

# Holography를 이용한 비접촉 온도계측에 관한 연구

김중윤 · 박종화 · 이동호

인천대학교 안전공학과

## 기호 설명

$$a : \frac{\Delta n}{\Delta T}$$

$\ell$  : length of test section (m)

$n_{\infty}$  : refractive index at reference temperature

$n_0$  : refractive index

$\frac{dn}{dT}$  : gradient of the refractive index

S : Fringe order shift

$T_{\infty}$  : reference temperature(°C)

$T_0$  : temperature (°C)

$\lambda$  : Wave length of light source (m)

## 1. 서론

유체의 열전달 측정을 위해 일반적으로 사용되는 방법은 열전대(thermocouple)를 이용한 온도 계측을 들 수 있다. 이 방법은 점계측 방법으로서 측정점 이외의 유체공간에 대한 실시간적 온도 분포를 파악할 수 없으며, 유체의 유동이 열전대에 영향을 받아 실제의 변화와 다른 결과를 나타낼 수 있는 문제점을 가지고 있다.

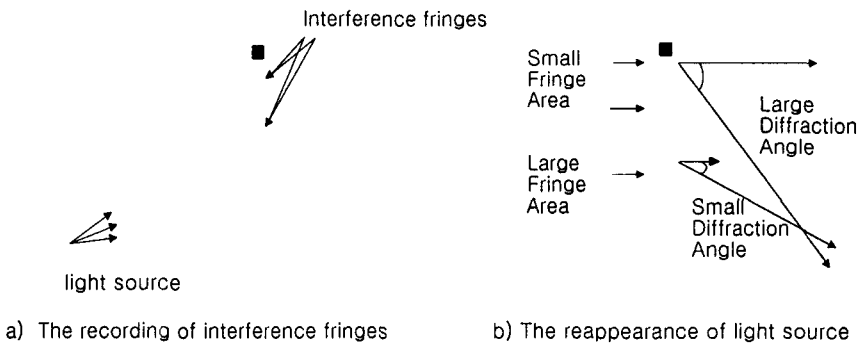
홀로그래피 간섭계(Holography interferometry)는 비접촉 온도 계측방법으로서 유체의 유동에 대해 영향을 주지 않으며 공간 계측을 실시함으로써 측정 영역 전체에 대한 온도장을 가시화 할 수 있다. 또한 홀로그래피 간섭계는 유체의 온도 뿐만 아니라 유동과 농도 변화도 동일 방법으로 계측할 수 있으며 레이저광이 통과되지 않는 고체에 있어서도 응력이나 하중 분포, 진동 등을 계측 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구는 홀로그래피 간섭계를 이용하여 유체를 대상으로 온도 분포 측정 실험을 실시함으로써 정성적, 정량적인 비접촉 온도 계측에 대한 기초를 제시한다.

## 2. 이론

### 2.1 홀로그래피의 원리

Holography란 물체로부터 방출되는 광파의 진폭과 위상에 대한 정보를 홀로그램에 기록한 후 다시 그 파면을 재생하는 방법을 말한다. Fig.1은 본 연구에서 사용된 홀로그램의 원리를 나타낸다.



**Fig. 1 Principle of Holography**

점광원으로부터 간섭성을 갖는 레이저광(위상에 따라 간섭무늬를 발생시킬 수 있는 광)과 다른 방향으로부터 레이저광을 홀로그램용의 미립자건판상에 중첩시켜 기록하게 되면 Fig.1(a)와 같은 간섭무늬(Interference Fringe)가 기록된다. 이 건판을 현상하면 일종의 회절 격자(Diffraction Grating), 즉 홀로그램(Hologram)이 된다. 이것에 간섭무늬가 기록된 방향으로부터 간섭광 (Coherent Light)을 조사하게 되면 참조광은 현상된 건판(회절격자)에서 회절하게 된다. 회절광은 Fig.1(b)에서 알 수 있는 바와 같이 회절격자의 간격이 좁은 곳은 큰 회절각으로 간격이 넓은 곳은 작은 회절각으로 회절하게 된다. 결과적으로 전체의 회절광은 원래의 점광원을 재현하게 된다. 동일한 방식으로 2곳의 점광원으로부터 간섭무늬를 건판에 기록할 경우, 2개의 서로 다른 정보를 갖는 간섭무늬가 겹쳐져 기록되게 된다. 또한, 각각의 간섭무늬는 점광원의 강도에 비

레하여 2곳의 점광원으로부터 빛이 진행해 오는 것과 같이 회절격자에서 회절 되게 된다. 실제의 경우와 같이 정보를 얻고자 하는 물체의 점광원이 무수히 많은 경우에 대해서도 동일한 방법으로 설명 가능하다. 이상과 같이 홀로그래피 간섭계는 간섭성을 갖는 광(Coherent Light)으로 물체를 조사시켜 물체의 위상변조와 강도변조를 받은 물체광(Object wave)과 변조되지 않은 다른 간섭성의 참조광(Reference wave)을 동시에 건판상에 겹쳐서 간섭광을 만들고 간섭무늬의 형태로 공간정보를 기록한게 된다.

