

LSP法에 의한 微細 물 噴霧 粒子 速度分布計測에 關한 研究

A study on the velocity distribution measurement for the fine water mist spray by using LSP method

이 동 호*

Dong-Ho Rie

(1996년 6월 29일 접수, 1996년 12월 14일 채택)

ABSTRACT

The speckle photography technique is one of the novelest velocity measurement methods. This study examines the possibility that this technique will become practically applicable. In this study, LSP is applied to the fine water mist spray. Moreover, a He-Ne gas laser is employed as the light source in order to enhance the validity of this technique. It becomes clear that this technique using a He-Ne gas laser can obtain a whole instantaneous two-dimensional velocity distribution and also apply to test the performance of fine water spray.

1. 서 론

미세한 물방울을 분사하여 화재를 진압하는 방법은 지난 50년간 꾸준히 진행되어 왔으나 최근까지 실용화되지 못한 실정이다. 이러한 방식의 미세물분무(Fine Water Mist Spray)에 의한 화재진압방식은 1987년 몬트리올협약(Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layers)에 의거 세계 대부분의 나라에서 Halon화합물로 사용된 화학소화제의 대체물질로 각광을 받기 시작하여 연구가 활기를 띠게 되었다. 또한 미세물분무

는 Halon소화제에 의존해 왔던 엔진시설, 터빈시설, 항공기, 해상유전시설, 인화성 액체 보관시설 등의 소화에 적극적으로 사용되고 있는 실정이며 기존의 방화수에 의한 비열 피해(Non-thermal Damage) 손실이 심각한 정보중심산업(전화교환실, 반도체공장, 컴퓨터 관련 시설물)에서 그 진가를 발휘할 것으로 예상되며, 화재의 개념도 지금까지의 건물 및 산업시설의 보존이라는 측면에서 탈피하여 제품까지도 함께 보호하여야 한다는 개념으로 바뀌고 있는 실정이다¹⁾.

미세물분무 시설(Fine Water Mist Spray Syst-

* 인천대학교 산업안전공학과

em)에서 분사되는 물분무 입자는 평균 400 μm이하로서 최근 구성된 NFPA 750 Water Mist Fire Suppression Systems Committee에서는 미세 물분무 시설을 체적기준으로 99%의 전 물분무 입자가 1000 μm이하로 규정하고 있다.

이러한 미세 물분무에 의한 소화효과로는 미세 물분무 입자가 증발함으로써 주변의 열을 빼앗는 냉각효과, 분무입자의 증발에 기인하여 수증기에 의해 급격한 체적팽창으로 인한 산소와 연료와의 차단효과, 화염으로부터 주위 연료로의 복사열차폐효과등을 들 수 있다.

본 연구에서는 비열 피해 손실이 적은 미세 물분무 화재 진압 방식을 대상으로 He-Ne laser를 사용한 LSP법(Laser Speckle Photography Technique)을 이용하여 고속류로 방출되는 임의 공간 내의 미세 물 분무의 속도 및 속도분포계측의 실효성 검증을 시도한다.

2. 실험방법

2.1 LSP법

LSP법을 이용한 속도 계측은 레이저 도플러법 및 홀로그래피법보다 광학계의 요구조건은 엄밀하지 않고 사용 방법 또한 용이하므로 임의 단면에서의 2차원 속도 분포를 순간적으로 기록할 수 있는 큰 장점을 갖는다. 이러한 까닭에 비정상 현상을 수반하는 속도 분포 계측에서 1980년 이후 주목되어 온 방식이다. 스펙클(speckle)이란, 레이저 광이 산란 입자에 조사됨으로서 산란된 다수의 광파가 상호불규칙적인 위상 관계로 간섭함으로써 발생하는 광 강도의 명암을 일컫는다. 따라서, LSP법이란 스펙클 이동을 이용하여 2차원 평면내 속도 분포를 정량적으로 얻을 수 있는 가시화법을 의미한다.

