

배경지역에서의 국지오염원의 영향: 2000년 3월 고산 측정결과

The Effect of Local Air Pollutants in a Background Area: Measurements at Gosan in March 2000

김 나 경 · 김 용 표*

이화여자대학교 환경학과

(2006년 1월 25일 접수, 2006년 8월 14일 채택)

N.K. Kim and Y.P. Kim*

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

(Received 25 January 2006, accepted 14 August 2006)

Abstract

To identify the effect of local air pollutants on the $PM_{2.5}$ level at Gosan, $PM_{2.5}$ composition data, continuous O_3 , NO_x , SO_2 , CO data, VOCs data, surface wind characteristics, and backward trajectory analysis results were analyzed for the measurements in March 2000 during which high concentrations of mass and anthropogenic ionic species were reported. It was found that the combination of surface wind and continuous gaseous species data can help to identify local effect in Jeju Island. Even in a high $PM_{2.5}$ level case mainly affected by long range transport from China, it was identified that local effects were also significant for both the duration and pollutants' levels.

Key words : $PM_{2.5}$, Gaseous air pollutants, Wind direction, Backward trajectory

1. 서 론

제주도는 우리나라의 대표적인 청정지역으로 오염물질의 자체 배출량이 적고, 한반도, 중국대륙, 일본의 경계지역에 위치하고 있어 대기오염물질의 장거리 이동을 연구하기 적합한 지역으로 알려져 있다. 따라서, 지금까지 PEM-WEST A, PEM-WEST B, ACE-Asia, ABC 등의 국제 공동 연구뿐만 아니라 우리나라 여러 연구기관에서 관심을 가지고 대기 중

물질을 활발하게 측정하고 있다(Huebert *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2000a, b, 1999, 1998a, b; Chen *et al.*, 1997; Talbot *et al.*, 1997; Arimoto *et al.*, 1996).

제주도는 1차 오염물질의 배출량이 적고, 특히 고산 측정소에서 인접한 지역에서의 고정 및 이동오염원에 의한 1차 오염물질 배출은 낮은 것으로 나타났다(박경윤 등, 1994). Kim *et al.* (1998a)의 연구에서도, 대기 중 SO_2 의 평균농도는 0.97 ppb로 매우 낮았으며, NO_x 의 평균농도도 3.5 ppb로 낮게 나타났다. 측정결과와 공기피의 역궤적 분석을 결부시킬 경우, 인위적 오염물질의 농도가 높은 경우는 주로 중국에

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3277-2832, E-mail : yong@ewha.ac.kr

서 공기괴가 이동해온 것으로 보인다. 따라서 고산에서의 대기오염물질 측정결과는 일반적으로 제주도 외부에서 유입된 공기괴에 의한 영향으로 해석되었다(Kim *et al.*, 1998a).

그러나, 고산에서 2000년 측정된 입경분포 등(국립환경연구원, 2000), 최근 연구결과에 의하면 제주도 내부 오염원에 의한 국지적 영향이 있을 가능성도 있다. 고산지역의 지리적 위치를 고려해 볼 때, 북동풍, 또는 남동풍이 불어올 경우 제주시, 서귀포시, 제주 국제공항 등 제주도의 주요 오염원에서의 1차 오염물질 배출에 의한 영향을 받을 가능성도 배제할 수는 없다. 제주도 내의 국지오염원에서의 1차 오염물질 배출이 고산 측정소에서 측정된 미세입자 농도에 미치는 영향을 파악한다면, 미세입자의 장거리 이동 정도도 더 자세히 이해할 수 있을 것이다.

이 연구에 앞서 김용표 등(1996)은 고산에서의 O_3 , NO_x , NO , SO_2 의 농도를 함께 분석하여 국지 오염원의 영향에 대해서 연구한 바 있다. 따라서, 이 연구에서는 미세입자의 농도가 특히 높았던 2000년 3월 집중측정 기간에 측정된 입자상 오염물질 및 SO_2 , NO_x , O_3 , CO 등의 기체상 오염물질 농도 자료와 VOCs 농도 자료, 그리고 공기괴의 역계적 및 지표풍향, 지표풍속 등의 기상자료와의 종합적 분석을 바탕으로 고산지역, 그리고 제주도의 국지오염원이 고산에서 측정된 대기오염 물질 농도, 특히 미세입자 농도에 미치는 영향을 밝혀보고자 하였다.

2. 연구 및 방법

2.1 연구자료

연구자료는 제주도 고산에서 2000년 3월 10일부터 2000년 3월 16일까지 측정된 (1) $PM_{2.5}$ 의 무기이온 성분, EC, OC 일평균 농도자료(국립환경연구원, 2000), (2) 48시간 평균 입경 분포 자료(국립환경연구원, 2000), (3) VOCs 일평균 농도 자료(국립환경연구원, 2000), (4) 환경부 자동 측정망에서 측정된 제주도 고산의 O_3 , NO_x ($NO+NO_2$), SO_2 , CO , PM_{10} 의 1시간 평균 농도자료와 (5) 기상청에서 제공한 제주도 고산의 1시간 평균 풍향, 풍속 자료를 사용하였다.

$PM_{2.5}$ 는 $2.5\mu m$ 이하의 입자를 채취할 수 있는 테플론으로 코팅 된 알루미늄 사이클론식 분립장치

(URG-2000-30EH), 테플론 재질의 필터백(Sarvillex-6T-473-4N), 채취 유량을 분당 16.7 L로 조절하도록 설계된 임계 오리피스(Critical orifice, BGI-SO-10), 그리고 1/2마력 진공펌프(Dayton model 42339)로 구성된 저유량 측정기를 이용하여 측정되었다. 이온성분 분석은 spectrophotometer를 사용하여 indophenol 방법으로 NH_4^+ 를 분석하였고, 원자흡광광도계(atomic absorption spectroscopy)를 사용하여 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 를 분석하였으며, 이온크로마토그래피로 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 를 분석하였다. 탄소성분은 MnO_2 를 이용한 선택적 열산화법(Selective Thermal Oxidation Method)으로 미국 AtmAA사에서 분석하였다. 휘발성 유기화합물 시료의 분석은 KIST 특성분석센터에서 실시하였으며 GC/FID와 GC/MS를 이용하여 약 80여종의 휘발성 유기화합물을 확인 및 정량화 하였다.

