

1D2) 대기부유 입자의 광학적 측정의 한계와 새로운 파라메타 도출

Limit and new parameter introduction in optical particle counting system in atmospheric aerosol measurement

김덕현, 차형기, 송규석, 양기호, 민기현²⁾

한국원자력연구소 양자광학기술개발팀, ²⁾충북대학교 물리학과

1. 서론

대기 중에 존재하는 에어로졸 입자의 특성을 이해하기 위해서는 입자의 크기뿐만 아니라 질량 밀도에 대한 정보를 아는 것이 매우 유용하다. 본 연구에서는 광산란과 동시에 입자의 동역학적 속도를 측정함으로써 밀도에 대한 정보도 동시에 알 수 있는 측정방법에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 크기가 $0.5 \mu\text{m} \sim 3.15 \mu\text{m}$ 이고 굴절률이 1.59이며, 질량 밀도가 1.05g/mL 인 구형의 PSL(polystyrene Latex) 표준입자를 사용하여 광산란 및 동역학적 속도를 측정하였다. 입자가 통과하는 노즐의 앞단에 파장 830nm 출력 100mW 인 다이오드 레이저를 조사하여 산란시켰으며, 전방 산란된 빛은 Avalanche PhotoDiode를 사용하여 측정하였고, 신호크기의 구별을 위해 PHA(Pulse Height Analyzer)를 사용하였다.

광산란 신호의 문제점을 해결하기 위하여 입자의 속도를 동시에 측정하였는데, 노즐 근처에서 입자가 레이저빔을 지나가는 시간을 측정하여 속도를 이를 구하였다. 각각의 입자의 호에서 속도를 나누어주어 선형적인 값을 얻을 수 있었고, 공명 현상이 나타나는 부분에서도 좋은 분해능을 갖는 입자 크기의 새로운 변수임을 보였다. 그리고 입자의 속도와 광학적 입자 크기에 대한 정보로부터 질량 밀도에 대한 값을 계산할 수 있었으며 앞으로 입자의 크기와 질량 밀도를 동시에 측정함으로써 대기오염입자에 대한 정보를 보다 구체적으로 제공할 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 이론적 고찰

에어로졸 입자의 산란특성은 Mie 산란이론으로 설명되어지는데, 이 이론은 전자기파와 입자의 상호작용에 대한 것으로서, 산란광의 세기는 레이저 파장, 입자 크기 및 모양, 입자의 광학적 굴절률 등에 의하여 그 크기가 변한다. 즉 입자의 산란 신호를 측정하는 것은 열거한 모든 물리적 파라메타를 동시에 측정하는 꼴이되어 입자의 크기만으로 대표할 수 없다. 또한 공명 산란이 일어나기 때문이며, 더욱 그러하다. 이를 해결하는 방법으로 여러 각도에서 산란 신호를 받거나, 레이저의 파장이나 편광을 바꾸는 방법이 있으나, 이것 만으로는 입자의 고유한 밀도 혹은 질량과 같은 중요 파라메타를 도출할 수 없다. 본 연구에서는 현재 상용으로 개발되어 있는 상용 입자계수기와 상용 동역학적 입자계수기의 기능을 동시에 할 수 있는 장치를 고안하고 그 가능성을 제시하였다. 광학적 입자계수기에서 측정하는 산란 신호는 그림 1에서 보듯이 산란된 총량을 검출하는 것이고, 또한 산란각도가 작을 때 대부분의 산란 신호가 있기 때문에 근사적으로 입자의 소광계수를 측정하는 것이다. 즉 산란 신호는 레이저파장과 입자의 크기를 나눈 값에 따라 변화하며, 특정 주기로 변화하는 특성이 있다. 즉 소광 계수의 값은 에어로졸의 크기에만 의존하지 않고 파장을 에어로졸 입자의 직경을 나눈 값에 의존한다. 동역학적 에어로졸 측정기는 노즐을 통과하는 입자의 속도를 측정하는 것이기 때문에 입자의 크기와 질량밀도에 관계된 물리량에 그 속도가 의존한다. 즉 에어로졸의 속도를 측정하면 그 속도는 이루고 있는 물질의 평균 밀도의 제곱근과 직경을 곱한 양이 정해진다는 것이다.

3. 실험장치의 구성 및 실험 결과

그림 1 은 실험장치를 나타낸 것이다. 실험 장치에서는 노즐을 통과하여 나오는 입자의 산란양과 입자의 속도를 동시에 측정하도록 구성하였다. 입자의 속도는 가우시안 빔을 통과하는 입자의 산란 신호의 폭을 측정하는 것이고, 입자의 산란 신호는 최대치를 측정하는 것이다. 그림 2 는 입자의 산란신호를 측정하는 것이고 그림 3 은 입자의 속도를 측정하는 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 공명 산란 구간이 존재하여 크기 측정에 많은 한계가 있음을 알 수 있다. 그림 2 와 3을 이용하여 새로운 파라메타를 도입한 결과 그림 4 와 같은 입자의 크기에 따른 산란 신호의 특성을 얻을 수 있었다. 만약 광학적 입자의 크기와 입자의 동력학적 크기를 동시에 측정하여 두 개의 측정치로부터 입자의 물리적 성질 중의 하나인 밀도를 근사적으로 알수 있음을 보이며, 입자의 크기를 분리하여 측정할 수 있다는 뜻이 된다.

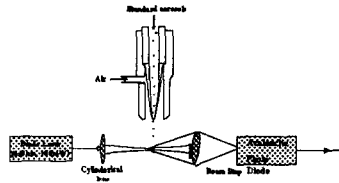


그림 1. 실험장치

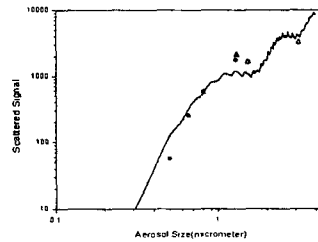


그림 2. 입자의 산란 신호 크기

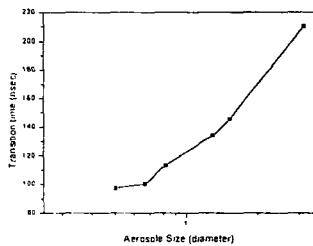


그림 3. 입자의 크기에 따른 속도

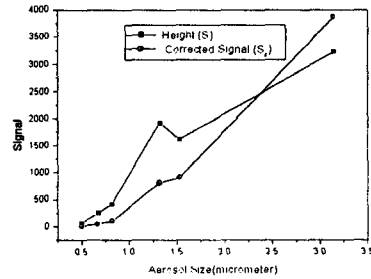


그림 4. 산란신호와 속도를 동시에 측정함으로써 얻은 새로운 파라메타