지금까지의 비접촉 계측 기술로는 마하젠더(Mach-Zehnder)법, 슈리렌(Schlieren)법 등이 사용되어왔으나, 저질광원(Xe램프)의 사용과 광원의 정확한 시간제어가 불가능한 단점으로 고속류, 비정상류에 적용은 불가능하였으나 최근 펄스레이저(pulse laser)의 개발로 계측가능하게 되었다.

LSP법을 사용한 속도 계측 예로는 대출력인 루비 펄스 레이저(ruby pulse laser) 및 아르곤 레이저(Ar laser)를 사용하여 Crousson은 Poiseuille

flow²⁾, Meynard는 Benard convection³⁾을 대상으로 보고되어 있다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 보급되어 있는 He-Ne laser를 이용하여 LSP법을 미세 물 분무입자 속도계측에 적용하여 소영역내의 속도 분포 계측을 목표로 한다.

LSP법은 크게 기록과 재생 영역으로 나누어 이루어진다. 기록과정으로 우선, 펄스상의 레이저를 이용하여 스펙클 패턴(speckle pattern)을 사진용 필름에 기록한다. 이렇게 작성된 네거티브 필름(negative film)을 스펙클그램(specklegram)이라 한다. 스펙클그램에 이용되는 펄스(pulse)상의 레이저 펄스 폭은 광중의 이동이 미소하도록 제한되며, 펄스폭 및 촬영 배율은 스펙클 간의 거리가 간섭무늬(interference fringe)를 효과적으로 발생시킬 수 있는 최적의 간격이 되도록 설정하여야 한다. 재생에서는 Young의 간섭무늬(Young's fringe)를 이용한다. 이 간섭무늬는 스펙클그램의 소영역을 재생용 레이저로 조사함으로써 스크린 상에 +1, 0, -1차의 간섭무늬가 발생된다. Fig. 1은 스펙클그램으로부터 국소 속도를 구하기 위한 광학계를 나타낸다. 스크린에 나타난 스펙클의 간격을 d, Young의 간섭무늬 간격(0차원과 +1차원 또는 -1차원 간의 간섭무늬가 나타내는 중심축과의 간격)을 l, 스펙클그램과 스크린과의 거리를 L, 재생광의 파장을 λ라 할 경우, 0차원(재생용레이저광)과 회절광의 각도가 6°이하의 조건을 만족한다면 $\sin \theta \approx \tan \theta$ 의 관계가 성립하므로 식(1)로 표기된다.

$$\lambda/d = l/L \dots\dots\dots (1)$$

한편, 촬영배율을 m, 펄스간격을 t, 속도를 v라 하면 다음 식(2)로 되며, 속도벡터는 각 회절에서 평행하게 나타난 간섭무늬와 수직한 방향을 갖는다. 따라서, 광막내의 속도벡터는 다음 식으로 얻어지며, 스펙클그램의 소영역 별로 레이저 빔을

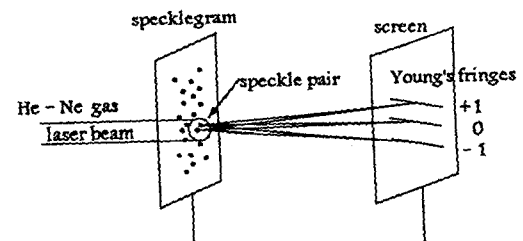


Fig. 1 Optical apparatus for Young's fringes

이동시켜 위치별 속도를 얻게된다.

$$v=d/(m \cdot t) = \lambda \cdot L / (l \cdot m \cdot t) \dots\dots\dots (2)$$

Young의 간격법은 비교적 정도가 높고 해석방식도 용이한 반면, 재생광의 광선 직경내로 스펙클이 존재할 수 있도록 노광횟수, 펄스간격의 최적값을 측정대상에 따라 적절히 선정하여야 한다^{4,5)}.

2.2 실험장치 및 방법

실험장치는 노즐로부터 물을 분사시키는 단순형태로서 분무압력은 콤프레셔로부터 임의 압력으로 조절가능하도록 Fig. 2와 같이 설계하였으며 분무방향은 수평방향으로 설정하였다.