$PM_{2.5}$ 와 EC, OC, VOCs 시료의 채취는 측정기간 동안 매일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 24시간 채취하는 것을 원칙으로 하였고, 하루에 여러번으로 나누어 채취한 경우에는 분석결과를 24시간 평균으로 환산하여 모두 일평균 농도를 기준하였다. 자세한 측정 및 분석방법은 국립환경연구원(2000)에 제시되어 있다. 그리고 역계적 분석의 경우, NOAA에서 제공하는 HYSPLIT4 Model을 사용하여 4일간의 공기괴의 역계적을 분석하였다.

2.2 연구방법

먼저, $PM_{2.5}$ 입자의 무기이온 성분, EC, OC와 질량 농도, VOCs 성분별 농도 및 대기환경 기준물질의 일평균 농도 변화를 살펴보았다. 또한 O_3 , NO_x ($NO+NO_2$), SO_2 , CO 기체의 1시간 평균 농도자료와 지상풍, 지상풍속, 공기괴의 역계적을 함께 분석하여 고산지역의 미세입자 농도에 미치는 국지적 오염원의 영향을 알아보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 2000년 3월의 농도 특성 및 장거리 이동의 영향

그림 1에 1994년부터 2001년까지 고산에서 실시된 집중측정 결과 중 $PM_{2.5}$ 입자의 평균 질량 농도를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 집중측정 기간마다 평

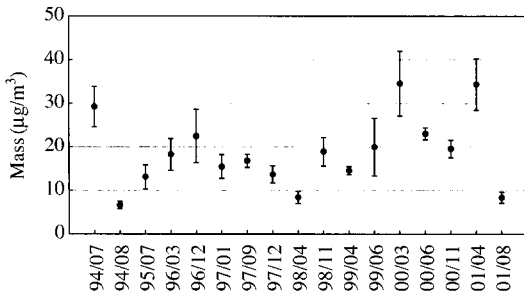


Fig. 1. Variation of the average PM_{2.5} mass concentration of each intensive measurement period.

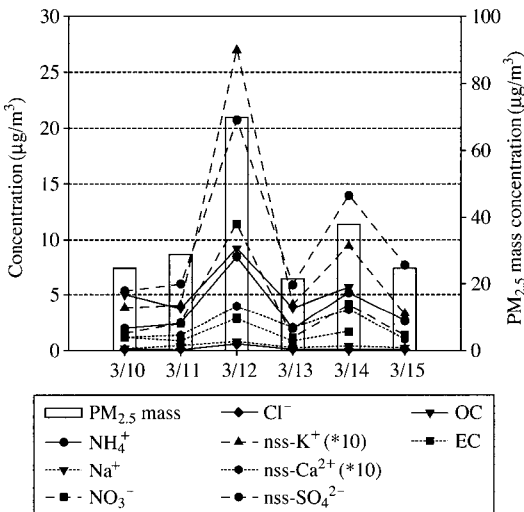


Fig. 2. Variation of the daily mean concentrations of PM_{2.5} mass and ion components in PM_{2.5}.

균 질량농도의 차이가 조금씩 있기는 하지만 대체적으로 10~20 µg/m³ 정도였다. 하지만, 이 연구의 대상이 되고 있는 2000년 3월의 경우, 다른 집중 측정 기간에 비해 PM_{2.5} 입자의 평균 질량 농도가 34.53 µg/m³으로 특히 높은 것을 알 수 있다. 이 기간에 함께 집중 측정이 실시된 강화, 태안, 거제 등의 배경농도 지역에서도 PM_{2.5}의 평균 질량농도가 다른 기간에 비해 매우 높게 나타났다(국립환경연구원, 2000).

그림 2에 연구 대상 기간인 2000년 3월 10일부터 3월 15일까지의 PM_{2.5} 입자의 질량 농도 및 무기이온 성분, 그리고 EC, OC의 일평균 농도 변화를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 전체적으로 이온 성분 및

EC, OC의 농도가 높은 편이며, 특히 12일과 14일에 PM_{2.5}의 질량 농도 및 NH₄⁺, NO₃⁻, nss-SO₄²⁻, nss-K⁺, EC, OC 등 인위적 오염성분의 농도가 매우 높은 것을 알 수 있다. 이 기간에 함께 집중 측정이 실시된 강화, 태안, 거제 지역 역시 12일에 측정기간 중 최고 입자 농도를 나타냈다(국립환경연구원, 2000).

그림 3에 2000년 3월에 측정된 입경분포를 나타내었는데, SO₄²⁻는 물론 전체 입자 및 NO₃⁻도 미세 입자 영역에 더 많이 분포하여, 인위적 오염원에 의한 대기오염물질의 비중이 높은 것으로 보였다. 입자의 농도가 특히 높게 나타났던 3월 12일이 포함된 11~13일의 입경분포를 살펴보면, 확실히 미세입자의 농도가 높았음을 알 수 있다. 따라서 이 결과는 인위적인 영향이 매우 강했음을 보여주고 있다.

이때의 공기의 역계적 분석을 실시해 본 결과, 입자의 농도가 특히 높게 나타났던 3월 12일과 14일의 경우, 공기괴의 이동속도가 매우 느리며, 고산지역으로 이동해 오는 동안 중국 산둥반도 부근에서 심한 정체기가 있었던 것으로 나타났다(그림 7(b)). 따라서, 12일과 14일의 높은 입자 농도는 다량의 인위적 오염성분을 함유한 미세입자의 장거리 이동에 의한 유입이 원인으로 보였다.

