission of air(target distance, 1km)⁽⁶⁾

이용해서 정밀 온도측정이 가능한 것을 선택하여야 한다.

Fig.1은 파로가 수평 1km일 때 대기의 분광투과율을 나타낸 것이며 λ 는 파장(μm), τ 는 투과율이다.

위와 같은 조건에 적합한 센서로는 인듐안티모나이드(InSb, $2 \sim 5\mu m$)와 수은카드뮴텔레라이드(HgCdTe, MCT, $8 \sim 12\mu m$)가 있으며, 본 연구에서는 측온범위, 산업화 응용을 위한 파장대역의 효율성 등을 고려하여 인듐안티모나이드(InSb) 센서를 선택하였다.

2.2 적외검출소자의 보정

일반적으로 적외검출소자는 지수함수적인 특성을 지니고 있기에 온도보정이 없이 소자의 출력값을 이용하여 시료 이면의 상승곡선을 구하게 될 경우, Fig. 2(a)에서와 같이 실제 온도상승보다 더 높은 소자의 출력값을 얻게 된다. 이때 실 온도상승보다 더 높게 나타내게 되어 $t_{1/2}$ 시간이 커지게 되고 그로 인하여 열확산계수의 결과가 낮게 나오는 원인이 된다. 따라서 레이저 선험법에 의한 열확산계수 측정시 적외검출소자의 온도보정값을 이용해서 구한다면 위와 같은 오차요인을 제거할 수 있게 된다. 또한 적외검출소자에서 출력되는 전압을 이용하여 열확산계수를 구할 때, 출력전압이 최고 출력전압의 $t_{1/2}$ 에 도달할 때에 경과된 시간과 이를 온도로 보정한 곡선에서의 $t_{1/2}$ 은 서로 다르게 되며, 온도보정을 하지 않은 경우 열확산계수가 약 5%정도의 오차를 가지는 것으로 보고되고 있다.⁽⁷⁾ 특히 동일한 보정구간 중 낮은 온도구역에서 측정된 데이터일수록 비선형성에 의한 오차가 크게 나타난다. 이를 보정하기 위하여 온도보정을 실시하여야 한다.

2.2.1 측정전 온도보정 및 지수함수 온도보정

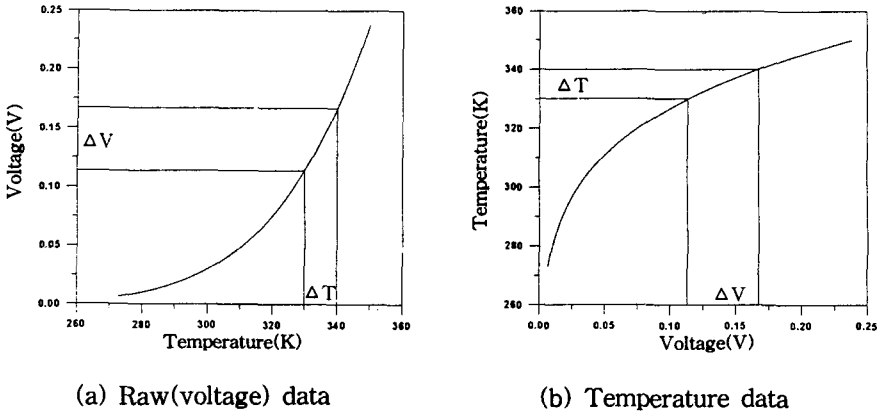


Fig.2 Output characteristics of IR photodetector

일반적으로 적외검출소자는 감응파장, 광학필터 및 광학창에 의하여 일정 파장범위의 적외선만이 소자의 수광관에 입사되도록 제작되어 있으며, 검출소자의 출력특성은 수광관에 흡수된 에너지에 비례하게 된다. 그러나 흡수된 방사에너지에 비례하는 소자의 출력특성으로부터 물체의 온도를 측정하기 위해서는 출력전압(V) 대 온도(K)의 관계를 보정하여야 한다. 일반적으로는 방사율이 1인 흑체로부터 입사된 방사에너지에 의한 검출소자의 출력값(V)과 그 때의 흑체로 온도를 측정하여 특성식을 구하여 측정 대상물의 온도를 산출할 수 있게 된다.

