

# 서해 도시지역 군산의 강하분진 및 금속원소 침착량 연구

## Study of Deposition Flux of Dustfall and Metallic Elements in Western Coastal City, Kunsan, Korea

김 성 천

군산대학교 해양환경공학과

(1999년 2월 15일 접수, 1999년 5월 2일 채택)

Seong Cheon Kim

*Department of Marine Environmental Engineering, Kunsan National University*

(Received 15 February 1999; accepted 2 May 1999)

### Abstract

The purpose of this experimental study is to investigate seasonal deposition flux variations of the total dustfall and various inorganic elements in it. Total of 84 dustfall samples were collected from September, 1997 thru August, 1998 at 7 different sites in Kunsan. Each sample was analyzed by an AAS to determine the levels of 5 inorganic elements: Zn, Cd, Cr, Fe and Pb. Deposition fluxes, soluble/total fractions for each element were extensively investigated. Estimated deposition fluxes of dustfall and elements in Kunsan were in the range of 37.5 ~ 45.1 ton/km<sup>2</sup>/yr for dustfall, 43.5 ~ 81.8 kg/km<sup>2</sup>/yr for Zn, 6.6 ~ 11.0 kg/km<sup>2</sup>/yr for Cd, 44.8 ~ 110.0 kg/km<sup>2</sup>/yr for Cr, 223 ~ 323 kg/km<sup>2</sup>/yr for Fe, 10.9 ~ 22.3 kg/km<sup>2</sup>/yr for Pb, respectively. Thus, the estimated average total deposition fluxes of dustfall in Kunsan (376.35 km<sup>2</sup>) per day were 43.3 ton and 58.6 kg for Zn, 8.9 kg for Cd, 80.6 kg for Cr, 293.8 kg for Fe and 14.1 kg for Pb, respectively.

**Key words** : deposition flux, dustfall, inorganic element, soluble/total fraction, AAS

## 1. 서 론

산업발전의 부산물이라 할 수 있는 환경오염은 공해방지에 대한 관심과 노력에도 불구하고 심각한 정도에 이르고 있다. 분진은 6개 기준 대기오염물질 중 하나로써 지난 십수년 동안 물리적, 화학적 특성 중 하나로써 지난 십수년 동안 물리적, 화학적 특성에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. 분진의 오염정도는 매우 심각하여 극히 일부 도시를 제외하고는 환경 기준치를 넘나들고 있다. 특히 불특정 오염원

에서 배출된 먼지 (fugitive dust)의 제어는 국가의 현안과제 중 하나가 되고 있다. 군산시는 면적이 376.35 km<sup>2</sup>로 주변에 위치한 국가공단과 향후 새만금 개발사업으로 인한 대기오염 문제가 점차 심화될 것으로 예상되며, 중국에서 유입되는 분진 및 중금속은 여러 인자에 의해 그 피해 정도가 다르게 나타날 것으로 예상되는 지역이다. 분진은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 즉, 공기 중에 부유하고 입경이 작은 부유분진과 입경이 크고 자연상태로 지상에 낙하하는 강하분진이 있다. 보통 분진의 크기는

0.001~500  $\mu\text{m}$  정도이며, 보통 100  $\mu\text{m}$  미만의 경우 TSP라하며, 10  $\mu\text{m}$  이하일 경우를 PM-10이라 한다. 그리고 강하분진은 부유분진이 모두 포함되지만 일반적으로 100  $\mu\text{m}$  이상을 의미한다. 대기 중 입자상 물질의 소멸과 지표면으로의 침착은 두가지 기본 경로로 이루어 진다. 첫째, 강수없이 진행되며, 중력, 침강, 확산과정에 의해 직접 지면으로 이동하는 건식침착이 있고, 둘째, 대기 중 오염물질이 강우, 안개, 응축 등에 의해 표면으로 이동되는 습식침착이 있다.

