

대화공단과 원자력연구소 지역의 대기중 미량원소 농도분포
및 방출원 비교연구

Comparison Study on the Distribution of the Trace Elemental
Concentration and Emission Source in Ambient Air of the Daehwa
Industrial Complex and KAERI Region

문종화, 정용삼, 김선하, 백성열, 박광원

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

본 연구는 국제원자력기구의 지역간 국제공동연구사업의 일환으로서 대기오염연구에 핵분석 기술의 이용성을 향상시키기 위하여 수행되었다. 대기분진시료는 저용량 2단 대기분진 채집기와 Nuclepore사의 polycarbonate membrane 필터를 사용하여 원소농도 및 오염원이 상이할 것으로 예상되는 지역(대전 대화 공단과 원자력연구소)과 채집일(근무일; 금-토요일과 휴무일; 토-일요일)로 나누어 채집하였다. 입자크기(<math><2.5 \mu\text{m}</math>, $2.5\text{-}10 \mu\text{m}$)에 따른 대기중 분진농도, 탄소원소농도를 산출하였고 중성자방사화분석법을 사용하여 미량원소를 분석하였다. 분석결과로부터 월별 대기중 시료채집지역과 채집일, 입자크기에 따른 분진농도 변화를 측정, 비교하였으며 년평균 원소농도를 구하여 각 원소의 농도분포를 알아보았다. 또한 Enrichment Factor를 계산하여 크게 두가지의 오염원으로 분류하고 이들중 8개 원소농도와 분진 및 탄소원소의 농도에 대한 상관관계를 고찰하였다.

Abstract

The aim of this research as one of the inter-regional cooperation projects by the IAEA is to enhance the use of nuclear analytical techniques for air pollution studies. For the collection of air particulate samples, low volume(stacked filter unit) samplers and Nuclepore polycarbonate membrane filters were employed. Samples were collected on selected sampling dates(non-working day(friday) and working day(saturday)) and regions(Daehwa industrial complex and KAERI) in Taejon which were expected to be different elemental concentration and emission source. From the collected samples, mass concentrations of each particulate matter(PM) and elemental carbon were calculated with particulate size and trace elements were analyzed by INAA. Variations of mass concentrations of particulate matter were measured and compared monthly in accordance with sampling site and particulate size. The yearly mean for each element was evaluated and the distribution of each elemental concentration was found. In addition, Enrichment factors were also calculated and emission sources were divided into two categories. The measured data were treated statistically to estimate the relationship between the concentrations of eight elements, mass concentration of particulate matter and elemental carbon.

1. 서론

호흡기관을 통해 인체내로 흡입되는 PM₁₀ 대기분진은 자연적이고 인위적인 발생원에 의한 다양한 원소들을 함유하고 있기 때문에 대기의 질을 판단하는 대기관측시료로 이용되고 있으며, 특히 PM_{2.5} 분진의 질량농도나 독성원소의 농도가 높을 때 장·단기적으로 인체 보건에 큰 영향을 미치고 있다. 중성자방사화분석법은 핵반응을 통해 생성시킨 방사성 동위원소로부터 방출되는 방사선을 검색하여 성분원소를 정량하는 핵분석기술(Nuclear Analytical Techniques)중의 하나로서 특히 소량의 시료로부터 미소량원소의 비파괴, 동시다원소분석이 가능하고 분석감도($10^{-3} - 10^{-7} \mu\text{g}$)가 탁월한 분석기술이다. 따라서 대기분진중의 극미량 원소분석에 적합한 것으로 인식되어 있으며 [1, 2], 일찌기 Dams 등[3] 과 Zoller 등[4]이 대기분진의 분석에 이용하였으며 지금까지 많은 연구 보고가 발표되고 있다.

본 연구는 핵분석기술을 이용한 대기환경오염연구의 지역간 국제협력사업의 일환으로 수행한 국제 공동연구과제(UNDP/RCA/IAEA Project on Air Pollution and Its Trends)로서 중성자방사화분석을 저용량 채집기(Gent Stacked Air Sampler)를 통해 수집된 소량의(< 1mg) 대기분진시료 중의 미량원소분석에 응용하기 위하여 대기분진중 원소의 농도 및 발생원이 상이할 것으로 예상되는 대화 1,2공단과 원자력연구소 지역을 선정한 후 수집된 시료를 정량하여 각 원소들의 농도준위를 결정하였으며 Enrichment Factor의 계산에 의하여 발생원을 크게 두가지로 분류하고 간단한 통계적 처리에 의해 상관성을 고찰하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 시료수집 및 처리

