

중금속 관측망을 중심으로 한 대기 중 Ni 성분의 분포특성 : 1991~2004년 기간을 중심으로

김기현*

Airborne nickel in the major monitoring locations in Korea
between 1991 and 2004

Ki Hyun Kim

국문요약 ■

ABSTRACT ■

I. 서 론 ■

II. 연구방법 ■

III. 결과 및 토론 ■

IV. 결 론 ■

감사의글 ■

참고문헌 ■

국문 요약

본 연구에서는 니켈의 기본적인 제어방안을 도출하기 위한 목적으로 14년 기간 (1991 ~ 2004) 동안 국내 주요 관측점으로부터 확보한 대기환경 중 금속성분들의 자료를 이용하여, 니켈의 기본적인 환경거동을 조사하였다. 주요 도시에서 관측한 니켈의 평균농도는 최소 $7.38+6.70 \text{ ng m}^3$ (원주시) 에서 최대 $41.4\pm 26.2 \text{ ng m}^3$ (안산시)의 범위로 나타났다. 그러나 전반적으로 대부분의 도시에서 니켈의 농도는 $10 \sim 20 \text{ ng m}^3$ 수준으로 나타났다. 전체 농도를 전체 관측기간을 전반기 (1991 ~ 1997년)와 후반기 (1998 ~ 2004년)로 구분하여 비교하였을 때, 두 기간 동안 뚜렷한 농도의 감소가 대부분의 도시에서 확인되었다. 계절적인 기준으로 구분하였을 때, 여름과 가을에 비해 봄, 겨울의 고농도가 현저하게 나타났다. 전체적인 연구결과를 취합해 보면, Ni의 배출원은 대단히 다양한 형태로 존재하는 것을 추정할 수 있다. 그러나 고농도의 니켈이 대도시 또는 산업시설을 중심으로 나타난다는 점을 감안할 때, 이처럼 분진에 잔존하는 니켈류의 유해금속성분들을 효과적으로 저감하기 위한 대책의 개발이 중요하다.

【주제어】 니켈, 대기, 산업단지, 배출농도, 배출원, 유해중금속

Abstract

In this study, we conducted a comprehensive study to analyze the environmental behavior of airborne Ni for the proper establishment of basic control tactics based on the metal concentration data sets collected from the major cities in Korea for the 14 year period (1991 through 2004). The mean concentration of Ni determined from all cities during the entire study period varied from as little as $7.38+6.70 \text{ ng m}^3$ (Won Ju) to the maximum of $41.4+26.2 \text{ ng m}^3$ in a highly industrialized city of An San. However, the mean concentrations of Ni from most cities generally fell in the range of 10 to 20 ng m^3 . When the Ni concentration data in all cities are compared between the former half (1991 to 1997) and the latter half period (1998 to 2004), a reduction in its concentration levels was seen dominantly between the two study period. Comparison of seasonal patterns generally indicated the enhanced concentrations of Ni during spring/winter relative to summer/fall term. The overall results of this study suggest that the source processes of Ni are diverse enough to exhibit moderately diverse patterns between different cities. Considering that relative enhancement in Ni levels is observed from most of industrial and/or large scale cities, a development of adequate control tactics for Ni is highly desirable.

【Keywords】 Nickel (Ni), Atmospheric, Industrial area, emission concentration, emission source, toxic metal

I 서론

니켈은 은백색의 광택을 띠는 금속성분으로서 대기로부터의 부식에 강한 특성을 지닌다. 자연 환경계에 존재하는 여러 가지 중금속들과 마찬가지로 니켈성분도 입자상 오염물질들에 결합된 형태로 대기환경을 매개체로 순환하는 특징을 지니고 있다. 국제암연구협회 등의 보고에 의하면, 니켈화합물은 1종 발암성물질 그리고 금속성니켈은 2B종 발암가능성물질으로 분류하고 있다 (IARC, 2006). 인체나 동식물에 미치는 부정적인 영향 때문에 니켈을 위시한 주요 금속 성분들의 거동을 파악하기 위한 연구는 중요한 의미를 지닌다. 니켈은 환경대기 중에 존재하는 여러 가지 중금속 중에서 비교적 유해성이 높은 성분으로 간주할 수 있다. 그러나 아직도 데이터베이스가 체계적으로 구축되지 않은 실정이다 (Okuda et al., 2007). 따라서 많은 연구자들이 이들의 농도분포 또는 배출원의 특성을 밝히기 위하여 다양한 조사를 수행하였다.

자연환경에서 니켈은 부유분진 또는 화산활동의 결과로 발생한다. 이에 비해, 실제 사람의 생활 중에서 인위적으로 니켈을 발생시키는 배출원은 훨씬 다양한 형태로 존재한다. 화석연료의 연소, 석면광물의 채광 및 제분 (asbestos mining and milling), 2차 제련 (secondary smelting), 폐기물과 하수슬러지의 소각 (refuse and sludge incineration) 등이 있다 (Vallius et al., 2003). 대개 연소과정을 통해 배출되는 분진은 입경이 1 마이크로 이하의 크기를 띄는데, 입경의 크기에 반비례하여 니켈이 축적되는 정도가 크다는 특성을 보인다 (Espinosa et al., 2001). 따라서 이런 여러 가지 특징은 여타 유해 금속성분과 마찬가지로 니켈에 대한 관리의 의미를 더한다.

본 연구에서는 환경부에서 국내 주요지역을 대상으로 지속적으로 관측한 니켈 성분의 관측자료를 활용하여, 한반도 지역을 중심으로 대기환경 중의 니켈에 대한 거동 특성을 조사하고자 하였다. 이를 위하여, 전국의 주요 행정지역 및 주요 관측점들을 대상으로 농도분포 특성을 시공간적 기준으로 비교 분석하였다. 또한 이들 자료로부터 니켈 성분의 분포특성을 포괄적으로 평가하고, 농도분포의 장·주기적인 변화추이를 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 환경부에서 구축한 대기 중금속 DB를 포괄적으로 취합함으로써, 기존에 소규모로 진행한 여러 연구결과들과는 상당한 차별을 시도하고자 한다. 결과적으로 본 연구에서는 광범위한 지역을 대상으로 장기간에 걸쳐 관측한 니켈의 자료를 이용하여, 니켈의 지화학적 환경거동을 체계적으로 설명하고자 하였다. 그리고 추가적으로 본 연구는 이미 본 연

구진이 납, 카드뮴, 크롬, 망간 등의 시공간적 거동을 연구한 선행연구의 연장선상에서 금속 성분의 분포특성에 대한 포괄적인 연구의 한 부분을 구성한다는 의미를 지닌다 (Kim 2006 ; 2007; Nguyen et al., 2008 ; Myeong et al., 투고 중).

II 연구방법

환경부는 전국 주요 지역에 대한 대기오염의 실태를 파악하고 대기질 개선을 유도하기 위한 대책 수립목적으로 대기 중금속에 대한 기초자료를 확보하기 위한 대기중금속 측정망을 대기환경보전법의 시행규칙으로 설정하여 설치운영하고 있다 (Kim, 2006; 2007). <그림 1>에는 조사대상 지점들을 대표하는 각 도시의 위치를 제시하였다. 이들 측정망은 일상적으로 주요 오염물질의 거동을 조사하는 지역배경 농도 측정망과 달리 주로 월단위 규모로 자료를 산출하고 있다. 그리고 모든 관측점에서 공정시험법에 준하여 TSP 시료의 채취와 원자흡광광도법을 이용한 분석을 실시하고 있지만, 실제로 각 지역별 관측주체에 따라 PM10을 대체하여 시료를 채취하는 것과 같이 측정방식이나 자료의 산출방식 등에 조금씩 차이가 존재한다. 도시지역 또는 공단 인근지역을 중심으로 측정망을 설치한 곳은 전국 13개 시의 50여 개 지점에 달한다 <표1>. 전국에 산재한 측정소에서 관측한 니켈 자료들을 측정소의 관할 유역<(지방)환경청>으로 전송한다. 다시 이들 자료를 1차 검색한 후, 환경부내의 주 전산망으로 전송한다. 이 자료들은 기본적인 통계분석 등을 위하여 국립환경연구원의 전산시스템으로 전송하고, 다시 여기서 데이터베이스의 형태로 저장을 한다.

본 연구에서는 총 13개의 국내 주요 도시지점들(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 수원, 안산, 원주, 춘천, 여수, 포항)에 산재한 50여 개의 측정 점들로부터 98년 1월부터 2004년 12월까지 측정된 금속성분들의 분석결과를 취합하였다. 그리고 이들 자료에서 니켈 성분의 분석자료만을 추출 하여, 다양한 통계분석을 시도하였다. 50여 개 관측점으로부터 확보한 월별 분석자료를 이용하여 각 관측점들이 속한 도시의 평균농도 값을 월 단위로 산출하였다. 이때 개별 도시를 대표하는 평균값은 다음과 같이 계산하였다. 한 개 이상 복수의 관측지점을 둔 도시의 경우, 그 도시의 모든 관측지점의 정보를 취합하여 월평균을 산출하는 방식으로 그 지역의 대표값을 결정하였다. 그러나 한 지점에서 확보한 전체 자료가 1년 미만인 경우, 그 지점을 삭제하고 통계분석에 이용하지 않았다. 또한 측정값 중 검출한

계 이하 (0으로 표시한 농도자료)로 제시한 자료가 존재한다. 그런데 측정 주체가 각각 다르고 분석조건이나 방법의 차이가 존재하는 것을 감안할 때, 일괄적으로 검출한계를 대체할 자료를 제시하는 것이 쉽지 않다. 따라서 이들 자료는 모두 통계처리에서 제외시켰다. 그러나 이러한 처리로 인해, 평균농도가 일정 수준 상승할 수 있다는 점을 감안하지 않을 수 없으므로, 통계추정에서 제외한 검출한계 수준의 자료규모도 모두 참고용으로 제시하였다. 실제로 <표1>에 자료의 개수를 검출한계 이상과 이하로 구분하여 제시하였다.