본 연구는 군산지역을 대상으로 7개 장소에서 영국식 침착포집기를 이용한 강하분진을 포집하고, AAS를 이용한 화학분석을 통해 강하분진의 중금속 함량을 정량화하여 서해안 지역의 대기오염 자료를 축적하려 한다. 지금까지 미진했던 서해안 공업도시의 지역별 농도분석을 통해 분진 및 중금속의 침착 과정과 화학적 분석을 한다는 것은 지역의 면오염원을 파악하고, 오염양에 따른 인체 및 동식물의 피해 정도를 예측하며, 인접국가에서 유입되는 오염물질의 양을 파악하여 향후 국가간의 환경분쟁시 능동적으로 대처할 수 있다는 의미에서 대단히 중요한 일이다. 본 연구는 대기 중 강하분진의 월별, 계절별 농도 변화의 추이를 조사하여 분진 및 중금속의 침착량을 정량적으로 규명하고, 지역의 공기질을 파악하는데 있다. 본 강하분진의 침착연구는 지역별 및 계절별로 침착량을 예측하여 정량화할 수 있으며, 인간과 생태계에 미치는 영향을 비롯하여, 각종 대기오염 연구의 기초자료로 이용될 것으로 기대된다. 또한, 궤적모델(trajecctory model)을 통해, 중국, 몽고, 러시아, 일본 등 주변국가들로부터 장거리 운송되는 오염물질의 양을 추정하는데 기본적인 자료를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 대기 중 강하분진을 포집하기 위해 영국식 deposit gauge를 제작하여 사용했다. 시료포집 장소는 군산시 7개 장소를 선정하여, 1997년 9월부터 1998년 8월까지 1년간의 자료를 분석하였다. 강하분진을 측정하는 방법은 간단한 접시형의 포집기에서부터 침탄 포집기까지 매우 다양하다. 본 연구는 위에 제시된 모든 방법을 동원하여, 강하분진 및

부유분진의 농도 및 중금속을 측정, 분석하고, 최종적으로 침착량(deposition flux)을 추정한다. 총강하분진의 시료채취를 위해 British Standard 포집기(BSI, 1969), 좀더 개선된 British Standard 직접 포집기(BSI, 1972), ISO 먼지 포집기(ISO, 1986), WSL gauge(1983), 건식 Fresbee gauge(Hall *et al.*, 1988) 등이 사용되고 있다. 본 연구에서 강하분진의 포집 장소(그림 1)는 두산백화(이하 A), 군산대학교 소룡캠퍼스 해양과학대학(이하 B), 군산초등학교(이하 C), 문화초등학교(이하 D), 개정동 사무소(이하 E), 군산대학교 미룡캠퍼스 공과대학(이하 F) 그리고 청정지역인 옥구읍 이공리 신평부락(이하 G) 등 7곳에서 1997년 9월부터 현재까지 계속 수행되고 있다. 각 시료채취 장소의 특징을 보면, 백화양조 주식회사 옥상에서의 측정은 현재 군산시의 공단지역을 대표로 하는 대기오염을 상시 측정하는 장소(TMS)이고, 군산 외항에서 약 1.5km 떨어져 있으며 인근에 각종 공장들이 밀집해 있다. 군산대학교 소룡캠퍼스에서의 측정은 주변의 공단으로 진입하는 도로가 둘러 쌓인 지역이며 약 0.2km 떨어진 지점에 바다가 있다. 군산초등학교 옥상에서의 측정은 상업지역을 대표하는 곳으로 역시 대기오염을 상시 측정하는 장소(TMS)이며, 주변에는 나대지인 대운동장과 군산시 중심가로써 상가가 밀집되어 있으며, 교통량이 빈번한 도로가 주변에 있다. 그런데 이곳의 위치가 서해바다와 인접해 있어 해풍의 영향으로 해염입자가 다소 증가한다는 단점이 있을 수 있다. 그리고 문화초등학교는 주변에 상가와 주택지가 형성되어 있으며, 다소 교통량이 적으며 조용한 장소에 위치해 있다. 또한, 개정동 사무소에서의 측정은 주거지역을 대표하는 곳으로서 이곳 또한 대기오염을 상시 측정하는 장소(TMS)이다. 그러나 이곳을 지나는 인접도로가 산업도로와 연결되는 곳으로서 교통량이 매우 많은 지역이다. 그리고 군산대학교 미룡캠퍼스는 주변이 산으로 둘러 쌓여 있는 장소로 해풍의 영향은 막을 수 있으나 현재 주변에 대단위 택지 개발을 통한 분진의 유입이 있을 것으로 사료된다. 마지막으로 옥구읍 이공리 신평부락은 군산시 중심에서 약 10km 떨어진 곳으로 주변에 오염원이 없으며 청정한 지역으로 배경농도 측정시 좋은 장소로 판단되며 시료채취 장소 주변은 대부분 전담으로 이루어져 있다. 참고로 현재 군산시 국

