

바람장 측정용 도플러 라이다 시스템의 개념 설계

Conceptual Designing of Doppler lidar system for wind field measurement

김덕현, 차형기, 양기호

한국원자력연구소, 양자광학팀

dhkim3@kaeri.re.kr

바람 장은 공항이나 기상 그리고 오염물질의 대기확산을 예측하고 모니터링하는데 중요한 장비로 인식되고 있으며, 특히 레이저를 이용한 성층권 이상의 원거리 바람장 측정은 기존의 레이더로 측정이 불가능하기 때문에 유일하게 제시되고 있는 방법이 레이저를 이용한 방법이다. 특히 항공기 사고의 70 % 이상이 이륙 혹은 착륙시 일어나며, 1-2 km 이내에서 일어나는 바람장의 역전현상이나 터보런스가 그 주된 원인이다. 이러한 이유 때문에 홍콩광항과 같이 지형적인 특성으로 바람장이 심하게 변하는 곳에선 라이다 장비가 설치되어 운영되고 있다.

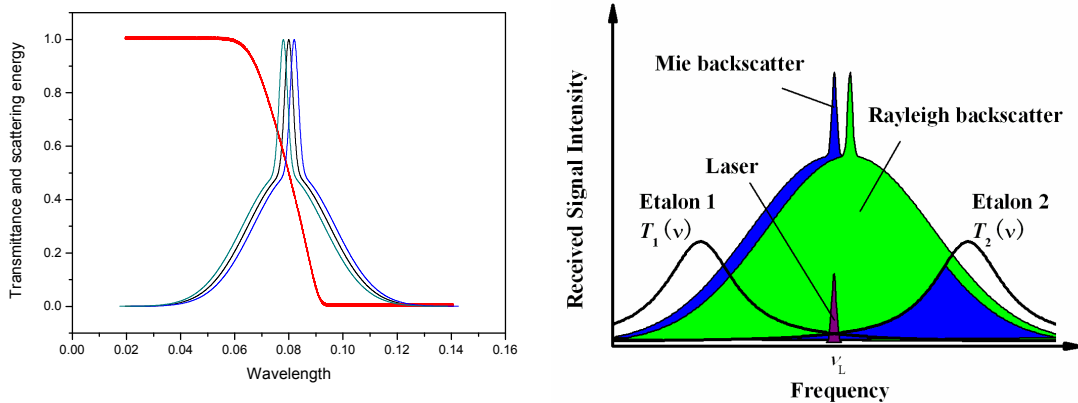
관련 원격측정 기술은 크게 레이저 빛의 가간섭성을 이용하는 coherent 원격측정 기술¹과, 파장 이동을 직접 감지하는 incoherent 라이다 기술²로 나눌 수 있다. Coherent 라이다 기술은 바람장을 측정하기 위하여 라이다 기술의 초창기부터 많이 개발된 기술로 현재 대중화되어 사용 중에 있다. 그러나 전체 시스템의 사양이 레이저의 가간섭 거리 때문에 제한적이고, 측정분해능은 우수하나 측정거리가 수 km 이내로 제한적이며, 두 빛의 간섭 현상을 이용하기 때문에 광학계가 회절 한계 이내로 정밀하여야 하며, 에어로졸에 의한 산란을 측정하기 때문에 먼지가 많은 대기에 제한적으로 사용되며 에어로졸이 없는 높은 고도에서는 적용이 매우 어려운 기술이다. Incoherent 라이다 기술은 필터의 경계Edge 특성을 이용하는 방법으로 Korb²에 의하여 1992년 처음으로 제시된 이후에 여러 국가에서 동시에 개발되기 시작하여, 지금은 프랑스, 독일, 캐나다, 일본 등 이 분야의 선진 국가들이 개발하여 활용 중에 있다. 대부분의 연구자들은 공기분자의 도플러 파장 이동을 두 배의 감도로 얻기 위하여 두 개의 이중경계필터(double edge filter) 에탈론을 사용하고 있으나 에탈론은 고가이고 정밀 제어가 필수적이기 때문에 열악한 환경에서는 부수적인 장치가 많이 필요하다.

바람 장 측정용 라이다 시스템의 수신광학계는 바람 장에 의하여 발생하는 도플러 파장이동을 감지하는 것으로 1 m/sec 정도의 분해능을 얻기 위해서 고 분해능 파장분산기가 필요한데, Febyry-Perot 에탈론을 이용하는 방법², 금속 증기를 이용하는 방법³이었다. 전자의 방법은 온도 제어에 의하여 원하는 파장을 자유롭게 이동할 수 있다는 장점이 있는 반면 고가이고 온도에 따라 투과 특성이 잘 바뀌기 때문에 정밀 제어가 요구된다. 반면에 금속 증기를 이용하는 방법은 투과-흡수 파장 선택이 용이하지 않은 단점이 있으나 제작이 용이하고 흡수계수를 조절하기가 쉽기 때문에 필터로 초기연구단계에서 많이 사용되고 있지만 분해능이 1/2 작다는 단점이 있다.