각 개별 도시 중심으로 확보한 니켈의 월별 평균농도 자료들은 도시전체의 평균과 그 도시의 연평균, 계절평균 등을 산출하는데 활용하였다 <그림2A>. 그리고 도시별 비교에 덧붙여 개별 측정소의 농도 자료도 직접 비교분석에 활용하였다. 단 이때는 니켈의 농도크기를 기준으로 상위 5개 지점 (H(=high): H1~H5)과 하위 5개 지점 (L(=low): L1~L5)을 골라, 각각의 측정점을 중심으로 니켈의 농도분포 특성을 비교하였다 <그림2B>. 이들 상위 5개 및 하위 5개 지점은 도시규모 대신 측정소 규모별 경향을 세밀하게 비교하는 정보를 제공할 수 있기 때문에 토지용도 등과 연계하여 니켈 성분의 분포 특성을 좀 더 상세한 분석을 시도하였다.

III 결과 및 토론

1. 지역적 니켈의 분포

<표1>에 제시한 것과 같이 각 도시를 대표하는 모든 관측점들의 자료를 취합하는 방식으로 평균농도를 산출하였다. 본 조사에서 나타난 것과 같이 지역별 대기 중 니켈농도의 개략적인 분포특성은 기간 2의 자료에서 산출한 평균치를 도식화한 <그림2>에서 확인할 수 있다. 그런데 도시별 측정점의 개수를 비교하면, 상이한 양상이 나타난다. 예를 들어, 서울시와 같이 최대 13개의 측정점을 활용한 경우도 존재하지만, 수원 또는 안산같이 단 1개의 측정점으로 도시를 대표하는 경우도 동시에 존재한다. 각 도시별 Ni의 상세한 통계량 정보는 전체 기간 및 기간 1과 2를 구분하여 <표2>에 제시하였다. 편의상 전체 조사기간을 대표하는 도시별 평균값을 비교해 보면, 전체 13개 지역 중 안산 ($41.4+49.5 \text{ ng m}^{-3}$), 인천 ($19.4+7.50 \text{ ng m}^{-3}$), 서울 ($17.7+9.07 \text{ ng m}^{-3}$)과 같이 공업도시 또는 대도시지역들에서 가장

고농도를 취하는 것이 뚜렷하게 나타났다. 안산지역의 농도는 캐나다 온타리오 지역의 제련소와 같이 대규모 인위적 배출원 주변의 공기에서 발견하는 고농도 (예를 들어, 124 ng m^3 (Chan and Lusic, 1986))와는 뚜렷하게 구분이 된다. 그러나 쿠웨이트의 유정화재로 인해 주변대기에서 니켈이 50 ng m^3 수준의 고농도로 검출된 수준에 근접하는 것으로 보인다 (Sadiq and Mian, 1994). 또한 스페인의 제철소 주변에서 관측한 33 ng m^3 보다 높은 농도를 기록하였다 (Querol et al., 2004). 반면, 원주, 광주, 여수의 경우 $7 \sim 9 \text{ ng m}^3$ 범위로 가장 낮은 농도를 기록하였다. (참고로 춘천의 경우, 가장 낮은 평균농도 (5.42 ng m^3)을 기록하였지만, 측정기간이 2년에 국한되므로 도시별 비교에서 제외시켰다.) 그리고 대구, 대전, 울산, 포항, 부산과 같은 지역의 경우, $10 \sim 15 \text{ ng m}^3$ 대의 중간 농도 영역을 기록하였다. 결과적으로, 안산시의 경우 최저농도를 기록한 원주, 광주, 여수지역들에 비해, 대략 5배 정도로 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다.

대부분의 중금속 성분들의 농도를 동시에 비교할 경우, 여타 금속성분들에 비해 Ni 성분의 농도는 비교적 낮은 절대값 영역에 속하는 것으로 잘 알려져 있다 (Kim et al., 2003). 그런 관점에서 본 연구에서 관측한 한반도 도심환경의 농도와 여타 지역의 농도와 비교하는 것도 의미가 있다. 참조로 도쿄와 같은 일본의 대도시 지역을 대상으로 TSP와 PM_{2.5}를 포함한 입자상 오염물질을 조사한 연구결과에서도 Ni의 농도는 본 연구에서 확인한 중간대 농도영역인 10 ng m^3 수준에 거의 일치하는 것으로 나타났다 (Okuda et al., 2007). 그리고 본 연구에서 관측한 가장 낮은 농도대인 10 ng m^3 이하의 평균농도를 기록한 비교적 청정 도심 (원주, 광주 등)에 해당하는 지역의 농도수준은 1990년에서 2005년까지 미국 전체를 대표하는 평균농도 2.6 ng m^3 보다 수 배 높은 수준이다 (McCarthy et al., 2007). 또한 극지와 같은 청정지역에서 발견하는 농도수준 ($0.4 \sim 0.6 \text{ ng m}^3$)보다는 현저하게 높다 (Hoff and Barrie, 1986).

<표2>의 결과를 보면, 본 연구의 조사대상인 대부분의 도시에서 비교적 좁은 범위의 농도대를 유지하는 특성을 확인할 수 있다. 그리고 이와 동시에 니켈성분의 지역적 분포특성을 보면, 여러 가지 복합적인 양상을 취한다. 일단 안산시 지역에서 니켈이 최고농도를 기록한 부분이 산업시설의 발달 유무 등과 같은 요인의 영향을 반영하는 것으로 보인다. 그러나 안산지역을 제외하면, 이런 경향이 모든 공업단지의 영향권에 있는 지역들 (예를 들어, 포항, 인천 등)에서 일관성 있게 나타나지는 않는다. 오히려 서울시와 같이 대도시 지역이 중간권 농도대에 속한다는 점을 보면, 니켈의 배출원이 상당히 다양하게 존재할 수 있다는 것을 추정할 수 있다. <그림3>에는 보다 세부적인 비교가 가능한 기간 II의 자료를 이용하

여, 도시별 및 특정한 조사대상 지점별 Ni 농도의 비교를 시도하였다. <그림2A>에 제시한 기간 II의 도시별 경향성을 보면, 앞서 <표2>의 전체적인 경향과 비교적 큰 차이가 존재한다. 기간 2에 국한할 경우, 니켈의 농도는 안산시 (22.8)와 포항시 (18.1)의 농도가 가장 높고, 원주 (3.69)와 광주 (5.13 ng m³)으로 가장 낮은 농도대를 기록한다.

Ni의 지역적인 농도분포를 좀 더 자세히 알아보기 위하여, Ni 농도가 가장 높은 개별 측정점을 상, 하위 각각 5개씩 추출하여 비교에 활용하였다 <그림2B>. 이러한 비교를 위해, 기본적으로 3년 이상 (N > 36) Ni의 관측자료를 확보한 지점들만 이용하였다. <그림2B>에 제시한 결과를 보면, 상위 5개 지점은 포항, 안산, 부산, 대구, 울산에 위치한 관측점들이 주를 이루었다. 반면, 하위 5개 지점들은 광주 3개 지점, 대구, 대전의 관측점으로 나타났다. 비록 가장 고농도를 기록한 지점들이 주로 산업도시를 대표하는 측정점들로 구성되었지만, 앞서 도시별 농도를 비교하는 측면에서 나타난 경향과 완전하게 일치하지는 않았다. 특히, 최고농도를 기록한 포항 1지점은 평균농도가 27.3 ng m³으로 도시 규모별 비교에서 가장 고농도를 기록한 안산시의 유일 측정점 보다 오히려 더 고농도를 기록하였다는 점은 유의할 필요가 있다. 고농도 지점들의 농도가 비교적 뚜렷하게 변화하는데 반해, 5개의 저농도 지점들은 모두 5 ng m³ 수준으로 비교적 균질하고 유사한 농도분포를 보이는 것을 알 수 있다. 그런데 도시규모별 비교에서 가장 저농도를 보인 지역들 중에서 원주와 여수는 개별 측정점의 비교에서는 전혀 그러한 특성이 반영되지 않았다.

2. 니켈의 시간적 농도분포 비교 : 계절 주기

본 연구에서 선정한 전체 조사 대상 지역을 대상으로 관측한 Ni의 농도자료는 다양한 시간 규모로 분석하는 것이 가능하다. <그림3>에는 일단 개별 측정점의 농도를 보다 자세하게 월 단위로 관측한 Ni의 농도자료가 존재하는 기간 2를 중심으로 Ni의 시간적 변화 추이를 월 단위로 도식하였다. <그림3>에는 기간 2 동안 Ni의 농도를 관측한 13개 도시 중에서 가장 고농도를 기록한 두 개의 도시 안산과 포항 그리고 가장 낮은 농도를 기록한 두 개의 도시 원주, 여수의 월별 자료를 도식하였다. 이러한 비교에 따르면, 가장 고농도인 안산에서는 비교적 규칙적으로 고농도가 유지된 것을 볼 수 있다. 반면, 포항의 경우, 03년 4월에 평균치의 10배를 상회하는 267 ng m³으로 농도가 급상승한 후, 가파르게 농도가 감소한 경향을 확인할 수 있다. 가장 저농도대를 기록한 원주, 여수시의 경우에도 10 ng m³ 이하의 상대적으로 낮은 농도를 지속적으로 유지하면서 변화한 것을 확인할 수 있다.