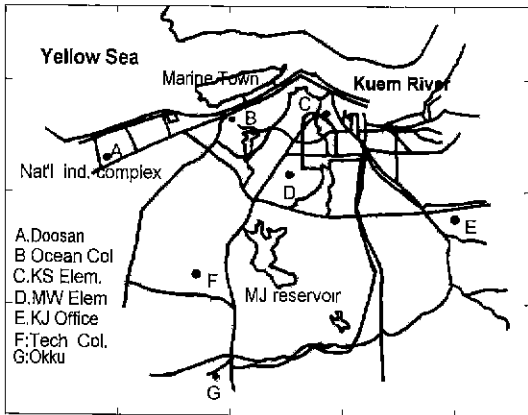


Fig. 1. Map of monitoring sites in Kunsan.

가공단에 입주한 업체수는 65개의 업체가 모여 있다. 업체의 종류별로 보면, 철강산업(16개), 목재·종이업(4개), 음식료업(9개), 산업화학(16개), 유리·섬유제조업(5개), 운반·운송·판매업(6개), 석유·석탄업(2) 그리고 기타(7개) 업체로 구성되어 있다. 그리고 이 업체에서 사용 중인 로는 6개 형태로 반사로, 도가나로, 용융로, 용선로가 각각 1개씩이며 용해로와 전기로가 각각 2개씩 있다. 또한 여기에서 사용하고 있는 연료를 살펴 보면, Bunker-C유를 사용하는 업체는 29개로 사용연료의 44.6%를 차지하며 경유와 전기가 각각 7개업체로 10.8%씩 차지하고 있다. 그리고 실제 사용하고 있는 연료를 고체연료 환산량(열원으로 이용되는 고체 액체, 기체 및 기타연료를 고체연료 환산계수를 이용하여 무연탄 사용량으로 환산한 것)으로 계산하면 Bunker-C유가 846,663 m<sup>3</sup>/년, 경유 4,014.5 m<sup>3</sup>/년, 전기 1,571.5 m<sup>3</sup>/년으로 총 사용 연료량은 852,249 m<sup>3</sup>/년이다.

강하분진의 측정을 위해 사용한 영국식 deposit gauge를 자체 제작하여 사용하였다. 이 gauge는 개구면의 직경이 36 cm(1,017.9 cm<sup>2</sup>)인 깔데기와 깔데기 하부에 6 liter PE 용기를 연결한 것이다. 깔데기 상부에는 깔데기의 흔들림을 막기 위해 스테인레스 스틸로 고정시켰으며, 특히 측정기간 중 여름과 가을에는 조류의 번식을 막기 위해 무수 황산구리를 0.024 g씩 첨가하였다. 또한 건물 옥상에서 발생할 수 있는 난류의 영향을 피하기 위해 1.8 m 높이의 지지대에 포집장치를 고정시켰다. 각 지점에서 측정

기는 한달 동안 우수량을 고려하여 공기 중에 노출시켰으며, 기상상태, 온도 및 채취기의 이상 유무는 일별로 점검되었다. 연구기간 중(1997년 9월~1998년 8월) 강수나 강설이 있을 때를 총침착(1개월 채취)으로, 강수가 없을 때를 건침착(1주일 채취)으로 간주한다.

