

---

# 광 산란특성을 이용한 미세입자 감지시스템

김응수\*

## Small Particle Detection System by Optical Scattering Effect

Eung-Soo Kim\*

### 요약

환경적으로 발생하는 미세입자를 감지하는 시스템을 설계하고 제작하였다. 미세입자 감지시스템은 광산란 현상을 이용하였으며, 레이저다이오우드, 렌즈, aperture, 수광소자로 구성되어진다. 검출시스템의 성능을 좋게 하기 위해 aperture, 렌즈, 수광소자의 위치를 시뮬레이션을 통해 최적화하였다. 제작된 감지시스템으로 유입 되는 미세입자에 의한 광산란을 감지하므로 빠른 응답특성을 가지는 미세입자 감지시스템을 제작하였다.

### ABSTRACT

We have designed the small particle detection system. The scattering effect of light was used to detect small particle. The fabricated system consisted of laser diode, lens, pin hole, and photo detector. The aperture, lens, and photo detector were optimized to improve the performance of detection system. The fabricated detection system detected the scattered light by small particle entering into detection system and its response time was fast.

### 키워드

particle, scattering, laser diode, photo detector  
입자, 산란, 레이저다이오우드, 수광소자

## 1. 서론

센서를 이용하면 마이크로 웨이브, 적외선, 자외선, X-선 등을 감지 할 수 있으며, 육안으로 볼 수 없는 아주 작은 물질이나 먼거리에 있는 물질도 볼 수 있고, 어떤 물리량이나 생물화학량을 측정할 수 있다. 현재 산업계에서는 센서관련 제품들이 많이 개발되어 있고, 또 센서의 성능을 향상시키기 위하여 관련연구 기관에서 많은 노력을 하고 있다[1-8]. 이러한 기술 개발 중에서도 광을 이용하면 비접촉식으로 측정이 가능하므로 측정대상물을 파괴하지 않아도 되고, 전기

를 이용할 때 보다 성능이 우수하고 감도가 좋은 장점이 있다. 광을 이용하여 측정하는 방법에는 광흡수법, 광산란법, 광반사법 등이 있지만, 본 연구에서는 미세입자를 측정하기 위해 광산란법을 이용하였다. 광산란 현상에 의한 이론적 연구는 오랜전부터 많이 연구되고 있으며, 재료분석 및 평가, 의료연구, 대기현상, 행성관찰, 계측기 등의 산업분야 등에서 널리 적용되고 있다[9-12]. 산업용의 미세입자감지시스템은 실험실과 반도체공정실 등의 청정실, 지하차도 등에서 미세입자가 어느정도 되는지 조사하기 위해 사용되어지며, 화재예방용으로도 사용되어 질 수 있다. 이러한

---

\* 부산외국어대학교 디지털미디어학부(eskim@pufs.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 09

심사(수정)일자 : 2012. 04. 30

게재확정일자 : 2012. 06. 07

미세입자감지시스템은 광전식, LED를 이용한 방법과 크세논 램프를 이용한 방법 등이 사용 되고 있지만 시스템의 size가 크고, 가격이 비싸고, 유지보수 등의 단점이 있다. 따라서 시스템의 크기도 작고, 저가, 고 감도의 성능을 가진 미세감지장치의 개발이 중요하다.

따라서 본 논문에서는 laser diode를 이용하여 소형, 고성능의 미세입자감지장치를 설계하여 제작하였으며, 제작된 시스템의 특성을 조사하였다.

## II. 설계

레이저 다이오드를 사용하여 소형의 미세입자 감지시스템 제작을 위해 전체 감지기의 크기는 그림 1 과 같이 100×50×50mm 이다. 미세입자 감지할 때 잡음원으로 작용할 수 있는 주변광을 차단하여 외부에서 다른 빛이 절대로 들어가지 못하도록 하여 시스템의 성능을 높일 수 있도록 설계하였다. 그림 1에서 오른쪽에 있는 상하 2개의 구멍은 직경이 5mm로 본체 상부의 구멍을 통하여 감지기내로 미세입자가 유입되고, 유입된 미세입자는 본체 바닥에 있는 직경 5mm의 구멍을 통하여 밖으로 배출된다.

