

## 고막 체온계 교정을 위한 흑체 공동의 복사율 계산

# Emissivity Calculation of a Blackbody Cavity for Tympanic Thermometers

박승남, 박철웅, 유남준\*, 전지호\*, 조재홍\*

한국표준과학연구원 기반표준연구부, \*한남대학교 대학원 물리학과  
snpark@kriss.re.kr

고막체온계는 귀속을 내벽의 온도가 체온으로 일정하게 유지되고 있는 공동으로 가정하여 체온을 측정하는 온도계이다. 체온을 유지하고 있는 흑체 공동에서 방출되는 적외선 복사를 측정하여 체온을 결정하기 때문에 전통적으로 많이 사용해 왔던 접촉식 온도계 (수은체온계나 디지털 체온계)와는 그 온도 측정 원리가 다르다. 적외선 센서는 응답속도가 빠르기 때문에 체온을 수 초 이내에서 빠르게 측정할 수 있는 것이 가장 편리한 점이다. 그러나 적외선에 응답하기 때문에 표면이 귀지 등에 의하여 광학적으로 오염되어 있을 경우에는 측정의 정확도를 보장할 수 없으며, 기존의 접촉식 온도 센서에 비하여 더 높은 장시간 안정도를 기대하기 어렵다. 따라서 정기적으로 고막체온계는 교정해서 사용하지 않는다면 빠른 응답특성이라는 장점에도 불구하고, 매우 잘못된 측정을 야기하여 환자에게 심각한 문제가 발생할 수 있다.

이런 고막체온계를 교정하기 위해서는 복사율이 1인 이상적인 흑체 공동이 필요하다. 이런 공동을 일정한 온도가 유지되고 있는 항온조에 담가서 공동 내벽의 온도를 원하는 온도로 유지함으로써 고막 체온계를 교정할 수 있는 흑체를 얻을 수 있게 된다. 흑체 공동의 복사율은 공동 내벽의 재질이나 표면 반사율과 반사 형태, 내벽의 형상에 따라 달라지기 때문에 계산으로 추정하는 것이 일반적이다. 공동의 복사율이 1에서 벗어난 차이를  $\epsilon$ , 고막체온계의 유효과장을  $\lambda$ 라 할 때 공동이 완전한 흑체가 되지 못해서 발생하는 온도 편차는  $\Delta T = T^2 \lambda \epsilon / c_2$  ( $c_2 = 0.014388$  mK)이다. 일반적인 고막체온계의 유효과장이 약 10  $\mu\text{m}$ 인 점을 고려하면 흑체의 복사율이 0.999일 때는 흑체 공동의 불완전 때문에 온도가 66 mK 낮게 측정되는 계통효과가 발생한다.

공동의 복사율을 계산하는 방법에는 공동 내벽에서 광선이 벽면에 부딪친 후 흡수되거나 반사되는 과정, 반사될 경우 진행 방향은 마구잡이수로 결정된다. 이 방법에 따르면 공동의 유효복사율은 다음과 같이 쓸 수 있다.<sup>(1)</sup>

$$\epsilon_{\lambda_e}(\lambda, T_{\text{ref}}) = \frac{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_{\text{ref}}}\right) - 1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\epsilon_j}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T_j}\right) - 1} \prod_{k=1}^{j-1} \rho_k \tag{1}$$

여기서  $m_i$  는  $i$ -번째 경로에서 광선반사 수이고,  $\epsilon_j, \rho_j, T_j$  는 각각  $j$ -번째 반사지점의 복사율, 반사율과 온도이다. 이 방법은 내벽의 온도가 균일하지 않더라도 적용할 수 있다. 이런 알고리즘을 채용한 복사율 계산 프로그램이 STEEP3라는 이름으로 판매되고 있다. 그렇지만, 이 STEEP3는 공동의 내부 형상이 복잡할 때 그 설계를 그대로 적용하기가 매우 어려운 단점이 있다. 더구나 고막체온계를 교정하기 위한 흑체의 경우, 온도가 높지 않기 때문에 항온조에 담가서 사용할 경우 내벽의 온도 분포를 무시할 수 있기 때문에 다른 계산 방법을 생각할 수 있다.