이를 적외검출소자의 보정식이라 하며 플랑크(Plank's)의 가상기본이론을 근거로 하여 지수함수화한 많은 보정식들이 제안되었다.

Hattori와 Ruffino 등은 다음과 같은 방법으로 보정식을 구성하였다.^(8,9)

$$V(T) = C \exp\left(-\frac{C_2}{AT+B}\right) \quad (3)$$

$$V(T) = C \exp\left(-\frac{A}{T} - \frac{B}{T^2}\right) \quad (4)$$

여기서

A, B, C : 특정 상수

C₂ : 플랑크(Plank's) 상수

위 식들은 측정파장의 폭이 좁은 범위에서는 유효하지만 파장폭이 넓은 경우에는 정밀도가 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 또한 지수 n과 흡수율 α를 사용하여 식(5)⁽¹⁰⁾와 같은 특성식을 구성하

는 방법도 발표되었으나

$$V(T) = \alpha T^n \quad (5)$$

하나의 특성식과 상수로 표현되는 온도폭이 적기 때문에 많은 구역으로 온도범위를 분할하여야 하므로 사용에 불편한 단점이 있다. 따라서 1987년 일본 계량연구소의 小野 등^(3,4)은 (4), (5)식의 단점을 보완하고자 (4)식을 변형하여 다음과 같은 지수함수 보정식을 제안하였다. 물론 이 식은 지구관측용 위성에 탑재할 적외검출소자의 온도보정을 하기 위한 식이다.

$$V(T) = C \cdot T^B \exp\left(-\frac{A}{T}\right) \quad (6)$$

위 식에서 A, B, C는 보정상수로서 각각 다른 온도에서의 검출소자 볼트출력과 온도의 보정점을 3점 (Fig.4 참조) 측정하여 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$A = \frac{\ln \frac{T_1}{T_3} \cdot \ln \frac{V_2}{V_3} - \ln \frac{T_2}{T_3} \cdot \ln \frac{V_1}{V_3}}{\left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_2}\right) \cdot \ln \frac{T_1}{T_3} - \left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}\right) \cdot \ln \frac{T_2}{T_3}} \quad (7)$$

$$B = \left\{ \ln \frac{V_2}{V_3} + A \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3} \right) \right\} \cdot \left\{ \ln \frac{T_2}{T_3} \right\}^{-1} \quad (8)$$

$$C = V_1 \cdot T_1^{-B} \cdot \exp \frac{A}{T_1} \quad (9)$$

위 식에서 T₁~T₃, V₁~V₃는 각각 보정점에서의 온도와 볼트출력 값이다. 이때 사용하는 물체는 완

전후체이며 이 물체의 방사율은 0.99이상이다. 또한 정밀온도측정을 위하여 물체 내부 온도측정은 백금 저항온도계를 사용하였다. 그러나 이 방법의 문제점은 시료의 온도별 방사율변화와 시료에 따른 방사율이 서로 다르기 때문에 방사에너지의 량이 변할 수 있으며, 또한 진공조에 부착된 투시조의 유리에서 오염발생 등에 의한 투과율 변화가 발생할 경우 측정결과의 오차를 유발할 수 있게 된다.

2.3.2 실시간 온도보정

측정전 온도보정은 구간별 온도편차가 제일 크게 발생하는 부분이 보정구간의 경계부이므로 보다 정밀한 보정을 할 때에는 보정구간을 줄이고 중첩구간을 확대하는 방법으로 실현할 수 있다. 그러나 이 방법으로는 방사율이 1에 가까운 흑체로를 이용하여 보정을 실시하기 때문에 측정대상물의 분광방사율이 1인 경우에만 현재의 보정곡선이 적용가능하며, 일반 재료의 온도보정에 사용하기 위해서는 보정식에 방사율을 함수로 포함시켜야 한다. 그 이유로는 방사율은 물질의 고유한 특성임과 동시에 동일 물질에 대해서도 기하학적, 화학적 상태에 따라 다른 값을 나타내는 상태 의존적인 물성이다. 안정된 환경조건에서의 방사율 측정방법은 몇 가지 제안되어 있지만 표준측정법이 제안되어 있지 않으며, 현장측정이 곤란하다. 데이터베이스 구축이 미흡하며, 순수물질에 대한 표준상태에서의 몇 가지 자료만이 응용가능하기 때문이다.

