

단일 LED 광원을 이용한 형광/산란 동시 측정 시스템 설계

A design for a fluorescence/scattering simultaneous detection system using a single LED source

*권원식¹, #김수현(soohyun@kaist.ac.kr)¹, 이철¹, 류성윤¹
 *W. S. Kwon¹, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr)¹, H. Lee¹, S. Y. Ryu¹
¹한국과학기술원 기계공학과

Key words : Fluorescence, Mie scattering

1. 서론

최근 산업 발전 및 황사 등의 영향으로 대기 오염에 대한 대중의 관심이 높아지고 있다. 따라서 현재 대기 중 먼지 및 미생물을 검출할 수 있는 다양한 장비의 필요성이 증가하고 있으며, 특히 대기 중 먼지와 미생물을 측정할 수 있는 소형 센서에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다.

광학적으로 먼지를 측정하는 방법은 빛이 먼지에 입사될 때 발생하는 산란 신호의 크기를 측정함으로써 가능하다. 먼지 입자에 대한 신호의 크기는 미산란 이론을 통하여 예측할 수 있으며, 이러한 원리를 이용하여 현재 다양한 소형 먼지 센서가 개발 되어 있는 상황이다. 하지만 대부분 소형 장비는 측정 방식이 불륨 형태로 들어온 먼지 입자에 대한 신호로부터 농도를 유추하는 방식이기 때문에 큰 오차가 발생하며, 측정 민감도도 매우 떨어진다. 단일 입자 측정을 통해 농도를 측정하는 방식인 Optical Particle Counter(OPC) 경우는 센서로 사용하기에는 크기가 크고 가격이 매우 고가라는 문제가 있다. [1-3]

미생물을 측정하기 위한 광학적 방법은 자외선 영역의 빛이 미생물에 입사될 때 발생하는 형광광을 측정하는 것이다. 하지만 미생물을 여기 시키기 위한 자외선 레이저의 경우 가격이 매우 고가이며, 형광광의 크기가 pW수준으로 매우 작기 때문에 높은 검출률을 갖는 저가 소형 센서 개발은 미진한 실정이다.[4-6]

본 논문에서는 먼지와 유해 미생물 검출을 위한 소형 센서 개발을 목적으로 LED를 이용하여 $\phi 0.3 \mu\text{m}$ 이상 단일 입자에 대한 산란 신호와 미생물 수준의 형광 신호를 검출할 수 있는 고민감도 소형 형광/산란 광학계를 설계안을 제안하였다.

2. 형광/산란 검출 광학계 설계

전방 산란 광학계의 경우 광원과 광원을 scattering volume으로 집광시키기 위한 beam shaper, 입사광을 trapping 하기 위한 stopper 및 산란광을 집광시키기 위한 집광 렌즈로 구성된다. 이때, LED의 경우 발산각과 chip size가 매우 크기 때문에 scattering volume으로 집광시킬 수 있는 광 파워가 제한되어 있으며, 큰 발산각은 광학 부품 및 렌즈의 산란, multi reflection 등 잡광 생성 요인으로 작용한다. 따라서 수~수십 nW에 해당하는 산란 신호를 측정하기 위해서 잡광을 최소화 할 수 있도록 잡광을 beam shaper 크기의 면광원이라 가정하여 Fig. 1 과 같이 설계 변수를 정하였다.

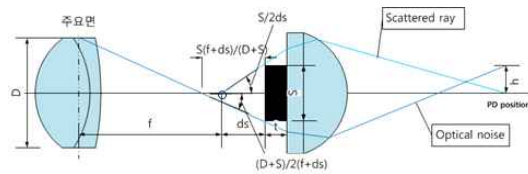


Fig. 1 Design parameter of scattering detection system

위의 설계 변수를 바탕으로 잡광과 산란광의 경로를 추적 하였으며 최종적으로 식 (1)을 만족할 때 산란광이 main beam에 의한 잡광으로부터 완전히 분리됨으로써 잡광에 의한 노이즈를 제거할 수 있다.

$$2h = \frac{1}{P(d_s + t) - 1} \left(S + d_s \frac{D + S}{f + d_s} \right) > PDsize \quad (1)$$

형광 검출 광학계는 잡광을 제거하기 위한 방법으로 광원부와 검출부에 중심파장 365 nm와 470 nm의 bandpass filter를 설치하였으며, 매우 미세한 형광을 효율적으로 검출할 수 있도록 Fig. 2 와 같이 집광 시스템을 설계하였다.