Ni 농도의 주기성을 확인하기 위하여 가장 보편적인 방법으로 계절적 주기성의 존재 유무 및 경향성을 확인하고자 하였다. 일반적으로 대다수 금속성분의 농도분포는 분진의 농도분포와 유사하게 주로 동고하저의 계절적 분포 형태를 보이는 것으로 잘 알려져 있다 (Ward et al., 2004). 이러한 시간적 분포특성은 납, 카드뮴, 크롬, 망간 등과 같이 비교적 많은 연구가 이루어진 성분들에 대한 조사결과에서도 이미 잘 나타나고 있다 (Kim, 2006, 2007). <그림4>에는 조사대상인 Ni 성분의 계절적 주기성을 확인하기 위하여, 기간 2의 자료를 토대로 13개 조사대상 도시의 Ni 농도를 계절평균으로 비교하였다. <그림4A>에는 계절별 평균농도의 절대값을 그리고 <그림4B>에는 각 지역의 평균농도를 이용한 표준화 농도를 제시하였다. 이 결과를 보면, 거의 대부분의 도시들이 봄 또는 겨울에 최고농도를 기록하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 여름에 가장 낮은 농도를 기록하고, 가을에는 그보다 조금 더 상승한 결과가 나타난다. 결과적으로 Ni의 경우, 입자상 오염물질 또는 이와 결합한 여타 중금속들과 마찬가지로 보편적인 동고하저의 경향을 취하는 것을 확인할 수 있다.

3. 니켈의 시간적 농도분포 : 연차 별 주기의 비교

니켈의 농도를 관측한 모든 도시들에 대한 니켈의 장기적 농도변화 추이를 평가하는 것은 니켈과 같은 유해금속성분의 저감대책을 수립하는데 중요한 의미를 지닌다. 이러한 장기적 추이의 평가를 위해, 기간 1과 2의 자료를 모두 결합한 상태로 전체 연구기간인 14년 동안 각 도시의 연도별 농도분포의 변화를 <그림5>에 도식하였다. 단 지역간 농도차이가 현저하다는 점을 감안하여, 가장 고농도를 기록한 안산의 자료와 여타 지역들의 자료를 분리하여 도식하였다 <그림5B>. 이러한 분석결과를 보면, 가장 고농도를 기록한 안산시 지역의 경우, 최초의 관측이 이루어진 1995년에 가장 높은 연평균 농도인 180 ng m^3 를 기록하였다. 그리고 그 이후 농도가 가파르게 감소하여, 일정한 수준을 유지하는 경향을 확인할 수 있다. 이처럼 급작스런 농도의 변화는 수원시에서도 유사하게 나타났다. 그러나 이들 도시를 제외할 경우, 대부분의 도시에서 Ni의 농도 변화양상은 대단히 유사한 경향을 보인다.

Ni 농도를 관측한 대부분의 도시에서는 비교적 좁은 범위 내에서 농도변화가 나타나는 것을 알 수 있다. <그림5B>에 제시한 대부분의 도시에서 나타난 결과를 비교해 보면, 어느 정도 일관성 있는 경향도 드러난다. 거의 대부분의 도시에서 관측이 이루어진 초기부터 농도가 감소하다가, 1998, 1999, 2000년의 3년 기간 동안에 가장 낮은 농도를 기록하는 경향을 보인다. 그리고 다시 일정 수준 농도가 재 증가하는 양상을 띄는 것으로 나타난다. 이러

한 결과를 감안하면, 1998 ~ 2000년의 농도는 전반적으로 니켈의 농도를 저감할 수 있는 최저 영역에 근접하였음을 알 수 있다. 그리고 그 이후에는 새로운 배출원들의 영향이 점차 증가하였거나 또는 기존의 제어효과가 제대로 작용하지 않았을 가능성을 추정할 수 있다. 이러한 장기적 추이의 분석에서 전체적으로 대부분의 도시들이 상당히 유사하게 변화한 경향이 비교적 뚜렷하게 나타난다.

조사기간 동안 Ni의 농도가 지속적으로 감소한 경향은 <표3>에 제시한 기간 I과 기간 II의 농도를 비교하여도 파악할 수 있다. 비록 양기간의 자료취합 방식에 차이가 존재하지만, 이러한 비교를 통해서도 양 기간 중 Ni 농도의 차이가 실질적으로 존재한다는 것을 확인할 수 있다. 양기간에 관측한 Ni의 농도는 지역에 따라 현저한 경향성의 차이를 보일 수 있다. 실제 전기간을 양분한 자료의 농도차에 대한 통계적 경향성을 비교하면, 그러한 차이를 확인할 수 있다. 대체로 전반 7년에 관측한 농도가 후반 7년보다 고농도를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 기간대별 농도차이는 지역에 따라 상이한 양상을 보인다. 성분별로 장·주기적 경향성에 상당한 차별화를 볼 수 있다. 특히, 모든 지역을 대표하는 평균값은 양 기간대에 뚜렷한 차이를 보이는 것을 알 수 있다 ($P = 0.029$). 양 기간의 농도차이를 유의도 ($P < 0.1$) 기준으로 비교하면, 대구, 여수, 포항을 제외한 거의 모든 도시에서 양 기간대의 농도가 감소한 경향을 확인할 수 있다. 특히 전반기를 대표하는 91 ~ 97년의 기간 I에는 전반적으로 대기질 관리에 대한 노력이 상대적으로 부족한 편이었다. 본 비교분석의 결과를 참조하면, 이러한 오염물질의 장기적 추이가 증가하는 방향으로 변화하였는가의 여부를 비교적 객관적으로 진단할 수 있다. 따라서, 이러한 정보는 지역별 관리대책을 도출하거나 설정하는데 필요한 기본적인 정보를 확보하는데 유용하게 활용할 수 있다.

4. 상관분석

본 연구를 통해 확보한 여러 도시지점들간 니켈성분의 분포특성을 좀 더 포괄적으로 해석하기 위해, 우선적으로 니켈의 월별 대표값을 적정 수준 이상 ($N > 60$ 또는 5년치 이상 자료)으로 확보한 모든 지점들의 자료로 상관분석을 실시하였다. 이러한 기준을 충족하는 24개 측정점의 자료를 이용하여 상관분석을 실시한 결과를 <표4>에 제시하였다. 각 지점들간의 상관성의 강도를 비교할 수 있게, 모든 결과를 상관성의 강도를 임의의 기준에 따라 1, 2, 3, 4 그룹으로 구분 지어 주었다. 이러한 기준에 따르면, 1에서 4그룹은 유의성 기준으로 각각 10%, 5%, 1%, 0.1%에 해당한다. 이 결과를 보면, 공간적인 인접성의 여부

에 따라 Ni 농도의 상관성이 절대적으로 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 동일한 도시공간 영역에 해당하는 27개의 짝에서는 89%에 해당하는 총 24개가 높은 상관성을 띄는 것으로 나타났다. 이처럼 강한 상관성을 보이는 일부의 경우는 <그림6>에 도식화하여 제시하였다. DG3, DG4와 같은 짝 또는 DJ1, DJ3과 같은 짝들의 경우 대단히 강한 상관관계를 형성하는 것을 확인할 수 있다. 반면 동일한 도시에 속하지 않는 249개 짝의 경우, 정반대의 양상이 뚜렷하다. 전체의 3.6%에 해당하는 9개의 짝에서만 비교적 강한 상관성의 관계를 확인할 수 있었다.

<표5>에는 Ni의 공간적 상관성을 보다 심층적으로 분석하기 위하여, 두 가지 관점으로 상관분석을 시도하였다. 우선 모든 조사대상 도시들의 평균농도를 이용하여 상관분석을 실시하고 또 2차적으로 가장 높은 농도와 저농도를 기록한 5개 개별 지점들의 자료를 이용하여 상관분석을 시도하였다. <표5A>의 도시지역의 월평균 농도치를 이용한 상관분석의 결과를 보면, 전반적으로 도시들 간의 상관성이 상당히 약하게 존재한다는 것을 알 수 있다. 개별 지점의 비교에서는 동일한 도심 지역내부의 관측점들에서 높은 상관성이 나타났으나, 도시별 비교에서는 인접 도시간에서도 높은 상관성을 확인하기가 쉽지 않았다. 오히려 울산과 원주, 원주와 여수, 여수와 포항과 같은 도시 짝들이 높은 상관성을 보인다는 점을 감안할 때, 단순히 인접의 여부로 도시규모의 상관성을 평가하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 이런 경향은 고농도와 저농도를 기록한 개별 측정점들을 분석한 결과에서도 유사하게 나타났다. 이와 같이 더 미세한 규모의 상관분석 결과에서도 고농도 지점과 저농도 지점의 짝들 중에서 2차례 그리고 저농도 지점의 짝들 중에서 3차례 정도 그러한 경향성을 확인할 수 있다. 결과적으로 공간적 규모에서 볼 때, 유사한 성격의 지점이 인접한 조건에서 공간적 상관성이 뚜렷하게 나타난다는 것을 알 수 있다.