강하분진의 금속원소 분석을 위하여 시료분석시 분석에 사용된 모든 초차들은 문헌에 권고된 방법(실험 전 후에 5% 질산액에 보관)으로 세척되고 관리되며(Jaffe *et al.*, 1993; Ross, 1989), 포집용기는 분석 직전까지 -4°C 냉장고에 보관한다. 강우량의 계산은 메스실린더를 이용하였고, 시료채취 장소에서 시료 채취시 깔데기에 묻은 분진을 제거하기 위해 미리 측정할 양의 증류수로 세척하였고, 실험실로 옮긴 후에도 용기 벽면에 묻은 물질을 제거하기 위해 미리알고 있는 양의 증류수를 살포하였다. 따라서 강우량에 사용한 알고 있는 증류수 양이 합해진 양으로 결과를 산정하였다. 수용성 성분과 불용성 성분을 구분하기 위하여 막여지(membrane cellulose nitrate filter, pore size 0.45 μm: MFS)를 사용하여 흡입여과를 한다. 흡입 이전에 용기 벽면에 부착된 분진을 수거하기 위해 주격 모양의 플라스틱 재질의 policemen을 사용하였으며, 약간의 산과 증류수를 수회 분출하여 완전히 수거한다. 막여지는 흡입 전후에 20°C, 50%의 항온, 항습 조건하에서 건조장치(dessicator; Shunai R-700C)에 최소 일주일간 보관하여 항량이 되게하며 감도가 0.01 mg인 전자저울(OHAUS Co.: Model AP250D-0)로 칭량하여 여과 전후의 증량차로 분진의 농도를 산출하며, 불용성분에 대한 분석을 수행하기 이전까지 patridish에 밀봉하고 건조기 내에서 보관한다. 불용성 시료의 양과 원소의 농도를 결정하기 위해, 표준시험법(Standard Method, 1992)에 의거하여, 막여지에 여과되지 않은 분진을 질산법으로 용해시킨다. 이를 위해 시료 여지를 100 ml 비이커에 넣고, 61% 농질산(유해중금속 측정용, OSAKA Co. JAPAN)을 20 ml 가한 후, watch glass를 덮고 130°C에서 약 30분간 황색 용액이 될 때까지 가열하였다. 이후 질산 5 ml를 재첨액하였으며, 용액은 백색이 되며, 이 용액을 완전히 건조되지 않을 정도로 증발시키고 방냉하고 회백색 물질이 되었을 때 다시 질산 1 ml와 증류수 2~3 ml를 첨가한다. Hot plate 상에서 잔존물이 용

해되고 맑은 용액이 되었을 때 방냉시키고 증류수를 첨가하여 25 ml로 한다. 반면, 수용성 분진의 양과 무기원소를 결정하기 위해, 전식침착된 시료와 습식침착된 시료에서 막여지를 통과한 액을 hot plate 상에서 건조시키고 질산으로 용해한 후 증류수를 첨가하여 25 ml로 조정했다. 그리고 수용성 및 불용성 시료는 각각 원자흡수 광도계 (AAS: Atomic Absorption Flame Emission Spectrophotometer, Shimadzu, Model AA-660JF)를 사용하여 금속원소의 농도를 결정했다. 본 연구에서 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 가스를 이용해 AAS로 Zn, Cd, Cr, Fe, Pb 5개 원소를 분석했다.

### 3. 강하분진에 관한 결과 및 고찰

대기 중 침적물은 다른 환경매체내의 오염부하에 영향을 준다. 특히 수질오염의 주요 오염원으로 역할을 하기도 한다. 또한 인간과 다른 유기체에 악영향을 제공하기도 한다. 대기 중 침적은 대기환경에서 중요한 오염물질 제거과정이므로 지역의 각종 대기오염물질에 대한 침착량 추정은 대기질의 평가와 분석에 기본이 되며, 주요 대기오염원에 대한 부분적, 일시적, 계절적 기여의 정도를 결정하는 데 사용될 수 있다.

#### 3.1 총침착물 중 계절별 원소의 침착량

침착량은 강수형태 (비, 눈, 우박), 강수속도 (가랑비, 폭우 등) 및 대기 중 부유분진의 농도에 의존한다. 본 연구에서는 강하분진을 포집할 때 강수가 있을 경우, 실험실에서 막여지에의 여과 유무에 따라 이를 수용성과 불용성 강하분진으로 분류하였다. 따라서, 본 연구에서의 침착량  $w$ 는 전식 및 습식침착을 혼합한 크기로서 다음과 같은 일반적인 공식을 사용하여 추정할 수 있다

$$w = VC / TA$$

여기서,  $V$  = 포집된 강수량 (L)

$C$  = 포집된 강수중 오염물질의 농도 ( $\mu\text{g/L}$ )

$T$  = 시간 (s)

$A$  = 부하발생 노출면적 ( $\text{cm}^2$ )

표 1과 표 2는 각각 총침착물중 불용성 성분 및 수용성 성분의 침착량을 계절별로 추정한 결과이며, 표 3은 이들 성분을 합산한 각 원소의 총침착량