측정전 지수함수 보정방법인 (6)식을 사용하여 전압에 대한 온도의 역함수를 구하기 위하여는 적외검출소자에서 나온 전압데이터를 지수보정(指數補正)식으로 측정구간온도를 포함하는 온도에 대한 전압의 데이터를 구한 후 역함수를 구하여 다시 온도값으로 보간(補間)하여야 한다. 그러므로 실측정 결과에서 보정식을 사용, 즉시 온도보정을 하지 못하는 어려움이 있다.

또한 (6)식을 이용하여 온도를 보정하였을 때 그 보정한 온도값이 측정시기에 따라 변함을 발견할 수 있었다. 즉 적외검출소자에 있는 Pre-amp의 오프셋을 조정하여 하위온도에서의 전압레벨을 맞추고 중온영역에서 측정한 결과 전년도에 373K에서 1.34V 이던 출력이 1.27V로 변화하였다. 이와 같은 현상은 적외검출소자의 검출소자에 따라 초기 오프셋의

값이 변하는 경우, 주위온도변화에 따라 검출소자에서의 출력값이 변하는 경우, 장시간 사용에 따른 투시창의 오염등에 의한 투과율의 변화 등이 원인인 것으로 검토되었다. 따라서 하나의 온도보정식을 이용할 경우 위와 같은 이유로 인하여 열확산계수의 측정값이 변화함을 알 수 있다.

일반적으로 적외검출소자는 약간의 전류를 축적하는 응축효과에 의해 발생하는 전류의 누적에 의해 영점 오프셋이 계속하여 변하는 특성이 있으나, 본 방법으로는 이와같은 오프셋의 불안정한 특성을 배제할 수 있는 장점이 있으며 실 측정시 보정데이터를 구하게 되므로 투시조 유리의 투과율 변화 등에 의한 오차를 제거할 수 있다.

2.3.3 다항식에 의한 온도보정

실 측정시 지수함수 보정법의 경우, 전압에 대한 온도의 데이터를 3점만 측정하여 보정 데이터를 구하게 되므로 중간점 선택에 따라 보정 데이터의 변화가 발생되지만 다항식에 의한 보정법은 전압에 대한 온도의 데이터가 많이 측정될수록 정확한 보정곡선을 구할 수가 있게 된다. 또한 다항식에 의한 보정법의 경우에는 가능한 모든 점들을 지나게 할 수 있기 때문에 지수함수와는 달리 중간점의 선택에 따른 변화를 배제할 수 있게 된다. 따라서 측정전 보정법으로 小野 등이 제안한 지수함수 보정법에 의한 오차를 줄이는 방법으로 실시간 온도보정 및 다항식에 의한 보정법을 비교·실험하였다.

3. 실험장치의 구성 및 실험방법

3.1 실시간 온도보정 실험장치

본 연구에서 사용한 적외검출소자의 사양은 Table 1과 같으며 레이저 설파광법에 의한 열확산계수 측정장치의 개략도는 Fig.3과 같다.

본 실험에서 시료의 가열원으로 사용한 펄스레이저는 Nd : YAG 레이저이며 이는 레이저헤드, 레이저 펄스조절장치, 레이저 출력조절장치와 전원공급기로 구성하였다. 레이저 헤드에는 광로의 정렬을 위하여 사용되는 He-Ne 레이저가 동일 광로상에 설치되어 있다. Nd : YAG 레이저의 파장은 1.064 μ m이며, 펄스에너지는 최대 19J이다. 진공조내의 시료는 고온하에서 실험이 가능하도록 수직형으로 선

Table 1 Specification of InSb photo-detector

Wavelength	2~5 μ m
Photo Detector	InSb(0.6mm)
Lens	CaF2, f=15.2mm, ϕ 5.1mm
Lens Movement Range	120~180mm
Focusing Range	471~900mm
Target Size	1.2~3.0mm
IR Filter	Ge : 단파장 차단용 Sapphire : 장파장 차단용
Cooling Type	액체질소냉각
Signal Output	0~12V(Pre-amp사용)