## 2.2 간섭무늬의 해석

이상적인 간섭계에서 간섭무늬 차수와 굴절율은 다음과 같은 관계가 있다.

$$S\lambda = l ( n_{\infty} - n_0 ) \quad (1)$$

또, 온도의 변화( $\Delta T$ ) 와 굴절율의 변화 ( gradient of the refractive index ;  $\frac{dn}{dT}$  ) 의 관계는 다음과 같이 표기된다.

$$\Delta T = (\lambda/l) \cdot (dT/dn) \cdot S \quad (2)$$

윗식에서 굴절율의 변화는 온도에 대한 함수이므로 (2) 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dS}{dT} = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{dn}{dT}$$

$$S = \frac{l}{\lambda} \int_{T_0}^{T_{\infty}} \frac{dn}{dT} dT = \frac{l}{\lambda} [n(T_{\infty}) - n(T_0)]$$

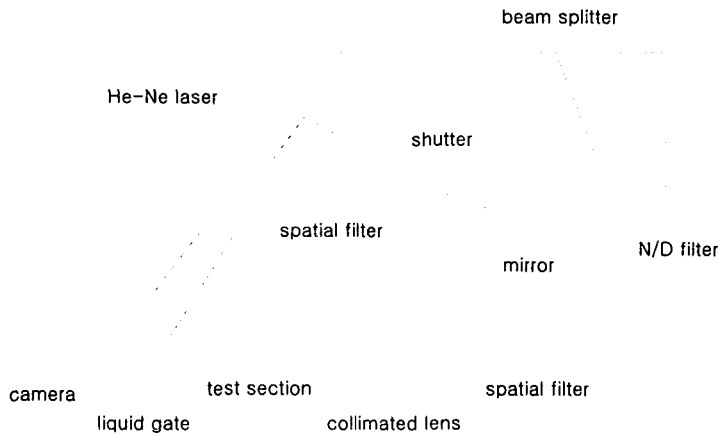
다시 온도의 함수로 식을 정리하면

$$n(T_0) = n(T_{\infty}) - (\lambda/l) \cdot S \quad (3)$$

이 된다.

### 3. 실험

Fig 2.는 실험장치의 개략도를 나타낸다. 본 실험에서는 실시간 홀로그래피 법(real time holograph method)을 이용하여 시간경과에 따른 온도 측정을 실시하였다. 광원으로는 30mW의 He-Ne laser를 사용하였고 실험 유체는 silicon oil (KF96-10cs, 동점성 계수  $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )을 사용하였다.



**Fig. 2 optical setup for holographic interferometry**

먼저, 광학 table에 Fig.2와 같이 광학 장치를 배열한 후 계측 대상 물체를 홀로그램에 촬영, 정보를 저장한다. 홀로그램을 현상하고, 다시 재생을 실시하면 재생상과 대상 물체가 중첩된 상태로 놓여지게 된다. 이 때 대상 물체를 지나가는 광을 물체광 (measuring wave or object wave)라 하고 대상 물체를 지나지 않고 liquid gate 에 도달하는 광을 참조광(reference wave)이라 한다. 물체광은 실제 상태의 물체를 조명하는 역할을 하고 참조광은 물체가 변형되기 전의 정보를 나타내는 역할을 한다. 따라서 물체에 변형을 가하게 되면 재생상과 대상 물체간에 위상차가 발생하여 홀로그램을 통하여 간섭무늬가 나타나게 된다.

실험은 굴절을 계산을 위한 기초 실험과 계측 대상 물체의 측정을 위한 본 실험을 실시한다. 기초 실험에 의해 계산된 자료로서 본 실험의 대상 물체에 대한 정성적·정량적인 분석을 실시한다.