IV 결 론

본 연구에서는 대기 중 니켈의 환경거동을 이해하기 위해, 1991년부터 2004년까지 최대 14년 기간에 해당하는 기간을 대표하는 Ni 자료를 확보하고 분석하였다. 이러한 유해 중금속의 자료를 대한민국의 주요 지점들을 대표하는 측정망으로부터 오랜 기간 지속적으로 확보하였다는 점을 감안하여, Ni 성분의 농도분포 특성을 여러 가지 시공간적 규모에서 다양

하게 평가하고자 하였다. 이를 위해, 가장 우선적으로 대기 중 Ni 농도의 지역적 평균치를 산출하여 비교하였다. 안산과 같이 대규모 공업시설이 많은 산업지역에서 전체평균농도가 40 ng m^3 를 초과하는 최고 농도대로 나타났다. 이러한 경향은 안산, 인천과 같은 공업도시에서도, 비록 농도 수준이 절반 수준으로 줄어들었음에도 타지역에 비해 여전히 높은 상태를 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나 강한 배출원의 영향으로부터 자유로운 소규모 도시들에서는 모두 예외 없이 10 ng m^3 수준으로 두드러지게 낮은 농도로 나타나는 것을 확인하였다. 각 지역별 평균값을 비교하는 방식에 덧붙여, 개별 관측점의 자료들 중에서 가장 고농도를 띄는 H 영역과 가장 저농도를 취하는 L 영역으로 구분하여, 세부적인 통계분석을 동시에 시도하였다.

시간적 분포양상을 비교한 결과, Ni 농도의 고저에 상관없이 대부분의 지역에서 유사한 계절적 경향을 유지하는 것을 확인할 수 있다. Ni의 계절적인 변화경향은 여타 중금속 성분들과 유사하게, 남과 같이 대체로 봄 (또는 겨울)에 높고 여름 (또는 가을)에 낮은 특성을 보이고 있다. Ni 성분의 공간적인 분포 특성을 비교하면 도심과 공업지역에서 여타 지역과 확연한 차이를 확인하였다. 비록 환경 기준치에 미달하는 농도이기는 하지만, 대도시나 공업지역의 농도가 평균 농도가 가장 높게 나타나는 점에 유의할 필요가 있다. 이를 감안하면, 각종 산업활동이 Ni의 중요한 배출원으로 기능한다고 볼 수 있을 것이다. 실제 다수의 연구결과들은 니켈이 크롬, 바나듐 등과 같이 여러 가지 산업공정의 부산물로 미세입자의 형태로 배출이 이루어진다는 것을 명확하게 증명하고 있다. 결과적으로 이러한 배출원들의 영향을 거의 완전히 가깝게 배제하여야, 비교적 청정한 공기질을 유지하는 대부분의 유럽 지역에서도 같이 한반도 지역의 니켈도 수 ng m^3 의 수준으로 저감하는 효과를 발견할 수 있을 것이다. 니켈과 같은 유해성분들은 주로 극미세입자의 형태로 배출이 이루어진다는 점을 감안하면, PM10을 중심으로 한 분진의 관리체계를 보다 더 미세한 크기의 입자영역으로 관리 중심을 이동하기 위한 움직임이 촉진되어야 할 것이다. 특히, 분진오염의 문제를 해결하는데 중요한 관리방안으로 제시하고 있는 자동차 배출원의 관리, 청정연료의 개발, 그리고 이를 이용하여 무연탄 사용량 감축을 유도하는 것과 같이 과학적인 부분과 행정적인 지원이 동시에 체계적으로 이루어져야 할 것이다. 특히 이러한 과정에서 중금속을 배출하는데 직접적으로 기여도가 높은 여러 가지 산업활동과 같은 배출원의 관리대책을 구체적으로 설정하기 위한 노력도 수반되어야 할 것이다.

표1 니켈농도를 관측한 개별 측정점의 약칭, 운용기간, 기초통계량*

Order	City	Station	Station	Land	Study period		Ni (ng m ³)					
					(Code)	code1)	name	use2)	Start	End	Mean	Median
1	Seoul	SL1*	Gwan Ak Mt.	R	98.1	01.12	7.42	4.20	8.51	0.10	38.40	48/47
2	(SL)	SL2	Gu Ro	I	01.9	04.12	12.50	11.20	10.83	1.30	66.40	39
3		SL3*	Mullae	I	98.1	02.5	23.60	21.80	16.56	2.00	62.00	48
4		SL4	Bang Yi	G	01.9	04.12	10.60	8.40	8.61	1.10	41.00	37
5		SL5	Bang Hak	R	01.5	04.12	11.51	9.60	8.21	0.90	28.90	43
6		SL6*	Bul Gwang	R	98.1	01.4	6.99	4.00	8.94	0.10	40.10	40/33
7		SL7	Sung Soo	C	02.6	04.12	12.69	12.70	8.03	2.00	31.10	31
8		SL8*	City Hall	C	98.1	01.4	6.91	4.10	9.38	0.20	52.50	40/34
9		SL9	Yang Jae	R	02.6	04.12	9.59	7.25	6.31	0.80	25.90	30
10		SL10*	Jam Sil	R	98.1	02.5	7.26	5.60	7.10	0.10	32.40	53/43
11		SL11	Hwa Gok	R	01.5	04.12	11.3	9.10	9.59	1.00	47.47	44
12		SL12*	Nam Ga Jwa	R	01.9	02.4	20.5	23.70	13.1	6.00	35.7	8
13		SL13*	Han Nam	R	01.9	02.4	25.17	26.70	17.75	5.70	49.70	7
14	Busan	BS1	Gam Jeon	I	98.1	04.12	19.78	18.80	7.01	5.60	39.60	84
15	(BS)	BS2	Duk Chun	R	98.1	04.12	7.38	6.30	4.75	1.30	31.60	84/82
16		BS3*	Bum Chun	C	98.1	04.12	12.01	11.45	5.21	0.20	26.90	72
17		BS4	On Chun	G	98.1	04.12	5.96	5.00	3.90	0.30	21.00	84/82
18		BS5	Jun Po	G	04.1	04.12	14.24	15.70	8.84	4.20	24.60	12
19	Daegu	DG1	Dae Myung	R	98.1	04.12	7.14	6.20	4.65	0.50	18.70	84/75
20	(DG)	DG2*	Sam Duck	C	98.1	99.5	7.98	5.40	9.89	0.90	43.70	17
21		DG3	Soo Chang	C	99.6	04.12	10.45	9.05	6.14	0.80	26.70	66/60
22		DG4	Yi Hyun	I	98.1	04.12	19.04	17.15	12.12	0.30	46.60	72/70
23		DG5	Ji San	R	98.1	04.12	4.46	4.00	2.52	0.10	17.20	84/69
24	Incheon	IC1	Nohn Hyun	I	02.1	04.12	23.24	23.00	6.78	13.10	40.40	36
25	(IC)	IC2	Boo Pyung	C	98.1	04.12	12.47	12.40	6.74	0.58	34.42	83
26		IC3	Soong Euo	R	98.1	04.12	15.01	12.93	7.91	2.40	50.10	83/82
27	Gwangju	GJ1	Nong Sung	C	98.1	04.12	4.69	3.70	3.86	0.20	15.90	83/73
28	(GJ)	GJ2	Doo Am	R	98.1	04.12	5.61	4.00	5.43	0.10	33.50	83/73
29		GJ3	Seo	G	98.1	04.12	4.96	4.20	4.09	0.20	20.50	83/75
30		GJ4	EI Gok	I	98.1	04.12	5.63	4.95	4.44	0.20	19.00	83/72
31	Daejeon	DJ1	Goo Sung	G	98.1	04.12	5.03	3.10	5.00	0.40	22.50	84/76
32	(DJ)	DJ2*	Dae Hung	C	98.1	04.12	6.19	5.80	4.40	1.00	21.60	72/66
33		DJ3	Yu Chun	R	98.1	04.12	5.83	4.45	5.03	0.10	20.30	72/68
34		DJ4	Eup Nae	I	98.1	04.12	13.0	9.70	11.6	1	78.5	84/81

표1 니켈농도를 관측한 개별 측정점의 약칭, 운용기간, 기초통계량* (계속)

Order	City (Code)	Station code1)	Station name	Land use2)	Study period		Ni (ng m ³)					
					Start	End	Mean	Median	SD	Min	Max	N3)
35		DJ5*	Moon Pyung	I	03.1	03.12	2.90	2.20	1.66	1.10	5.70	12/11
36		DJ6	Moon Chang	C	04.1	04.12	2.62	2.40	1.16	1.00	5.10	12/11
37		DJ7	Jung Rim	R	04.1	04.12	1.50	1.70	0.53	0.90	1.90	3
38	Ulsan	US1	Duk Shin	G	03.1	04.12	5.16	4.60	3.66	0.80	16.20	23
39	(US)	US2	Sin Jung	C	03.1	04.12	4.31	3.10	3.92	0.30	18.30	23
40		US3	Ya Eum	R	98.1	04.12	6.82	4.80	9.49	0.20	83.80	84/82
41		US4	Yeo Chun	I	98.1	04.12	15.19	13.35	8.84	1.70	54.00	84
42	Suwon (SW)	SW	Shin Poong	C	98.1	03.12	5.66	4.80	4.34	0.50	31.60	84/74
43	Ansan (AS)	AS	Won Shi	I	98.1	03.12	22.90	18.65	16.03	4.80	93.50	84/82
44	Wonju	WJ1*	Myung Ryoon	R	98.1	02.12	3.76	1.80	3.96	0.20	12.80	58/35
45	(WJ)	WJ2*	Woo San	I	98.1	02.12	6.79	3.10	8.22	0.20	36.20	60/42
46		WJ3*	Hak Sung	C	98.1	02.12	3.62	2.60	2.94	0.20	10.00	60/37
47		WJ4*	Haeng Goo	G	98.1	02.12	3.10	2.00	2.92	0.20	8.60	60/33
48	Chuncheon	CC1	Shin Book	G	03.1	04.12	2.34	1.90	1.64	0.40	7.80	24
49	(CC)	CC2	Yo Sun	C	04.1	04.12	4.60	4.75	1.75	2.30	7.40	12
50		CC3	Hyo Ja	C	04.1	04.12	7.13	7.10	1.88	4.10	10.60	12
51		CC4	Hoo Pyung	R	03.1	04.12	5.16	5.30	2.64	1.20	9.90	24
52		CC5	Ok Chun	C	04.1	04.12	7.29	6.50	3.63	2.00	14.10	12
53		CC6	Eun Ha Soo	R	04.1	04.12	9.33	8.10	4.39	3.00	17.30	12
54	Yeosu	YS1	Sam Il	I	98.1	04.12	7.78	4.10	11.03	0.10	50.20	82/73
55	(YS)	YS2	Ssang Bong	R	98.1	04.12	10.60	4.70	19.85	0.10	111.70	82/71
56	Pohang	PH1	Jang Hung	I	98.1	04.12	27.26	13.50	61.14	0.20	524.60	83/79
57	(PH)	PH2	Jook Do	C	98.1	04.12	7.29	3.85	15.03	0.30	95.50	83/44

- 1) 모든 개별 측정점은 두 개의 영문 약자와 숫자로 명명함.
- 2) 약자 I, C, R, G 은 각각 산업시설, 상업시설, 주거지역, 초지지역을 의미한다.
- 3) N은 측정자료의 수를 의미함. 슬래쉬 전의 숫자는 전체 자료 후의 숫자는 검출한계 이하의 값을 제외한 자료의 수에 해당함.