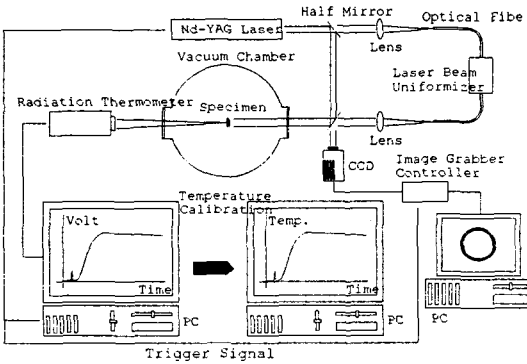


Fig. 3 Experimental setup for IR calibration and laser-flash thermal diffusivity measurement

택하여 자중에 의해 좌우 위치변화가 없도록 하였으며 대류에 의한 영향을 배제하기 위하여 진공도는 10^{-7} Torr를 유지하도록 하였다.

실험시 펄스레이저로부터 순간 조사된 레이저 빔이 진공조내 히터에 의하여 일정온도(측정온도)를 유지하고 있는 시료의 온도를 주위온도보다 순간 높게 상승시켰으며 이 상승된 온도를 적외검출소자를 이용하여 측정하게 된다. 이때 적외검출소자로부터 나오는 출력은 볼트출력이며, 이를 흑체로를 이용하여 지수함수 보정법에 의해 이미 구한 온도구간별 보정 데이터를 사용하거나 실측정시 온도구간별 다항식 보정법에 따른 보정 데이터를 이용하여 온도의 곡선으로 보정한 후 이를 열확산방정식에 대입하여 측정온도별 열확산계수를 얻게 된다. 또한 온

도보정을 위한 시료주위 온도측정은 열전대에 의한 접촉식 측정이므로 방사율과는 무관하게 되며 이 온도를 진온도로 전압에 대한 온도의 값을 구하게 된다.

3.2 실험방법

본 장치에 의한 측정과 보정은 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

1) 시료의 온도를 측정할 수 있는 위치에 열전대를 설치한다. 이때 열전대가 레이저빔의 진행경로를 차단하거나 방사계의 온도측정에 방해가 되지 않도록 주의한다.

2) 측정하고자 하는 온도에서 시료가 안정되도록 한다.

3) 열전대의 온도를 측정하고, 그때의 적외검출소자 출력을 읽는다. 이때 적외검출소자의 출력범위를 고려하여 Pre-amp의 증폭배율과 조리개의 크기를 적당히 조절한다. 그러나 동일 보정구간내에서 초기에 조절한 조리개와 증폭배율이 변하지 않도록 주의한다.

4) 레이저를 발진시키고, 시료이면의 온도변화를 기록한다.

5) 시료의 온도를 변화시키며 측정을 반복한다.

6) 적외검출소자와 Pre-amp의 출력범위를 고려하여 측정온도를 결정하며, 측정중 최고상승 온도가 출력범위를 넘어서지 않도록 주의한다.

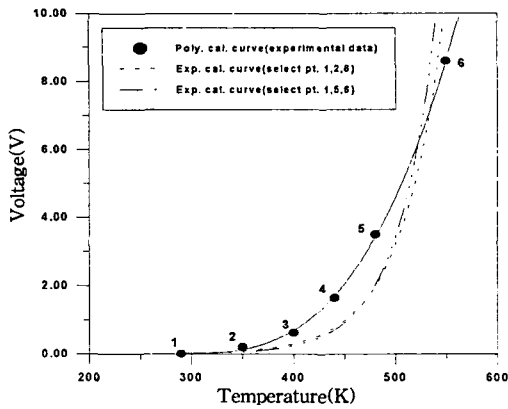
7) 다항식에 의한 전압-온도 보정방식은 최소한 3점 이상의 보정점을 필요로 하므로 이를 고려하여 측정범위내에서 ③항의 방법대로 열전대의 온도와 적외검출소자의 출력을 읽는다.

8) 측정범위를 넘는 온도가 되면 Pre-amp의 배율과 조리개의 크기를 적당히 조절하여 새로운 실시간 보정과 측정을 실시한다.