대기분진의 수집을 위하여 대전지역의 대화동1,2공단과 연구단지내 한곳(한국원자력연구소)을 선정하였고, 1998년 11월부터 1999년 10월까지 저용량 Gent SFU 분진수집기로 미세입자(<2.5 μm)와 조대입자(2.5-10 μm)로 구분하여 Polycarbonate Membrane Filter(47mm ϕ , 0.4, 8 μm pore size, Nuclepore) 상에 수집하였다. 시료 수집시기의 환경 기상조건 및 주위조건들을 기록하고, 유속은 18 L/min 로 조정하여 24시간동안 주 2회씩, 금요일과 토요일에(근무일과 휴무일로 고려) 수집하였다. 수집전·후의 필터시료는 항온, 항습상태에서 약 1-2일간 보관한 후 전기적 하전을 중화시키기 위해 ²¹⁰Po 알파방출 선원이 삽입된 Mettler사의 저울(측정능력: 1 μg)로 칭량하였다. 또한 수집된 대기분진중의 elemental carbon의 양을 결정하기 위하여 IAEA로부터 제공받은 Smoke Stain Reflectometer(Model 43D)를 사용하여 수집전·후의 반사율을 정해진 절차에 따라 측정·기록하였다

2.2 중성자방사화 분석

분석시료의 방사화를 위하여 한국원자력연구소의 연구용원자로, HANARO의 기송관($\Phi_{th} = 1.7 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$) 조사시설을 이용하였다. 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사하여 조사시간동안의 중성자속의 변화등에 영향을 받지 않게 하여 분석오차를 최소화시켰으며, 정확한 중성자속을 측정하기 위하여 activation wire(Au, Cu, Mn, Fe : Reactor Exp. 회사의 순도 99.99%)를 사용하였다.

조사된 시료의 특정 방사성 핵종으로부터 방출되는 특정 감마선을 반감기에 따라 구분된 일정시간동안 계측하여 각 원소의 방사능 계수율을 측정하였다. 방사능 계측에 사용한 고순도의 게르마늄 반도체 검출기는 EG&G ORTEC사 제품으로서 25% relative efficiency, ⁶⁰Co의 1332 keV에서 1.85 keV FWHM 및 Peak to Compton ratio가 45 : 1 이며, 10cm 두께의 납으로 차폐시켜 자연방사능 및 외부 방사선의 영향을 최소화 하였고, 데이터 수집 및 해석을 위한 16K-

Multichannel Analyzer와 personal computer에 연결하였다. 또한 에너지 및 검출효율을 교정해 주기 위해 NIST로부터 보증받은 NEN사의 디스크형 표준 복합선원을 사용하였다. 계측시간동안의 통계적 오차를 줄이기 위해 불감시간은 5%이하로 유지하였으며 감쇠 및 pile-up의 보정은 MCA와 주증폭기에서 자동적으로 수행되도록 구성하였다. 계측된 데이터로부터 원소의 농도를 계산하기 위하여 Labview로 작성한 중성자방사화분석용 계산프로그램을 사용하였다.

분석값의 품질관리를 위하여 NIST SRM 1648, Urban Particulate Matter와 역시 NIST의 표준 용액을 분석하여 각 원소에 대한 보정계수로 사용하였으며 또한 IAEA에 의해 주관된 데이터 상호비교연구를 통하여 신뢰도를 검증하였다. 전방법에 따라 수집된 실제시료는 예비실험을 통해 정해진 조사시간, 냉각시간 및 계측시간등의 일정한 조건에 따라 일상적으로 분석을 수행하였다.[5]

2.3 Elemental carbon의 분석

측정된 반사율을 필터면적 cm^2 당 elemental carbon의 양을 결정하기 위하여 IAEA에 의해 주관된 훈련과정에서 Dr. Cohen이 제시한 아래의 수식을 사용하였다.($\text{PM}_{2.5}$ 에만 적용됨)[6]

$$\text{Elemental Carbon } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) = [100/2e]\text{Ln}[R_0/R]$$

여기서 e : Mass absorption coefficient, Dr. Cohen의 제안값 $4.9 \pm 1.9 \text{ cm}^2/\mu\text{g}$,
 R_0 : unloaded filter reflectance for a given wavelength (100)
 R : loaded filter reflectance

대기중의 elemental carbon의 농도를 구하기 위하여 위의 수식에 의해 계산된 값에 필터의 면적 17.34 cm^2 를 곱한 후 총채집시간동안의 공기부피로 나누어 주어 단위 대기부피당(m^3)의 elemental carbon의 농도를 계산하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 대기분진 및 원소농도의 측정

1998년11월부터 1999년10월까지 수집된 대기분진시료의 분석을 통하여 두채집지역과 입자크기에 따른 월평균 TSPM농도의 변화와 년평균농도를 구하였다. 이에 대한 결과를 Table 1에 나타내었고 Figure 1에 월별변화를 도시하였다. 또한 Al, As, Cr, Hg, Sb, Zn를 비롯한 25종 원소의 년평균농도를 구하였고, 측정결과를 Table 2에 나타냈다.

Table 1의 월평균 질량농도의 변화에 대해 두 시료채집지역별 결과를 비교하면, 일반적으로 조대입자의 PM 농도가 대화공단에서 높게 나타났으며 미세입자의 경우에는 연구소가 높게 관측되어 예상과는 반대의 결과를 나타냈다. Figure 1에 보인바와 같이 조대입자와 미세입자의 PM 농도를 비교하면 대화공단의 경우에는 조대입자의 농도가 크게 나타났으나 연구소의 경우에는 2월에서 5월을 제외하고는 미세입자가 높게 관측되었다. 또한 3월에서 5월 사이에 조대입자의 PM 농도가 다른달에 비해 두 지역모두에서 높게 나타났다. 이것은 대륙으로부터 날라오는 황사의 영향에 대한 가능성을 배제할수 없음을 예시한다.

