

바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의 조성특성

황 용 식* · 김 유 근 · 박 종 길* · 문 덕 환**
부산대학교 대기과학과 · 인제대학교 환경시스템학부
**인제대학교 의과대학 산업의학교실 및 산업의학연구소
(2002년 1월 4일 접수; 2002년 7월 5일 채택)

A study on bulk deposition flux of dustfall and insoluble components by the wind intensity in Busan, Korea

Yong-Sik Hwang*, Yoo-Keun Kim, Jong-Kil Park* and Deog-Hwan Moon**

Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea

*Dept. of Environmental Sciences, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

**Dept. of Industrial Medicine, College of Medicine and Institute of Industrial Medicine,
Inje University, Busan 614-735, Korea

(Manuscript received 4 January, 2002; accepted 5 July, 2002)

Weather elements were observed by the AWS (Automatic Weather System) and dustfall particles were collected by the modified American dust jar (wide inlet bottle type) at 4 sampling sites in Busan area from March, 1999 to February, 2000. Thirteen chemical species (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Si, and Zn) were analyzed by AAS and ICP.

The purposes of this study were to estimate qualitatively various bulk deposition flux of dustfall and insoluble components by applying regional and seasonal wind intensity. Frequency of wind speed were found in order of low(1-3m/s), very low(<1m/s), medium(3-8m/s) and high(>8m/s), and annual mean had higher range at low(1-3m/s) for 56.3%. Strong negative linear correlation were observed between dustfall and wind direction (northeastern and eastern), but strong positive linear correlation were observed between dustfall and wind direction (western and northwestern) at industrial, commercial and coastal zone($p < 0.05$). While a negative correlation were observed between wind speed frequency of very low(<1m/s) and dustfall, and positive correlation were observed between wind speed frequency of low(1-3m/s) and dustfall in coastal zone($p < 0.05$). The correlation coefficient was observed 0.556 between wind speed frequency of low(1-3m/s) and Ni by commercial zone($p < 0.05$). The correlation coefficient show well-defined insoluble trace metals (Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Pb, and Zn) and wind speed frequency of low(1-3m/s) at coastal zone, which was found significant difference($p < 0.01$).

Key words : dustfall, bulk deposition, insoluble components, wind intensity

1. 서 론

연안 지역을 중심으로 산업이 발달하고, 인구 증가, 교통량 증가 및 도시 구조물의 증가 등의 요인에 따라 점차 거대 도시가 형성됨으로서 도시열섬 및 대기오염 현상이 가중되어 심각한 사회·경제

문제로 대두되고 있는 실정이므로 많은 국가에서 다양한 연구가 진행되고 있다. Al-Momani 등¹⁾은 연안의 산업지역 인근에서 습성 및 건성 침적물을 통하여 대기 침적물의 화학적 조성을 연구하였으며, Zhang 등²⁾과 Wu 등³⁾은 에어로솔 입자 중 중금속 원소들의 건성 침적에 대한 연구를 실시하였다. 일반적으로 대기 중에 부유하는 오염물질들은 광화학 반응을 통하여 2차 오염물질이 생성되기도 하고, 기상인자에 의하여 확산 또는 수송되어 대기오염도가 감소하거나, 중력에 의하여 지표 부근에 침적되어

Corresponding Author : Yong-Sik Hwang, Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea
Phone : +82-51-583-2652
E-mail : iimhys@ijnrc.inje.ac.kr

제거된다. 특히, 건성 및 습성 침적되는 강하먼지는 단위 지역의 대기오염을 파악하거나, 타 지역과의 비교에 지표로 활용되고 있다. 강하먼지를 측정한다는 것은 일반적으로 특정한 오염원을 대상으로 하기보다는 일정한 지역에서 침강하는 대기침적물질의 평균적인 침적량을 측정하는 것으로서 그 지역의 대기오염도를 파악하는 간접적인 평가 인자로서 활용될 수 있는 비교적 간편한 방법이며, 건성과 습성 침적물을 동시에 포집할 수 있는 장점이 있다.⁴⁾ 강하먼지의 침적량은 지형적인 특성과 기상학적인 특성에 따라 지역별 차이가 존재한다. 김기현과 이강웅⁵⁾은 해수성 기원의 무기이온들의 시간적 변화 추이를 풍향, 풍속, 온도와 같은 기상인자들과 밀접한 관련성이 있음을 지적하였다. 특히, De Miguel⁶⁾은 도시형 오염원을 교통과 건축물의 건축, 풍화 그리고 부식에서 1차적으로 발생하고, 도시의 특성에 따라 먼지의 패턴이 다르다고 지적하였다. 대기오염 물질의 침적에 관한 연구는 기상인자들의 영향을 고려하여 파악해야 한다. Harrison 등⁷⁾은 도시 대기에서 상대습도, 기온 그리고 풍속과 같은 물리적인 특성을 고려하여 aerosol을 연구하였으며, 도시지역 대기 중 입자상 물질들의 수농도는 교통량에 많은 영향을 받으며 가장 분명한 지표임을 제시하였다.⁸⁾ 또한 Chester와 Bradshaw⁹⁾는 북해(North Sea)의 대기중에서 미량금속 농도의 분포를 결정하는 중요한 요인을 오염 배출원에 관련된 airflow의 방향이라고 하였으며, Krell과 Roecker¹⁰⁾는 대기로부터 미량 금속의 침적량을 결정하는 주요 인자로서 낮은 강수량임을 제시하였다. 그러나 바람의 특성에 따른 강하먼지 중 불용성 미량 원소들에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다.

따라서 선박 건조 및 수리업을 중심으로 기계기구, 도금업 등의 소규모 제조업 사업장으로 형성된 공업과 도로를 중심으로 상업이 발달한 연안도시인 동시에 도시 외곽으로 농업지역이 형성된 부산지역에서 바람의 강도에 따른 강하먼지의 조성 특성을 파악하기 위하여 공단지역, 상업지역, 해안지역 및 농업지역에서 풍향·풍속별 빈도와 강하먼지 중 불용성 미량 원소들의 침적량을 조사하고, 바람의 등급별 분포에 따른 이들 성분들과의 상관성을 조사하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 측정지점 및 기간

측정 지점은 Fig. 1과 같이 부산지역 내 4개 지점을 선정하였으며, 1999년 3월부터 2000년 2월까지 월별로 1년간 실시하였다. 또한 부산지역의 대표적

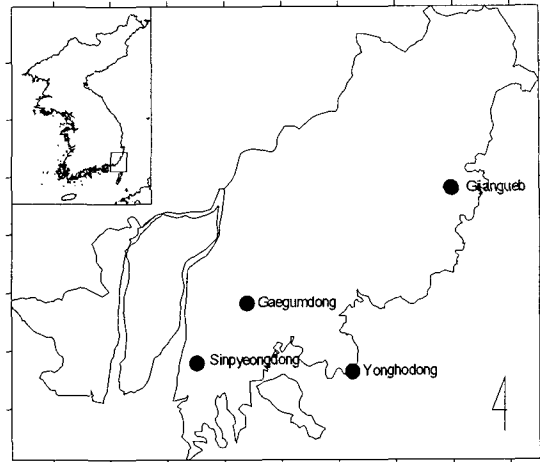


Fig. 1. Map of Busan area. The dustfall monitoring sites are marked as Sinpyeongdong, Gaegumdong, Yonghodong, and Gijangueb.