그림 4에 2000년 3월 10일부터 3월 15일까지의 NO_x (NO+NO₂), SO₂, CO, O₃ 기체와 PM₁₀의 일평균 농도 변화를 나타내었다. 그림을 살펴보면, 기체상 물질 역시 측정기간 내내 대체적으로 농도가 높은 편이며, 특히 12일에 NO_x, SO₂, CO, O₃의 농도가 매우 높게 나타났고, 14일에도 NO_x, SO₂, O₃의 농도가 높게 나타났다. PM₁₀ 역시 12일에 매우 높은 농도를 나타냈으며, 14일에도 높은 농도를 나타냈다. 따라서, 12일과 14일은 O₃와 PM₁₀ 및 각종 인위적 오염성분의 농도가 함께 증가하였으므로, 앞서 언급한 입자의 측정결과와 마찬가지로 장거리 이동에 의한 영향이라고 생각된다. 기체 측정결과에 대한 더 자세한 분석은 3.2.1절에서 하기로 하겠다.

그림 5에 2000년 3월 10일부터 3월 15일까지의 VOCs의 일평균 농도 변화를 나타내었다. VOCs의 경우, 주로 천연가스에서 배출되는 에탄, 그리고 자동차 연소에서 배출되는 아세틸렌, 에틸렌 등의 농도가 높게 나타났다. 10일과 12일에 total VOCs의 농도가 높았는데, 그 중에서도 12일의 경우 아세틸렌의 농도가 특히 높게 나타났다. 아세틸렌은 광화학 반응에

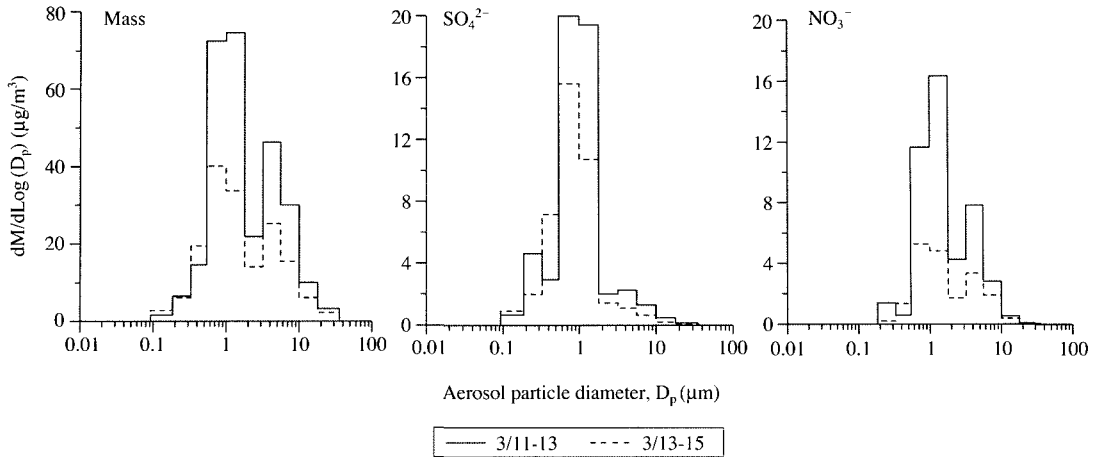


Fig. 3. Histogram of aerodynamic particle size distribution measured at Gosan in March 2000.

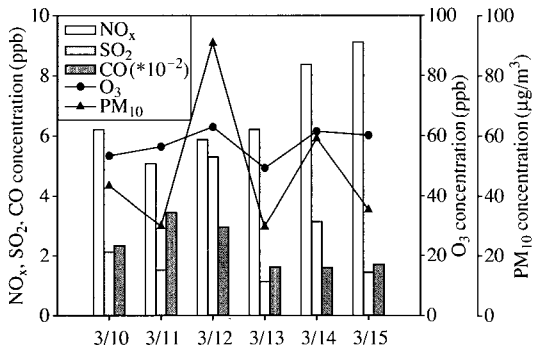


Fig. 4. Variation of the daily mean concentrations of PM₁₀ and gaseous species (NO_x, SO₂, CO, and O₃).

대한 반응성이 낮고 안정하기 때문에 자동차 연소의 지표 및 장거리 이동의 지표가 될 수 있다(Na and Kim, 2001). 따라서, 12일에 VOCs의 농도가 크게 높았던 것은 장거리 이동에 의한 외부에서의 유입 때문이라고 할 수 있겠다. VOCs의 측정결과에 대한 더 자세한 분석은 3.2.3절에서 하기로 하겠다.

3. 2 국지 오염원의 영향

3. 2. 1 O₃과 NO_x의 국지적 적정 반응

김용표 등(1996)은 고산에서의 O₃, NO_x, NO, SO₂의 농도를 함께 분석하여 국지 오염원의 영향에 대해서 연구한 바 있다. 일반적으로 국지 배출원의 영