Table 2에 나타낸 원소농도의 두지역간 비교에서, 대화공단지역에서는 Fe를 제외한 모든 원소에서 조대입자중의 농도가 연구소보다 비교적 높게 나타났으며 미세입자의 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 발생원의 척도가 될 수 있는 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 의 비율로 대화공단과 연구소를 비교한 결과, 많은 원소에서 연구소가 더 큰 값으로 나타나 예상과는 반대의 결과를 나타냈다.

Figure 2에는 방출농도의 비교를 위해 근무일과 휴무일로 나누어 원소농도의 평균의 비를 구하여 비교하여 본 결과, 두 지역에서 원소별로 큰 차이를 보이지 않았으나 입자별 비교에서 미세입

자의 경우에는 어느 정도 차이를 보였다. 특히, 대화공단지역에서 Co, In, La, Se, Sm 등의 값이 조대입자에서 큰 것으로 나타났고 연구소 지역에서는 Br, Ca, Cu, Ti 등이 큰 것으로 나타났다. 조대입자에서 지역간 큰 차이를 보인 원소는 Cr, Cu, In, Se, Sm 등이었다.

3.2 발생원의 확인

오염원(emission source)을 확인하는 간단한 방법중의 하나는 Enrichment Factor, EF를 구하는 것이다. 원소의 EF값은 조사하고자 하는 시료중의 목적원소와 기준원소의 비를 기준물질(e.g. 암석, 토양, 해수 등)중의 목적원소와 기준원소의 비로 나눈 값이다. 일반적으로 대기분진에서 EF를 계산할 때 기준원소는 토양이나 암석에서 일정한 양으로 존재하는 Al 이나 Sc를 이용한다. EF값이 10 이상일때는 인위적인 발생원으로 간주한다. 본 연구에서는 Mason의 데이터와 기준원소로 Sc를 이용하여 EF를 계산하였다.[7, 8] Table 3 에는 두 지역에 대한 각 원소 및 입자크기에 따른 EF값을 나타냈으며 EF의 값 10을 기준으로 크게 두 부류의 방출원으로 분류됨을 알수 있었다. 즉 자연발생원에 의한 원소는 Al, Fe, Ca, Ti, Na, La 등으로 볼 수 있으며, As, Cr, Hg, Sb, Se, Zn 등과 같은 중금속 원소들은 두 지역 모두에서, 특히 미세입자에서 EF값이 크게 나타났고 인위적인 방출요인으로 추정할 수 있다. 이러한 경향은 대기오염원이나 오염수준을 평가하는데 이용할 수 있음을 가르킨다. 입자별 EF값의 비교에서, 거의 모든 원소에서 미세입자의 EF값이 조대입자보다 크게 나타났으며 앞서 언급했듯이 특히 중금속 원소와 같은 인위적 방출원소는 미세입자의 경우가 조대입자보다 5배 이상 크게 나타났다. 이에 대한 결과를 Figure 3에 PM_{2.5}/PM₁₀에 대한 EF의 비율로 나타내었다. Figure 4에는 인위적 방출원의 발생량에 차이가 있을것으로 추정하여 근무일과 휴무일로 분류하여 EF를 계산한 결과를 나타냈다. 대화공단지역에서는 조대입자보다 미세입자에서 큰 값을 보인 원소들이 많았으며 특히 La, In, I 등이 큰 값을 나타냈다. 그러나 연구소 지역에서는 반대로 조대입자에서 보다 큰 값을 보였으며 In, I 등이 큰 차이를 보였다. 입자별 비교에서, 조대입자에서는 연구소가 대화공단보다 높은값을 보였으며 미세입자에서는 비슷한 값을 보였다.

3.3 기준원소와의 상관성분석

기준원소 Sc와 기타원소와의 상관성 분석을 위하여 EF값에 의한 오염발생원을 분류한 두 집단에서 각각 대표적인 4개의 원소를 선정하여 원소별 상관계수를 구하여 상관성을 고찰하였다. 즉 자연발생원으로 추정되는 원소로 Al, Fe, K, La를, 인위적방출원으로 고려되는 원소로 As, Cr, Sb, Zn를 선택하였다. 자연발생원에 의한 원소는 조대입자의 경우 높은 상관성을 나타냈으며 미세입자의 경우에는 Al, La는 높은 상관성을 Fe, K는 낮은 상관성 결과를 보였다. 인위적 방출원에 의한 원소는 조대입자의 경우에는 As원소가 낮은 상관성을 보였으며 다른 원소들은 입자크기에 상관없이 거의 상관성이 없는 결과를 나타냈다. 위에 언급한 8개원소와 기준원소 Sc 및 PM에 대한 상관계수 Matrix를 Table 4에 나타내었다.