표오 측정전반기 ('91 to '97 : Period D)와 후반기('98 to '04 : Period II)의 도시별 니켈농도 비교

City code*	SL	BS	DG	IC	GJ	DJ	US	SW	AS	WJ	CC	YS	PH
[1] Period I The former 7 years ('91~'97)													
Mean	23.3	20.0	10.7	24.03	12.3	18.9	17.9	51.6	84.8	10.0		8.57	11.7
Median	25.2	19.5	11.6	23.80	9.40	19.0	17.6	20.7	45.6	11.5		9.20	8.80
SD	8.73	4.97	6.27	7.83	8.75	7.93	6.03	63.7	83.1	4.88		4.85	9.56
CV	37.5	24.8	58.4	32.57	71.3	41.9	33.7	124	98.0	48.7		56.6	81.4
Min	9.50	14.20	4.10	11.40	3.30	9.70	8.50	9.20	28.5	2.10		2.50	6.00
Max	34.3	29.6	22.6	34.90	27.4	33.7	27.2	125	180	15.1		16.1	32.8
N	7	7	7	7	7	7	7	3	3	7		7	7
[2] Period II The latter 7 years ('98~'04)													
Mean	12.1	11.4	10.1	14.8	5.13	7.08	10.6	5.67	22.8	3.69	5.42	8.57	18.1
Median	8.65	11.1	10.5	14.8	5.35	7.24	11.3	5.27	20.1	2.38	5.42	6.44	9.79
SD	5.40	2.00	4.90	3.31	2.43	3.21	3.43	1.67	5.34	2.86	1.17	8.20	20.4
CV	44.7	17.6	48.6	22.4	47.4	45.4	32.3	29.4	23.5	77.5	21.5	95.7	112
Min	7.21	8.60	3.97	10.7	1.69	3.77	5.92	3.93	16.4	0.99	4.60	1.11	6.18
Max	21.7	15.2	17.8	18.4	7.69	12.6	15.8	8.41	31.4	7.60	6.25	23.8	63.3
N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	2	7	7
[3] All 14 years ('91~'04)													
Mean	17.7	15.7	10.4	19.4	8.70	13.0	14.3	19.4	41.4	7.38	5.42	8.57	14.9
Median	15.7	14.7	11.0	17.9	6.93	11.1	13.4	6.50	26.2	6.70	5.42	7.77	9.10

표8 측정전반기('91 to '97 : Period D)와 후반기('98 to '04 : Period II)의 도시별 니켈농도 비교 (계속)

City code*	SL	BS	DG	IC	GJ	DJ	US	SW	AS	WJ	CC	YS	PH
SD	9.07	5.78	5.42	7.50	7.20	8.5	6.04	37.4	49.5	5.15	1.17	6.47	15.6
CV	51.3	36.8	52.1	38.6	82.8	65	42.3	192	120	69.8	21.5	75.5	105
Min	7.21	8.60	3.97	10.70	1.69	3.77	5.92	3.93	16.4	0.99	4.60	1.11	6.00
Max	34.3	29.6	22.6	34.9	27.4	33.7	27.2	125	180	15.1	6.25	23.8	63.3
N	14	14	14	14	14	14	14	10	10	12	2	14	14
[4] The Ni concentration ratios between the [Period I]/[Period II]													
Ratio	1.9	1.8	1.1	1.6	2.4	2.7	1.7	9.1	3.7	2.7		1.0	0.6

각 도시별 약칭은 표1을 참조.

표3 비교 대상 13개 시의 연도별 나뭇잎농도 비교 및 통계량 요약.

Yr	Target city of investigation ¹⁾													Annual values for all cities ²⁾				
	SL	BS	DG	IC	GJ	DJ	US	SW	AS	WJ	CC	YS	PH	Mean	SD	CV	Min	Max
1991	31.3	16.0	11.6	29.3	17.4	9.70	8.50			11.9		12.0	9.40	15.7	8.19	52	8.50	31.3
1992	34.3	29.6	22.6	34.9	27.4	33.7	27.2			11.5		16.1	32.8	27.0	8.03	30	11.50	34.9
1993	26.8	18.3	7.60	23.8	17.2	19.0	15.6			10.8		10.3	8.80	15.8	6.45	41	7.60	26.8
1994	25.2	21.6	12.9	28.2	9.40	20.5	17.6			14.2		9.20	12.4	17.1	6.59	38	9.20	28.2
1995	16.2	20.8	4.10	17.4	6.70	22.6	22.8	125	180	15.1		6.70	6.40	37.0	55.67	150	4.10	180
1996	19.5	14.2	11.6	23.2	4.50	13.3	14.4	20.7	45.6	4.50		2.50	6.40	15.0	11.76	78	2.50	45.6
1997	9.50	19.5	4.80	11.4	3.30	13.8	19.2	9.20	28.5	2.10		3.20	6.00	10.9	8.10	74	2.10	28.5
1998	8.20	8.60	7.87	10.7	1.69	8.49	11.3	5.58	20.0	0.99		1.11	7.97	7.71	5.26	68	0.99	20.0
1999	7.21	11.1	4.96	12.7	2.78	12.6	12.4	4.89	19.4	1.70		2.38	7.39	8.29	5.38	65	1.70	19.4
2000	8.65	12.0	3.97	11.3	7.47	8.88	12.0	5.27	31.4	2.38		6.44	6.18	9.66	7.50	78	2.38	31.4
2001	21.7	10.7	13.7	14.8	7.69	7.24	10.4	3.93	28.0	5.79		8.83	9.79	11.9	6.90	58	3.93	28.0
2002	15.2	11.4	17.8	18.4	7.17	3.85	15.8	8.41	16.4	7.60		14.7	13.6	12.5	4.74	38	3.85	18.4
2003	15.2	10.4	11.7	18.3	5.35	4.78	5.92	7.43	24.3		4.60	23.8	63.3	16.3	16.43	101	4.60	63.3
2004	8.46	15.2	10.5	17.5	3.75	3.77	6.60	4.17	20.1		6.25	2.7	18.7	9.80	6.42	66	2.68	20.1
P3)	0.014	0.001	0.827	0.014	0.060	0.003	0.017	0.070	0.064	0.028		0.999	0.467	0.029				

1) 13개 도시의 약칭은 표1 참조

2) SD와 CV는 각각 표준편차와 변이계수를 의미함.

3) 파 Ⅱ 기간대의 농도차이에 대한 유의성을 평가하기 위한 t 테스트의 결과

표 4 조사기간 II의 월별 자료를 이용한 개별 측정점들간 니켈농도의 상관성 분석 결과.