인 공단지역으로서 자동차 부품, 기계기구 및 도금업 등의 소규모 제조업 사업장으로 형성되었으며, 서쪽으로는 낙동강 하구가 있고, 남쪽으로는 바다가 연이어 있으며 북쪽에는 동매산(210m)과 동쪽에는 봉화산(150m)으로 둘러싸인 신평·장림 공단의 중심부에 위치한 신평동 지점(신평동 동사무소 3층 옥상)을 공단지역으로 하였다. 북쪽으로 백양산(641m)과 남쪽으로 엄광산(504m) 사이에 동서로 뻗은 가야로의 도로변에 위치한 교통량이 많은 개금동 지점(개금1동 사무소 3층 옥상)을 상업지역, 북쪽으로 장산봉(225m)과 동쪽, 남쪽 및 서쪽으로 바다에 둘러싸인 용호동 지점(오륙도 선착장에 인접한 3층 건물 옥상)을 해안지역, 그리고 서쪽으로 산성(368m)과 동쪽으로 동해바다가 있으며 남북으로 농업이 발달한 기장읍 지점(읍사무소 3층 옥상)을 농업지역으로서 4개 지역으로 구분하여 연구를 수행하였다.

2.2. 시료의 채취 및 분석방법

강하먼지의 포집을 위하여 사방이 개방된 3층 건물 옥상에 높이 1.5m인 철재 구조물에 증발과 재비산을 고려한 미국식 광구병형 dust jar를 설치하여 지상의 영향을 받지 않도록 하였으며,^{11,12)} 건성과 습성 강하물이 동시에 포집될 수 있도록 직경 10 cm인 3.6 l 들이 폴리에틸렌 병에 탈이온수 2.0 l 를 넣어 포집에 이용하였다. 채취된 시료는 Whatman (No.42) 여지를 105°C에서 2시간 건조¹³⁾하고 감도가 0.01 mg 인 전자저울(Sarorius microbalance, Germany)로 무게를 칭량한 후 여과하였다. 분리된 여액은 100 ml 폴리에틸렌 병에 담아 4°C의 냉암소에 보관한 후

바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의 조성특성

수용성 성분을 분석하였다. 또한 여지는 필터 전 조건과 동일하게 하여 여과 전·후의 중량차로서 강하먼지의 농도를 측정하였으며, 불용성 성분을 정량하기 위하여 표준 시험법^{11,14)}에 의거하여 습식 탄화법으로 전처리(비이커에 여지를 넣고, 질산 50v/v% 10 ml 가한 후 watch glass를 덮고, hot plate에서 일정량으로 탄화시킨 후 Whatman(No.5) 여지로 여과하여 0.5% 질산으로 25 ml의 용량을 맞추다)하였다.

강하먼지 중의 불용성 성분을 정량하기 위하여 ICP/AES(ICP-IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Si 그리고 Zn를 분석하였으며, AAS(Perkin Elmer 4100ZL, Flameless method)를 이용하여 Cd, Cr, Mn, Ni 그리고 Pb를 분석하였다.

2.3. 기상관측 및 자료 처리 방법

기상관측은 부산기상대 자료와 각 시료채취 지점에 설치된 AWS(Automatic Weather System)에서 연구기간 동안 지속적으로 수행하였다. 관측된 기상요소는 기온, 상대습도, 기압, 일사, 풍향과 풍속으로 매 10분 간격으로 저장하였으며, 바람의 강도를 파악하기 위하여 풍향은 N, NE, E, SE, S, SW, W 그리고 NW의 8 풍계로 구분하고, 풍속은 Loranger 등¹⁶⁾이 제시한 very low(<1%), low(1-3%), medium(3-8%) 그리고 high(>8%)의 4 등급으로 구분하여 월별 빈도율을 구하여 자료 분석에 이용하였다.

통계적인 해석은 SPSS (windows version 10.0)를 이용하였다. 기상요소와의 상관성을 파악하기 위하여 기상월보에서 기온과 상대습도는 월 평균치를 사용하고, 강수량, 증발량, 그리고 일조시간은 월별 총량을 사용하고, 풍속은 월 평균풍속을 이용하였으며, 강하먼지량과 불용성금속 성분들 간의 상관성을 조사하기 위하여 Pearson 상관계수를 구하고, 평균 차이 검정을 위하여 T-test의 양측검정을 수행하였다.¹⁵⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 풍향·풍속의 빈도분포

부산기상대 자료를 이용한 부산지역의 월별 기상은 Fig. 2와 같이 기온, 상대습도 및 강수량은 8월에 가장 높고, 증발량과 일조시간은 3월에 가장 많은 것으로 나타났다. 8풍계로 구분한 풍향의 빈도 분포는 북풍(N), 동풍(E), 북동풍(NE) 그리고 서풍(W) 순으로 각각 21.0%, 18.5%, 14.2% 및 12.2%로 관측되어 북풍 내지 동풍 계열의 바람이 우세하였으며, 남동풍이 가장 낮게 조사되었다. 또한 풍속의 빈도

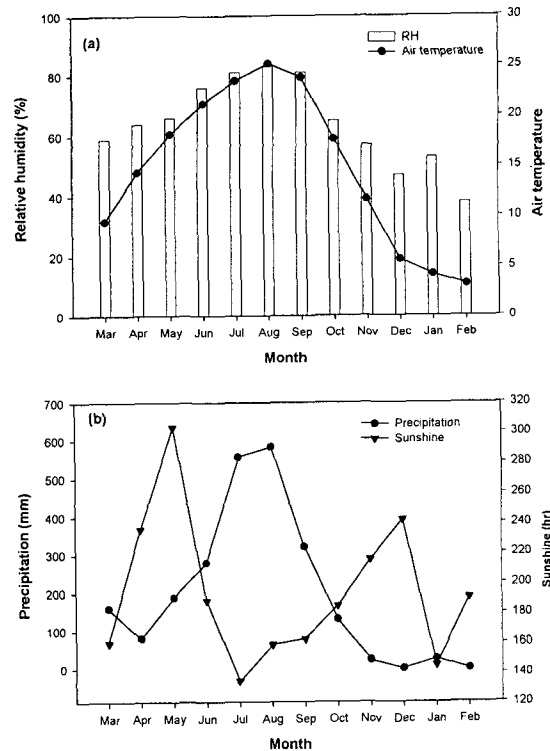


Fig. 2. Monthly distribution of (a) relative humidity (%) and air temperature(°C), and (b) precipitation(mm) and sunshine(hr) by using data of Busan local meteorological office from March, 1999 to February, 2000.

분포는 medium(3-8%), low(1-3%), very low(<1%) 그리고 high(>8%)의 바람 순으로 각각 56.8%, 32.1%, 6.9% 그리고 4.3%로 조사되었다(Fig. 3). 또한 16풍계를 이용한 바람장미에서는 Fig. 4와 같은 연구지역의 주풍 방향은 북동풍으로 나타났으나, 남서 계열의 바람이 다소 높은 풍속대의 분포를 보였다.

각 지역별 풍향·풍속의 빈도는 Table 1에 나타내었다. 공업지역의 풍향 빈도는 북동풍이 20.5%, 그리고 북풍(N)이 17.2%로서 북풍계열이 우세하게 관측되었다. 풍속의 빈도분포는 low(1-3%)가 57.8%이고, very low(<1%)가 38.1%이며, medium(3-8%)는 4.1%였으며, high(>8%)의 바람은 관측되지 않았다. 또한 평균풍속은 $1.36 \pm 0.82\text{m/s}$ 로 조사되었고, 최대풍속은 6.18m/s로 관측되었다.