3.4 Elemental carbon의 측정결과

반사율의 측정에 의한 미세입자중의 elemental carbon의 대기중 농도를 계산하여 Figure 5에 도시하였다. 년평균값의 계산결과 대화공단의 경우에는 평균값이 2.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연구소의 경우에는 2.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 또한 미세입자의 질량농도와의 상관성을 알아보기 위하여 회귀분석한 결과 R² 값이 대화공동의 경우 0.67, 연구소의 경우 0.69로서 상관성이 있는 것으로 평가할 수 있었다. 즉 질량농도가 높아질수록 elemental carbon의 양이 비례적으로 증가함을 알수 있다.

4. 참고문헌

[1] A. Alian and B. Sansoni, 'A Review on Activation Analysis of Airborne Particulate

- Matter', *J. Radioanal. and Nucl. Chem., Articles*, **89**, (1985) 191.
- [2] A. Alian and B. Sansoni, 'Activation Analysis of Airborne Particulate Matter', Central Department for Chemical Analysis, Report Jul-Spez-475, ISSN 0343-7639, Kernforschungsanlage Julich GmbH, D-5170 Julich, Federal Republic of Germany, 99 (1988).
- [3] R. Dams, J. A. Robbins, K. A. Rahn and J. W. Winchester, *Anal. Chem.*, **42**, (1970) 861.
- [4] W. H. Zoller and G. E. Gordon, 'INAA of Atmospheric Pollutants Utilizing Ge(Li) γ -ray Detector', *Anal. Chem.*, **42**, (1970) 257.
- [5] 정용삼, 문중화, 김선하, 박광원, 강상훈, 조승연, 중성자방사화분석법과 Gent SFU 샘플러를 이용한 도시와 농촌지역의 대기분진(PM_{2.5}/PM₁₀) 관측연구, 한국대기환경학회지, 16(5) 2000
- [6] IAEA Meeting Report, RCA/IAEA Project on Air Pollution and Its Trends, 1999
- [7] IAEA, 'Sampling and Analytical Methodologies for Instrumental Neutron Activation Analysis of Airborne Particulate Matter', Training Course Series No.4, IAEA-TCS-4, Vienna, 1992.
- [8] B. Mason ; *Principles of Geochemistry*, 3rd ed. 1966.

Table 1. Monthly Mass Concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of PM at Sampling Region

Date \ Site	DC	DF	KC	KF
1998. 11.	29.16	33.09	19.53	32.76
1998. 12	35.26	13.97	24.64	36.34
1999. 01	27.94	13.65	21.69	22.58
1999. 02	21.06	7.16	17.08	12.05
1999. 03	50.85	7.41	23.16	13.46
1999. 04	33.03	14.81	20.28	20.44
1999. 05	37.23	10.99	23.89	22.43
1999. 06	23.18	12.48	14.47	26.36
1999. 07	15.24	9.34	8.45	17.26
1999. 08	16.01	9.53	3.08	11.92
1999. 09	17.20	14.23	6.84	15.51
1999. 10	38.31	12.26	10.11	10.27
Mean	28.71	13.24	16.10	20.12

Table 2. Elemental Concentration (ng/m³) with Particle Size and Its Ratio

Elements	DC	DF	DF/DC	KC	KF	KF/KC	DC/KC	DF/KF
Al	934	134	0.14	606	171	0.28	1.54	0.78
As	1.90	1.58	0.83	1.29	2.92	2.26	1.47	0.54
Ba	22.5	7.60	0.34	11.2	5.33	0.48	2.01	1.43
Br	13.2	9.95	0.75	6.26	11.6	1.86	2.11	0.86
Ca	724	149	0.21	406	73.7	0.18	1.78	2.02
Ce	1.71	0.68	0.40	0.94	0.50	0.53	1.82	1.36
Cl	329	72.8	0.22	156	58.8	0.38	2.11	1.24
Co	0.80	0.33	0.41	0.16	0.18	1.14	5.00	1.83
Cr	23.1	6.15	0.27	9.53	4.61	0.48	2.42	1.33
Cu	43.4	12.2	0.28	10.7	13.0	1.21	4.06	0.94
Fe	102	167	0.16	405	155	0.38	0.25	1.08
Hg	2.42	2.32	0.96	1.77	2.71	1.53	1.37	0.86
I	1.14	1.29	1.13	0.80	1.68	2.09	1.43	0.77
In	0.15	0.07	0.45	0.03	0.06	1.67	5.00	1.17
K	497	212	0.43	254	317	1.25	1.96	0.67
La	0.71	0.12	0.16	0.38	0.15	0.39	1.87	0.80
Mn	29.9	11.1	0.37	9.66	8.27	0.86	3.10	1.34
Na	598	162	0.27	319	167	0.52	1.87	0.97
Sb	7.02	5.15	0.73	2.67	6.70	2.51	2.63	0.77
Sc	0.18	0.02	0.11	0.10	0.03	0.31	1.80	0.67
Se	2.87	1.01	0.35	0.81	1.33	1.65	3.54	0.76
Sm	2.93	0.33	0.11	2.93	0.57	0.19	1.00	0.58
Ti	73.8	16.9	0.23	45.9	17.6	0.38	1.61	0.96
V	5.98	2.96	0.50	1.73	2.29	1.32	3.46	1.29
Zn	76.5	53.5	0.70	21.2	40.5	1.90	3.61	1.32