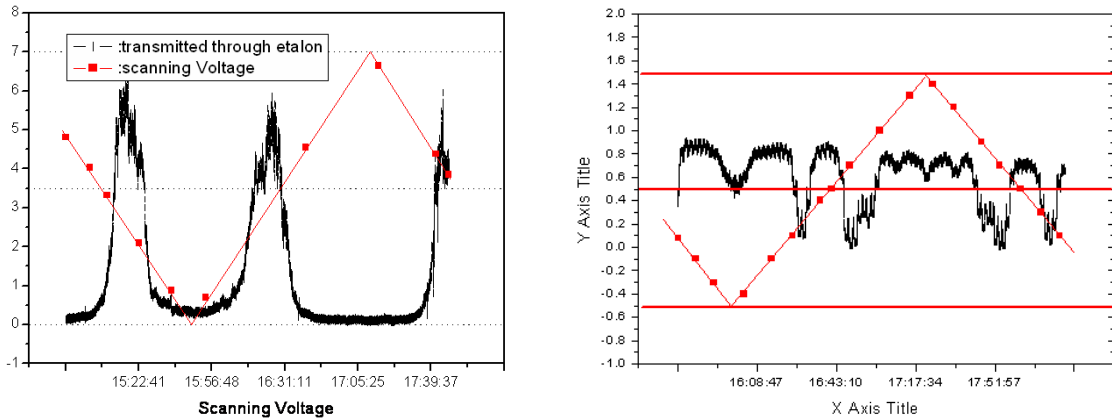
대표적인 레이저 바람장 측정 장치의 원리를 그림 1 에 간단히 나타내었다. (a)는 금속증기 필터를 이용하는 경우를 나타낸 것이고, (b)는 에탈론을 이용하는 경우를 나타낸 것이다. 그림(a)에서 바람장의 변화에 따라 도플러 이동이 일어나고 결국은 필터의 투과도가 변해서 신호의 크기가 변하는 모양을 나타내는 것이고, (b)는 두개의 필터를 이용하여 이러한 투과도 변화를 모니터링하고 두 신호의 비를 구함으로써 바람 장을 얻는 방법을 나타낸 것이다. 두 번째의 방법은 앞에서도 언급하였듯이 감도가 전자에 비해서 두 배가 된다.

고분해능 라이다 수신 광학계를 구성하고 움직이는 파장을 주사하면서 그 투과 특성을 연구하여 차후 개발되는 시스템의 성능을 검증하고자하였다. 이를 위하여 iodine cell을 이용한 필터시스템과 고체 에탈론을 이용한

필터 시스템을 구성하여 그 투과 특성을 연구하였다. 그림 2의 (a)는 에탈론의 투과 특성을 나타낸 것이고, 그림 (b)는 금속 증기 필터의 투과 특성을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 이러한 투과 특성을 바탕으로 다양한 상태에서 필터의 특성을 조사 연구하였고 이를 바탕으로 실제 도플러 라이다 시스템에 구축될 핵심부품인 필터의 사양을 설계하였다.



(a) 금속증기 필터를 이용하는 경우 edge 필터와 바람장에 의하여 산란된 신호의 선폭, (b) 두개의 에탈론을 사용하는 경우와 산란된 Rayleigh 산란과 Mie 산란 그리고 이동된 파장
그림 1. 에탈론과 금속증기 필터를 이용하여 바람장을 측정하는 원리



(a) 에탈론에서 얻어지는 파장에 따른 투과도의 변화 (b) 금속증기 필터에서 얻어지는 파장에 따른 투과도의 변화
그림 2. 파장에 따른 금속 증기 및 에탈론의 파장 변화

참고문헌

[1]. K. P. Chan, D. K. Killinger, and N. Sugimoto, "Heterodyne Doppler 1-um lidar measurement of reduced effective telescope aperture due to atmospheric turbulence", Applied Optics, Vol. 30, 2617(1991)
 [2] C. L. Korb, B. Gentry, A. Weng," The edge technique theory and application to the lidar measurement of atmospheric winds", Applied Optics, Vol 31, 4202(1992)
 [3] P. Piironen, E. W. Eloranta,"Demonstration of a high spectral resolution lidar based on iodine absorption filter", Optics Letters, Vol. 19, 234(1994)