	BS1	BS2	BS3	BS4	DG1	DG3	DG4	DG5	IC2	IC3	GJ1	GJ2	GJ3	GJ4	DJ1	DJ2	DJ3	DJ4	US3	US4	SW	AS	YS1	YS2
BS1	1.00																							
BS2	0.65(IV)	1.00																						
BS3	0.51(IV)	0.38(II)	1.00																					
BS4	0.57(IV)	0.62(IV)	0.37	1.00																				
DG1	0.05	0.00	0.29	0.09	1.00																			
DG3	0.07	0.05	0.16	0.07	0.80(IV)	1.00																		
DG4	0.15	0.02	0.24	0.15	0.78(IV)	0.65(IV)	1.00																	
DG5	0.05	0.16	0.04	0.01	0.71(IV)	0.63(IV)	0.42(II)	1.00																
IC2	0.27	0.25	0.39(II)	0.34	0.25	0.47(II)	0.30	0.01	1.00															
IC3	0.18	0.13	0.18	0.27	0.31	0.34	0.24	0.22	0.55(IV)	1.00														
GJ1	0.24	0.12	0.28	0.30	0.36	0.42(II)	0.42(II)	0.26	0.28	0.41(II)	1.00													
GJ2	0.09	0.03	0.18	0.17	0.41(II)	0.13	0.15	0.20	0.07	0.12	0.58(IV)	1.00												
GJ3	0.00	0.02	0.23	0.16	0.16	0.06	0.02	0.22	0.02	0.05	0.45(III)	0.64(IV)	1.00											
GJ4	0.12	0.04	0.19	0.17	0.45(II)	0.22	0.28	0.38	0.01	0.12	0.59(IV)	0.62(IV)	0.56(IV)	1.00										
DJ1	0.11	0.06	0.07	0.27	0.28	0.05	0.28	0.08	0.11	0.08	0.19	0.15	0.16	0.06	1.00									
DJ2	0.01	0.15	0.08	0.11	0.35	0.25	0.30	0.18	0.26	0.18	0.29	0.11	0.05	0.23	0.58(IV)	1.00								
DJ3	0.07	0.02	0.10	0.26	0.43(II)	0.35	0.47(III)	0.10	0.22	0.11	0.30	0.08	0.12	0.13	0.81(IV)	0.74(IV)	1.00							
DJ4	0.06	0.03	0.17	0.14	0.24	0.20	0.28	0.18	0.26	0.11	0.17	0.02	0.16	0.02	0.36	0.30	0.43(II)	1.00						
US3	0.17	0.06	0.14	0.05	0.05	0.06	0.04	0.01	0.09	0.00	0.17	0.03	0.11	0.10	0.03	0.02	0.01	0.05	1.00					
US4	0.33	0.22	0.21	0.10	0.14	0.04	0.08	0.01	0.02	0.09	0.18	0.07	0.07	0.04	0.15	0.08	0.16	0.06	0.88(IV)	1.00				
SW	0.14	0.07	0.08	0.00	0.12	0.19	0.12	0.03	0.01	0.04	0.14	0.13	0.11	0.11	0.01	0.14	0.07	0.06	0.05	0.01	1.00			
AS	0.04	0.25	0.02	0.07	0.07	0.25	0.17	0.19	0.01	0.10	0.09	0.15	0.01	0.04	0.04	0.03	0.17	0.12	0.09	0.07	0.34	1.00		
YS1	0.02	0.10	0.01	0.04	0.14	0.07	0.20	0.29	0.05	0.12	0.25	0.14	0.21	0.14	0.28	0.29	0.25	0.14	0.33	0.04	0.01	0.04	1.00	
YS2	0.02	0.11	0.01	0.06	0.08	0.08	0.24	0.19	0.08	0.16	0.19	0.11	0.14	0.14	0.21	0.18	0.17	0.11	0.08	0.04	0.05	0.74(IV)	1.00	

*Roman letters of I through IV in the parenthesis denote the cases of which correlations are significant at 10, 3, 10, 4, 10, 5, and 10 %, respectively. Individual stations selected for this comparison include those with more than 60 effective (except BDL values) monthly data of Ni concentrations.

표6 조사기간 II의 NI 자료를 이용한 도시별 및 특정 측정점별 니켈농도의 상관성 분석결과

(A) 도시별 상관분석 결과*

	SL	BS	DG	IC	GJ	DJ	US	SW	AS	WJ	CC	YS
SL	1.00											
BS	0.11	1.00										
DG	0.27	0.15	1.00									
IC	0.26	0.35	0.34	1.00								
GJ	0.28	0.23	0.27	0.15	1.00							
DJ	0.24	0.16	0.35	0.33	0.17	1.00						
US	0.11	0.19	0.02	0.05	0.08	0.08	1.00					
SW	0.20	0.05	0.10	0.13	0.14	0.06	0.05	1.00				
AS	0.13	0.13	0.19	0.08	0.08	0.14	0.09	0.34	1.00			
WJ	0.08	0.08	0.41	0.31	0.11	0.34	0.58(III)	0.12	0.02	1.00		
CC	0.14	0.52	0.57	0.12	0.39	0.19	0.15	0.03	0.08		1.00	
YS	0.10	0.01	0.10	0.18	0.20	0.25	0.09	0.03	0.02	0.59(III)	0.11	1.00
PH	0.18	0.03	0.05	0.13	0.11	0.18	0.14	0.01	0.07	0.08	0.12	0.72(IV)

(B) 5대 고농도와 5대 저농도 측정점에 대한 상관분석결과

	Upper 5 stations1)					Lower 5 stations2)				
	PH1	AS	BS1	DG4	US4	GJ2	DJ1	GJ3	GJ1	DG5
PH1	1.00									
AS	0.05	1.00								
BS1	0.07	0.04	1.00							
DG4	0.24	0.17	0.15	1.00						
US4	0.10	0.07	0.33	0.08	1.00					
GJ2	0.01	0.15	0.09	0.15	0.07	1.00				
DJ1	0.14	0.04	0.11	0.28	0.15	0.15	1.00			
GJ3	0.07	0.01	0.00	0.02	0.07	0.64(IV)	0.16	1.00		
GJ1	0.05	0.09	0.24	0.42(I)	0.18	0.58(IV)	0.19	0.45(II)	1.00	
DG5	0.15	0.19	0.05	0.42(I)	0.01	0.20	0.08	0.22	0.26	1.00

*Roman letters of I through IV in the parenthesis denote the cases of which correlations are significant at 10, 3, 10, 4, 10, 5, and 10, respectively.
 1) and 2) denote the individual stations selected based on the magnitude of average Ni concentration with effective data more than 60.

그림1 니켈농도의 관측이 이루어진 13개 도시에 대한 지도. (개별 측정점의 세부정보는 표1 참조.)

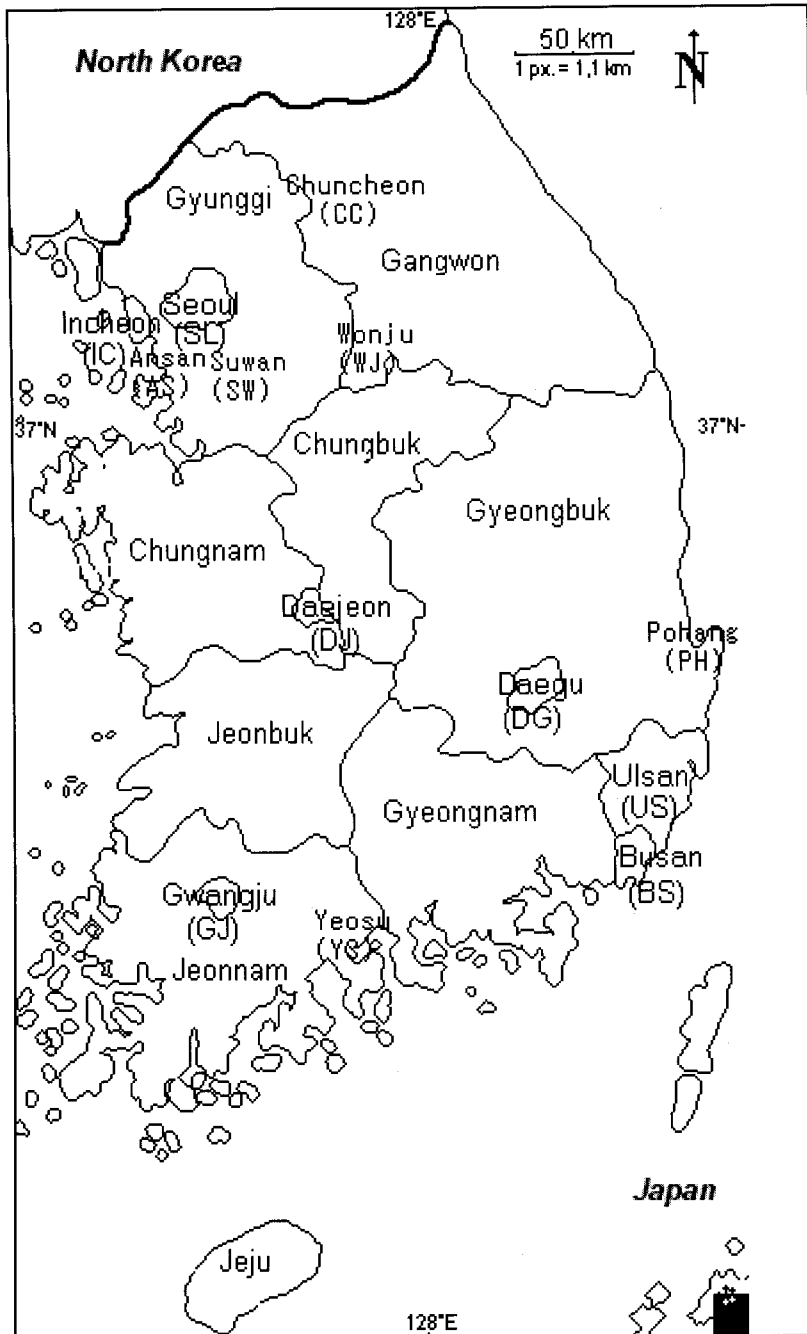
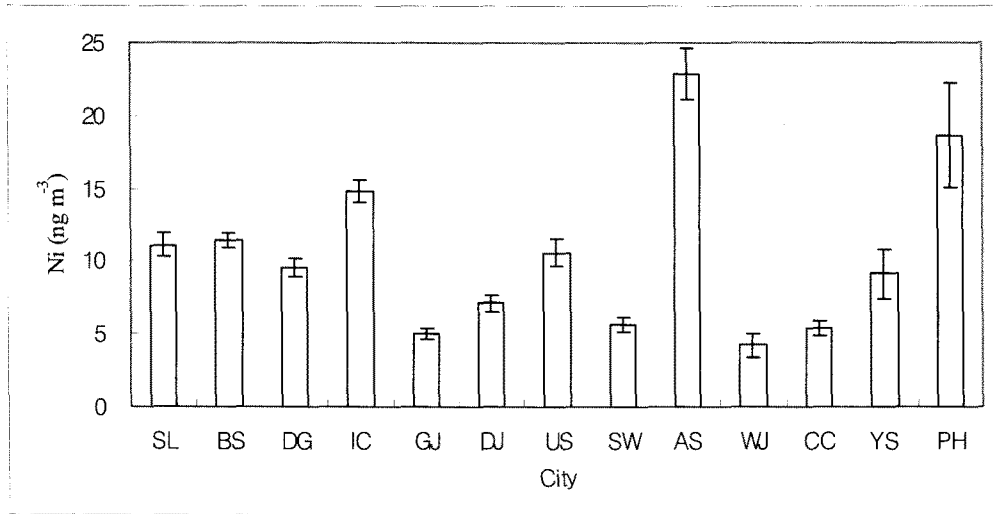


그림2 개별 도시 및 특정 측정점에 대한 니켈 농도의 분포특성 비교. 기간 2의 자료를 토대로 도식 함.