Table 3. Enrichment Factor and Its Ratio with Sampling Site and Particle Size

Elements	DC	DF	DF/DC	KC	KF	KF/KC	DC/KC	DF/KF
Al	1.4	1.8	1.31	1.6	1.5	0.93	0.88	1.20
Ti	2.0	4.2	2.10	2.3	2.9	1.26	0.87	1.45
K	2.3	9.1	3.90	2.1	8.8	4.08	1.10	1.03
Ca	2.4	4.5	1.89	2.4	1.4	0.59	1.00	3.21
Fe	2.4	3.7	1.49	1.8	2.2	1.26	1.33	1.68
Na	2.5	6.3	2.48	2.5	4.2	1.72	1.00	1.50
La	2.8	4.3	1.50	2.8	3.5	1.26	1.00	1.23
Ce	3.4	12	3.65	3.4	6.0	1.73	1.00	2.00
Mn	3.8	12	3.39	2.2	6.3	2.80	1.73	1.90
Co	3.8	14	3.73	1.4	5.2	3.73	2.71	2.69
V	5.3	24	4.52	2.8	12	4.33	1.89	2.00
Ba	6.4	19	3.09	5.8	9.0	1.56	1.10	2.11
Cr	28	68	2.43	21	33	1.58	1.33	2.06
Sm	59	61	1.03	108	68	0.63	0.55	0.90
Cu	95	246	2.57	43	171	3.79	2.21	1.44
As	128	970	7.58	158	1174	7.41	0.81	0.83
Zn	132	846	6.38	67	418	6.23	1.97	2.02
In	179	738	4.11	73	403	5.46	2.45	1.83
I	277	2866	10.32	355	2432	6.84	0.78	1.18
Cl	307	620	3.02	266	327	1.23	1.15	1.90
Br	641	4408	6.87	553	3368	6.08	1.16	1.31
Hg	3680	32153	8.74	4900	24583	5.02	0.75	1.31
Sb	4263	28500	6.68	2956	24266	8.21	1.44	1.17
Se	6973	22387	3.21	3578	19341	5.41	1.95	1.16

Table 4. Correlation Coefficients between of Elements, Sc and PM (a) DC, (b) DF, (C) KC and (d)KF

	Sc	Al	Fe	k	La	As	Cr	Sb	Zn	PM ₁₀		Sc	Al	Fe	k	La	As	Cr	Sb	Zn	PM _{2.5}		
Sc	1.00										(a)	Sc	1.00										(b)
Al	0.93	1.00										Al	0.87	1.00									
Fe	0.92	0.90	1.00									Fe	0.77	0.59	1.00								
k	0.92	0.72	0.87	1.00								k	0.64	0.38	0.38	1.00							
La	0.98	0.69	0.90	0.96	1.00							La	0.76	0.27	0.29	0.63	1.00						
As	0.75	0.51	0.65	0.71	0.74	1.00						As	0.51	0.49	0.52	0.55	0.34	1.00					
Cr	0.46	0.03	0.73	0.47	0.49	0.29	1.00					Cr	0.13	0.28	0.36	0.01	0.14	0.17	1.00				
Sb	0.52	0.57	0.62	0.65	0.59	0.37	0.45	1.00				Sb	0.25	0.29	0.34	0.39	0.58	0.42	0.38	1.00			
Zn	0.61	0.24	0.83	0.67	0.67	0.42	0.85	0.65	1.00			Zn	0.46	0.44	0.76	0.41	0.17	0.48	0.27	0.37	1.00		
PM ₁₀	0.78	0.68	0.84	0.89	0.85	0.60	0.65	0.73	0.73	1.00		PM _{2.5}	0.40	0.35	0.38	0.70	0.20	0.76	0.05	0.39	0.45	1.00	

	Sc	Al	Fe	k	La	As	Cr	Sb	Zn	PM ₁₀		Sc	Al	Fe	k	La	As	Cr	Sb	Zn	PM _{2.5}		
Sc	1.00										(C)	Sc	1.00										(d)
Al	0.96	1.00										Al	0.94	1.00									
Fe	0.97	0.60	1.00									Fe	0.93	0.85	1.00								
k	0.91	0.57	0.87	1.00								k	0.48	0.40	0.52	1.00							
La	0.97	0.13	0.96	0.21	1.00							La	0.90	0.80	0.89	0.57	1.00						
As	0.60	0.24	0.61	0.44	0.57	1.00						As	-0.37	0.48	0.65	0.55	0.65	1.00					
Cr	-0.11	-0.04	-0.06	-0.06	-0.11	-0.14	1.00					Cr	0.52	-0.20	-0.21	-0.19	-0.14	-0.18	1.00				
Sb	0.36	0.21	0.48	0.50	0.09	0.24	0.14	1.00				Sb	-0.36	0.16	0.25	0.20	0.24	0.24	-0.22	1.00			
Zn	0.05	0.36	0.66	0.72	0.62	0.45	0.12	0.80	1.00			Zn	-0.33	0.25	0.49	0.68	0.50	0.59	-0.23	0.59	1.00		
PM ₁₀	0.88	0.54	0.89	0.86	0.35	0.57	-0.10	0.51	0.71	1.00		PM _{2.5}	0.32	0.34	0.43	0.74	0.47	0.63	-0.27	0.46	0.83	1.00	