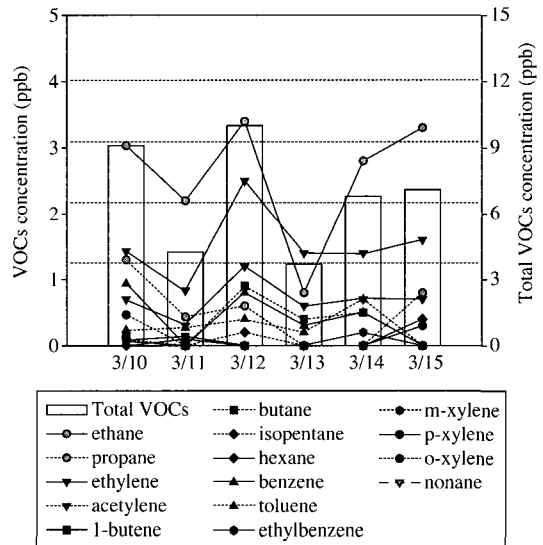
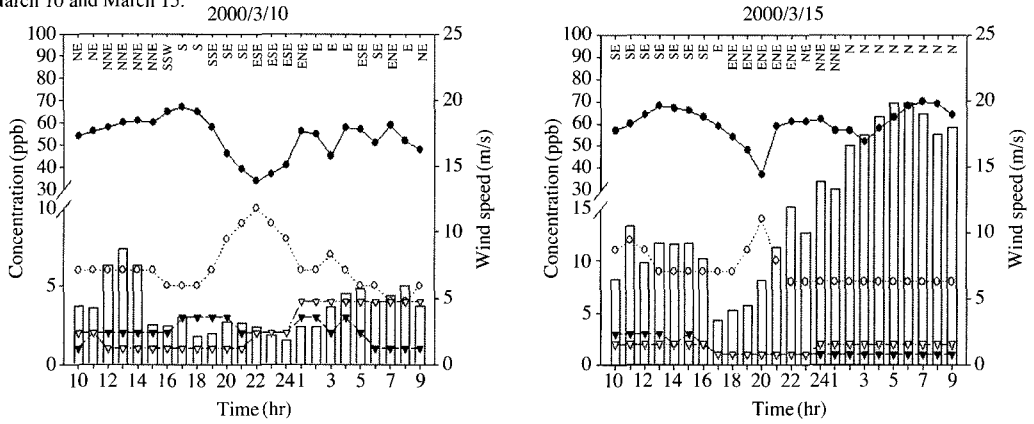


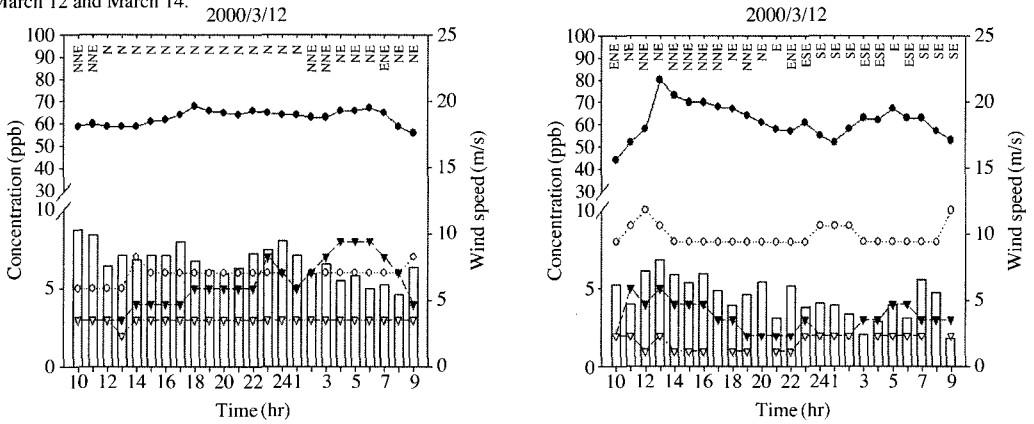
Fig. 5. Variation of the daily mean concentrations of VOCs.

향이 있을 경우에는 NO와 SO₂의 농도가 다같이 높거나, SO₂의 농도는 낮지만 NO의 농도가 높게 나타난다. 그러나 제주도와 같이 배경 오존 농도가 높은 지역에서는 국지적으로 NO가 배출되더라도 O₃와의 반응에 의해 짧은 시간에 NO_x로 바뀌어 NO의 농도가 계속 낮게 나타날 수 있다. 즉, O₃에 의한 NO의 적정반응이 발생할 수 있다(Finlayson-Pitts and Pitts,

(a) March 10 and March 15.



(b) March 12 and March 14.



(c) March 11 and March 13.

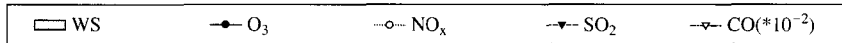
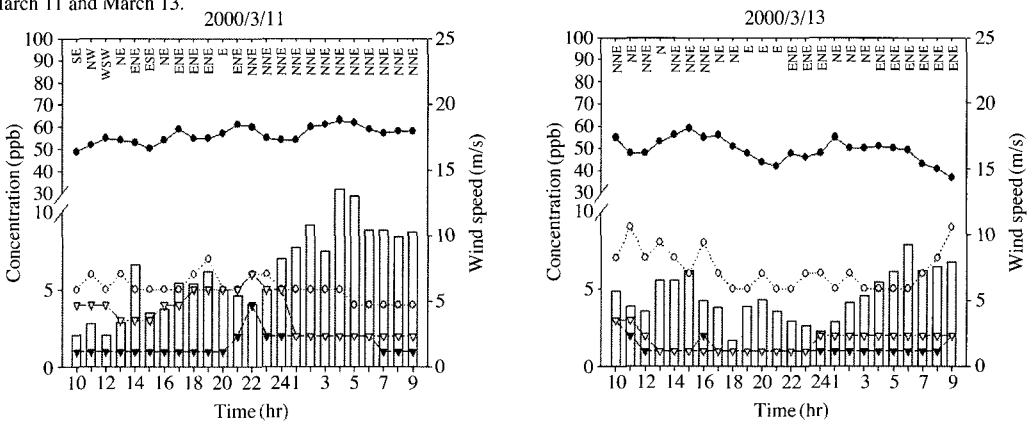


Fig. 6. Hourly variations of concentrations of gaseous species (NO_x , SO_2 , CO , and O_3), wind direction and wind speed at Gosan.

1986). 따라서 제주도에서는 1차 오염물질 배출원의 영향여부를 NO와 SO₂의 농도만으로는 알 수 없고, O₃과 NO_x, SO₂의 농도를 함께 분석하여야만 알 수 있다(김용표 등, 1996).

