

실험계획법을 활용한 미세입자 검출용 LED 광센서의 설계변수 선정

Design parameter selection of the sensor using LED for micro particle detection through design of experiment method

*이 협, #김수현, 김경수, 권원식, 류성윤

*H. Lee¹, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr), K. S. Kim, W. S. Kwon, S. Y. Ryu
카이스트 기계공학과

Key words : Micro particle detection, Design of experiments, UV LED

1. 서론

직경 10um 미만의 미세먼지와 미생물은 사람들이 일상생활에서 가장 쉽게 노출되는 대표적 유해물질로써, 이들의 농도를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 장비의 수요가 증가하고 있다. 대기 중의 미세먼지와 미생물 등의 미세입자 농도를 실시간 측정하는 장비는 미세입자에 의한 광산란을 측정하는 입자계수기(Optical particle counter)가 존재한다. 하지만 일반적인 입자계수기의 경우 광원으로 IR 레이저 다이오드 등을 사용하는데 미세먼지와 미생물의 구분이 불가능 하다. Bundke 등[1]은 기존의 입자 계수기에 UV LED 광학계 모듈을 장착하여 미생물이 발하는 형광을 측정함으로써 미세 먼지와 미생물을 구분하였다. 그러나 두 개의 광원을 사용하기 때문에 경제성이 떨어지고 광학계 정렬에 있어 단점이 있다. 2011년 이협 [2]은 이를 극복하기 위해 UV LED 하나로 광산란과 형광을 모두 유발, 광경로의 전방에서 산란을, 측방에서 형광을 동시 검출하는 시스템을 개발 하여 저가 소형화를 달성하였다. 이 시스템을 단일 UV LED 사용 미세입자 검출용 광센서라 칭한다.

본 연구는 단일 UV LED 를 사용한 미세입자 검출용 광센서의 설계변수를 선정하는데 있어 실험 계획법을 적용한다. 설계변수는 산란광 측정에 영향을 미치는 요인들에 한정되었다. 이를 통해 산란광 신호의 SNR 을 높여 안정적인 농도 분석이 가능하도록 하였다.

2. LED 사용 미세입자 검출 센서의 잡광 특징 및 실험 계획법 적용

미세입자 검출 센서에서는 외부로부터 유입된 입자가 지나는 유로에 광을 집속하여 산란을 유발한다. 그 뒤에 차단막을 설치하여 빛을 차단하고 차단막 뒤에 집광렌즈와 포토디텍터를 위치시켜 전방으로 발산하는 산란광을 집광, 검출한다. 이 산란광에 의해 발생하는 디텍터 신호의 펄스를 측정함으로써 미세입자 농도를 계산한다. 하지만 LED 는 레이저 다이오드와 달리 직진성이 떨어지기 때문에 차단막에 의해 직진하는 빛이 완전히 차단되지 않고 디텍터에 일부 잡광(Stray light)이 도달하여 DC 노이즈로 작용한다.

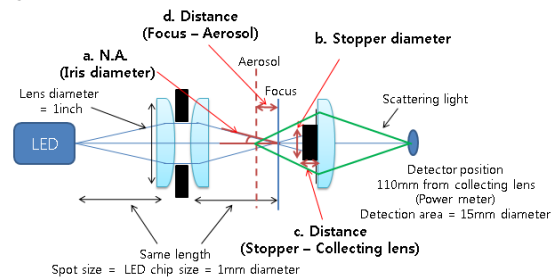


Fig. 1 System schematic of LED particle sensor

(a~d: Design parameters)

잡광은 렌즈 면에서의 다중 반사, 광학 부품에서의 산란, 차단막 끝 단에서의 회절 등 복합적 요인들에 의해 나타나는데, 그 절대적 양을 시뮬레이션 등을 통해 예측하기는 매우 어렵다. 따라서 실험 계획법 중 반응표면법으로 최적 설계변수를 찾는다. 설계변수는

Numerical aperture, 차단막의 지름, 집광 렌즈에서 차단막까지 거리, 미세 입자 유입 위치에서 빔 초점까지의 거리를 요인으로 선정하였다.

Table 1 Design parameters

Design parameters	N.A.	Stopper diameter (mm)	Distance (stopper-collecting lens) (mm)	Distance (focus-aerosol) (mm)
Low	0.23	7	5	0
Middle	0.245	8	7	2.5
High	0.26	9	9	5

3. 실험결과 및 고찰

반응표면법 중 박스-벤켄 방법을 선택하여 표 2의 결과를 얻었다. 표 2에서 Y는 잡광의 파워를 의미한다. 외란에 의해 비정상적인 값을 갖는 13번째 Y 값은 missing value로 설정하여 Minitab 15를 이용해 추정식을 아래와 같이 구했다.

$$Y = -1400.78 + 40880.6A - 842.520B + 153.738C - 221.644D + 80.702B^2 - 16.2306C^2 + 6.74217D^2 - 3500AB - 941.667AC + 27.6889BC + 15BD + 8.1CD$$

Minitab의 Response optimizer를 이용하여 잡광의 파워를 최소화하는 설계변수는 찾아냈으며 그 결과는 그림 2와 같다.

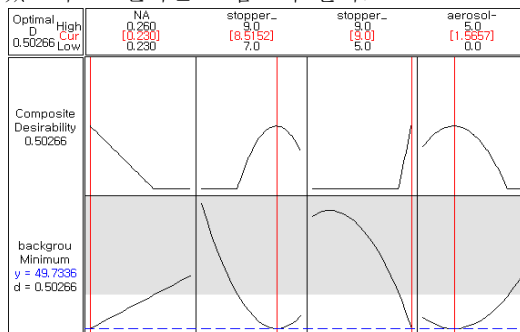


Fig. 2 Result of response optimization (Target=0, Upper=100)

4. 결론

직진성이 낮은 특성을 갖는 LED 사용시 발생하는 잡광의 최소화를 위해 실험계획법을 적용, 잡광의 설계변수에 따른 추정식을 구했다. 향후 산란광 세기까지 고려된 최적 설계변수 결정과 관련된 연구가 필요하다.

Table 2 Box-Behnken experiment plan

No.	A	B	C	D	Y(nW)
1	0.23	7	7	2.5	406
2	0.26	7	7	2.5	737
3	0.23	9	7	2.5	176
4	0.26	9	7	2.5	297
5	0.245	8	5	0	297
6	0.245	8	9	0	508
7	0.245	8	5	5	154
8	0.245	8	9	5	357
9	0.23	8	7	0	165
10	0.26	8	7	0	462
11	0.23	8	7	5	287
12	0.26	8	7	5	450
13	0.245	7	5	2.5	*
14	0.245	9	5	2.5	275
15	0.245	7	9	2.5	292
16	0.245	9	9	2.5	89
17	0.23	8	5	2.5	249
18	0.26	8	5	2.5	473
19	0.23	8	9	2.5	126
20	0.26	8	9	2.5	237
21	0.245	7	7	0	748
22	0.245	9	7	0	257
23	0.245	7	7	5	577
24	0.245	9	7	5	236
25	0.245	8	7	2.5	311
26	0.245	8	7	2.5	323
27	0.245	8	7	2.5	326

후기

이 논문은 2010년도 삼성전자 산업체연구 개발사업의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. Bundke, U., et. al., "Development of a Bioaerosol single particle detector (BIO IN) for the Fast Ice Nucleus CHamber FINCH", Atmospheric Measurement Techniques, Vol. 3, pp. 263-271, 2010.
2. 이협, "형광 산란 동시 검출을 통한 실시간 미생물, 미세먼지 농도 측정 시스템", KAIST 석사학위논문, 2011.2.