상업지역의 풍향 빈도는 서풍, 남서풍, 동풍 그리고 북동풍의 순으로 각각 32.4%, 25.1%, 20.6% 및 9.1%로서 동풍계열보다는 서풍계열의 바람의 빈도가 높았다. 이는 관측지점이 서에서 동으로 길게 뻗

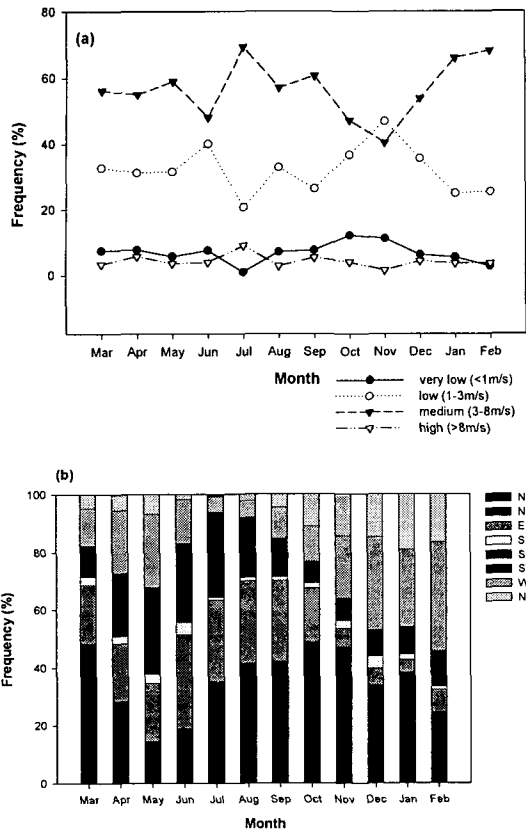


Fig. 3. Monthly mean frequency of (a) wind speed and (b) wind direction by using data of Busan local meteorological office from March, 1999 to February, 2000.

은 도로변에 위치하면서 도시 내에서 wind tunnel 현상을 보였다. 풍속의 빈도분포는 low(1-3m/s)의 바람이 65.1%이고, medium(3-8m/s)가 28.1%, very low(<1m/s)의 바람은 6.8%였으며, high(>8m/s)의 바람은 아주 낮은 빈도로서 조사되었다. 또한, 평균풍속은 2.48 ± 1.07 m/s 이고, 최대풍속은 9.07 m/s로 관측되었다.

해안지역에서의 풍향빈도는 북풍, 북서풍, 서풍, 그리고 남서풍의 순으로 각각 21.1%, 19.9%, 19.1% 및 15.0%로 조사되었으며, 남동풍은 1.4%로서 가장 낮았다. 풍속의 빈도분포는 low(1-3m/s), medium(3-8m/s), very low(<1m/s), 그리고 high(>8m/s)의 순으로 조사되었으며, 각각은 53.2%, 33.4%, 9.6% 및 3.7%로서 low(1-3m/s)의 바람의 가장 우세하게 나타났다. 또한 평균풍속은 3.02 ± 2.20 m/s 이며, 최대풍속은 19.2 m/s로서 다른 지역에 비하여 가장 높게 관측되었다.

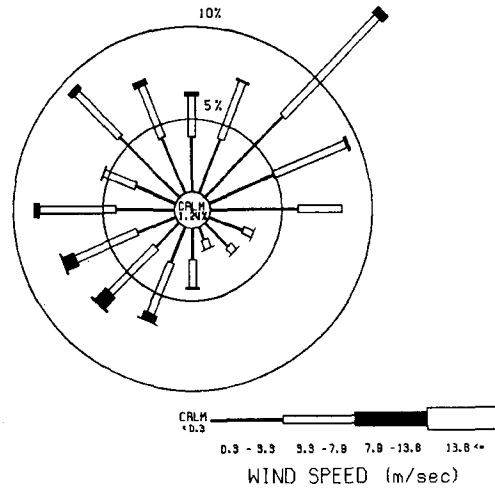


Fig. 4. Windrose of Busan from March, 1999 to February, 2000.

Table 1. Areal distribution of wind direction & wind speed frequency in Busan area

Wind	Industrial zone	Commercial zone	Coastal zone	Agricultural zone	Total
N**	17.2	1.3	21.1	13.3	13.2
NE**	20.5	9.1	11.0	18.7	14.8
E**	8.9	20.5	10.4	7.7	11.9
SE**	12.8	6.5	1.4	4.3	6.2
S**	8.5	1.5	2.0	26.5	9.6
SW**	13.1	25.1	15.0	10.7	16.0
W**	12.2	32.4	19.2	6.7	17.6
NW**	6.9	3.6	20.0	12.2	10.7
very low**	35.1	6.8	9.7	43.8	23.9
low**	57.8	65.1	53.2	49.0	56.3
medium*	4.1	28.1	33.4	7.2	18.2
high		0.0	3.7		2.8

Proportion of winds blowing toward the sampling site in the 8 wind direction: very low= <1%; low= 1-3%; medium= 3-8%; high= >8%.

*; p<0.05,

**; p<0.01

농업지역에서의 풍향별 빈도분포는 남풍, 북동풍, 북풍, 그리고 북서풍 순이었으며, 각각은 26.5%, 18.8%, 13.3% 및 12.1%로 관측되었으며, 남동풍의 경우 4.2%로서 가장 낮은 빈도를 보였다. 이는 관측 지점의 남동쪽에 위치한 해양의 영향보다는 연안 내륙의 영향을 다소 우세하게 받는 것으로 생각된다. 풍속의 빈도분포는 low(1-3m/s), very low(<1m/s) 그리고 medium(3-8m/s)의 순으로 조사되었으며, 각각은 49.0%, 43.8% 및 7.3%로 나타났다. 또한, high

바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의 조성특성

(>8%)의 바람은 전혀 관측되지 않았으며, 평균풍속은 $1.36 \pm 1.02\%$ 였으며, 최대풍속은 7.26%로 관측되었다.

따라서 연안도시인 부산에서 상업지역을 제외하면, 모든 지역에서 북풍계열의 바람이 우세하였으며, 풍속의 빈도분포는 low(1-3%)에서 상업지역, 공업지역, 해안지역 그리고 농업지역 순으로 높은 빈도를 보였으나, 부산 지방기상대 자료에서는 medium(3-8%)의 바람이 가장 높은 빈도를 보여 측정 지점에서의 바람자료와는 차이를 보였는데, 이는 지형적·공간적인 편차인 것으로 생각된다. 또한 지역별 평균풍속과 최대풍속은 해안지역, 상업지역, 농업지역 그리고 공업지역 순으로 관측되었다.

3.2. 불용성 성분의 월별분포

불용성 성분의 월별 평균농도는 Fig. 5와 같이 조사되었다. Cu와 Zn을 제외한 Al, Ca, Cd, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ni 그리고 Pb가 유의수준($p < 0.05$) 이상으로서 유의한 차이를 보였다. 4월에 가장 높게 나타난 성분은 Al(54.98kg/km²/month), Fe(134.17kg/km²/month), K(10.09kg/km²/month), Mg(19.66kg/km²/month),

Pb(8.36kg/km²/month), Zn(4.46kg/km²/month)으로 조사되었으며, 6월에 가장 높게 나타난 성분은 Si로서 48.36kg/km²/month였으며, 1월에 가장 높게 나타난 미량금속 성분은 Ca(29.78kg/km²/month), Cd(22.97kg/km²/month) 그리고 Ni(1.14kg/km²/month)로 조사되었다. 또한 2월에 고농도를 보인 것은 Cr(0.47kg/km²/month), Cu(1.03kg/km²/month) 그리고 Mn(2.08kg/km²/month)으로 나타났다. 3월에는 Cd(0.80kg/km²/month)으로 가장 낮게 나타났으며, 4월에는 Si가 3.55kg/km²/month로 가장 낮았고, 6월에는 Mn(0.06kg/km²/month), 7월에는 Pb가 0.19kg/km²/month로 가장 낮게 조사되었다. 강수량이 가장 높은 8월(582.9mm)에는 Al(5.11kg/km²/month), Ca(1.45kg/km²/month), Cu(0.11kg/km²/month), Fe(8.18kg/km²/month), K(0.70kg/km²/month), Mg(1.56kg/km²/month), Ni(0.02kg/km²/month) 그리고 Zn(0.26kg/km²/month)이 가장 낮게 나타났다.

