

## 4A1) 황사 기간 중 동아시아 지역 황산염, 질산염 전구체에 대한 반응계수 연구

### Reaction Probabilities of Sulfate and Nitrate Precursors onto East Asian Dust Particles

송철한 · 김충만 · 이보경<sup>1)</sup> · 이유진  
 광주과학기술원 환경공학과, <sup>1)</sup>연세대학교 화학과

#### 1. 서론

동아시아의 봄철에는 황사가 자주 발생하여 대기 중으로 많은 양의 alkalinity(염기성)를 공급한다. 이러한 염기성 황사 입자들은  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ 와 같은 산성 기체를 흡수·흡착하며 장거리 이동을 하고, 장거리 이동 중 염기성 황사 입자들이 중화되며 화학적인 변화를 경험하게 된다 (Song and Carmichael, 2001). 많은 삼차원 황사 모델링 연구들이 이러한 동아시아 지역 황사 입자들의 화학적 변화를 다루어 왔다 (e.g., Song and Carmichael, 2001). 하지만 이러한 연구들은 황사 입자들의 internal mixing만을 가정하였기 때문에 중요한 결점을 가지고 있다. 최근 동아시아 황사 입자들은 도심 지역에서 발생한 오염 입자들과 “internal mixing”이 아니라 “external mixing” 상태로 존재한다는 사실이 발표되었다 (Song et al., 2005). 본 연구에서는 Song et al. (2005)의 연구 결과들을 보다 심화·확장하고자 한다. 또한, 본 연구는 삼차원 황사 모델링 연구에 있어서 현재 사용되고 있는 황산염과 질산염 전구체의 반응계수( $\gamma$ )가 얼마나 정확한지에 대한 중요한 논점을 제공하고자 한다. 여러 연구 결과에 따르면, 대기 중 다양한 입자들에 대해  $\text{N}_2\text{O}_5$  반응계수는 상대습도의 함수임을 밝혀지고 있다(e.g., Kane et al., 2001; Hallquist et al., 2003; Thornton et al., 2003). 특히, 황사와 같은 소수성 (hydrophobic) 입자들 상으로의 기체 물질의 반응 계수 ( $\gamma$ )는 얼마나 많은 소수성 입자들이 물로 둘러 쌓여 있는지에 따라 달라진다. 본 실험은, 동아시아 3 지역 (황해, 서울, 큐슈 남단)에서, PILS-IC (Particle -into-Liquid Sampler coupled to a dual channel ion-chromatograph)로 측정된 미세 황사 입자 조성 자료를 사용 및 분석하였다. 황사 입자들은 3 지역에서 황사 발원지로부터 다른 체류 시간을 가지고 있어, 다른 체류 시간에 따른 화학적 변화 정도 또한 본 연구에서 논의될 것이다.

#### 2. 연구 방법

본 연구에서는, 2 set의 PILS-IC에 의해 측정된 2001, 2005년 미세 입자 조성 자료가 사용되었다.

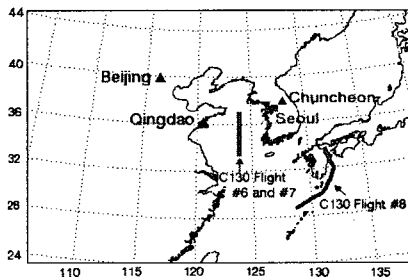


Fig. 1. Locations of areas investigated in this study.

첫 번째 황사는 ACE-Asia 기간 중 조지아공대 (Georgia Institute Technology) 그룹에 의해 측정되었는데, 이 기간 중, C130 Flight #6와 Flight #8의 자료가 연구에 사용되었다. 두 번째 황사 자료는 서울 지역 집중 측정기간 중 2005년 4월 11일, 15일, 20일 황사에 대한 연세대학교 측정 자료가 이용되었다.