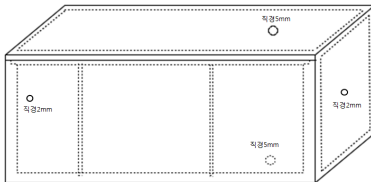


그림 1. 감지시스템 구조  
Fig. 1 Structure of detection system

그리고 본체 옆면에 있는 직경 2mm의 구멍은 laser diode를 구동하기 위한 배선용 구멍과 photodiode에서 검출한 광신호를 전기신호로 변환하고 증폭회로에 공급하기 위한 배선용 구멍이다. 그림 2에 보이듯이 장치의 왼쪽에서 차례대로 laser, lens holder, aperture, photodiode가 각각의 위치에 놓여지고, 중심축은 모두 일치하도록 설계하였다. lens holder는 lens를 고정하는 것으로 전체크기는 장치내부크기와 같고 중앙에 렌즈를 고정하는 구멍이 있으며, 구멍의 직경은 렌즈 직경과 같다. 렌즈는 가격이 저렴한 plastic

lens로 직경 8mm, f=5mm이며, LD에서 거리는 5mm에 위치하고 있다. aperture는 광 에너지를 효과적으로 모으며, 크기는 잡음으로 작용할 수 있는 반사광을 제거하기 위해 장치 내부크기와 같으며, 중앙에 4mm

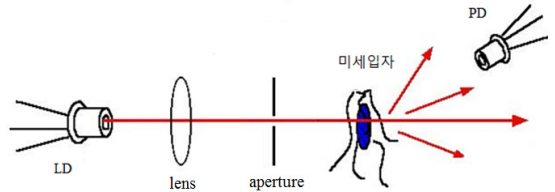


그림 2. LD, 렌즈, aperture, PD의 위치  
Fig. 2 The arrangement of LD, lens, aperture, and PD

의 구멍이 있다. aperture의 직경과 위치는 laser, lens의 특성과 유입되는 미세입자의 위치를 고려하여 광학 simulation을 통하여 해석하였다. aperture 직경이 4mm이고, aperture로부터의 거리가 8mm인

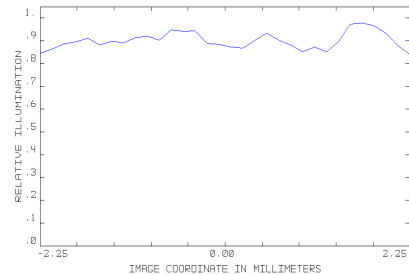


그림 3. aperture로부터 거리 8mm인 곳에서의 laser diode의 수직 방향 profile  
Fig. 3 Vertical profile of laser diode at 8mm from the aperture

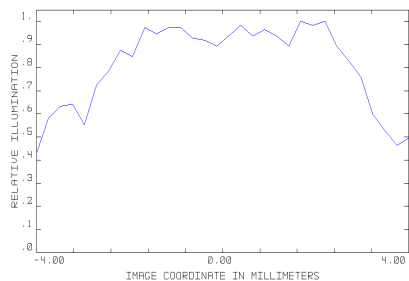


그림 4. aperture로부터 거리 8mm인 곳에서의 laser diode의 수평 방향 profile  
Fig. 4 Horizontal profile of laser diode at 8mm from the aperture

곳에 상부구멍으로 유입된 미세입자가 지나가면서 하부구멍을 통하여 밖으로 배출된다. 따라서 미세입자를 검출하기 위해서는 미세입자가 지나가는 영역에 레이저 광이 있어야 한다. aperture로부터 미세입자위치가 있는 곳에서 레이저 광의 수직방향과 수평방향의 laser 광 profile을 확인하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 3과 4에 나타내었으며, 빔경은 약 4.5mm 였으며 laser diode 특성상 수직방향은 빔전체의 profile은 균일하지만 수평방향은 수직방향보다 빔의 균일도가 가장자리에서 조금 떨어졌다. 이는 laser diode의 수직발광특성과 수평발광특성이 다르기 때문이다. 그리고 본체 바닥에는 구멍이 있는데, 이것은 앞에서 설명하였듯이 감지기 내로 유입된 미세입자가 pump에 의해 감지기 밖으로 배출되는 곳이다. aperture가 없는 경우의 광 특성을 알아보기 위해 입자가 흘러가는 위치

에서의 레이저광 profile을 분석하였다. 그림 5는 미세입자위치에서의 laser diode의 수평 방향 profile을 나타내고 있으며, 빔경은 0.8mm이다. 그림 6은 미세입자위치에서의 laser diode의 수직 방향 profile을 나타내고 있으며, 빔경은 3mm이다. 이 결과로부터 aperture가 없는 것보다 있는 것이 감지기의 성능을 높이는데 좋음을 알 수 있다.