따라서 Si를 제외한 불용성 미량 성분들은 강수량과 습도가 낮은 봄철(3-5월)과 겨울철(12-2월)에 고농도를 보였으며, Cd과 Si를 제외하면, 강수량과

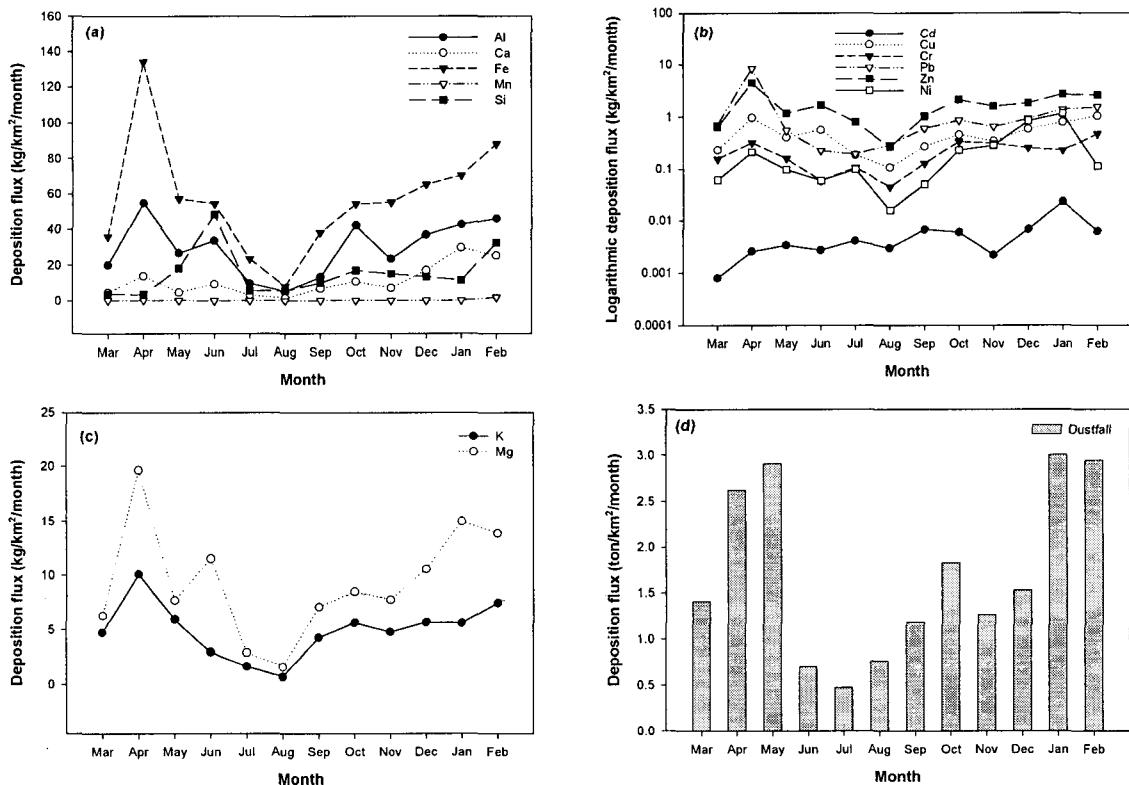


Fig. 5. Monthly distribution of (a) crustal source (Al, Ca, Fe, Mn, and Si), (b) anthropogenic source (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, and Ni), (c) sea water source (K and Mg) and (d) dustfall deposition fluxes in Busan area from March, 1999 to February, 2000.

습도가 높은 여름철(6-8월)에 가장 낮은 농도를 보였다. 특히 대기중에 수분이 증가하면 불용성 성분의 침적량이 감소하는데 이는 washout과 rainout에 의한 대기의 청정화에 기인한 것으로 생각된다.¹⁷⁾

3.3. 바람의 월별 · 계절별 빈도분포

월별 바람의 평균 빈도분포는 Fig. 6과 같이 조사되었다. 북동풍(NE), 동풍(E) 그리고 북서풍(NW)은 월별로 유의수준 $p < 0.05$ 이상으로서 유의한 차이가 있음을 보였으며, 북동풍(NE)은 7월(25.1%)로 가장 높았고 12월에 가장 낮게 나타났다. 동풍(E)의 경우에는 7월(21.8%)로서 가장 높게 조사되었으나, 북서풍(NW)은 7월(1.9%)이 가장 낮았고 12월(20.6%)이 가장 높게 나타났다. 풍속의 경우에는 월별로는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 따라서 북동풍(NE)과 동풍(E)은 7월, 8월 및 9월 순으로 높았으며, 풍속은 high(>8m/s)에서 7월(5.5%)에 가장 높은 빈도를 보였다. 또한 이기간에는 기온, 상대습도 및 강수량도 높게 나타나 북태평양 기단과 같은 해양성 기상환경

의 영향이 지배적인 것으로 생각된다.

계절별 바람의 빈도분포는 Table 2와 같이 나타났다. 봄철의 경우 남서 내지 서풍계열과 북동풍 내지 동풍계열이 우세하였다. 그리고 풍속은 low (1-3m/s)가 53.7%로 가장 높은 빈도를 보였다. 여름철의 경우 북동풍(NE), 동풍(E), 남서풍(SW)이 각각 21.3%, 18.7% 그리고 15.1%로서 우세하였으며, 겨울철에는 서풍(30.2%)과 북풍계열이 우세하였다. 특히 계절별로는 북동풍(NE), 동풍(E), 서풍(W) 그리고 북서풍(NW)이 유의수준($p < 0.01$) 이상으로 유의한 차이를 보였으며, 년 중 분포는 서풍(17.6%)이 가장 높은 빈도를 보였고, 남동풍(6.2%)이 가장 낮은 빈도를 보였다. 또한 풍속은 계절별로는 뚜렷한 차이를 보이지 않았지만 연간 평균 빈도는 low (56.3%) > very low(23.9%) > medium(18.2%) > high(2.8%)의 순으로 나타났다. 따라서 북동풍(NE), 동풍(E), 서풍(W)과 북서풍(NW)은 T-test 결과 유의 수준 $p < 0.05$ 로서 계절별로 유의한 차이를 보였으며, 여름철에는 북동풍(NE)과 동풍(E)이 우세하고, 겨울철에는 서풍(W)과 북서풍(NW)이 우세하였다.

3.4. 상관성조사

3.4.1. 풍향과 풍속

각 지역별 자료를 이용한 풍향 및 풍속간의 상관관계는 Table 3과 같이 조사되었다. 북풍은 북동풍과는 양의 상관을 그리고 동풍, 남서풍과 서풍은 음의 상관으로서 유의수준($p < 0.05$)이상으로 유의한 차이를 보였으며 북동풍은 남동풍과 남풍에서 양의 상관을 보였고, 남서풍, 서풍 그리고 북서풍과는 음

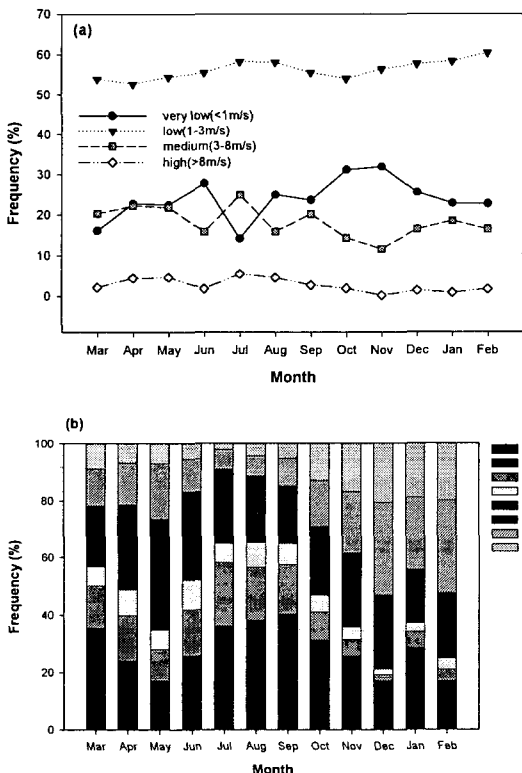


Fig. 6. Monthly mean frequency of (a) wind speed and (b) wind direction in Busan area from March, 1999 to February, 2000.