PILS-IC 장비는 semi-real time으로 미세입자의 화학적 조성물을 측정하는 장치로서, 흡입된 공기는 기체 성분들에 의한 artifact를 제거하기 위해 denuder를 통과하게 된다. 그 후 sample된 입자들은 과포화(super saturated)된 수증기에 의해 성장하고, 성장한 입자들은 판성력에 의해 쉽게 용해·포집된다. 용해된 입자들의 조성은 PILS-IC를 통해서 연속적으로 분석된다. 이 장치의 농도 측정의 한계치는 양이온( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ )의 경우 40~60  $\text{ng}/\text{m}^3$ , 음이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ )의 경우 약 10~20  $\text{ng}/\text{m}^3$ 이며, 장치의 sampling 주기는 3분 24초이다. 본 연구에서

의 농도 측정의 한계치는 양이온( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ )의 경우 40~60  $\text{ng}/\text{m}^3$ , 음이온( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ )의 경우 약 10~20  $\text{ng}/\text{m}^3$ 이며,

PILS-IC는 입자동역학적 직경이 1.3 $\mu\text{m}$  보다 작은 미세입자의 조성을 측정하였다 (Maxwell-Meier et al., 2004).

### 3. 결과 및 고찰

그본 연구에서는 동아시아 황사 입자들에 대한 화학적 변화도와 황산염, 질산염 전구체의 반응계수 크기를 조사하기 위해, ACE-ASIA 기간 중 C130 Flight #6와 Flight #8의 자료와 서울의 3 episode에 대한 자료가 분석되었다.

본 연구 황사기간 중, 많은 양의  $\text{CO}_3^{2-}$ 가 미세 입자 상에서 상당량이 존재함이 밝혀졌다.

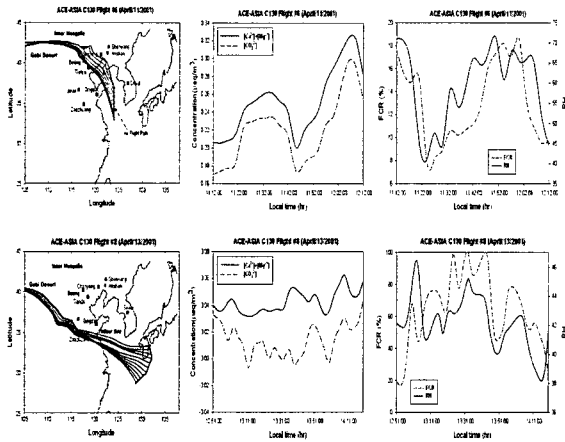


Fig. 2. Backward trajectories,  $\text{CO}_3^{2-}$  concentrations and FCR of ACE-ASIA C130 Flights #6 and #8.

첫째, 화학적 변화에 있어서 황사 입자들은 도심지역 오염 입자들과 높은 external mixing을 보이고 있다. 셋째로, 먼지 입자상의 황산염, 질산염 전구체의 반응계수는 상대습도와 밀접한 관련을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 점을 강조 하고자 한다. 첫째, 미세 황사 입자에서의 황산, 질산염 전구체들의 반응계수( $\gamma$ )는 기 발표된 논문에서 보고된 값들보다 일반적으로 더 작은 경향을 보이고 있다. 둘째, 화학적 변화에 있어서 황사 입자들은 도심지역 오염 입자들과 높은 external mixing을 보이고 있다. 셋째로, 먼지 입자상의 황산염, 질산염 전구체의 반응계수는 상대습도와 밀접한 관련을 가지고 있다.

따라서, 황사 입자로의 황산염·질산염 전구체들의 반응계수 크기와 반응계수와 황사 입자상의 수분의 양 사이의 관계에 대해 보다 많은 연구가 추후 이루어져야 할 것으로 보인다.

### 사 사

본 연구는 한국과학재단 (과제번호:NN02412)과 광주과학기술원 환경모니터링 신기술연구센터의 지원으로 수행된 내용입니다.

### 참 고 문 헌

Maxwell-Meier, K., Weber, R. J., Song, C. H., Orsini, D., Ma, Y., Carmichael, G. R., Streets, D., and Blomquist, B. (2004) Inorganic composition of particles in mixed mineral dust-pollution plumes observed from ACE-ASIA, *J. Geophys. Res.* 109, D19507.

Song, C. H., and Carmichael, G. R. (2001) A three-dimensional modeling investigation of the evolution processes of dust and sea-salt particles in East Asia, *J. Geophys. Res.*, 106, 18131-18154.

Song, C. H., Maxwell-Meier, K., Weber, R. J., Kapustin, V., and Clarke, A. (2005) Dust composition and mixing state inferred from airborne composition measurements during ACE-Asia C130 Flight#6, *Atmos. Env.*, 39, 359-369.