(A) 도시별 평균농도의 비교



(B) 5대 고농도와 5대 저농도 측정점에 대한 비교

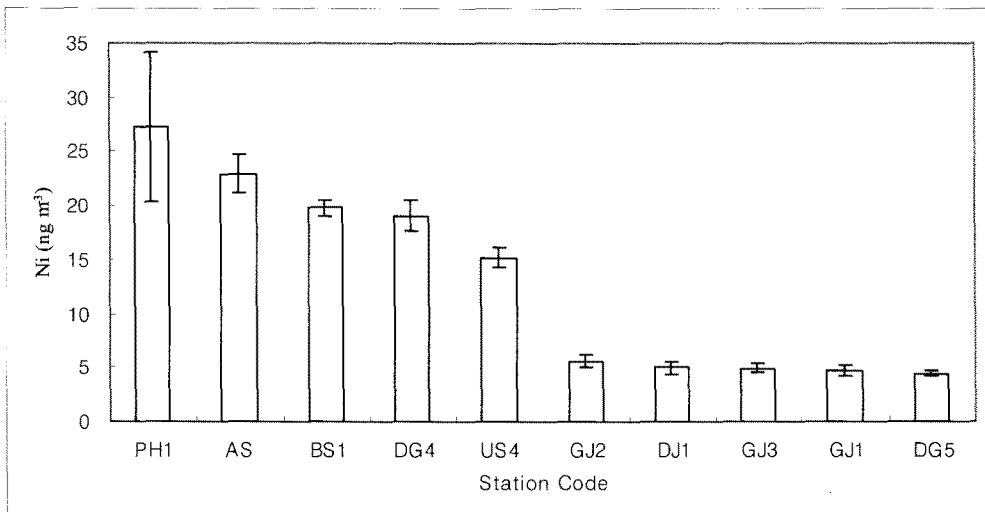


그림3 니켈농도의 시간적 분포특성 비교 : 최고농도를 기록한 안산, 포항 대비 최저농도를 기록한 광주, 원주 자료를 이용한 비교

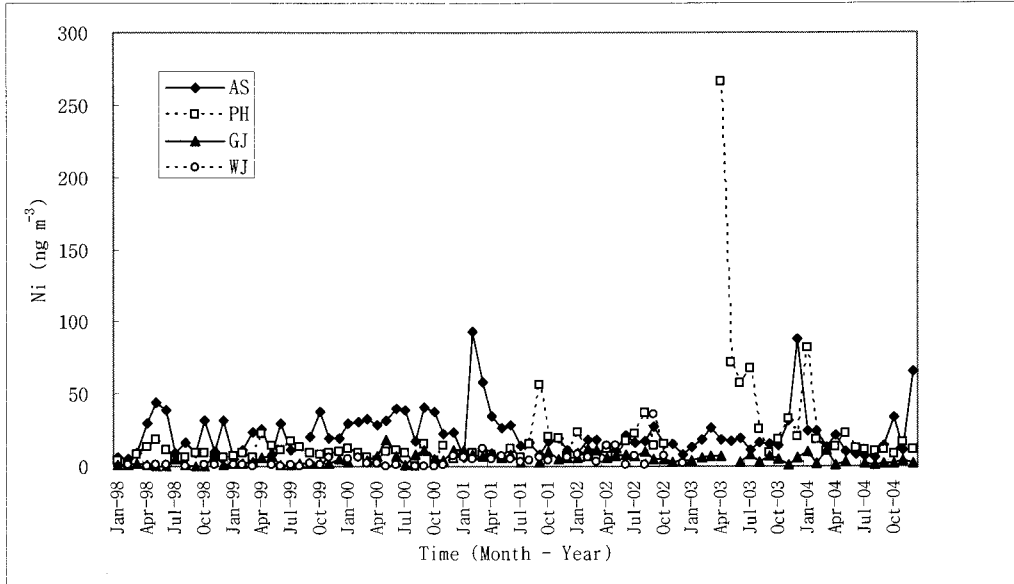
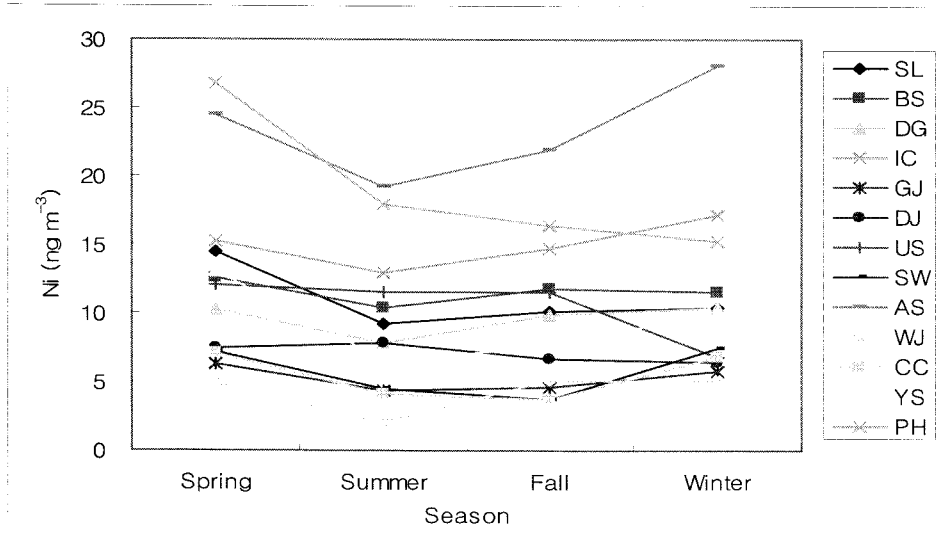


그림4 도시별 니켈농도의 계절 분포특성 비교 (기간 2 : 1998~2004).

(A) 계절 평균농도



(B) 표준화한 계절 평균농도

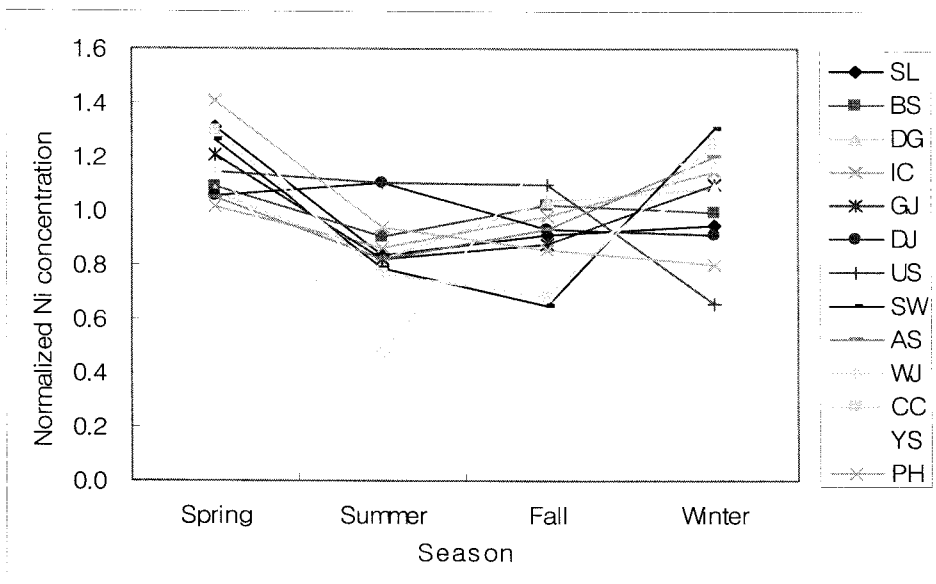
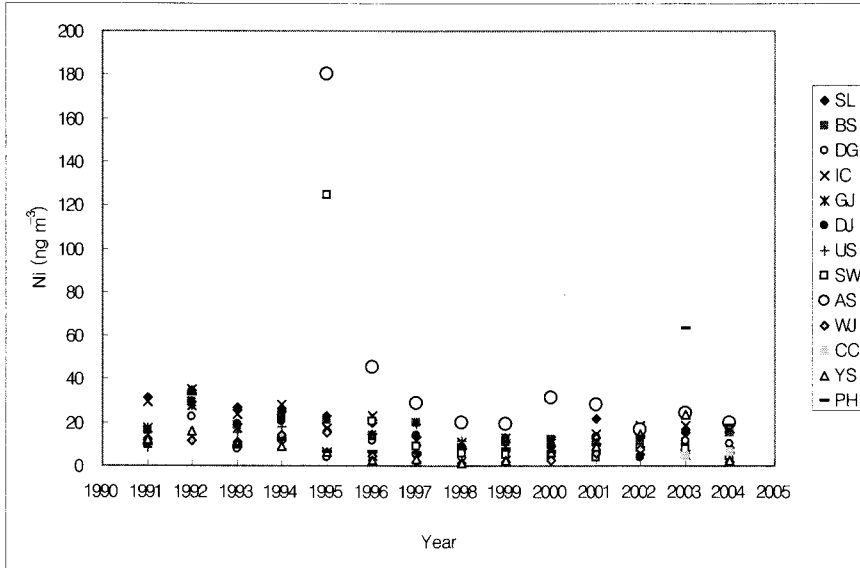