Table 2. Seasonal distribution of wind direction and wind speed mean frequency in Busan area

Wind	Spring	Summer	Fall	Winter	Annual
N	11.5	12.1	16.3	13.0	13.2
NE**	14.1	21.3	16.1	7.8	14.8
E**	13.9	18.7	11.0	4.0	11.9
SE	7.4	8.7	5.9	3.0	6.2
S	11.8	11.6	9.4	5.7	9.6
SW	18.3	15.1	13.9	16.6	16.0
W**	15.7	8.7	15.9	30.2	17.6
NW**	7.5	3.7	11.6	19.8	10.7
very low	20.5	22.3	28.9	23.7	23.9
low	53.7	57.3	55.3	58.8	56.3
medium	21.5	18.9	15.4	17.1	18.2
high	4.0	3.9	1.6	1.2	2.8

*, $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의 조성특성

의 상관관계로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 보였다.

특히, 1% 이하의 바람은 북동풍 및 남동풍에서 양의 상관관계를 보였으며, 동풍, 남서풍 및 서풍과는 음의 상관관계로서 유의수준($p < 0.01$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. low(1-3%)의 풍속에서는 북풍 및 남풍이 음의 상관관계를 보였으며, 서풍은 양의 상관관계로서 유의수준($p < 0.01$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. 또한 medium(3-8%)에서는 동풍, 남서풍 및 서풍과는 양의 상관관계를 보였으나, 북동풍, 남동풍 및 남풍과는 음의 상관관계로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로

유의한 차이를 보였다. 그리고 high(>8%)의 풍속과는 북동풍 및 남풍과 양의 상관관계를 보였고, 서풍과는 음의 상관관계로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. 풍속간에는 very low(<1%), low(1-3%) 및 medium(3-8%) 사이에서는 음의 상관관계를 보였으며, low(1-3%)와 high(>8%)는 음의 상관관계로서 유의수준($p < 0.01$) 이상으로 유의한 차이를 보였다.

3.4.2. 바람과 강하먼지 및 불용성 미량원소

바람과 강하먼지 및 불용성 성분들 간의 상관관계는 Table 4와 같다. 북동풍은 Dustfall, Al, Cr, K,

Table 3. Pearson's correlation coefficient between wind direction and wind speed in Busan area from March, 1999 to February, 2000

Wind	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	very low	low	medium
N	1.000										
NE	.371**	1.000									
E	-.323*	.127	1.000								
SE	-.252	.293*	.295*	1.000							
S	.005	.400**	-.248	.027	1.000						
SW	-.556**	-.453**	.094	-.033	-.377**	1.000					
W	-.501**	-.757**	-.161	-.266	-.568**	.579**	1.000				
NW	.282	-.511**	-.454**	-.442**	-.122	-.370**	.190	1.000			
very low	.261	.411**	-.386**	.242	.692**	-.440**	-.570**	.018	1.000		
low	-.465**	-.242	.209	.257	-.474**	.181	.547**	-.051	-.488**	1.000	
medium	-.100	-.407**	.346*	-.480**	-.537**	.440**	.423**	.018	-.847**	.059	1.000
high	.341	.584*	-.033	-.285	.611*	.313	-.505*	-.248	.155	-.729**	.390

*, $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

Table 4. Pearson's correlation coefficient between trace elements and wind in Busan area from March, 1999 to February, 2000

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	very low	low	medium	high
Dustfall	.128	-.330*	-.381*	.146	-.195	-.029	.318	.264	.033	.206	-.166	-.225
Al	.065	-.416**	-.370*	.121	-.198	-.038	.340*	.370*	.098	.165	-.197	-.420
Ca	.187	-.258	-.415**	-.031	-.207	-.306	.314*	.497**	.023	.210	-.132	-.272
Cd	.163	-.119	-.285	-.060	-.208	-.338*	.240	.422**	-.139	.294	.034	-.156
Cr	.020	-.352*	-.406**	.048	-.378*	.134	.532**	.226	-.053	.368*	-.128	-.393
Cu	.107	-.191	-.323*	.174	-.191	-.158	.278	.240	.069	.272	-.231	-.321
Fe	-.040	-.300	-.236	.351*	-.249	.094	.320*	.106	.056	.298	-.238	-.469
K	.118	-.449**	-.401**	.047	-.131	-.014	.314*	.359*	.063	.080	-.110	-.386
Mg	.193	-.301	-.332*	.139	-.249	-.089	.263	.305	.043	.144	-.121	-.381
Mn	.038	-.262	-.309*	-.102	-.161	-.038	.339*	.278	-.004	.213	-.116	-.128
Ni	-.001	-.366*	-.353*	-.171	-.143	-.088	.304	.547**	.012	.144	-.078	-.179
Pb	.035	-.133	-.116	.298	-.086	-.026	.066	.063	.061	.085	-.116	-.338
Si	-.110	-.381*	-.068	-.143	.066	.024	.161	.263	.026	.072	-.042	-.203
Zn	.112	-.104	-.274	.349*	-.174	-.147	.162	.154	.141	.230	-.296	-.375

*, $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

Ni 및 Si와 유의수준($p < 0.05$) 이상이고, 동풍은 Dustfall, Al, Ca, Cr, Cu, K, Mg, Mn 그리고 Ni과 유의수준($p < 0.05$) 이상이며, 남동풍은 Fe 및 Zn에서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 나타났다. 남풍과 Cr, 남서풍과 Cd 그리고 서풍은 Al, Ca, Cr, Fe, K 및 Mn 과 유의수준($p < 0.05$) 이상이었으며, 북서풍과는 Al, Cd, K 및 Ni에서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. 또한 low(1-3%)의 풍속과 Cr이 유의수준($p < 0.05$) 이상으로서 유의한 차이를 보였다.

따라서 북동풍 또는 동풍의 빈도가 증가할수록 Dustfall, Al, Ca, Cr, Cu, K, Mg, Mn, Ni 및 Si의 농도는 감소하였고, 서풍계열(남서풍, 서풍 그리고 북서풍)의 빈도가 증가할수록 Al, Ca, Cr, Fe, K, Mn 및 Ni의 농도는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 부산지역은 동남쪽으로 해안을 끼고 있는 지형학적인 특성으로 인하여 해풍보다는 육풍이 우세하면 강하먼지와 불용성 미량 원소들의 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

3.4.3. 지역별 강하먼지와 불용성 미량원소

지역별 강하먼지와 불용성 미량원소들 간의 상관관계는 Table 5와 같다. 공업지역에서는 Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Si 그리고 Zn은 유의수준($p < 0.05$) 이상에서 유의한 차이가 나타났으며, 상업지역에서는 Cd과 Pb가 유의수준($p < 0.05$) 이상에서 유의한 차이

Table 5. Areal distribution of Pearson's correlation coefficient between dustfall and trace elements in Busan from March, 1999 to February, 2000

Elements	Industrial zone	Commercial zone	Coastal zone	Agricultural zone
Al	0.810**	0.518	0.727**	0.571
Ca	0.520	0.491	0.897**	0.173
Cd	-0.291	0.622*	0.871**	0.086
Cr	0.686*	0.536	0.754**	0.237
Cu	0.821**	0.465	0.883**	0.009
Fe	0.823**	0.414	0.824**	0.613*
K	0.939**	0.538	0.854**	0.752**
Mg	0.794**	0.390	0.710*	0.520
Mn	0.485	0.490	0.692*	0.402
Ni	0.066	0.430	0.582*	-0.280
Pb	0.376	0.639*	0.883**	0.383
Si	0.696**	0.255	0.145	0.621*
Zn	0.659*	0.205	0.846**	-0.021

*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

를 보였다. 해안지역에서는 Si만 제외하면 대부분의 미량원소들 간에는 유의수준($p < 0.05$) 이상에서 유의한 차이가 나타났다. 또한, 농업지역에서는 Fe, K, 그리고 Si가 유의수준($p < 0.05$) 이상에서 유의한 차이를 보였다.