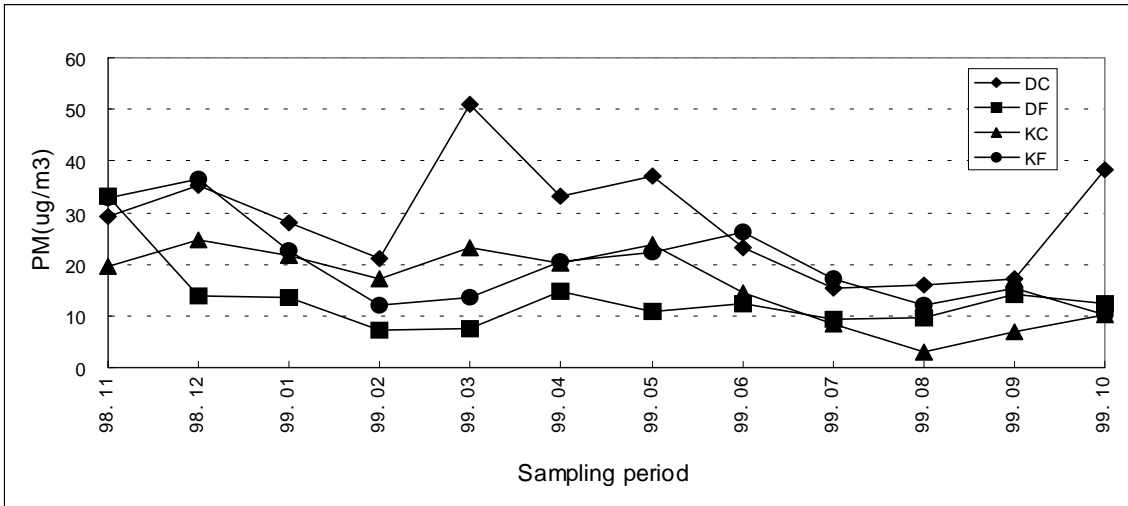


Figure 1. Monthly Variation of Mass Concentration of PM

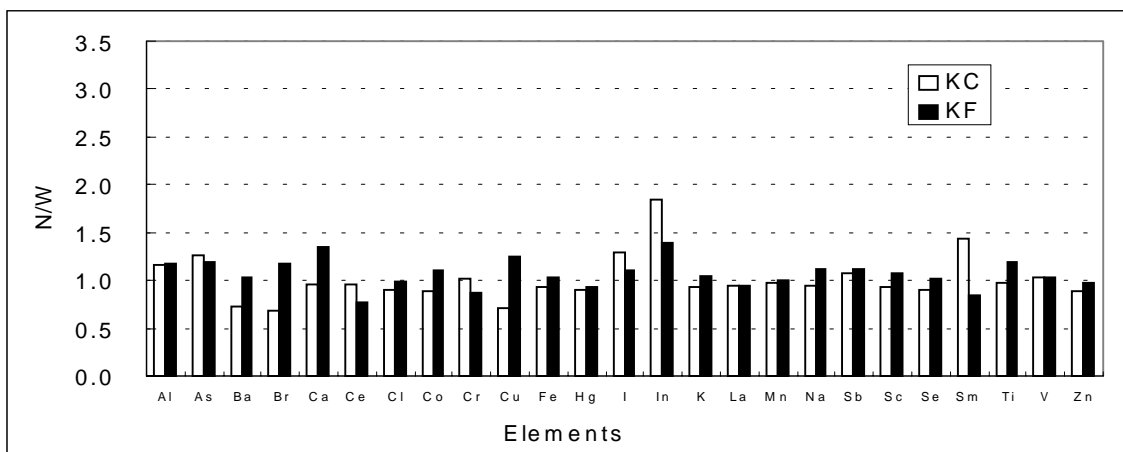
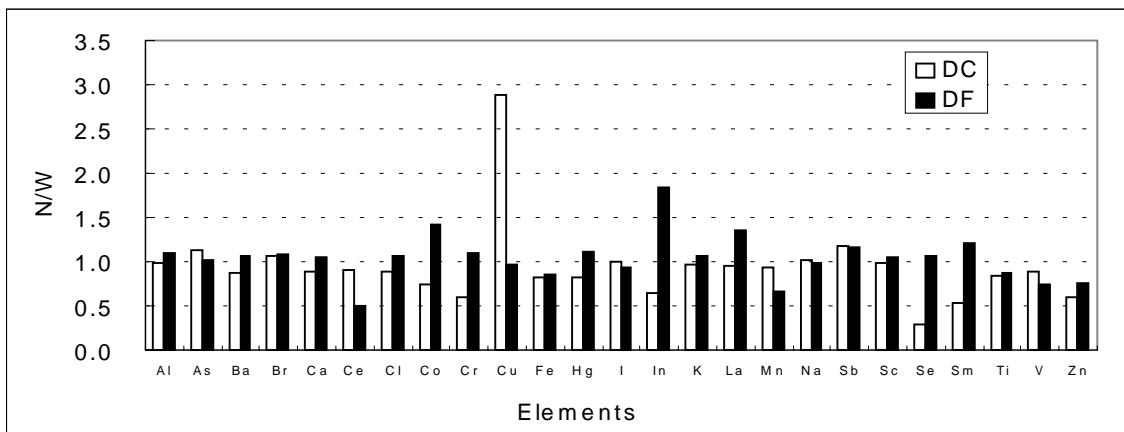