### III. 실험 및 결과

광산란에 의해 미세입자를 효율적으로 검출하기 위해서 photodiode의 위치에 따른 영향을 조사하였는데, 결과는 그림7에 보이듯이 산란각이 20°에서 제일 좋은 특성을 나타내고 있다. 이는 균일한 입자에서 산란되는 경우의 결과와 일치하였다[10]. 위의 결과를 바탕으로 photodiode위치는 산란위치에서 진행방향 기준으로 20°에 있도록 배치하였다. 이렇게 photodiode를 배치함으로써, 미세입자가 없을 때는 laser 광은 photodiode에 닿지않기 때문에 신호가 나오지 않게 되고 미세입자가 유입될 때에만 미세입자에 의한 산란광을 검출 할 수 있게 된다.

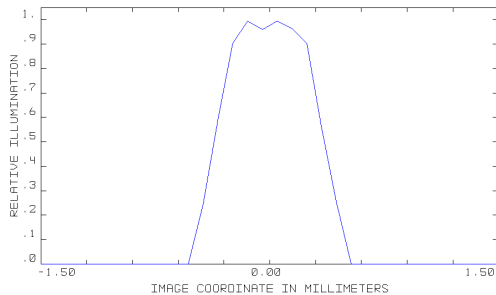


그림 5. aperture가 없는 경우의 laser diode의 수평 방향 profile  
Fig. 5 Horizontal profile of laser diode without aperture

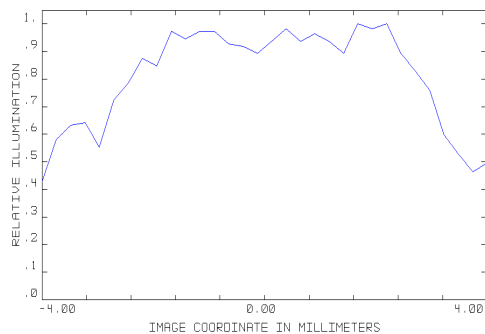


그림 6. aperture가 없는 경우의 laser diode의 수직 방향 profile  
Fig. 6 vertical profile of laser diode without aperture

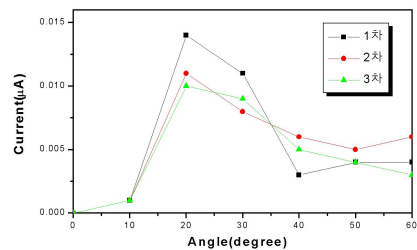


그림 7. 미세입자에 의한 산란특성  
Fig. 7 scattering characteristics by small particle

제작된 감지기의 성능을 조사하기 위해 면을 태운 미세입자를 펌프를 이용하여 감지기내로 유입시켜 산란광을 측정하였다. 면을 태운 미세입자의 평균크기는 약 2.9 $\mu$ m이고, 감지기장치내로 외부의 큰 입자가 흡입이 되지 않도록 하기위해 filter를 사용하여 크기가 작은 입자만 감지기내로 유입 되도록 하여 측정을 하였다. 장치시스템내의 산란위치에서의 laser diode에서 나오

는 laser 광의 profile은 그림 3에서 알 수 있듯이 수직방향의 빔경은 약 4.5mm이고, 광 intensity는 전체 빔경에 대해서 균일하다. 수평방향은 8mm로 빔의 가장자리에서 intensity가 조금 감소하였지만, 미세입자 측정에는 큰 영향은 미치지 않을 것으로 생각된다. 왜냐하면 감지기 내로 펌프에 의해 흡입관을 통해 미