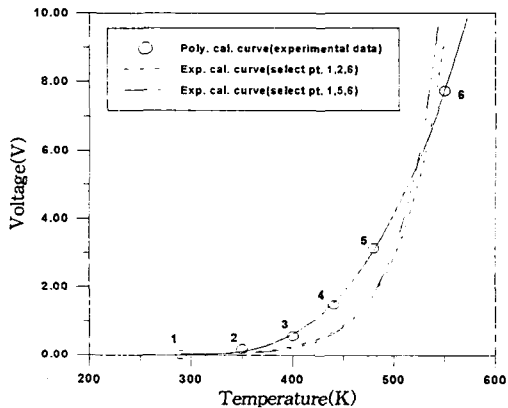
4. 실험결과 및 검토

4.1 측정전 온도보정방법과 실시간 온도보정방법의 비교

Fig.4는 온도별 볼트출력을 나타낸 것으로 본 연구에서의 다항식에 의한 보정법과 지수함수에 의한 보정법을 비교한 것이다. Fig.4(a)와 같이 진공조 투



(a) Transit ratio : 100%



(b) Transit ratio : 90%(by optical contamination)

Fig.4 Calibration results of IR photo-detector

시창의 투과율을 100%라 할 때, 다항식에 의한 방식은 중간 선택점의 변화를 줄 필요없이 모든 점을 이용하여 구하게 되므로 보다 정확한 온도에 대한 전압의 곡선을 그리지만, 지수방식의 경우에는 초기(1점)와 마지막 선택점(6점) 사이의 중간 선택점을 2점 선택하였을 때와 5점을 선택하였을 때 곡선 변화의 차이를 크게 보이고 있으며, Fig.4(b)와 같이 투시창의 오염(90% 투과율)이 발생된 경우에도 투시창의 오염이 없을 때(100% 투과율)와 다른 곡선의 유형을 보이고 있음을 알 수 있다.

그러므로 小野 등에 의한 측정전 보정법 및 지수 함수 보정법에 의한 경우 보정곡선이 오프셋의 변화에 따라 상하로 변동되는 경우에 대한 별도의 계산

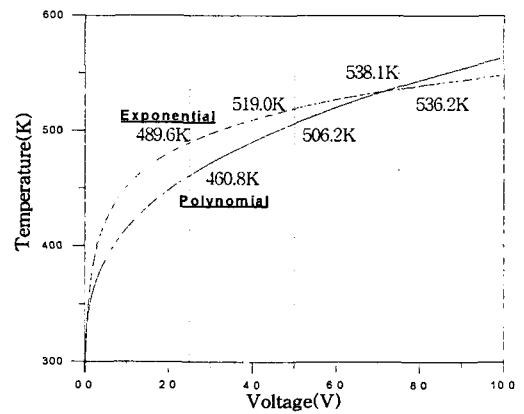


Fig.5 Calibration curves of pre-process vs in-process

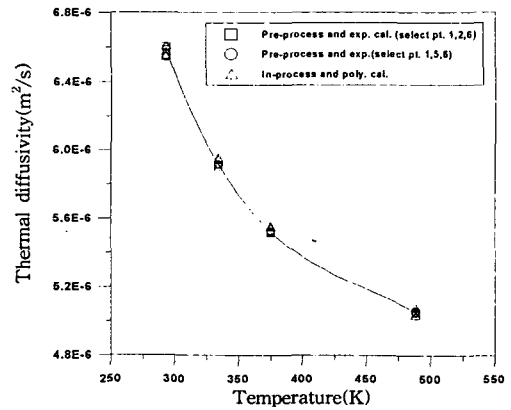


Fig.6 Results of thermal diffusivity measurement using in-process calibration

을 하여야 하며, 중간 온도보정점 선택에 따른 곡선의 변화를 수반하고 투시창의 투과율 변화에도 대응하지 못하여 오차가 증대된다.

Fig.5는 측정된 동일 전압을 측정전 보정법(pre-process) 및 지수보정법과 실시간 보정법(in-process) 및 다항식보정법으로 온도보정한 것을 나타낸 것이며 동일전압이 보정방식에 따라 약 30K 정도의 오차를 수반하게 되어 열확산계수 측정결과와의 오차로 전이되게 된다.