Figure 2. Ratio of Elemental Concentration between Non-Working Day(N) and Working day(W)

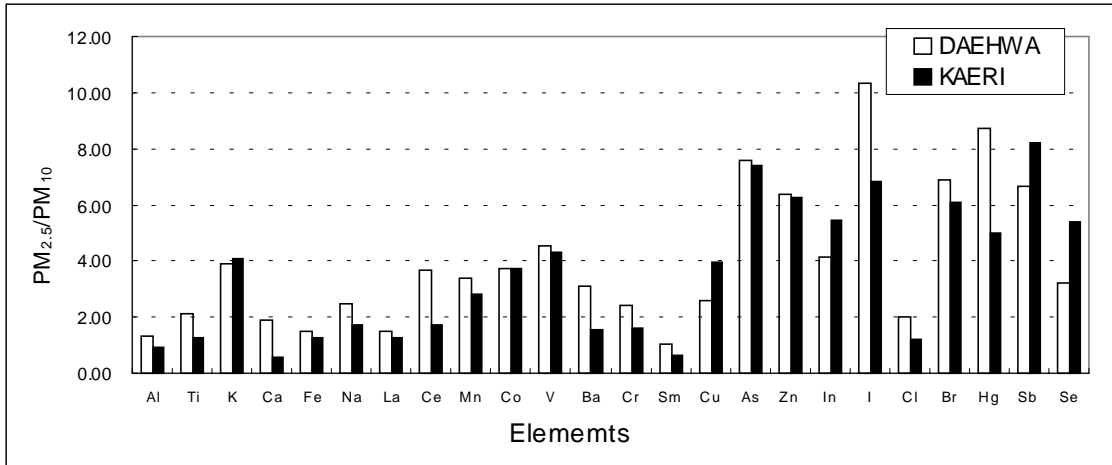


Figure 3. Ratio of ($PM_{2.5}/PM_{10}$) of Enrichment Factor

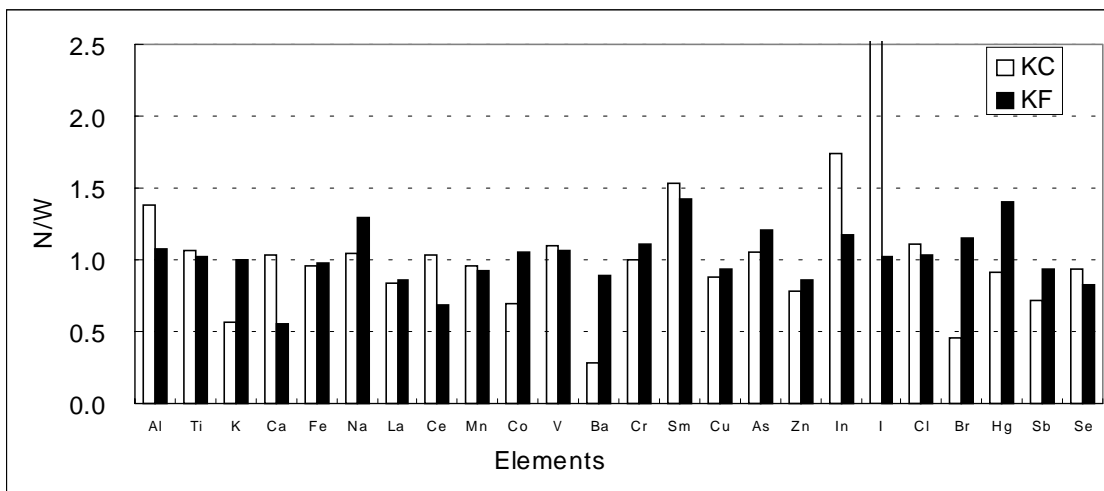
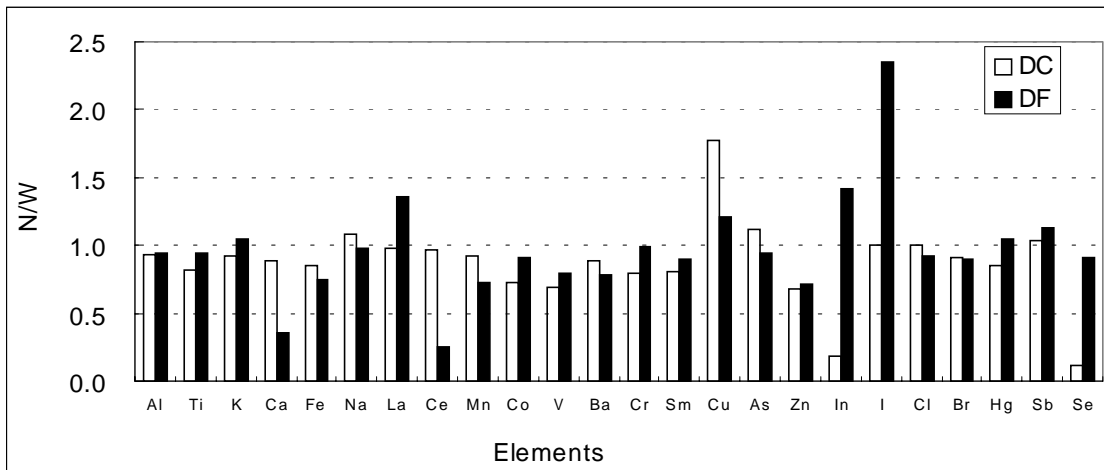
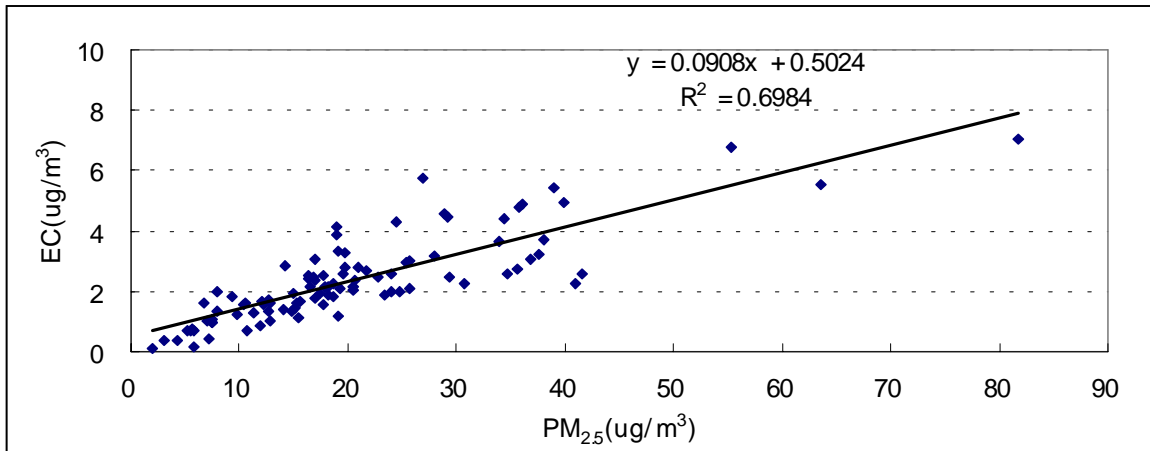