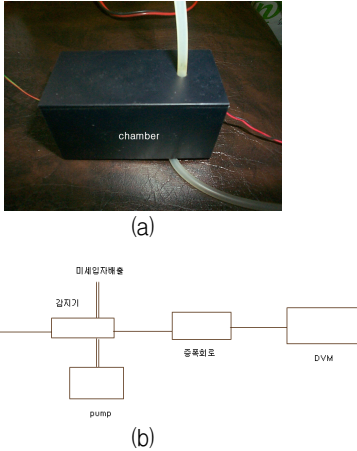


그림 8. (a) 감지기 사진, (b) 측정 시스템개략도  
Fig. 8 (a) Photograph of small particle detection system and (b) schematic of experimental setup

세입자가 유입되고 배출구에도 배출관을 연결하여 모두 바로 배출되는 구조로 되어 있기 때문이다. 그리고 흡입구의 직경이 너무 크면 감지기내부에서의 연기 퍼짐이 크게 되어 산란효율이 작아 질 것으로 생각되어 흡입구의 직경은 5mm로 하여 감지기 내부에서 연기가 너무 많이 퍼지지 않게 하여 광과 산란되는 곳에서의 빔경의 크기로서는 적당하여 산란효율을 높일 수 있도록 하였다.

그림 8(a)는 제작된 감지기의 사진이고, (b)는 측정 시스템의 개략도이다. 그림 8에서 전선은 감지장치내의 LD에 전원을 공급하여 LD를 구동시킨다. 사용된 LD는 파장이 650nm이며, 미세입자 측정시 LD power가 일정하게 되도록 정전류원을 이용하여 입력전류값을 45mA로 고정하여 실험하였다. 산란광을 검출하는 소자로서는 감도가 좋은 PIN PD를 사용하였다. 먼을 태운 입자는 pump에 의해 감지기내로 유입되고 배출된다. 감지기내에 미세입자가 유입되지 않을 때에는 레이저광에 의한 산란광이 없으므로 출력값이 나오지

않는다. 이 값을 기준 값으로 하여 먼을 태웠을 때 발생 되는 미세입자를 감지기 내로 유입시키고, 미세입자에 의한 산란광을 수광소자에서 검출하여 신호값을 측정하였다. 미세 입자에 의한 산란광이 약하므로 PD에서 검출되는 광신호를 증폭회로를 이용하여 증폭시켜 multimeter로 측정하였다. 측정 결과는 그림 9에 나타내었으며, 미세입자가 유입되지 않을때는 신호가 없다가 미세입자가 유입되면 신호가 크게 됨을 알 수 있다. 제작된 감지시스템의 응답속도는 약 0.5초 정도로 빠름을 알 수 있다. 이 상태에서 연기가 유입되지 않으면 다시 초기 상태로 빠르게 되돌아와 안정화됨을 알 수 있다.

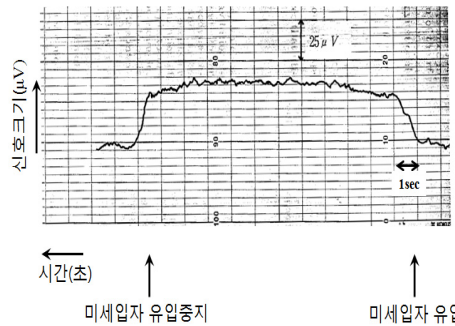


그림 9. 미세입자 유입과 차단시의 출력신호 특성  
Fig. 9 Output characteristics of detection as start and stop of small particle flow

미세입자의 농도 변화에 대해 측정한 결과는 그림 10과 같다. 그림 10에서 알 수 있듯이 미세입자농도가 클수록 산란광의 power도 증가함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작한 미세입자검출장치가 안정하게 작동됨을 확인하였다.