따라서 연안에 위치한 공업지역의 강하먼지는 토양 기원(Al, Fe, Si), 인위적 기원(Cr, Cu, Zn), 해양 기원(K, Mg)이 공존하였으며, 해안지역에서는 지각의 주성분인 Si를 제외한 다른 미량원소들 모두 강하먼지에 다량 포함되어 있음을 보였다.

3.4.4. 지역별 강하먼지와 바람

북동풍(NE) 및 동풍(E)과 강하먼지는 음의 상관으로 조사되었고, 서풍(W) 및 북서풍(NW)과 강하먼지는 양의 상관을 보였으며 공업지역, 상업지역 그리고 해안지역에서 유의수준 $p < 0.05$ 이상으로 유의한 차이를 나타내었다. 또한 해안지역에서 very low($< 1\%$)와 강하먼지는 음의 상관($r = -0.674$)을 보였고, low(1-3%)와는 양의 상관($r = 0.700$)으로 조사되어 유의수준($p < 0.05$)을 만족하였다. 농업지역에서의 강하먼지는 바람의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 또한 상업지역에서는 8% 이상의 풍속에서 음의 상관을 보였으며, 유의수준($p < 0.05$) 이상에서 유의한 차이를 보여 풍속이 8% 이상인 경우 그 빈도가 증가할수록 강하먼지의 침적량이 감소함을 보였다(Table 6).

따라서 해안지역에서는 very low($< 1\%$)의 빈도가 높을수록 강하먼지의 농도는 감소하고, low(1-3%)의 빈도가 높을수록 강하먼지의 농도는 증가하였으

Table 6. Areal distribution of Pearson's correlation coefficient between dustfall and wind in Busan from March, 1999 to February, 2000

Wind	Industrial zone	Commercial zone	Coastal zone	Agricultural zone
N	0.250	-0.151	-0.404	-0.513
NE	-0.900**	-0.693*	-0.768**	-0.397
E	-0.633*	-0.664*	-0.803**	0.274
SE	-0.482	-0.243	-0.434	0.515
S	0.035	-0.031	-0.693*	0.320
SW	0.441	0.500	-0.596*	0.370
W	0.947**	0.656*	0.830**	0.062
NW	0.781*	0.776**	0.644*	0.079
very low	0.163	-0.038	-0.674*	0.115
low	-0.145	0.360	0.700*	-0.348
medium	-0.179	-0.238	-0.313	0.202
high		-0.588*	-0.547	

*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

바람의 강도에 따른 강하먼지와 불용성 성분의 조성특성

며, 공업지역, 상업지역 및 해안지역에서의 강하먼지 농도는 북동풍(NE)과 동풍(E)이 우세하면 감소하고, 서풍(W)과 북서풍(NW)이 우세하면 증가하는 것으로 나타났다.

3.4.5. 지역별 불용성 미량원소와 바람

공업지역에서 바람과 불용성 미량원소들과의 상관관계는 Table 7과 같다. 서풍과 북풍계열에서는 Al, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn 그리고 Si와 양의 상관관계를 보였으며 유의수준($p < 0.05$) 이상으로서 유의한 차이를 보였다. 또한 북풍계열의 바람은 Ca와 Cr에서 양의 상관관계를 보였다. 그러나 북동풍, 동풍 그리고 남동풍 계열의 바람과 각 미량원소들과는 음의 상관관계를 보였다. 즉, 북동풍은 Al, Cu, Fe, K 그리고 Mg와 음의 상관관계를 보였으며, 동풍은 Al, Ca, Cr, Cu 및 Si와 음의 상관관계를, 남동풍은 Ca, Cr, Cu, Mn 그리고 Si와 음의 상관관계를 나타냈으며, 남풍은 Ca와 Mn에서 음의 상관관계를 보였으며, 풍속과 각 불용성 미량원소들과의 상관계수는 매우 낮게 조사되었다. 따라서, 공업지역에서 서풍계열과 북서풍계열에서는 강한 양의 상관관계를 보임으로서 관측지점의 남쪽과 동쪽에는 바다가 연이어 있으며 서쪽 내지 북서쪽에서 부는 바람의 빈도가 증가할수록 각 불용성 미량원소들의 농도가 증가하는 것으로 생각된다. 즉, 육풍의 빈도가 높을수록 불용성 성분들의 침적량은 증가하고 풍속에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

상업지역에서 바람과 불용성 성분들과의 상관관계는 Table 8과 같다. 남서풍(Cr, Ni), 서풍(Ca, Cr, K, Mn, Pb) 그리고 북서풍(Ca, Cr, K, Mn, Pb)과는

양의 상관관계를 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이가 나타났으나, 북동풍(NE)과 동풍(E) 계열에서 음의 상관관계를 보였다. 상업지역의 관측지점은 동서방향으로 큰 도로변에 위치함으로써 서풍 계열의 바람이 우세할수록 불용성미량원소들의 침적량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동풍계열의 바람이 우세할수록 불용성 미량원소들과는 강한 음의 상관관계를 보였다. 대부분의 풍속 등급과 불용성 미량원소들 간에는 음의 상관관계를 보였으나 유류 연소에서 기인되는 Ni의 경우 low(1-3%)에서 0.556의 상관계수로써 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 상업지역에서 Ni의 경우 풍속이 low(1-3%)이면서 남서풍(SW)일 때 가장 높은 침적량을 보였다.

해안지역에서 바람과 불용성성분들과의 상관관계는 Table 9와 같다. 서풍(W)과 북서풍(NW) 그리고 low(1-3%)의 풍속 대에서 양의 상관관계를 나타낸 것은 Mn과 Si를 제외한 불용성 미량원소들은 Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Ni, Pb, 그리고 Zn으로 조사되었다. 따라서 해안지역의 관측지점은 남쪽과 동쪽이 바다와 맞닿아 있으므로 남동풍 내지 동풍계열의 바람(해풍)이 우세하면 불용성 미량원소의 침적량이 감소하고, 서풍 내지 북서풍계열의 바람(육풍)이 증가할수록 불용성 미량원소의 침적량은 증가하는 것으로 나타났다. 그러므로 해안지역에서의 불용성 미량원소의 침적량은 low(1-3%)에서 침적이 가장 잘 일어나는 것으로 나타났다.