그림 6에 2000년 3월 10일부터 3월 15일까지의 NO_x (NO+NO₂), SO₂, CO, O₃ 기체의 시간별 농도변화와 시간별 지상풍 및 풍속을 나타내었다. 그림을 살펴보면 크게 (1) 3월 10일과 15일 같이 전체적으로 SO₂와 CO의 농도가 낮은 반면, O₃, NO_x의 농도가 높으며 O₃와 NO_x가 서로 반대되는 경향을 보이는 경우(그림 6(a)), (2) 3월 12일과 14일 같이, SO₂, CO, O₃, NO_x의 농도가 모두 높고, O₃와 NO_x가 비슷한 경향을 보이는 경우(그림 6(b)), (3) 3월 11일과 13일 같이 O₃와 NO_x가 비슷한 경향을 보이지만 SO₂와 CO의 농도가 낮은 경우(그림 6(c))의 세가지로 나누어 볼 수 있다.

첫번째, 3월 10일과 15일 같은 경우는 NO_x의 농도가 증가함에 따라 O₃의 농도가 줄어들고, 다시 NO_x가 줄어들에 따라 O₃의 농도가 늘어나는 경우로, 근거리에서 배출된 NO가 O₃와 반응하여 NO_x로 변화하는 것으로 생각된다. 이러한 경향은 낮이나 밤에 다같이 나타나고 있기 때문에 광화학 반응의 영향은 아닌 것으로 판단된다. 이때의 공기괴의 역계적을 살펴보면, 10일의 경우 공기괴가 중국 북부지역을 거쳐 빠르게 이동해 왔고, 15일의 경우에는 해양을 거쳐 이동해왔다(그림 7(a)). 그런데, 이때의 지상풍을 살펴보면 주로 북동풍 계열 또는 남동풍 계열의 바람이 약 4~12 m/s로 불어왔다. 따라서 이 경우는 장거리 이동에 의한 영향이라기 보다는, 공향이 위치하고 있는 제주도 또는, 서귀포시의 영향을 주로 받은 것으로 생각된다.

두번째, 3월 12일과 14일 같은 경우는 SO₂, CO, O₃, NO_x의 농도가 모두 높고, O₃와 NO_x가 비슷한 경향을 보이는 경우로, 이것은 오염된 공기의 장거리 이동에 의한 영향으로 생각된다. 이때의 공기괴의 역계적을 살펴보면, 12일과 14일 모두 산둥반도 근처에서 매우 정체가 심했음을 알 수 있다(그림 7(b)). 이때의 지상풍을 살펴보면 주로 북풍계열로 제주도나 서귀포시의 영향은 아닌 것을 알 수 있다. 따라서 12일과 14일의 경우, 산둥반도 부근에서 심하게 정체되어 오염된 공기가 고산으로 이동해와서 영향을 미친 것으로 생각된다. 그러나 14일의 경우 24시가

지나면서 지상풍이 남동풍으로 바뀌고 다시 O₃와 NO_x의 농도가 반대의 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 14일의 경우 오전 10시부터 24시까지는 오염된 공기의 장거리 이동에 의한 영향을 받다가, 지상풍이 남동풍 계열로 바뀌면서 국지적 오염원의 영향을 받게 되는 것으로 생각된다.

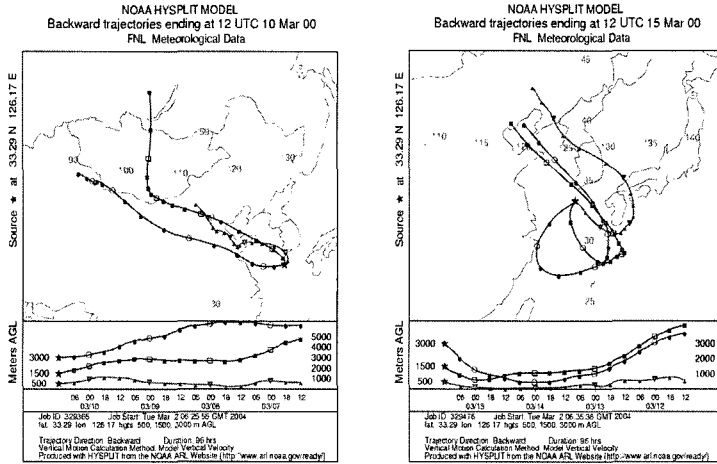
세번째, 3월 11일과 13일의 경우는 O₃와 NO_x 농도가 그리 높지 않으면서 서로 비슷한 경향을 보이고, SO₂와 CO의 농도가 낮은 경우이다. SO₂와 CO의 농도가 낮지만, O₃과 NO_x의 적정반응 역시 일어나지 않고 있으므로, 국지적 오염원에 의한 영향으로 보기는 어렵다. 이때의 지상풍은 주로 북북동풍으로 서귀포시는 물론 제주시의 영향으로 보기도 어렵다. 이때의 공기괴의 역계적을 살펴보면, 11일과 13일 모두 공기괴가 중국 북부 지역을 빠르게 이동해 왔다(그림 7(c)). 따라서, 이것은 상대적으로 깨끗한 공기괴의 장거리 이동에 의한 영향으로 생각된다.

3.2.2 NO_x와 CO, NO_x와 SO₂의 농도 비 및 상관관계
장거리 이동의 영향과 국지오염원의 영향을 좀 더 자세히 구분해보기 위하여 측정기간 중의 NO_x와 CO의 농도 비 (CO/NO_x), NO_x와 SO₂의 농도 비 (SO₂/NO_x) 및 각각의 상관관계를 구하여 그림 8에 나타내었다. 분석에 사용한 자료는 앞절에서 언급한 것과 같이 2000년 3월 10일부터 3월 15일까지의 NO_x (NO+NO₂), SO₂, CO의 시간별 자료로서, 각각의 기체 별로 매일 24개씩의 자료를 사용하였다.