을 보여주고 있다. 각 포에서 12, 1, 2월은 겨울철, 3, 4, 5월은 봄철, 6, 7, 8월은 여름철, 9, 10, 11월은 가을철로 간주하고 분류하였다. 표 1에서 불용성 강하분진의 계절별 침착량을 보면, 1997년 가을이 8.2 ton, 1998년 봄이 4.8 ton으로 조사되었다. 지역별로는 불용성 강하분진 침착량의 범위가 3.3~5.9 ton으로 C지역이 가장 높고, 청정 지역이라고 판단된 G지역이 5.7 ton으로 높게 나타났다. 지역별로 보면, 주거지역이 많은 C지역이 1997년 가을과 1998년 여름에 10.2 ton, 2.9 ton으로 높았으며 1997~1998년 겨울에 E지역이 6.4 ton, 1998년 봄에 G지역이 10.3 ton으로 높은 침착량을 보였다. 불용성분 중 인위적 기원 원소인 Cd는 전계절을 통해 전 지역에서 0.02  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 낮은 수치를 나타냈으나, Cr, Pb, Zn 등은 비교적 고른 침착량을 보였으나, 자연적 기원 원소인 Fe은 41.79  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 가장 높게 검출되었다. 또한, 월평균 Pb의 침착량은 1998년 2월이 0.89  $\text{kg/km}^2$ 로 가장 높고 3월, 1월 순이었는데, 이는 연료 연소시 발생하는 영향으로 사료된다. 전군 산업도로가 시작되는 E지역의 경우, 1998년 봄에 Cr이 22.011  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 특히 높게 나타났으며, 주거지가 많은 C지역의 경우 1998년 여름에 Fe이 76.265  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 높게 나타났으며, 1997~1998년 겨울에 Pb이 2.317  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 높게 나타났다. 불용성 강하분진의 양과 Zn, Cd, Fe, Pb이 조사기간 동안 7지역 모두 유사하였으나 강하분진 양은 1997년 가을에 8220.4  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 높게 침착되었고, Zn의 침착량은 C지역이 1.749  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 가장 높게 나타났으며, Cd의 침착량은 E지역이 5.662  $\text{kg/km}^2/\text{season}$ 로 가장 높게 검출되었다. 특이한 점은 청정 지역으로 선택한 G지역이 강하분진, Cd 그리고 Pb이 평균치를 상회하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 오염물질이 상당히 멀리 이동하여 침착량이 높아지는 것으로 보여 오염원에 대한 대책 마련이 시급하다고 사료된다.

그리고 표 2에서 수용성 강하분진의 계절별 침착량을 보면, 1997년 가을이 10.3 ton, 1998년 여름이 7.0 ton으로 조사되었다. 지역별로는 불용성 강하분진 침착량의 범위가 5.7~8.2 ton으로 B지역이 8.2 ton으로 가장 높고, 상업지역과 주거지역인 C, D지역이 7.7 ton으로 높게 나타났다. 지역별로 보면, 공단지역인 A지역이 1997년 가을에 16.3 ton으로 높

Table 1. Water insoluble fluxes of total deposition collected from 7 monitoring sites. (kg/km<sup>2</sup>/season)