농업지역에서 바람과 불용성성분들과의 상관관계는 Table 10과 같다. 동쪽, 남쪽 및 북동쪽으로 해안이 위치한 연안성 농업지역으로서 불용성 미량원

Table 7. Pearson's correlation coefficient between trace elements and wind in industrial zone from March, 1999 to February, 2000

Wind	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Zn
N	.436	.677*	.146	.705*	.495	.194	.202	.355	.466	.596	-.201	.538	.276
NE	-.664*	-.187	.474	-.408	-.633	-.786**	-.887**	-.667*	-.218	.011	-.527	-.488	-.588
E	-.624*	-.699*	.083	-.752*	-.683*	-.482	-.545	-.609	-.543	-.311	.003	-.717*	-.426
SE	-.498	-.754*	-.026	-.857**	-.660*	-.356	-.368	-.469	-.730*	-.402	.205	-.809**	-.284
S	-.029	-.637*	-.458	-.489	-.231	.179	.185	.011	-.741*	.058	.515	-.442	.118
SW	.054	-.408	-.366	-.219	-.001	.289	.395	.087	-.233	-.412	.256	-.022	.059
W	.781*	.642	-.339	.763*	.879**	.813**	.877**	.819**	.697*	.002	.364	.841**	.620
NW	.722*	.820**	-.136	.908**	.873**	.648*	.685*	.726*	.847**	.162	.113	.913**	.523
very low	.229	.112	-.231	.182	.124	.072	.143	.166	-.175	.471	-.059	.194	.124
low	-.233	-.008	.253	-.074	-.075	-.105	-.171	-.177	.331	-.480	-.067	-.051	-.174
medium	-.159	-.403	.089	-.465	-.245	.041	-.022	-.093	-.357	-.312	.421	-.574	.055
high													

*; $p < 0.05$,

**; $p < 0.01$

Table 8. Pearson's correlation coefficient between trace elements and wind in commercial zone from March, 1999 to February, 2000

Wind	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Zn
N	.300	-.094	-.269	-.536	.247	.076	-.208	.335	-.424	-.135	-.289	.625*	.349
NE	-.543	-.647*	-.456	-.773**	-.578*	-.647*	-.516	-.456	-.608*	-.492	-.557*	-.201	-.472
E	-.522	-.572*	-.263	-.876**	-.436	-.529	-.620*	-.435	-.572*	-.677*	-.614*	-.056	-.386
SE	.042	-.216	-.161	-.679*	.078	-.011	-.267	.131	-.430	-.442	-.272	.393	.118
S	.048	-.252	.037	-.742**	.056	-.155	-.262	.112	-.494	-.343	-.205	.377	-.007
SW	.427	.433	.228	.874**	.356	.487	.537	.326	.456	.718**	.500	-.028	.382
W	.428	.601*	.318	.874**	.388	.466	.561*	.335	.660*	.564*	.593*	-.018	.279
NW	.428	.612*	.475	.600*	.420	.488	.564*	.423	.583*	.436	.602*	.155	.282
very low	.326	-.212	-.190	-.117	.189	.235	.093	.315	-.425	.310	-.057	.380	.426
low	.069	-.341	.398	-.008	-.007	.038	-.061	-.064	-.306	.556*	-.191	.360	.219
medium	-.178	.319	-.202	.050	-.071	-.120	.005	-.081	.378	-.511	.155	-.402	-.322
high	-.140	-.147	-.451	-.491	-.112	-.284	-.431	-.096	-.296	-.390	-.484	.120	-.071

*, p<0.05, **; p<0.01

Table 9. Pearson's correlation coefficient between trace elements and wind in coastal zone from March, 1999 to February, 2000

Wind	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Zn
N	-.475	-.511	-.206	-.411	-.587*	-.516	-.243	-.312	-.444	-.325	-.259	-.131	-.565
NE	-.733**	-.758**	-.611*	-.872**	-.735**	-.794**	-.770**	-.603*	-.517	-.561*	-.772**	-.192	-.822**
E	-.718**	-.820**	-.710*	-.806**	-.743**	-.797**	-.745**	-.624*	-.450	-.688*	-.740**	-.081	-.854**
SE	-.329	-.536	-.548*	-.295	-.268	-.410	-.289	-.234	.144	-.839**	-.226	.523	-.503
S	-.577*	-.798**	-.833**	-.581*	-.625*	-.673*	-.561*	-.569*	-.250	-.822**	-.592*	.053	-.775**
SW	-.624*	-.639*	-.668*	-.709*	-.552*	-.657*	-.686*	-.597*	-.295	-.529	-.732**	-.279	-.673*
W	.747**	.887**	.665*	.753**	.890**	.833**	.697*	.680*	.615*	.614*	.697*	.207	.913**
NW	.731**	.703*	.612*	.845**	.627*	.770**	.691*	.556*	.352	.630*	.730**	.180	.781**
very low	-.299	-.587*	-.663*	-.493	-.496	-.429	-.461	-.168	-.446	-.521	-.536	.371	-.508
low	.805**	.800**	.661*	.833**	.802**	.836**	.659*	.654*	.545	.560*	.797**	.423	.867**
medium	-.675*	-.519	-.320	-.574*	-.590*	-.635*	-.340	-.544	-.362	-.297	-.504	-.674*	-.634*
high	-.559*	-.503	-.422	-.624*	-.469	-.570*	-.657*	-.562*	-.258	-.353	-.607*	-.281	-.561*

*, p<0.05, **; p<0.01

Table 10. Pearson's correlation coefficient between trace elements and wind in agricultural zone from March, 1999 to February, 2000

Wind	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Zn
N	-.514	-.486	.326	-.122	-.153	-.733*	-.631*	-.700*	-.289	-.356	-.329	-.634*	-.167
NE	-.819**	-.573	.616*	-.624*	.010	-.928**	-.747**	-.835**	-.596*	-.505	-.780**	-.766**	-.059
E	-.110	-.017	.643*	-.364	.440	-.309	-.115	-.124	-.209	-.801**	-.361	-.024	.428
SE	.661*	.898**	-.102	.242	.628*	.649*	.524	.788**	.670*	-.294	.576	.862**	.536
S	-.169	-.025	.474	-.509	.398	-.135	.005	.027	-.540	-.403	-.589*	-.069	.545
SW	.515	.203	-.502	.334	-.259	.718*	.626*	.542	.382	.724*	.516	.511	-.320
W	.618*	.396	-.709*	.679*	-.236	.739*	.536	.593*	.589*	.678*	.788**	.519	-.199
NW	.681*	.488	-.753**	.735*	-.193	.752**	.509	.604*	.740*	.563	.886**	.600*	-.205
very low	.618*	.220	-.357	.831**	-.074	.485	.395	.454	.266	.134	.629*	.297	.205
low	-.686*	-.206	.234	-.695*	-.036	-.514	-.469	-.509	-.131	.024	-.476	-.372	-.354
medium	-.370	-.179	.413	-.770**	.189	-.321	-.200	-.268	-.358	-.297	-.646*	-.128	.033
high													

*, p<0.05, **; p<0.01

소들 중에서는 Cd, Cu 그리고 Zn을 제외하면 서풍계열(SW, W, NW)의 바람에서는 양의 상관관을 보였다. Cd의 경우에는 서풍(W) 및 북서풍(NW)과는 음의 상관관으로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 나타났으며, 북동풍(NE)과 동풍(E)에서는 양의 상관관으로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 Cd은 내륙의 영향보다는 해양의 영향이 큰 것으로 생각된다. Harrison 등¹⁸⁾의 연구에서도 금속성분의 침적이 연안지역에서 과대하게 평가됨을 보고한바 있다. 또한 Al, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb 그리고 Si는 서풍계열(SW, W, NW)과는 양의 상관관을 보였으며, 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 나타났으며 북동풍(NE)과는 음의 상관관으로서 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 나타나 대조를 이뤘다. 즉, 이들 원소들은 서풍계열의 바람이 우세하면 침적량이 증가하고, 북동풍(NE)계열의 바람이 우세하면 감소하는 것으로 조사되었다. 특히 해안으로부터 불어오는 남동풍이 우세하면 토양기원인 Al, Fe 그리고 Si 뿐만아니라 해양기원인 Mg 및 인위적 기원(유류 연소)인 Cu와 토사 및 도로먼지 기원인 Mn의 침적량도 증가하는 것으로 조사되어 연안 내륙의 농업지역의 특성을 보여 주었다. 농업지역에서 불용성 미량원소와 풍속과의 관계에서는 Cd과 Cu를 제외한 모든 성분에서 very low(<1%)의 바람과는 양의 상관성을 보였으나 다른 풍속 등급에서는 음의 상관관을 보였고, high(>8%)의 바람은 조사되지 않았다. 특히, Al($r=0.618$), Cr($r=0.831$) 그리고 Pb($r=0.629$)와 very low(<1%)의 풍속은 유의수준($p < 0.05$) 이상으로 유의한 차이를 나타내었다. 따라서 대표적인 토양기원 성분인 Al은 풍속이 very low(<1%)이고, 서풍(W), 북서풍(NW) 및 남동풍(SE)일 때 가장 많은 침적량을 보였으며, 산업활동으로부터 기인된 Cr과 Pb는 very low(<1%)의 바람이 우세할수록 서풍(W) 및 북서풍(NW) 계열의 빈도가 증가할수록 높은 침적량을 보였다.