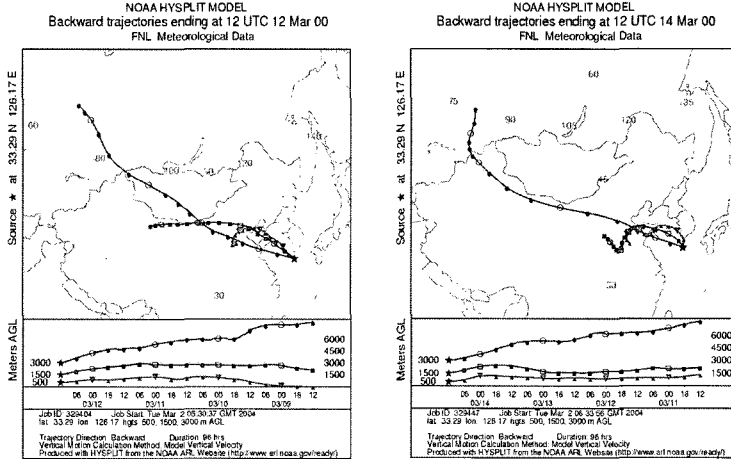
CO는 대기 중의 체류시간이 30~90일로 긴 반면, NO_x는 대기 중 체류시간이 1~4일로 매우 짧기 때문에 (Seinfeld and Pandis, 1998), 높은 CO/NO_x는 장거리 이동에 의한 영향의 지표로 사용되며 자동차 등의 이동 오염원에서의 배출의 지표로도 사용된다 (Parrish *et al.*, 1991). 그리고 높은 SO₂/NO_x는 석탄 연소에 따른 배출의 지표로 사용되며 반대로 낮은 SO₂/NO_x는 자동차 등 이동오염원에 의한 영향의 지표로 사용된다 (Wang *et al.*, 2002; Parrish *et al.*, 1991).

먼저 CO/NO_x를 살펴보았다. CO와 NO_x 모두 자동 측정망 자료를 사용하였는데, NO_x의 경우 측정 기기의 검출한계 및 정밀도가 1 ppb 이내인 반면, CO의 경우 측정기기의 검출한계가 40 ppb, 정밀도가 ±100 ppb로, 100 ppb 단위보다 자세한 자료가 제시되지 않는다(김정화, 2004). 따라서 NO_x와 CO의 회귀분석

(a) March 10 and March 15.



(b) March 12 and March 14.



(c) March 11 and March 13.

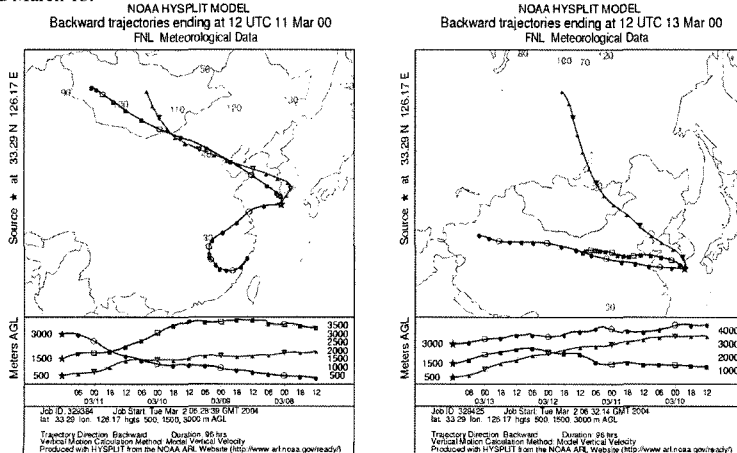


Fig. 7. Backward trajectories of air parcels in March 2000.