Site	Season	Dustfall	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb
A(Doosan)	97 fall	5558.8	1.756	0.016	0.334	37.571	1.399
	97, 98 winter	4932.0	0.785	0.020	0.656	39.433	2.317
	98 spring	4136.1	0.966	0.005	1.838	63.021	0.832
	98 summer	2255.9	0.395	0.002	0.156	49.730	0.484
	avg	4220.7	0.98	0.01	0.75	41.44	1.26
B(Ocean College)	97 fall	5016.3	1.177	0.027	0.117	31.495	0.900
	97, 98 winter	4120.9	0.942	0.022	0.297	34.367	1.905
	98 spring	3530.8	1.034	0.008	0.880	52.539	0.780
	98 summer	895.9	0.145	0.009	0.000	30.684	0.052
	avg	3391	0.82	0.01	0.32	37.27	0.91
C(Kunsan E.S)	97 fall	10191.3	1.935	0.012	0.324	45.504	1.319
	97, 98 winter	5859.0	1.842	0.029	0.430	38.161	1.939
	98 spring	4740.4	1.656	0.010	1.172	62.898	0.575
	98 summer	2884.8	1.562	0.029	0.146	76.265	0.519
	avg	5918.9	1.75	0.02	0.51	55.70	1.80
D(Munwha E.S)	97 fall	7264.7	1.105	0.026	0.282	40.944	1.194
	97, 98 winter	4667.2	1.032	0.026	0.352	38.251	1.785
	98 spring	3895.0	1.223	0.022	0.665	46.457	0.724
	98 summer	1713.4	0.495	0.029	0.020	57.319	0.435
	avg	4385.1	0.96	0.02	0.33	45.74	1.03
E(Kejung-dong)	97 fall	4804.6	0.967	0.013	0.211	28.105	1.080
	97, 98 winter	6440.3	1.265	0.027	0.349	38.822	1.429
	98 spring	3835.1	1.398	0.017	22.011	37.696	0.621
	98 summer	1614.5	0.415	0.009	0.078	50.717	0.329
	avg	4173.6	1.01	0.03	5.66	38.84	0.86
F(Tech. college)	97 fall	5594.1	0.758	0.013	0.444	29.848	0.948
	97, 98 winter	3389.9	0.664	0.026	0.338	28.593	1.730
	98 spring	2945.9	1.172	0.017	0.658	35.860	0.390
	98 summer	1089.2	0.141	0.009	0.052	32.264	0.152
	avg	3254.8	0.68	0.02	0.37	31.64	0.80
G(Okku)	97 fall	6583.3	0.772	0.072	0.269	27.372	0.966
	97, 98 winter	3811.1	0.540	0.029	0.215	41.615	1.713
	98 spring	10284.2	0.939	0.012	0.706	31.867	0.482
	98 summer	2274.5	0.307	0.015	0.007	36.859	1.172
	avg	5738.3	0.64	0.04	0.30	34.43	1.08
Average	97 fall	8220.4	1.210	0.029	0.283	34.406	1.115
	97, 98 winter	4745.8	0.818	0.006	0.778	37.861	1.281
	98 spring	4766.8	1.198	0.012	3.990	47.190	0.629
	98 summer	1818.3	0.494	0.015	0.066	47.691	0.449
	avg	4887.8	0.93	0.02	1.28	41.78	0.87

았으며, 1997~1998년 겨울에 F지역이 8.7 ton으로 높게 나타났는데 이는 건물의 신축으로 인한 분진 발생으로 보여진다. 그리고 1998년 봄과 여름에 공단 진입로 부근인 B지역이 6.9 ton, 8.2 ton으로 높은 침착량을 보였다. 또한, 불용성분에 비해 수용성분의 침착량은 강하분진이 1.4배, Zn이 15.2배, Cd이

106.2배, Cr이 16.6배, Fe이 3.1배 그리고 Pb이 2.4 배로 수용성분 중에 상당량 검출되었다. 그리고 조사기간 동안 수용성 강하분진 양과 Cr 그리고 Cd은 공단 지역인 A지역이 각각 8,116.0 kg/km<sup>2</sup>/season, 29.1 kg/km<sup>2</sup>/season, 2.6 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높게 나타났고, Zn은 D지역이 17.0 kg/km<sup>2</sup>/season, Pb과

Table 2. Water soluble elemental fluxes of total deposition collected from 7 monitoring sites. (kg/km<sup>2</sup>/season)