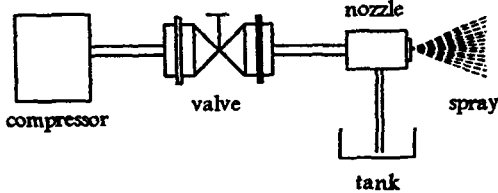


Fig. 2 Experimental apparatus

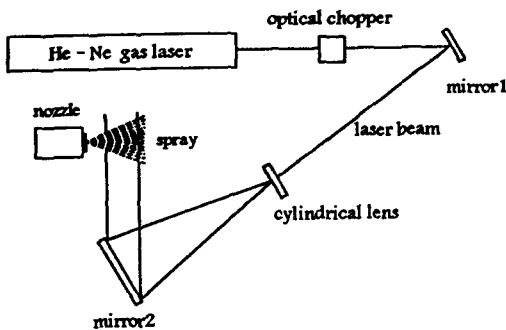


Fig. 3 Schematic diagram of optical apparatus and beam direction

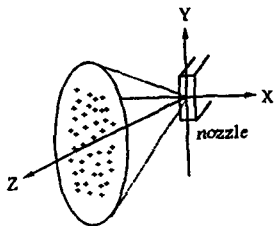


Fig. 4 Cartesian coordinate of fine mist water particle

본 실험에 사용된 광원은 30mW의 He-Ne 레이저를 사용하였으며, 발진된 레이저 빔 직경 $\phi 2.5$ 를 원통형 렌즈를 사용하여 2차원으로 만든 후, 볼록렌즈를 사용하여 선정된 폭의 광막을 얻는다. 스펙클그램을 얻기 위해 레이저광 사출구에 Optical chopper를 위치시켜 발진된 레이저광을 펄스 상태로 변환한다. 본 실험에서는 미세 분무 입자가 직접적으로 산란입자로 작용되므로 다중노광으로 스펙클그램 작성이 가능하다. Fig. 3은 분무에 대한 레이저광의 조사방법을 나타낸다. 본 실험에서 카메라의 조사배율은 0.75이며 분출속도는 비교적 입자경이 크며 입자의 공간농도가 낮은 1.5kg/cm^2 의 분무입자경을 대상으로 실험을 하였다. 펄스간격의 값은 $10\sim 100\mu\text{s}$, 펄스폭은 $50\sim 100\mu\text{s}$ 조건이며 펄스 횟수는 카메라의 셔터속도에 따라 변화시켰다. Fig. 4는 분무입자의 위치를 설정하기 위한 좌표를 나타내며 노즐로부터 분무출구의 중심을 $(x, y, z)=(0, 0, 0)$ 로 설정하였다. 측정위치는 분무에 대해 수직방향을 y축, 수평방향을 x축으로 설정하였으며, 스펙클그램은 임의의 x좌표를 선정하여 y-z평면을 대상으로 측정하였다. 촬영된 스펙클그램을 Fig. 1과 같은 방식으로 재생함으로써 Young의 간섭무늬를 발생시켜 속도분포를 구한다.

본 실험에서는 실험의 기초단계로서 양호한 간섭무늬를 얻기 위해 비교적 입자직경이 크고, 속도벡터가 단순한 노즐 출구 근방의 분무입자를 측정대상으로 하였다. 또한, 분출압력은 1.5kg/cm^2 로 설정하였다.

3. 실험방법 및 고찰

스펙클그램의 작성은 다음의 3 조건하에서 실시하였다.

- (a) 노즐출구 x축 좌표 $x=0\text{mm}$
- (b) 노즐출구 전방 x축 좌표 $x=5\text{mm}$
- (c) 노즐출구 전방 x축 좌표 $x=10\text{mm}$

Fig. 5-(a), (b), (c)는 위에서 언급한 실험조건 (a), (b), (c)의 스펙클그램으로부터 재생된 Young의 대표적 간섭무늬를 나타낸다.

Fig. 5의 결과로 얻어진 소구역내의 Young's fringe로부터 속도 및 속도벡터를 산출 Fig. 6에 각 조건별로 나타내었으며, 계산된 값을 Table 1에 나타낸다.