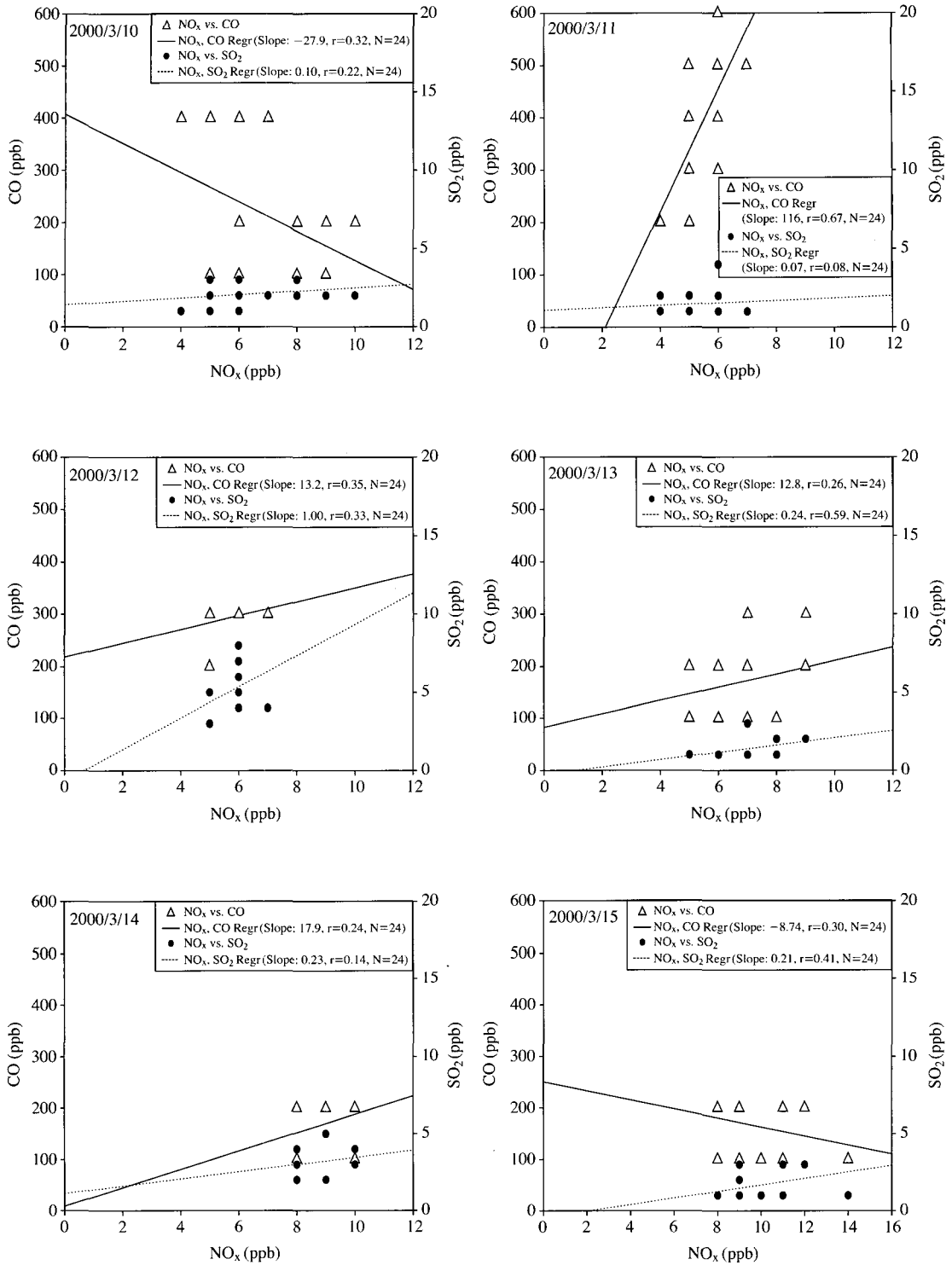


Fig. 8. Correlation between CO and NO_x, SO₂ and NO_x.

Table 1. Concentration ratio of ethane to propane.

	Propane/Ethane
2000/3/10	0.43
2000/3/11	0.20
2000/3/12	0.18
2000/3/13	0.00
2000/3/14	0.00
2000/3/15	0.24

시 상관관계가 다소 떨어지는 한계점이 있었다. 하지만 전체적인 경향을 살펴보면 국지적 오염원의 영향을 받은 것으로 생각된 10일과 15일보다 장거리 이동의 영향을 받은 것으로 생각된 11, 12, 13, 14일의 경우의 농도비가 크게 나타났고, 특히 3월 11일의 경우 이례적으로 CO/NO_x가 116로 다른 날들에 비해 10배 정도의 높은 비율을 나타냈으며, 상관관계도 0.67로 가장 높았다. 11일의 경우 그밖의 다른 대기오염물질의 농도가 크게 높은 것은 아니었지만, 장거리 이동에 의한 영향을 나타내는 지표인 CO/NO_x가 크게 나타났으므로, 11일의 경우는 앞서 3.2.1절에서도 언급한 것과 같이 상대적으로 깨끗한 공기괴의 장거리 이동에 의한 영향을 받은 것으로 볼 수 있겠다.

SO₂/NO_x의 경우는 보통 0.20 안팎의 비율을 나타내고 있지만, 12일의 경우 이례적으로 그 비율이 1.0으로 크게 높았다. 높은 SO₂/NO_x는 석탄 연료의 연소에 의한 영향의 지표이지만, 제주도의 경우 석탄은 사용되고 있지 않으므로, 12일의 경우 앞서 3.1절 및 3.2.1절에서도 살펴본 것과 같이 역시 중국에서부터의 장거리 이동의 영향이 매우 컸던 것으로 생각된다.

3. 2. 3 VOCs

장거리 이동의 영향과 국지오염원의 영향을 좀 더 자세히 구분해보기 위해서 에탄과 프로판의 농도비를 구해보았다. VOCs 중에서 에탄과 프로판의 농도비는 장거리 이동의 영향과 국지적 오염원의 영향을 구분하는 지표로 사용된다. 에탄에 대한 프로판의 비가 클수록 배출된 후 시간이 얼마 경과되지 않은 공기괴임을 나타내며, 따라서 국지적 오염원으로부터의 영향을 나타낸다고 할 수 있다(Talbot *et al.*, 1997).

이 비를 구해본 결과, 앞서 국지적 오염원에 의한 영향으로 생각되었던 10일과 15일의 비가 각각 0.43과 0.24로, 측정기간 중 역시 국지적 오염원에 의한 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타났다. 나머지 측

정일들의 경우는 에탄과 프로판의 비가 0.2 이하로, 국지적 오염원에 의한 영향은 적은 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 O₃와 NO_x 등 기체상 대기오염물질 농도 자료 및 지상풍, 풍속 등 국지적 기상자료를 함께 이용한 분석을 통해서 고산지역에 미치는 국지오염원의 영향을 알아보았다. 그 결과, 12일과 14일의 경우와 같은 고농도 사례는 주로 중국으로부터의 장거리 이동에 의한 영향을 받고 있지만, 이와는 별개로 지상풍에 따라 북동풍 또는 남동풍이 불 경우 제주시나 서귀포시에서의 국지적 배출에 의한 영향도 받는 것으로 나타났다.

특히 10일과 15일의 경우, 지금까지 고산지역의 대기오염물질 농도 특성 분석에 일반적으로 사용되어 왔던 입자상 대기오염물질의 농도자료와 공기괴의 역케적을 함께 분석한 방법만을 단순히 적용했다면, 중국 및 일본의 영향을 받은 것이라고 밖에 설명할 수 없었을 것이다. 그러나 기체상 대기오염물질 농도자료 및 VOCs자료, 그리고 국지적 기상자료를 이용한 분석을 통해 국지적 오염원의 영향을 상당히 받고 있음을 밝혀낼 수 있었다. 역케적 분석 결과 중국으로부터의 장거리 이동의 영향임이 명백하게 생각되었던 14일의 경우도 지상풍이 남동풍으로 바뀌면서 서귀포시 등의 국지적 오염원의 영향을 받았음을 알 수 있었다.

