

3A6) MAX-DOAS를 이용한 화산플룸 중 Halogen monoxides 및 지표 오존 감쇄 측정

MAX-DOAS Measurements of Halogen Monoxides in the Volcanic Plume and Surface Ozone Depletion in the Vicinity of Sakurajima Volcano

이철규 · 이한림 · 정진상 · 박정은 · 김영준

광주과학기술원 환경공학과 환경모니터링 신기술 연구센터

1. 서 론

남극에서 오존홀의 발견 이후로 할로젠 산화물(Halogen oxides)이 대기 중에서 오존의 파괴의 능력으로 인하여 중요한 관심이 대상이 되고 있다. 따라서 Reactive Halogen Oxides (RHS) 물질들이 대기 중으로 배출되는 메커니즘이 실험실, 야외, 모델링 연구의 주요 대상이 되고 있다. 지금까지 밝혀진 할로젠 물질의 발생원은 해염으로부터 배출과 불안정한 Halogenated organic compound의 광분해에 의한 생성이다. 화산 플룸 내에 있는 가스상 물질들은 대류권과 성층권의 기체상 오염물질 수지에 영향을 주는 오염물질의 주요한 발생원 중 하나로서 모델링 및 관측을 통하여 RHS의 주요 발생원으로 연구되고 있다. 본 연구는 지상형 Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy (MAX-DOAS) 시스템을 이용하여 일본 큐슈(Kyushu)에 있는 사쿠라지마(Sakurajima) 섬에서 2004년 5월 19일부터 6월 7일까지 화산 플룸 내에 있는 BrO, ClO 및 SO₂를 측정결과를 제시한다. 화산 플룸내에서의 공간적 분포를 유추하고 그에 따른 화산에서의 BrO, ClO 및 SO₂ 배출량을 산정하였다.

2. 연구 방법

본 연구가 행해진 사쿠라지마 섬은 일본의 큐슈의 남쪽에 위치하고 있는 가고시마 시에서 동쪽으로 10 km 지점에 위치하고 있다. 이 화산섬은 북쪽과 남쪽 두 개의 화산 분화구로 이루어졌다. 현재는 남쪽의 분화구만이 활동 중이다. 현재의 폭발적인 활동은 1955년에 시작되었고 매년 수백 번의 작은 폭발이 일어나고 있다. 본 연구를 위해 사용된 MAX-DOAS 방법은 대기 중 미량기체 측정에 이용되는 DOAS의 방법 중 하나로서 광원으로써 태양산란광을 이용하는 수동형(Passive) 측정방법이다. MAX-DOAS 시스템은 스펙트로그래프와 망원경을 포함하고 있는 몸체와 스테핑모터, 몸체를 지지하기 위한 삼발이로 구성되어 있다. 내장된 소형의 스펙트로그래프(OceanOptics USB2000, cross Czerny-Turner type, 1/f=2.2, 2400gr/mm grating, 2048 pixel CCD detector, 0.7nm 분해능(FWHM), 파장범위 289-431nm). 검출기로부터 기록된 신호는 12-bit ADC를 통하여 컴퓨터에 저장되었다. MAX-DOAS 몸체는 스테핑 모터와 연결되었고 스테핑모터는 망원경이 0°와 90° 사이의 여러 고도각을 향하도록 하는데 이용되었다. 스펙트로그래프의 Dark current와 Offset 시그널을 DOAS 해석 과정에 고려하기 위하여 태양산란광 신호와 더불어 기기의 Offset 신호와 Dark current도 매일 측정 전후에 기록 되었다. MAX-DOAS 스펙트럼은 해석은 기본적으로 DOAS 데이터분석 알고리즘에 따라 행해졌으며, 스펙트럼 분석결과는 SCD로 나타내었다. 태양산란광은 태양 Fraunhofer lines에 의하여 구조화 되어있다. 따라서 Fraunhofer line들에 의한 영향을 제거하기 위하여 매일 현지시간으로 정오에 Zenith 방향(기기 고도각 90°)에서 측정된 태양산란광 스펙트럼을 FRS으로 사용되었다. Fraunhofer Reference Spectrum (FRS)이 분석 과정에서 기준 스펙트럼으로 사용되었다. Ring effect에 의한 영향을 고려해주기 위하여 앞에 언급한 FRS로부터 계산된 Ring 스펙트럼이 계산되었다. Ring 스펙트럼은 기준 Reference cross-section, 파장에 따라 느리게 변하는 부분 (예, 산란)을 제거하기 위한 2차의 식과 함께 파 함께 SCD 산출을 위한 비선형최소자승법의 피팅(fitting)과정에 포함되었다.