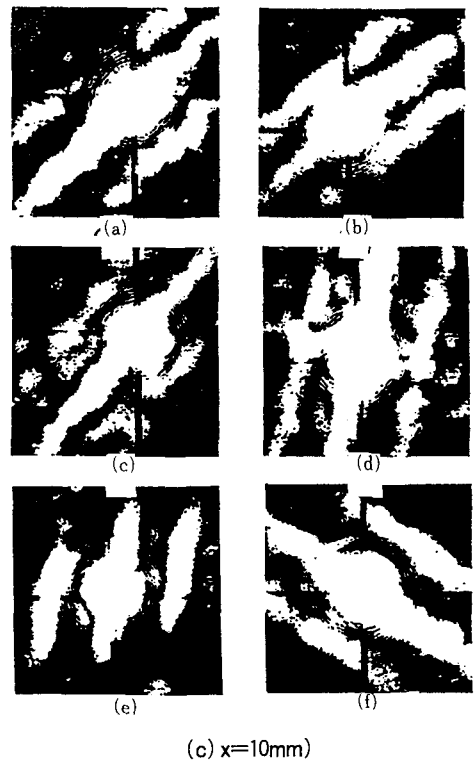
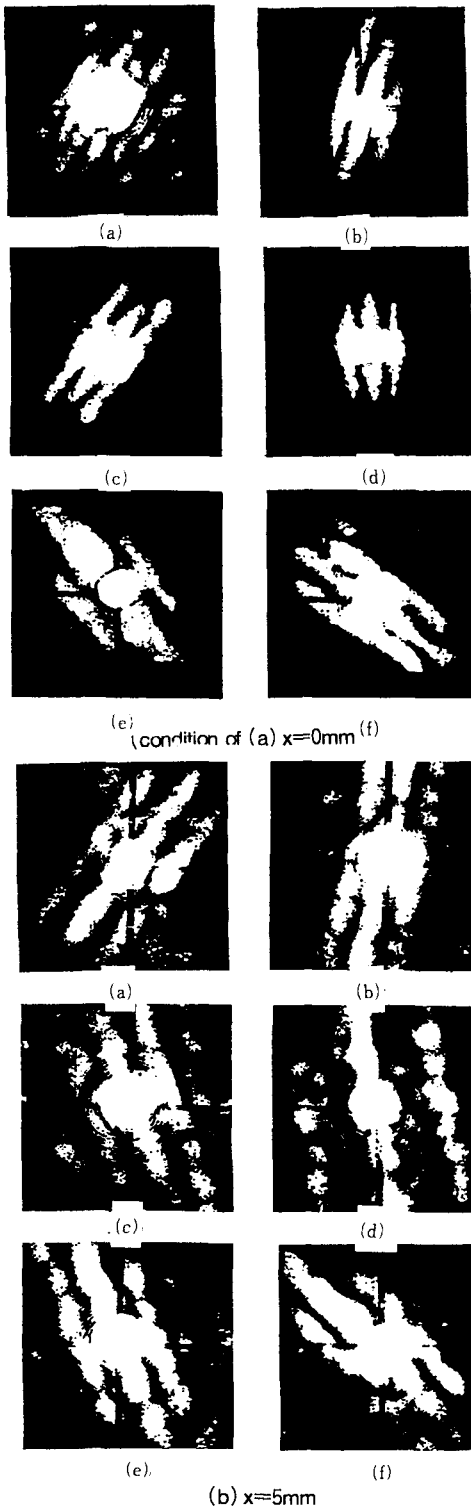


Fig. 5 Interference fringes from the result of specklegram

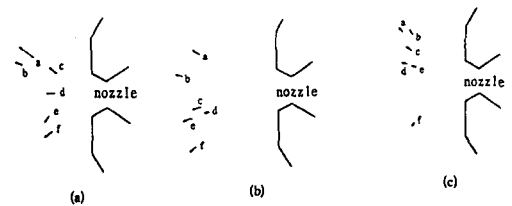


Fig. 6 Velocity distributions at the y-z plan of $x=0, 5, 10\text{mm}$ by the analysis of Young's fringes