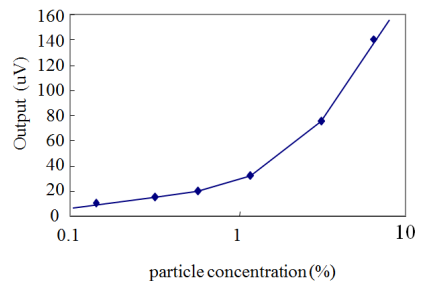


그림 10. 미세입자 농도에 따른 응답 특성  
Fig. 10 Output characteristics vs. small particle concentration

#### IV. 결론

laser diode를 이용하여 미세입자 감지장치를 설계 및 제작하였다. 미세입자에 의한 산란광만 검출되도록 감지기를 설계하였으므로 잡음원으로 작용할 수 있는 것은 모두 배제하였고, laser 광이 직접 수광소자에 입력되지 않도록 하기 위해 수광소자는 광축상에 있지 않고 광축에서 비껴나 있도록 설계하여 미세입자에 의한 산란광이 없을 때는 수광소자에 신호가 발생되지 않지만, 미세입자가 감지기내로 유입되면 photodiode는 산란광 신호를 감지하게 된다. 개발한 미세입자 감지시스템은 응답속도도 빠르며, 현재 많은 관심이 증가되고 있는 환경가스, 화재감지 등에도 사용되어 질 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Jung, W. G., and Kim, S. W., Kim, K. T., Kim, E. S., and Kang, S. W., "High-Sensitivity Temperature Sensor Using a Side-Polished Single-Mode Fiber Covered With the Polymer Planar Waveguide", IEEE Photonics Technology Lett., Vol. 13, No. 11, pp. 1209-1211, 2001.
- [2] Yoon, J. K., Seo, G. W., Cho, K. M., Kim, E. S., Kim, S. H., and Kang, S. W., "Controllable In-Line UV sensor using a side-polished fiber coupler with photofunctional polymer", IEEE Photonics Technology Lett., Vol. 15, No. 6, pp. 837-839, 2003.
- [3] Lanticq, V., Merliot, E., and Delepine-Lesoille, S., "Brillouin Distributed Sensor Embedded into Concrete: Sensor Design and Experimental Validation", Optical fiber sensors, ThD6, 2006.
- [4] 최상복, 반상우, 김기택, "변위센서를 이용한 적응적 PID제어기반 자동차 변속기 샵트 교정 시스템", 센서학회지, Vol. 19, No. 5, pp. 375-384, 2010.
- [5] 전상명, "오일필터 일체형 엔진오일 퇴화감지 센서용 센싱시스템 개발", 센서학회지, Vol. 20, No. 4, pp. 243-248, 2011.
- [6] 최규남, "가시광선 영역에서의 선면 감지 센서", 한국전자통신학회논문지, Vol. 7, No. 2, pp. 303-308, 2012.
- [7] 이봉주, "고분자 습도센서의 내수성 결합 원인 분석에 대한 연구", 한국전자통신학회논문지, Vol. 6, No. 1, pp. 303-308, 2011.
- [8] 김태진, 이영철, 김선호, "도플러 효과를 이용한 마이크로파 센선의 구현", 한국전자통신학회논문지, Vol. 6, No. 1, pp. 303-308, 2011.
- [9] Singh, R. P., Jaiswal, V. K., and Jain V. K., "Study of smoke aerosols under a controlled environment by using dynamic light scattering", Applied Optics, Vol. 45, No. 10, pp. 2217-2221, 2006.
- [10] Ross, O. N., and Bradley, S. G., "Model for optical forward scattering by nonspherical raindrops", Applied Optics, Vol. 41, No. 24, 5130-5141, 2002.
- [11] Fischer, R., Ting, A., DiComo, G., Prosser, J., Penano, J., Hafizi, B., and Sprangle, P., "Absorption and scattering of 1.06 μm laser radiation from oceanic aerosols", APPLIED OPTICS, Vol. 48, No. 36, pp. 6990-6999, 2009.
- [12] Wang, S. F., Chiu, M. H., Chen, W. W., Kao, F. H., and Chang R. S., "Small-displacement sensing system based on multiple total internal reflections in heterodyne interferometry", APPLIED OPTICS, Vol. 48, No. 13, pp. 2566-2573, 2009.
- [10] H. C. van de Hulst, "Light scattering by small particles", Wiley, New York, pp. 1-470, 1981.

#### 저자 소개



#### 김응수(Eung-Soo Kim)

1990년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 게이오대학교 대학원 물질과학과 졸업(공학박사)

2012년 부산외국어대학교 디지털미디어학부 교수

1996년~1997 LG반도체 선임연구원

※ 관심분야 : 광소자, 광센서, 광집적회로