3. 결과 및 고찰

일련의 고도각에 따른 화산 플룸의 스캔은 화산의 플룸의 진행방향과 수직 방향으로 행해졌으며 그 결과는 플룸의 Cross-section으로 나타내어졌다 (그림 1a). 일련의 스캔에서 최고값은 플룸의 중앙에 포함되며, 검출된 BrO, ClO, SO₂의 SCD의 최고값은 1.4×10^{15} , 5.9×10^{16} , 1.4×10^{18} molecules/cm² 이었다. BrO, ClO, SO₂ 가스별 플룸내의 분포와 풍속을 고려하여 플룸내의 농도와 배출량은 표 1과 같다. 화산분 화구에서 5.7km 떨어진 곳에 가스모니터를 설치하여 SO₂와 O₃의 농도를 측정하였으며 SO₂ 농도가 높을 때 O₃의 농도가 급격히 감소함을 볼 수 있다 (그림 1b). 이는 대부분의 SO₂는 화산에서 발생된 것으로 SO₂ 농도가 높을 때는 BrO, ClO의 농도가 높음을 유추할 수 있다. 따라서 SO₂ 농도가 높을 때 급격한 O₃ 농도의 감소는 Halogen-catalyzed ozone destruction 으로 설명될 수 있다. 측정기간 동안 O₃ 파괴량은 31ppbv에 이르렀다.

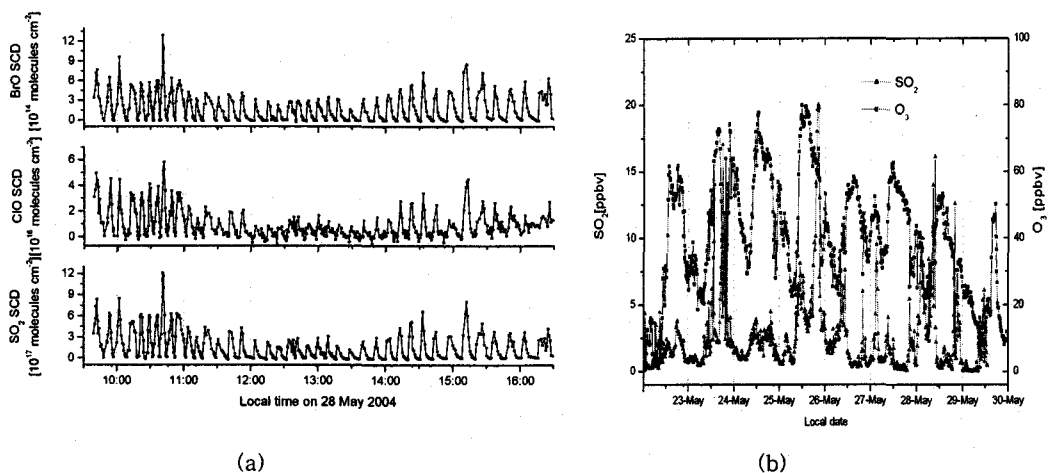


Fig. 1. (a) Slant column densities of BrO, ClO and SO₂, measured by a series of scans through the volcanic plume, and (b) temporal variations of SO₂ and O₃ concentrations measured by *in situ* analyzers.

Table 1. Concentrations and source strengths of BrO, ClO and SO₂ measured in the plume of Sakurajima volcano.

Species	Concentration (ppbv)	Strength (kg/s)
BrO	0.7	0.7×10^{-2}
ClO	25.3	0.2
SO ₂	580.4	4.3

사 사

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원과 두뇌한국 21을 통한 교육부 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

Bobrowski, N. et al. (2003), Detection of bromine monoxide in a volcanic plume, *Nature*, 423, 273-276.

Lee, C. et al. (2005), High ClO and ozone depletion in the plume of Sakurajima volcano, Geophysical Research Letter (accepted)

Hoeningner, G. et al. (2004), Multi axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS), Atmospheric Chemistry and Physics, 4, 231-254