

1D1) 무인항공기를 이용한 에어로졸의 연직 분포 특성 연구

Measurements of Vertical Profiles of Aerosol Physical and Optical Properties Using Autonomous Unmanned Aerial Vehicles

김상우 · 윤순창 · 박상천 · 김만해 · M.V. Ramana¹⁾ · V. Ramanathan¹⁾

서울대학교 지구환경과학부,

¹⁾미국 캘리포니아 주립대학교(샌디에고) 스크립스 해양연구소

1. 서 론

대기 중 에어로졸에 의한 직·간접적인 기후 영향을 정확하게 예측하기 위해서는 고도의 관측 기술과 모델링 기술이 요구된다. 특히, 대기 중의 에어로졸에 의한 햇빛의 산란, 흡수 등 종합적인 효과를 정확하게 측정, 규명하기 위해서는 수많은 첩단 에어로졸 측정 기기들이 필요할 뿐만 아니라, 이들을 활용하여 동 시간에 관측된 에어로졸 및 구름 특성에 대한 자료가 필요하다. 최근에는 유인 항공기를 중심으로 한 항공 관측보다 훨씬 저렴한 비용으로 장기간의 지속적인 관측을 수행 할 수 있으며, 연구자가 원하는 시간과 장소에서 비교적 자유롭게 관측을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 위험한 기상상황에서도 관측 수행이 가능한 소형 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 대기 관측기술의 필요성이나 중요성이 크게 대두되고 있다(Ramanathan et al., 2007).

본 연구의 목적은 대기갈색구름(Atmospheric Brown Clouds) 국제공동관측프로그램의 일환으로 실시된 CAPMEX(Cheju ABC Plume-Asian Monsoon Experiment; 2008년 8월~9월) 캠페인 기간 동안 무인 항공기를 통해 측정된 에어로졸의 물리적, 광학적 특성의 연직 분포 특성 및 고도 별 대기복사 플럭스 자료를 분석함으로써, 이를 통해 2008 북경 올림픽게임 기간 및 이후 기간동안 중국 정부에 의한 인위적으로 대기오염물질 배출 저감정책에 의해 풍하측인 우리나라에서 관측되는 중국발 대기오염물질의 변화가 어떻게 되는지, 그 변화 정도와 기후에 어떠한 변화를 가져오는지를 파악함에 있다.

2. 무인항공관측실험(CAPMEX 2008)

동아시아 최초의 무인항공기를 이용한 대기관측실험인 CAPMEX는 제주도 고산에 위치한 동아시아 대기갈색구름 슈퍼 관측소와 연동하여 2008 북경 올림픽게임 기간과 이후인 2008년 8월 9일부터 9월 30일까지 제주도 일원에서 실시되었다(<http://abc-gosan.snu.ac.kr/CAPMEX>). 이번 실험에 사용된 무인 비행기는 총 3대로 미국 Advanced Ceramic Research(ACR)에서 제작된 기종으로, 날개 길이 3m, 몸체 길이 2.5m, 무게는 탑재된 관측 장비를 포함하여 26~28kg으로 자동항법장치를 탑재하고 있다. 이 중에서 2대의 무인 항공기에는 태양복사 및 에어로솔 측정 장비들을 탑재하여 에어로솔 크기별 수농도와 구름 응결핵이 될 수 있는 입자들의 수 농도, 태양 복사의 연직 프로파일을 측정하였으며, 나머지 1대는 구름 관측 장비들을 탑재하여, 구름 입자의 크기별 수 농도와 수함량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 CAPMEX 기간 무인항공기에 탑재된 에어로솔 총 수농도 측정기(condensation particle counter; CPC)와 광학 입자 계수기(optical particle counter; OPC)를 통해 관측된 에어로솔 수농도의 연직 분포를 그린 것이다. 대기경계층 내부에서, CPC를 통해 측정된 3nm 이상 크기의 에어로졸 입자 총 수농도가 약 2,000(#/cm³)부터 15,000(#/cm³) 범위에서, OPC를 통해 측정된 0.3~3.0 μ m 범위의 에어로솔 수농도는 500~2500(#/cm³)의 다소 광범위한 범위에서 관측되는 등 CAPMEX 캠페인 기간동안 중관 기상패턴의 영향에 따라 지표면 부근에서의 에어로졸 양이 측정 일자에 따라 크게 변화함을 알 수 있었다. 또한, 여름철 대기 경계층 위의 자유 대기(free atmosphere), 약 고도 2~4km 고도 범위에서 에어로졸 층이 빈