물체 표면에서 발생하는 반사와 흡수에 대한 키르히호프 법칙을 흑체 공동으로 일반화하면 흑체의 재

질이 불투명할 경우 흑체의 복사율은 흑체의 흡수율과 같으며, 흡수율은 (1-반사율)로 표현된다. 따라서 최근에 많이 사용되고 있는 Light Tools(LT)와 같은 조명계 설계 프로그램의 광선추적 기능을 사용하면 내부 형상이 복잡한 경우에도 흑체의 복사율을 비교적 간단히 계산할 수 있다.

이 연구에서는 먼저 해석적으로 복사율이 알려져 있는 구형 공동의 복사율을 복사율 계산 전용프로그램인 STEEP3와 조명계 시뮬레이션 프로그램인 LT를 사용하여 계산한 후 이론과 비교하여 LT의 계산 정확도를 확인하였다. 또한 실제 고막 체온계의 교정에 사용하는 원통-원추 공동의 복사율을 LT를 사용하여 계산하였다. 반지름이 1이고 개구가 반지름 0.2이고, 내벽 재료의 복사율이 0.8이고, 완전확산반사체일 때 구형 공동의 복사율을 LT를 사용하여 계산하였다. Table 1은 seed number를 1부터 10 까지 바꾸면서 얻은 계산 결과의 평균과 표준편차를 보인 것이다. LT로 계산한 구형 공동의 복사율은  $0.9975273 \pm 0.000025$ 으로, 이론적으로 알려진 결과,  $0.9975062^{(2)}$ 과 표준편차 이내에서 잘 일치하였다. 또한 seed number 1에 대하여 추적할 광선 수를 증가시키면서 계산된 복사율이 수렴해 가는 모양을 본 결과 광선수를  $1 \times 10^6$ 개로 증가시키면 이론적인 값  $0.9975062$ 과  $0.001\%$  이내에서 계산이 일치하는 것을 확인하였다.

Fig. 1는 고막체온계를 교정하기 위한 원통-원추 공동을 설계를 보인 것이다. Fig. 2은 원추부의 각도를 변화시키면서 공동의 복사율을 계산하였다. 여기서 원추부분의 각도가  $180^\circ$  일 때 완전 원통 공동에 해당한다. 공동 재료의 복사율은 0.9로 가정하였고, 내벽 재료의 반사 특성 중 확산반사 성분이 0%에서 10%씩 변화될 때를 가정하였고, 정반사 패턴은  $\cos^6\theta$  로 가정하였다. 쉽게 예상할 수 있는 것처럼 완전 원통( $180^\circ$ )이 될 때 정반사 성분이 줄어들면서 복사율이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

Table 1. Emissivity of spherical cavity with the aperture/radius ratio of 0.2 and with material emissivity of 0.8.

Seed Number	Emissivity
1	0.997524025
2	0.997513014
3	0.997564543
4	0.997529518
5	0.997481739
6	0.997507067
7	0.997529394
8	0.997555149
9	0.997552714
10	0.997515612
Mean	0.997527277
Standard Deviation	0.000025

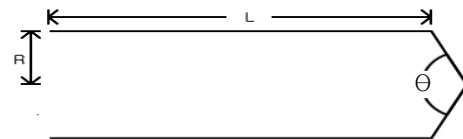


Fig. 1. Cylindro-conical cavity

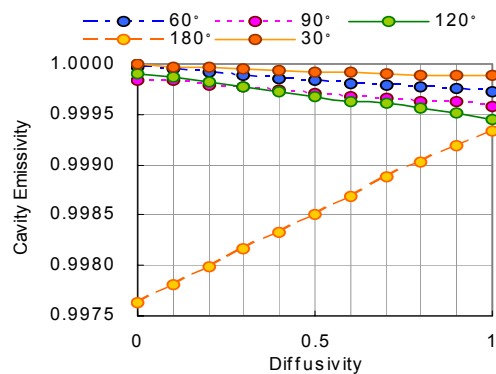


Fig. 2. Cavity emissivity for various apex angel of the cylindro-concal cavity shown in Fig. 1.

참고문헌

1. A.V. Prokhorov, Monte Carlo method in optical radiometry, Metrologia, Vol. 35 pp.465-471(1998).
2. A. Gouffe. Correction d'ouverture des corps-noir artificiels compte tenu des diffusions multiples internes - Revue d'Optique, Masson, Paris, France, Vol 24, p. 1 (1945).