

LIDAR 기술과 응용

차형기

한국원자력연구소 양자광학기술개발팀

hkcha@kaeri.re.kr

오늘날 현대사회의 산업화 과정에서 발생하는 여러 문제 중에서도 가장 시급하고 절실하게 해결하여야 할 문제중의 하나는 극심한 오염 문제이다. 그 중에서도 대기오염은 자동차의 급격한 증가와 겨울철 난방연료의 사용으로 머지않아 우리나라 환경정책의 가장 큰 숙제로 떠오를 전망이다. 즉, 수질오염은 개인차원에서 어느 정도 자구책을 마련할 여지가 있지만 대기오염은 개인의 의지로 개선이 불가하고 불특정다수에게 광범위하게 영향을 미치기 때문에 그 폐해가 더욱 심각하다. 각종 오염원으로부터 배출되는 불소화합물, 질소산화물, 황화물, 오존, 메탄가스, 이산화탄소 등 다양한 종류의 대기오염 물질들은 광화학 스모그, 지구온난화, 자연림감소, 오존홀, 산성비 등의 원인을 제공하며, 인체 및 자연 생태계에 예측하기 어려운 부작용들을 야기시키고 있다.

이와 같은 환경문제를 해결하기 위한 선결 과제는 무엇보다도 먼저 오염정도의 정확하고 정밀한 측정기술의 확립이라 할 수 있다. 오염물질의 측정방법으로 여러 가지 장비와 기술이 사용되고 있으나 대개의 경우 시료의 전처리 과정이 복잡하거나 인력이 많이 필요하여 매우 큰 측정오차를 유발하게 마련이며, 기존의 측정법을 이용할 경우 지상 수십 km 에 달하는 광범위한 영역에 걸쳐 정확한 농도 분포를 측정해 낸다는 것은 거의 불가능하다. 또한 시료의 취득에서 측정에 걸리는 시간이 길어서 오염감시에 한계가 있게 마련이다. 이러한 근본적인 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 실시간 측정이 가능한 레이저 측정법이 각광을 받고 있다. 레이저를 사용하면 원격측정이 가능하며 이러한 농도측정 행위는 지상에서뿐만 아니라 선박, 헬리콥터, 비행기 또는 인공위성 등에서 광범위하게 수행될 수 있다. 특히 자동차에 탑재한 측정장비는 감시대상 지역을 순화하면서 의심이 가는 곳을 집중적으로 관측할 수 있기 때문에 오염감시에 매우 효율적이다.

레이저를 이용한 원격 분석 기술은 최근 들어 선진 여러 나라가 지대한 관심을 보이면서 급속한 발전을 이루고 있다. LIDAR (Light Detection And Ranging) 라 불리우는 이 기술은 1963년에 Ficco 등이 단펄스 루비 레이저광을 사용하여 처음으로 초고층 대기의 혼탁도를 측정하였으며,^[1] Schotland 는 1966년 차분흡수 라이다 (Differential Absorption LIDAR; DIAL) 기술을 최초로 도입하여 수증기의 수직분포를 관찰하였다.^[2] 1960년대 말 라만산란 기술을 처음으로 사용하여 대기 중에 미량으로 존재하는 여러 가지 기체들에 대한 분석에 활용하였으며,^[3,4] 형광기술을 이용하여 80-100km 권역의 Na 원자에 대한 검지도 시행하였다. 70년대에 접어들어 파장가변 색소레이저의 활용이 일반화되면서 Rothe 등은 DIAL 기술을 적극 활용하여 자동차 배기가스 및 공장지대에서 흔히 발생하는 NO₂ 를 최초로 정량적으로 측정하였으며,^[5] 그 후 유사한 기술이 SO₂, O₃ 등에 확장되었다.^[6] 그 후 DIAL 기술은 CO₂ 레이저의 보급과 함께 많은 분자들의 진동-회전 전이선들이 포함되어 있는 중적외선 분광영역에 까지 확장되었다.^[7,8]