#### 4. 실험결과

Fig. 3은 기초실험 결과를 나타낸다. 측정 영역 내의 silicon oil의 굴절율과 온도의 관계는 1차 함수를 나타내므로 (3) 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_0 = T_\infty - \frac{S\lambda}{al} \quad (a : \Delta n / \Delta T) \quad (4)$$

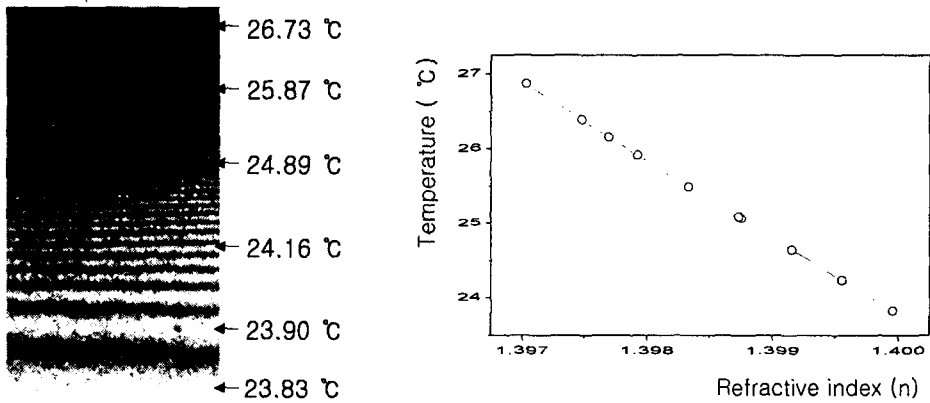


Fig. 3 Temperature profile in silicon oil

Fig. 4는 표면장력의 불균일에 의한 마랑고니 대류의 발생모델을 대상으로 홀로그래피법으로 분석한 결과를 나타낸다.

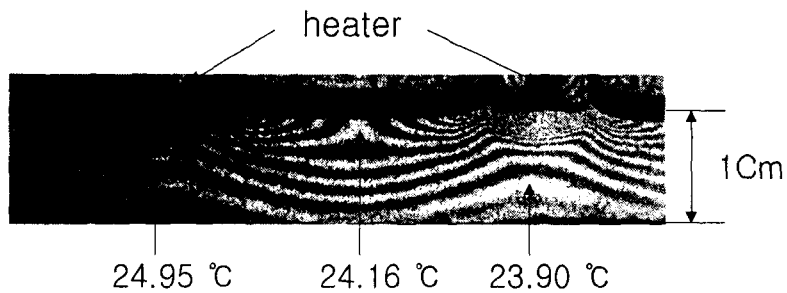


Fig. 4 The result in Marangoni convection

Fig. 3과 Fig. 4를 비교해 보면 Fig. 3은 열의 전도 형태로서 간섭무늬가 일정하게 나타나지만 Fig. 4는 열의 대류 형태로서 실제적인 공간상에서 예측하기 힘든 복잡하게 교란된 간섭무늬가 나타나게 된다. 이 간섭무늬로부터 열전달에 대한 공간상의 정보를 알 수 있으며 각 위치에 대한 정량적 온도를 명확히 파악할 수 있다.

## 5. 결론

비접촉 온도 계측의 정성적·정량적 분석 수단으로 홀로그래피 간섭계를 이용한 열전달 실험을 실시하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 점계측이 아닌 공간에 대한 계측으로서 2차원 온도 분포를 구할 수 있다.
- (2) 실험에 의해서 유체에 대한 굴절율을 계산하고 굴절율과 온도와의 관계를 규명 한다면 동일 유체에 대한 정량적인 계측을 할 수 있다.
- (3) 비접촉 온도계측으로서 유체의 미세한 유동에 대해서도 방해를 주지 않기 때문에 보다 정확한 계측을 할 수 있다.
- (4) 홀로그래피 간섭계는 온도에 민감한 화학 물질이나 다른 첨가제에 의해 화학반응이 발생하는 물질에 대한 온도계측에 매우 유용하게 적용이 될 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. Hauf. W. and Grigull. U. , "Optical methods in heat transfer", Academic Press ,Vol 6.,pp133~pp366(1970)
2. Seizo Kato, Naoki Maruyama, Sadegh Tabejamaat , " Numerical simulation and laser holographic study on thermal diffusion in counterflow with different temperatures" , Elsevier Science LTd. Energy convers. Mgmt Vol. 38, pp 1197~1207 (1997)
3. 李東浩, "마랑고니 효과による水溶液中への水蒸氣吸收促進機構" 日本冷凍學會 學術論文集 pp29~pp32 (1989)
4. 李東浩, 崔國光, 柏木孝夫, 徐正閔 " 蒸氣吸收時 界面活性劑液適間에 發生하는 마랑고니 對流舉動의 可視化", 空氣調和 冷凍工學 論文集 第4卷 第2號, (1992)