따라서 앞으로의 연구에서는 입자상 대기오염물질 농도자료 및 공기괴의 역케적을 이용한 일반적인 분석 이외에도 기체상 대기오염물질 및 국지적 기상자료 등을 이용한 종합적인 분석을 통해, 장거리 이동의 영향을 살펴봄과 동시에 국지오염원의 영향도 함께 파악하도록 해야 할 것이다. 또한, 고농도 사례뿐 아니라 11일과 13일의 경우와 같이 대기오염물질의 농도가 낮은 경우에도 장거리 이동의 영향을 받고 있음을 알 수 있었으므로, 앞으로 저농도 사례의 분석에도 장거리 이동의 영향을 함께 고려해야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기후환경시스템 연구센터(SRC)의 지원

으로 수행되었습니다. 그리고 측정망 자료를 제공해 준 환경부와 역계적 자료를 제공해준 NOAA에도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 국립환경연구원 (2000) 배경농도지역 장거리이동오염물질 집중 조사, 서울.
- 김용표, 김진영, 박세욱, 김성주, 심상규, 문길주, 박경윤, 허철구 (1996) 고산에서의 1994년 3월~4월 측정연구: (II) 기체상 대기오염물질의 특성, 한국대기보전학회지, 12(1), 91-99.
- 김정화 (2004) 서울과 청정지역의 오존 농도 특성에 대한 연구, 석사학위논문, 이화여자대학교.
- 박경윤, 이호근, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구, 김영준 (1994) 제주도 고산 측정소에서의 대기오염 배경농도 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10(4), 252-259.
- Arimoto, R., R.A. Duce, D.L. Savoie, J.M. Prospero, R. Talbot, J.D. Cullen, U. Tomza, N.F. Lewis, and B. J. Ray (1996) Relationship among aerosol constituents from Asia and the north Pacific during PEM-West A, *J. Geophys. Res.*, 101, 2011-2023.
- Chen, L.-L., G.R. Carmichael, M.-S. Hong, H. Ueda, S. Shim, C.H. Song, Y.P. Kim, R. Arimoto, J. Prospero, D. Savoie, K. Murano, J.K. Park, H.-G. Lee, and C. Kang (1997) Influence of continental outflow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea, *J. Geophys. Res.*, 102, 28551-28574.
- Finlayson-Pitts, B.J. and J.N. Jr. Pitts (1986) Atmospheric chemistry, fundamentals and experimental techniques, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Huebert, B.J., T. Bates, P.B. Russell, G. Shi, Y.J. Kim, K. Kawamura, G. Carmichael, and T. Nakajima (2003) An overview of ACE-Asia: strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts, *J. Geophys. Res.*, 108 (D23), 8633, doi:10.1029/2003JD003550.
- Kim, Y.P., S.-G. Shim, and K.C. Moon (1998a) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea, during March-April 1994, *J. Appl. Meteorol.*, 37, 1117-1126.
- Kim, Y.P., J.H. Lee, N.J. Baik, J.Y. Kim, S.-G. Shim, and C.-H. Kang (1998b) Summertime Characteristics of Aerosol Composition at Cheju Island, Korea, *Atmos. Environ.*, 32, 3905-3915.
- Kim, Y.P., K.-C. Moon, J.H. Lee, and N.J. Baik (1999) Concentrations of carbonaceous species in particles at Seoul and Cheju in Korea, *Atmos. Environ.*, 33, 2751-2758.
- Kim, Y.P., K.-C. Moon, and J.H. Lee (2000a) Organic and elemental carbon in fine particles at Kosan, Korea, *Atmos. Environ.*, 34, 3309-3317.
- Kim, Y.P., K.-C. Moon, S.-G. Shim, J.H. Lee, J.Y. Kim, K. Fung, G.R. Carmichael, C.H. Kang, and C.B. Lee (2000b) Carbonaceous species in fine particles at the background sites in Korea between 1994 and 1999, *Atmos. Environ.*, 34, 5053-5060.
- Lee, J.H., Y.P. Kim, K.-C. Moon, H.-K. Kim, and J.B. Lee (2001) Fine Particles Measurement at Two Background Sites in Korea between 1996 and 1997 *Atmos. Environ.*, 35, 635-643.
- Na, K.S. and Y.P. Kim (2001) Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea, *Atmos. Environ.*, 35, 2603-2614.
- Parrish, D.D., M. Trainer, M.P. Buhr, B.A. Watkins, and F.C. Fehsenfeld (1991) Carbon monoxide concentrations and their relation to concentrations of total reactive oxidized nitrogen at two rural U.S. sites, *J. Geophys. Res.*, 96, 9309-9320.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis (1998) Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Talbot, R.W., J.E. Dibb, B.L. Lefer, J.D. Bradshaw, S.T. Sandholm, D.R. Blake, N.J. Blake, G.W. Sachse, J. E. Collins Jr., B.G. Heikes, J.T. Merrill, G.L. Gregory, B.E. Anderson, H.B. Singh, D.C. Thornton, A.R. Bandy, and R.F. Pueschel (1997) Chemical characteristics of continental outflow from Asia to the troposphere over the western Pacific Ocean during February-March 1994: Results from PEM-West B, *J. Geophys. Res.*, 102, 28255-28274.
- Wang, T., T.F. Cheung, and Y.S. Li (2002) Emission characteristics of CO, NO_x, SO₂ and indications of biomass burning observed at a rural site in eastern China, *J. Geophys. Res.*, 107, 3539-3550.