LIDAR 기술은 대기오염 측정뿐만 아니라 대기의 기상관측에도 탁월한 성능을 제공하여 왔다. 기류에 의해 움직이는 에어로졸의 coherent 레이저광을 조사할 경우 도플러 효과에 의해 되반사되는 빛은 미세한 주파수 이동값을 가진다. 이러한 원리에 의해 개발된 레이저 도플러 속도계는 대류권의 풍속에

대한 원격 정밀측정이 가능하게 하였으며,^[9] 대기 중에 다량으로 존재하지만 대기압에 의해 그 밀도가 다른 산소 분자의 차분 흡수 현상을 이용하여 대기압의 분포를 측정할 수 있다.^[10] 또한 이와 유사한 방법을 이용하여 대기 온도 분포도 측정하였다.^[11,12] 이밖에도 레이저 원격 형광장치를 비행기에 탑재하여 이용하여 해양에 오염된 기름의 유출을 검지할 수 있었으며,^[13] 우라늄을 비롯한 광맥탐사 등 광범위한 영역에 걸친 자원탐사에도 활용되었다.^[14,15]

대기오염 감시라는 것은 대기오염 상태의 분포 관측뿐만 아니라, 좀더 넓게는 대기구조 및 기상요소의 관측을 기본적으로 수반하게 된다. 그래서, 일반적으로 우리가 이해하고 있는 탄소 에너지의 사용이나 화학 물질에 의한 것 외에도 분진 등의 에어로졸에 의한 것이나 원자력 발전소 주변과 같은 특수 상황에서의 대기 유동 감시를 포괄적으로 다룰 수 있다. 대기오염 상태의 분포 관측에서는 Mie 산란을 측정하는 에어로졸 LIDAR를 이용하여 대기오염의 가장 중요한 지표인 에어로졸의 입체적 분포를 보고 확산을 관측하기 위한 지표물질로 사용할 수 있다. 예를 들면, 굴뚝에서 배출되는 연기의 분포, 도로변 배기가스 분포 등을 볼 수 있는데, 대형의 고정시스템을 이용해서 광역의 에어로졸 분포를, 소형의 이동 시스템으로는 길 주변의 에어로졸 분포를 감시할 수 있다.

참고문헌

- [1] G. Fiocco and L. D. Smullin, *Nature*, 199, 1275 (1963)
- [2] R. M. Schotland, *Proc. 4th Symp. Remote Sensing of Environ., Univ. of Michigan, Ann Arbor, Mich.*, 273 (1966).
- [3] D. Leonard, *Nature*, 216, 142 (1967).
- [4] J. A. Cooney, *Appl. Phys. Lett.*, 12, 40 (1968).
- [5] K. W. Rothe, V. Brinkmann and H. Walther, *Appl. Phys.*, 4, 181 (1974).
- [6] W. B. Grant and R. D. Hake, Jr., *J. Appl. Phys.*, 46, 3019 (1975).
- [7] E. R. Murray, R. D. Hake, Jr., J. E. van der Laan and J. G. Hawley, *Appl. Phys. Lett.*, 28, 542 (1976).
- [8] E. R. Murray, *Opt. Eng.*, 17, 30 (1978).
- [9] A. V. Jelalian and R. M. Huffaker, *Mol. Radiat. Conf., Marshall Space Flight Center, Huntsville, Ala.*, Oct. 19 (1967).
- [10] C. L. Korb and C. Y. Weng, *Appl. Opt.*, 22, 3754 (1983).
- [11] J. B. Mason, *Appl. Opt.*, 14, 76 (1975).
- [12] E. R. Murray, D. D. Powell and J. E. van der Laan, *Appl. Opt.*, 19, 1794 (1979).
- [13] R. M. Measures, *Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications*, Wiley, New York (1984).
- [14] J. P. deNeufville, A. Kasdan and R. J. L. Chimenti, *Appl. Opt.*, 20, 1279 (1981).
- [15] A. Kasdan, R. J. L. Chimenti, and J. P. deNeufville, *Appl. Opt.*, 20, 1297 (1981).