그림6 전체 연구기간 동안 연차별 Ni 농도의 비교

(A) 13개 도시의 연차별 농도



(B) 최고농도를 기록한 안산시를 제외한 상태의 결과 비교

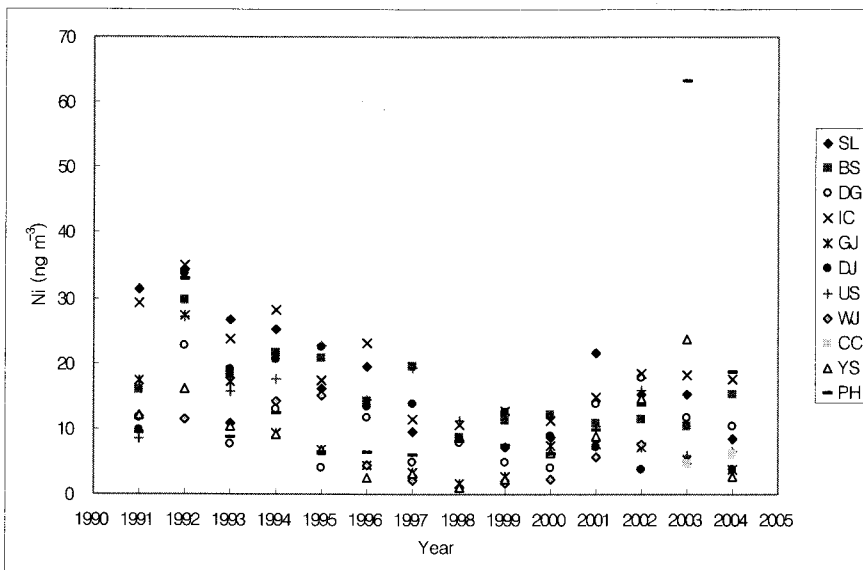
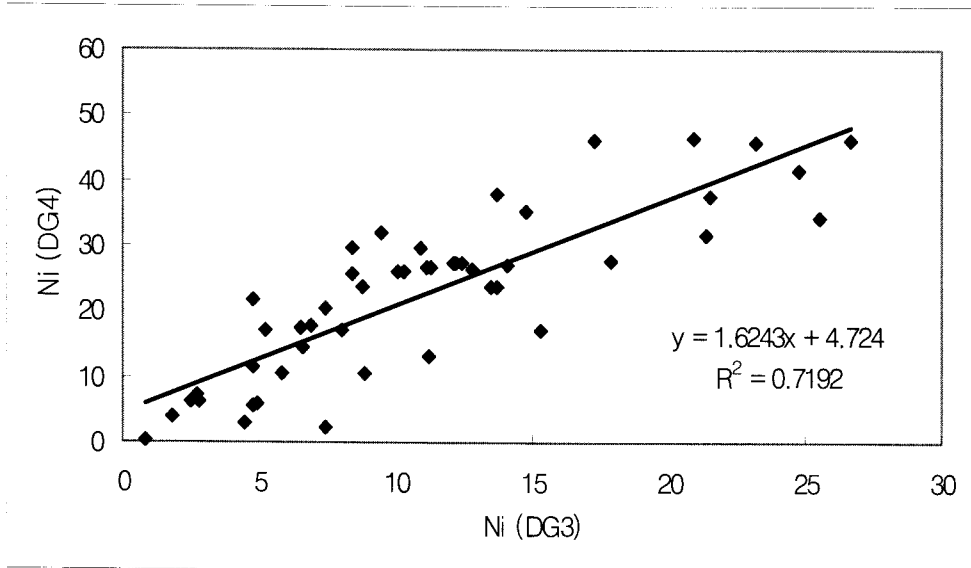
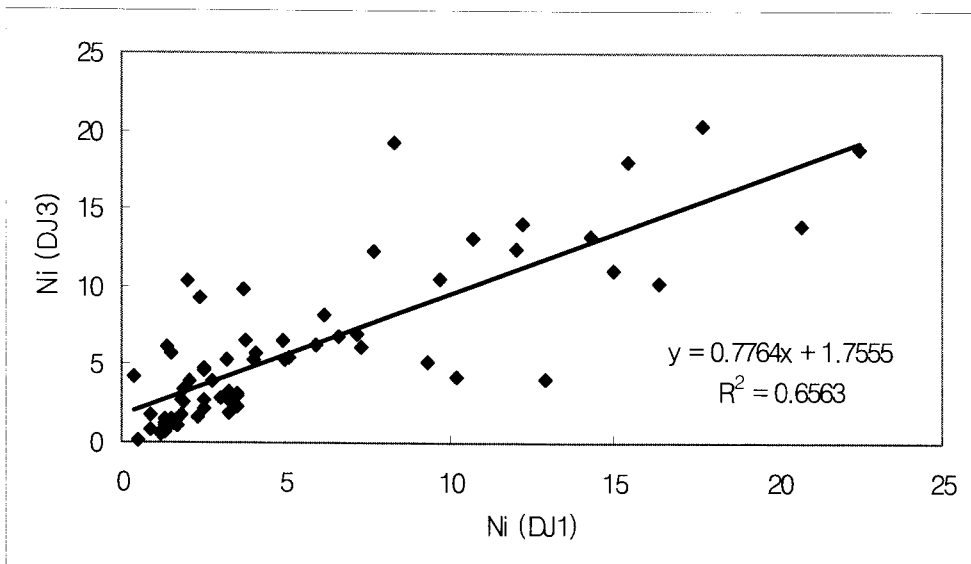


그림6 2기간대 관측점들간의 상관성분석 : 상관성이 높은 일부 경우의 결과

(A) 대구시의 2개 관측점



(B) 대전시의 2개 관측점



감사의 글

이 연구를 지원한 세종대학교 교내 학술연구지원사업에 사의를 표하는 바입니다.

참고문헌

- Chan, W.H. and M.A. Lulis. 1986. "Smelting operations and trace metals in air and precipitation in the Sudbury Basin". *Advances in environmental science and technology* 17: 113-143.
- Espinosa, A.J.F., M.T. Rodriguez, F.J. Rosa, J.C.J. Sanchez. 2001. "Size distribution of metals in urban aerosols in Seville (Spain)". *Atmospheric Environment* 35: 2595-2601.
- Hoff, R.M. and L.A. Barrie. 1986. "Air chemistry observations in the Canadian arctic". *Water science and technology* 18: 97-107.
- IARC (Internaitonal Agency for Research on Cancer). 2006. Complete list of agents evaluated and their classification. www.monograph.iarc.fr/ENG/classification/index.php.
- Jang, H.N., Y.-C. Seo, J.-H. Lee, K.-W. Hwang, J.-I. Yoo, C.-H. Sok, S.-H. Kim. 2007. "Formation of fine particles enriched by V and Ni from heavy oil combustion: Anthropogenic sources and drop-tube furnace experiments". *Atmospheric Environment* 41: 1053-1063.
- Kim, K.-H. 2007a. "Airborne lead concentration levels on the Korean peninsula between 1991 and 2004". *Atmospheric Environment* 41(4): 809-824.
- Kim K.-H. 2007b. "Airborne cadmium in the major monitoring locations in Korea between 1991 and 2004". *Atmospheric Environment* 41(21): 4380-4395.
- Kim, K.-H., G.-H. Choi, C.-H. Kang, J.-H. Lee, J.-Y. Kim, Y.-H. Youn and S.-R. Lee. 2003. "The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events". *Atmospheric Environment* 37: 753-765.
- Myeong S., K.-H. Lee and K.-H. Kim. Submitted. "Airborne manganese concentrations on the Korean peninsula from 1991 to 2006". *Atmospheric Environment*.
- McCarthy, M.C., H.R. Hafner, L.R. Chinkin, J.G. Charrier, 2007. "Temporal variability of selected air toxics in the United States". *Atmospheric Environment*, 41 (34): 7180-7194.
- Nguyen. H. T. and K.-H. Kim 2008 "Chromium concentration levels on the Korean peninsula between 1991 and 2006". *Atmospheric Environment*. In Press.
- Okuda, T., S. Nakao, M. Katsuno, S. Tanaka. 2007. "Source identification of nickel in TSP and

- PM2.5 in Tokyo, Japan". *Atmospheric Environment* 41: 7642-7648.
- Querol, X., A. Alastuev, M.M. Viana, S. Rodriguez, B. Artinano, P. Salvador, S. Garcia Do Santos, R. Fernandez Patier, C. Ruiz, J. De La Rosa, A. Sanchez De La Campa, M. Menendez and J.I. Gil. 2004. "Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in Spain. *J. Aerosol Sciences* 35: 1151-1172.
- Sadiq, M. and A.A. Mian, 1994. "Nickel and vanadium in air particulates at Dhahran (Saudi Arabia) during and after the Kuwait oil fires". *Atmospheric Environment* 28 (13): 2249-2253.
- Vallius, M., T. Lanki, P. Tittanen, K. Koistinen, J. Ruuskanen and J. Pekkanen. 2003. "Source apportionment of urban ambient PM2.5 in two successive measurement campaign in Helsinki, Finland". *Atmospheric Environment* 37: 615-623.
- Ward, T.J., R.F. Hamilton Jr. and G.C. Smith. 2004. "The Missoula, Montana PM2.5 speciation study - seasonal average concentrations". *Atmospheric Environment* 38: 6371-6379.