4.2 열확산계수 측정결과

Fig.6은 글래스 카본(glassy carbon)에 대하여 측정전 온도보정법에 따른 지수보정법과 실시간 온

도보정법에 따른 다항식보정법에 의한 열확산계수를 상온에서부터 500K까지 구한 결과이다. 그림에서와 같이 측정전 보정법(pre-process) 및 지수보정법(exponential calibration)은 중간 보정점의 선택(2 또는 5)에 따라 1~2%의 차이를 보이고 있으며, 실시간 온도보정법(in-process) 및 다항식보정법(polynomial calibration)에 의한 열확산계수의 계측 결과는 지수방식에 의한 것보다 1~2% 측정향상을 이루었음을 알 수 있다. 측정향상 결과값이 작은 것은 동일온도, 동일한 진공조 투시창의 오염상태 등 동일 조건에서 시험을 하였기 때문이며, 이러한 결과보다는 실시간 온도보정법 및 다항식 보정법은 투시창의 오염에 따른 투과율 변화와 시료의 방사율변화에 대하여 측정전 보정법 및 지수보정법은 대응을 할 수 없지만 본 방법으로는 시험시 실시간으로 보정하는 방법이므로 오염상태 등 변화상태에 대한 별도의 고려가 필요없게 된다.

5. 결 론

열확산계수 측정중 시료의 주변에 설치한 열전대와 적외검출소자의볼트출력을 사용하여 온도보정을 실시하였다. 온도보정식으로 사용하던 기존의 측정전 온도보정법과 지수보정법은 보정구간 범위 밖에서는 오차가 커지며 중간보정점의 선택에 따라 실시온도와의 편차가 크게 변화하는 단점이 있으며, 투시창의 오염에 따른 투과율 변화와 시료의 방사율변화에 대응하지 못하여 오차가 발생할 수 있으므로 이를 해결하기 위하여 다항식 보정법을 이용한 실시간 온도보정법을 적용하였다.

본 방법의 정도를 확인하기 위하여 레이저 섬광법의 표준물질인 글래스 카본(glassy carbon)에 대하여 상온~500K의 온도범위에서 열확산계수를 측정할 결과 기존의 측정전 보정법 및 지수보정법을 사용할 때보다 1~2%미만의 측정향상이 이루어졌음을 확인하였다. 또한 본 실시간 온도보정법에 의한 다항식 보정법을 사용하여 온도보정을 실시할 경우, 진공조 투시창의 오염정도와 실시간 온도보정에 의하므로 시료의 방사율변화에 따른 별도의 계산이 필요없는 보정법임을 확인하였다.

그러나 열확산계수 측정중 적외검출소자의 온도 출력보정을 실시함으로써 측정의 정밀도 향상을 기

할 수 있게 되었으나, 동일 온도구간에서는 측정이 완료된 후에 열확산계수의 계산이 가능하며, 측정온도구간의 선택을 위한 예비시험 등 측정에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 측정 및 해석방법에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 1998년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. W.J. Parker, R.J. Jenkins, C.P. Butler, and G.L. Abbott, 1961, "Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity, and thermal conductivity", J. of Appl. Phys. 32, pp. 1679~1684.
2. 임동주, 1991, 임의의 열유속 가열에 의한 단열재의 열확산계수 측정법에 관한 연구, 단국대학교 박사학위논문.
3. 佐久間史洋, 小野晃, 腹部晋, 1989, "放射溫度計の特性式," 計測自動制御學會論文集, Vol. 23, No. 8, pp. 82~83.
4. 小林正信, 小野晃, 高速應答連型 赤外放射計, 社團法人 電氣學會, 資料番號 LAN-88-5.
5. R. Siegel and J. R. Howell, 1992, Thermal radiation heat transfer, pp. 11~45.
6. SAN-EI Report, 赤外放射溫度計, 日本電氣三榮, p. 8.
7. A. Ono, 1985, Theory and practice of radiation thermometry, John Wiley, pp. 565~623.
8. 腹部, 佐久間, 1982, "狹波長帶域放射溫度計の特性表示式," 計測自動制御學會論文集, Vol. 18, No. 7, pp. 58~63.
9. G. Ruffino, 1984, The standard radiation thermometer of the NPRL-CSIR, High Temp. High Pres., pp. 393~402.
10. 溫度計測部會編, 1981, 溫度計測, 計測自動制御學會