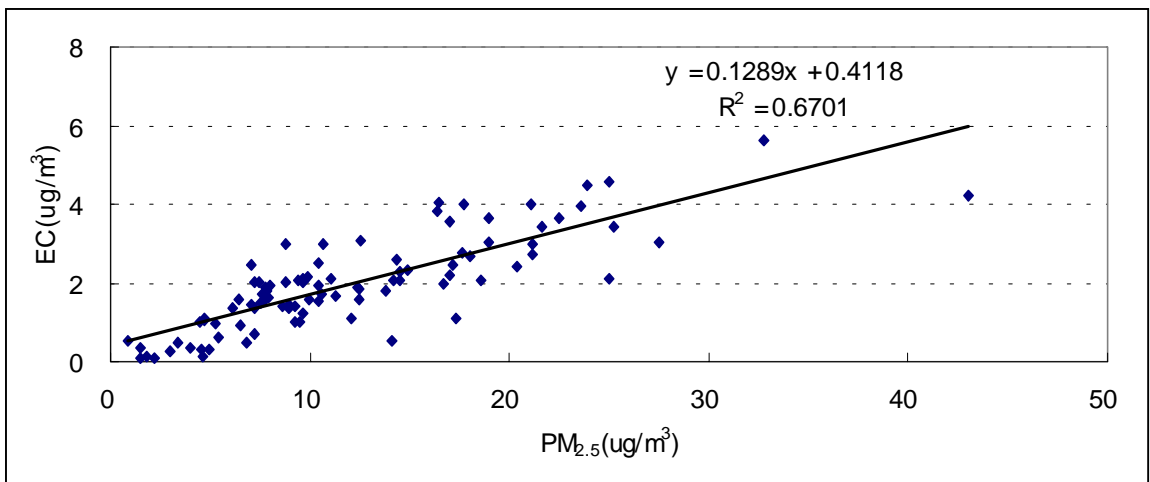


Figure 4. Ratio of Enrichment Factor between Non-working day(N) and Working day(W)



(a) Correlation between Elemental Carbon and PM_{2.5} at KAERI



(b) Correlation between Elemental Carbon and PM_{2.5} at Daehwa

Figure 5. Correlation between Elemental Carbon and PM_{2.5}