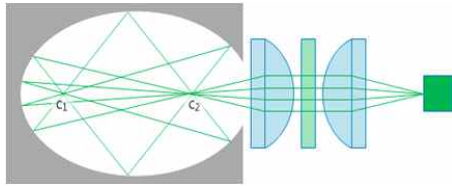


Fig. 2 Fluorescence collection system

최종 산광/형광 동시 측정 시스템의 개념도는 Fig. 3과 같다.

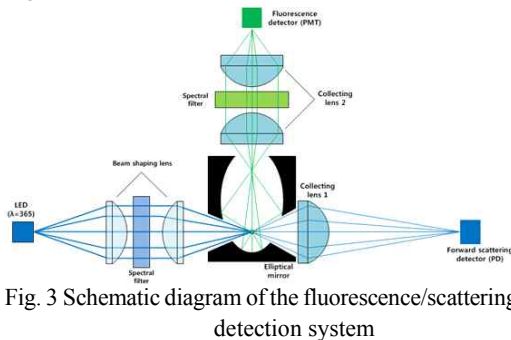


Fig. 3 Schematic diagram of the fluorescence/scattering detection system

3. 실험 결과

앞에서 설명한 설계안을 바탕으로 beam shaper 는 f=30 mm 구면렌즈 2 set을 이용하여 구성하였으며, 산광과 형광을 측정하기 위해 각각 PD와 PMT를 이용하였다. 측정 샘플은 PSL(polystyrene latex)와 FPSL(Fluorescence polystyrene latex) ϕ 0.3 μ m 표준입자를 사용하였다. Particel genertaor를 통해 인위적으로 일정 농도를 설정하여 aerosol inlet nozzle에 흘려주었으며, 적절한 유동조건하에서 검출 성능을 판단하기 위해 정밀한 상용 optical particle counter를 reference system으로 하여 비교하였다. 실험 결과는 Fig. 4와 같다.

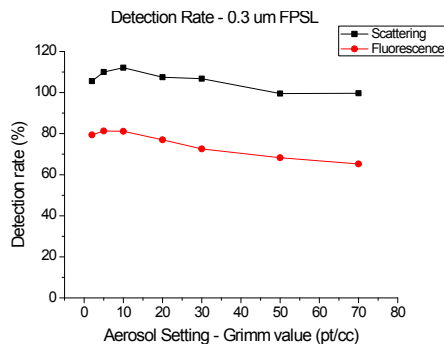


Fig. 4. Detection rate of fluorescence and scattering

4. 결론

본 연구를 통해 SNR 향상을 위한 형광/산광 검출 광학계 설계안을 제안하였으며, 실험적으로 적용하여 단일 입자와 미생물 수준의 형광/산광 신호를 검출 하였다. 이러한 형광/산광 광학계 설계에 대한 연구는 실생활에서 공기 중 유해물질을 모니터링 할 수 있는 센서 개발에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 삼성전자(주) 산업체연구개발사업 및 교육인적자원부 BK21 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. G. Gouesbet, G. Grehan, and B. Maheu, "Generalized Lorenz-Mie theory and applications to optical sizing," in Combustion Measurements, N. Chigier, ed. (Hemisphere, New York, 1991), pp. 339-384.
2. Jianhong Wang and F. Ross Hallett, "Spherical Particle Size Determination by Analytical Inversion of the UV-Visible-NIR Extinction Spectrum," Appl. Opt. 35 (1), 1996, pp.193-197
3. R. J. Greaney, O. "The construction of and Optical Particle Counter with sub- and super micron counting capability" Proc. of SPIE Vol. 6739, 2007, pp. 1401-1412
4. Steven D. Campbell, David P. Tremblay, Freddie Daver and Daniel Cousins, " Multiwavelength Bioaerosol Sensor Performance Modeling", Optically Based Biological and Chemical Sensing, and Optically Based Materials for Defence, Proc. of SPIE Vol. 5990, 2005, pp. 59900K
5. Steven D. Campbell, Thomas H. Jeys and Xuan Le Eapen, " Bioaerosol Optical Sensor Model Deveopment and Initial Validation", Proc. of SPIE Vol. 6538, 2007, pp. 65380P-1
6. Bundke, U., Reimann, B., Nillius, B., Jaenicke, R., and Bingemer. H, "Development of a Bioaerosol single particle detector (BIO IN) for the Fast Ice Nucleus Chamber FINCH", Atmospheric Measurement Techniques, Vol. 3, 2010 pp. 263-271