4. 결 론

연안도시인 부산에서 상업지역을 제외하면, 모든 지역에서 북풍계열의 바람이 우세하였으며, 풍속의 빈도분포는 low(1-3%)에서 상업지역, 공업지역, 해안지역 그리고 농업지역 순으로 높은 빈도를 보였으나, 부산 지방기상대 자료에서는 medium(3-8%)의 바람이 가장 높은 빈도를 보여 측정 지점에서의 바람자료와는 차이를 보였는데, 이는 지형적·공간적인 편차인 것으로 생각된다. 또한 지역별 평균풍속과 최대풍속은 해안지역, 상업지역, 농업지역 그리고 공업지역 순으로 관측되어 공업지역의 경우

국지적인 영향이 높을 것으로 생각되며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 북동풍(NE)과 동풍(E) 그리고 북서풍은 유의수준 $p < 0.05$ 로서 월별로 유의한 차이가 나타났으며, 풍속의 빈도는 low(1-3%), very low (<1%), medium(3-8%) 그리고 high(>8%)의 순으로서 low(1-3%)에서는 연평균 56.3%로 가장 높았다.
- 2) 계절별 분포에서 북동풍(NE), 동풍(E), 서풍(W) 및 북서풍(NW)은 T-test 결과 유의수준 $p < 0.05$ 로서 유의한 차이를 보였으며, 여름철에는 북동풍(NE)과 동풍(E)이 우세하였고, 겨울철에는 서풍(W)과 북서풍(NW)이 우세하였다.
- 3) 공업지역, 상업지역, 그리고 해안지역에서 강하먼지와 바람은 북동풍(NE)과 동풍(E)이 음의 상관, 서풍(W)과 북서풍(NW)이 양의 상관으로 유의수준 $p < 0.05$ 이상이 조사되었고, 해안지역에서 very low(<1%)와는 음의 상관, low (1-3%)와는 양의 상관으로 유의수준 $p < 0.05$ 로서 유의한 차이를 보였다.
- 4) 공업지역에서 미량원소와 바람사이의 상관성 조사는 풍향과는 높은 상관성을 나타냈으나, 풍속과는 상관성이 매우 낮았다. 상업지역에서는 풍속 low(1-3%)와 Ni이 상관계수 0.556으로 유의확률 $p < 0.05$ 로서 유의한 차이를 보였으나, 다른 미량원소들은 상관성이 낮았다. 해안지역에서는 풍향과 풍속이 각 미량금속들과 높은 상관성을 보였으며, low(1-3%)에서 Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn과는 유의수준 $p < 0.01$ 로서 유의한 차이가 있음을 보였다. 농업지역에서는 동풍계열과 서풍계열에서 높은 상관성을 보였으며, Al은 very low(<1%)와 low(1-3%)에서, Cr은 very low(<1%), low(1-3%), medium (3-8%) 그리고 Pb는 very low(<1%)와 medium(3-8%)에서 유의수준 $p < 0.05$ 로서 유의한 차이가 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Al-Momani, I.F., O.Y. Ataman, M.A. Anwari, S. Tuncel, C. Kose, and G. Tuncel, 1995, Chemical composition of precipitation near an industrial area at Izmir, Turkey, Atmospheric Environment, 29(10), 1131-1143.
- 2) Zhang, X., R. Arimoto, Z. An, T. Chen, G. Zhang, G. Zhu, and X. Wang, 1993, Atmospheric trace elements over source regions for Chinese dust: Concentrations, sources and at-

- mospheric deposition on the loess plateau, *Atmospheric Environment*, 17A(13), 2051-2067.
- 3) Wu, Z.Y., M. Han, Z.C. Lin, and J.M. Ondov, 1994, CBAD Study, Year 1 : Sources and Dry deposition of selected elements in Aerosol particles, *Atmospheric Environment*, 28(8), 1471-1486.
 - 4) 최재천, 김 산, 이민영, 이선기, 1995, 제주도와 울릉도의 강하분진 중 수용성 성분에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 11(4), 331-337.
 - 5) 김기현, 이강웅, 1998, 해양환경의 에어로졸 화학 - 농도와 함량비를 이용한 이온성분간의 관계에 대한 추론, *한국대기보전학회지*, 14(2), 143-152.
 - 6) De Miguel, E., J. F. Llamas, Enrique, Chacon, Torunn Berg, Steinar Larssen, Oddvar Royset, and Marit Vadset, 1997, Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust; Unleaded petrol and urban lead, *Atmospheric Environment*, 31(17), 2733-2740.
 - 7) Harrison, R.M., J.P. Shi, and M.R. Jones, 1999, Continuous measurements of aerosol physical properties in the urban atmosphere, *Atmospheric Environment*, 33, 1037-1047.
 - 8) Harrison, R.M., M. Jones, and G. Collins, 1999, Measurements of the physical properties of particles in the urban atmosphere, *Atmospheric Environment*, 33, 309-321.
 - 9) Chester, R. and G.F. Bradshaw, 1991, Source control on the distribution of particulate trace metals in the North Sea atmosphere, *Marine Pollut. Bull.*, 22, 30-36.
 - 10) Krell, U. and E. Roecker, 1988, Model simulation of the atmospheric inputs of lead and cadmium into the North Sea, *Atmospheric Environment*, 22, 375-381.
 - 11) Lodge, J.P., 1989, *Methods of Air Sampling and Analysis*, 3rd ed., Lewis Publishers, New York, 440-445pp.
 - 12) Vallack, H.W. and D.E. Shillito, 1998, Suggested guidelines for deposited ambient dust, *Atmospheric Environment*, 32(16), 2737-2744.
 - 13) 강병욱, 강공연, 김민영, 1992, 서울시 강하분진 중 수용성 성분의 강하량, *한국대기보전학회지*, 8(4), 240-246.
 - 14) Franson, M.A. *et al.*, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater "Preliminary treatment of samples, 3030 E. Nitric acid digestion", 18th ed., American Public Health Association, Washington.
 - 15) 정충영, 최이규, 1998, SPSSWIN을 이용한 통계 분석, 제3판, 무역경영사, 서울, 518pp.
 - 16) Loranger S., M. Tetrault, G. Kenned, and J. Zayed, 1996, Manganese and other trace elements in urban snow near an expressway, *Environmental Pollution*, 2, 203-211.
 - 17) 김유근, 박종길, 문덕환, 황용식, 2001, 부산지역 강하먼지와 불용성 성분의 침적량에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 10(3), 209-216.
 - 18) Harrison, S.J., J.A. Vale, and C.D. Watts, 1993, The estimation of aerial inputs of metals to estuarine waters from point pattern data using an isoplething technique: Severn Estuary, U.K, *Atmospheric Environment*, 27A(15), 2365-2373.