Table 1 Result of analysis

| Interference fringe | Velocity(mm/s) | | | Degree($^{\circ}\text{C}$) | | |
|---------------------|----------------|------|------|------------------------------|-----|-----|
| | A | B | C | A | B | C |
| a | 11767 | 5702 | 3872 | 38 | 33 | 46 |
| b | 5336 | 6540 | 4574 | 20 | 20 | 51 |
| c | 6246 | 5904 | 3945 | 38 | -20 | 40 |
| d | 5932 | 3153 | 3651 | 0 | -11 | 13 |
| e | 4925 | 6404 | 3588 | -54 | -23 | 13 |
| f | 6089 | 6121 | 3598 | -38 | -43 | -53 |

분무입자는 노즐출구로부터 방사선상으로 진행되고 있음을 간섭무늬의 해석결과로 알 수 있다. 또한, 간섭무늬 간격은 중심으로부터 외측방향으로 진행될수록 넓게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 내측보다 외측이 속도가 상대적으로 적은 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7(a), (b), (c)는 각각의 스펙클그램으로 재생하여 해석된 속도벡터 분포를 나타내며, 분무 중심으로부터 x축을 따라 외측으로 진행될수록 분무입자의 속도는 낮아지는 경향을 나타낸다.

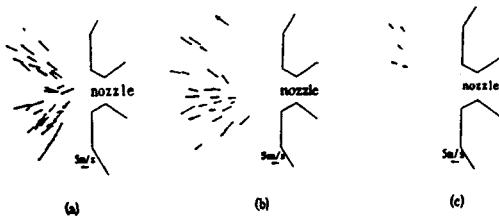


Fig. 7 Velocity distributions of fine water mist

$x=10(\text{mm})$ 의 y - z 평면에서 속도벡터 분포로부터 분무입자 밀도가 낮기 때문에 재생된 간섭무늬는 적게 나타나며, 역으로 $x=0$ 및 $x=5\text{mm}$ 의 조건에서의 속도벡터 분포는 분무 중심(z 축 부근)에서 분무입자의 밀도가 매우 높은 까닭에 재생된 간섭무늬의 수는 분무의 외측과 비교하여 상대적으로 높은 값을 나타낸다. 따라서, 본 실험에서 이용한 LSP법에서는 촬영배율, 레이저광의 펄스폭 및 펄스간격 이외에 분무에 포함된 분무입자 밀도 또한 속도계측에 있어서 중요한 인자로 작용함을 알 수 있다.

4. 결 론

분무입자 중심부근에서는 분무입자의 공간밀도가 매우 높으므로 Young의 간섭무늬의 재생은 분무외측에 비해 측정에 어려움이 따르며, 따라서 Young의 간섭무늬의 재생 조건으로서 스펙클그램을 포함한 입자의 농도도 LSP법에 의한 속도계측의 중요한 인자임을 밝혔다. 미세분무의 속도가 매우 빠른 경우(10.0m/s)에 있어서도 LSP법으로 측정가능함을 밝힘과 아울러 이 계측법을 이용하여 보다 정확한 미세 물 분무입자의 속도 분포가 측정가능함으로서 소화시 미세 물 분무입자의 거동에 중요한 요인이 되는 분무 노즐의 성능을 파악하는 방법으로 유효하게 이용될 수 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

- 1) 남순일, "미국에서의 소화용 스퍼링클러의 발달과정 및 최근 동향", 방재시험연구소 방재기술세미나, pp. 20~37, 1996.
- 2) Crousson, R. and Mallick, S. Appl. Opt., 16-9, 1977.
- 3) Meynard, R., Rev. Phys. Apl., No. 17, p. 301, 1982.
- 4) Kawahasi, M., Laser Speckle Method, 流れの可視化, Vol. 7, No. 25, pp. 14~29, 1987.
- 5) Kashiwagi, T. and Nomura, T., Recent Developments in Flow measurement and Visualization by Laser Technology, Japan Micro-gravity 應用學會誌, Vol. 7, No. 2, pp. 44~54, 1990.