번히 존재하고, CPC를 통해 측정된 층 내의 입자 수농도가 수 천 개 이상으로 관측되었다. 그림 2는 2008년 8월 19일 관측된 예로, 무인항공기의 비행 궤적 및 무인항공기 탑재 CPC, OPC 그리고 aethalometer를 통해 측정된 에어로졸 수농도 및 BC의 연직 프로파일, 그리고 고산 지상관측소의 라이다를 통해 측정된 연직 분포를 그린 것이다(그림 2a). 본 비행은 대한항공 정석공항(해발고도 약 350미터)에서 이루어졌으며, 약 1.2km를 경계로 두 층의 에어로졸 층이 관측되었다. 지표면에서 1.2km에 분포하는 에어로졸층의 경우 CPC를 통해 관측된 입자 총 수농도가 약 $7500(\#/cm^3)$ 전후였으며, BC 역시 $600\sim 700ng/m^3$ 이상으로 높은 값이 관측되었다. 1.2~2.4km에 존재하는 상층 에어로졸 층의 경우 CPC를 통해 측정된 총입자 수농도가 약 $6000(\#/cm^3)$ 정도를 보였으며, 상부 에어로졸 층은 고산관측소와 정석 공항간의 해발고도 차이(약 300미터)를 고려할 때 고산의 라이다와 동일한 에어로졸 층을 관측한 것으로 사료된다. 이러한 대기경계층 상부의 에어로졸층은 그림 2b의 NCAR/NCEP 바람장에서 보듯이 강한 서풍 기류에 의해 중국오염지역으로부터 직접 유입된 것이다. CAPMEX 기간동안 전반적으로 지표면 부근에서는 북태평양 고기압의 영향으로 습한 해양성 공기기가 주로 유입되었으나, 대기경계층 상부인 대류권 중, 하층에서는 서풍을 따라 오염물질이 중국에서 빈번히 수송되어 오미 빈번히 관측되었다.

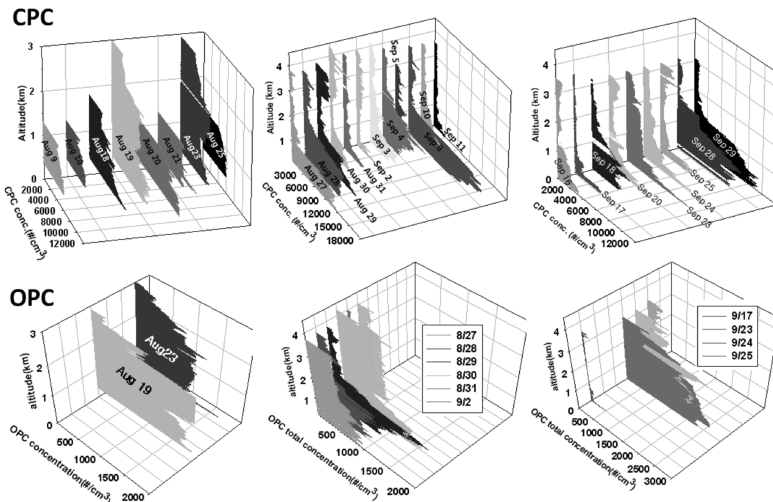


Fig. 1. Vertical Profiles of aerosol total particle numbers measured by CPC and OPC onboard UAV.

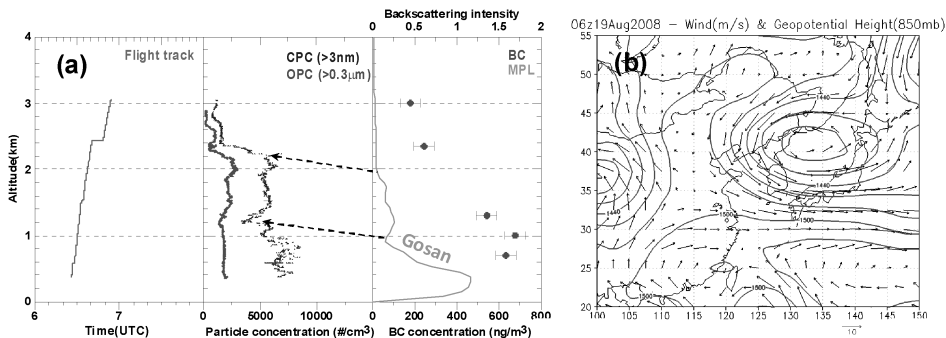


Fig. 2. (a) Vertical profiles of UAV flight track(left panel), total particle numbers from CPC and OPC(middle panel) on board UAV, and black carbon(BC) concentrations from aethalometer on board UAV and ground-based MPL-derived aerosol backscattering intensity(right panel) on August 19, 2008(06:20-06:50 UTC). (b) Geopotential height and wind vector at 850hPa on August 19, 2008(06:00 UTC).

사 사

본 연구는 기상지진기술개발사업(과제번호: 2006-4104)의 지원으로 수행되었으며, 무인항공기 비행에 많은 협조를 해 주신 대한항공(정석비행훈련원), 제주항공관리사무소, 대한민국 공군 관계자분들께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

Ramanathan, V., M.V. Ramana, G. Roberts, D. Kim, C.E. Corrigan, C.E. Chung, and D. Winker (2007)
Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption. *Nature*, 448, 575-578.
doi:10.1038/nature06019.