Site	Season	Dustfall	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb
A(Doosan)	97 fall	16349.3	12.644	4.304	9.384	9.66	0.00
	97, 98 winter	4798.1	6.929	1.032	0.489	20.46	0.34
	98 spring	4696.3	31.101	2.441	73.345	415.82	0.00
	98 summer	6620.2	28.766	2.482	32.943	70.77	3.06
	avg	8116.01	19.86	2.56	29.04	129.18	0.85
B(Occan College)	97 fall	10688.1	4.369	2.630	6.614	3.92	0.00
	97, 98 winter	3828.1	4.564	1.173	0.806	3.92	1.30
	98 spring	6938.4	29.839	2.712	58.875	10.85	0.00
	98 summer	8218.9	11.169	2.727	35.221	417.61	14.98
	avg	7418.37	12.49	2.31	25.38	143.14	4.06
C(Kunsan E.S)	97 fall	7117.6	6.354	3.635	9.551	3.36	0.84
	97, 98 winter	4255.7	6.271	1.543	1.816	1.18	0.00
	98 spring	3423.6	24.287	2.542	74.264	427.97	0.00
	98 summer	7726.9	7.253	3.137	25.386	82.61	7.30
	avg	5630.97	11.04	2.71	27.75	128.78	2.03
D(Munwha E.S)	97 fall	7776.0	6.689	3.196	0.155	0.94	0.00
	97, 98 winter	4051.0	10.256	1.105	3.818	1.74	2.74
	98 spring	5636.9	30.972	1.400	7.339	422.51	0.00
	98 summer	7675.4	20.035	2.083	25.602	95.48	5.24
	avg	6284.83	16.99	1.95	9.23	130.16	1.99
E(Kejung-dong)	97 fall	7044.7	9.886	3.342	2.312	0.30	0.00
	97, 98 winter	4527.5	6.151	1.599	3.863	0.00	0.00
	98 spring	6906.0	24.764	0.469	38.052	396.55	0.00
	98 summer	5737.3	8.858	2.163	41.014	82.32	6.90
	avg	6053.90	12.41	1.89	21.31	119.79	1.72
F(Tech. college)	97 fall	7580.6	6.819	2.675	5.629	3.85	0.00
	97, 98 winter	8739.5	5.988	1.216	2.605	2.69	0.00
	98 spring	5208.5	24.255	1.616	33.980	373.59	0.00
	98 summer	6322.5	8.901	2.548	19.215	162.61	7.03
	avg	6962.76	11.49	2.01	15.36	135.69	1.76
G(Okku)	97 fall	8547.1	7.702	2.653	6.115	6.47	3.69
	97, 98 winter	3608.3	5.300	1.488	3.342	4.74	0.00
	98 spring	4375.6	23.301	0.998	44.737	412.45	0.00
	98 summer	6944.5	5.306	1.853	27.576	71.41	4.46
	avg	5868.86	10.33	1.74	20.44	123.77	2.04
Average	97 fall	10256.8	10.244	3.205	5.958	4.02	0.65
	97, 98 winter	4829.7	6.494	1.308	2.391	5.95	0.62
	98 spring	5312.2	26.932	1.739	47.227	409.50	0.00
	98 summer	7035.1	12.860	2.428	29.565	100.77	6.99
	avg	6858.46	14.13	2.17	21.28	130.06	2.07

Fe은 공단 진입로에 위치한 B지역이 4.1 kg/km<sup>2</sup>/season, 143.1 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높게 검출되었다. 그리고 1997년 가을에 수용성 강하분진 양과 Cd의 양이 10,256.8 kg/km<sup>2</sup>/season, 3.2 kg/km<sup>2</sup>/season로, 1998년 봄에는 Zn, Cr 그리고 Fe이 26.9, 47.2, 409.5 kg/km<sup>2</sup>/season로, 그리고 1998년 여름에는 Pb

이 7.0 kg/km<sup>2</sup>/season으로 높게 검출되었다. 공단지역인 A지역의 경우 1997년 가을에 수용성 강하분진과 Cd의 양이 16,349.4 kg/km<sup>2</sup>/season, 4.3 kg/km<sup>2</sup>/season로, 1998년 봄의 경우 Zn이 31.1 kg/km<sup>2</sup>/season 그리고 Cr이 73.3 kg/km<sup>2</sup>/season로 높게 검출되었다. 또한 B지역에서 1998년 여름에 Pb이 15.0

kg/km<sup>2</sup>/season으로 높게 검출되었으며, C지역의 경우 Cr의 양이 1998년 봄에 74.3 kg/km<sup>2</sup>/season, Fe이 428.0 kg/km<sup>2</sup>/season으로 매우 높게 검출되었다. 이처럼 공단지역의 수용성분이 대체로 높게 나타난 이유는 미세입자 영역에 속한 성분이 많음을 보여 준다고 할 수 있다.

그리고 전체 강하분진의 계절별 침착량을 보면 (표 3), 1997년 가을이 18.5 ton, 1998년 봄이 10.1 ton으로 조사되었으며 조사기간 동안 평균 11.7 ton의 강하분진이 침착되었다. 지역별로는 불용성 강하분진 평균 침착량의 범위가 10.2~12.3 ton으로 공단 지역인 A지역이 12.3 ton으로 가장 높았으나 조사 대상 7군체 지역 모두 비슷한 침착량을 나타내었다. 지역별로 보면, 공단지역인 A지역이 1997년 가을에 21.9 ton으로 높았으며, 1997~1998년 겨울에 F지역이 12.1 ton으로 높았고 1998년 봄에 청정 지역으로 보이는 G지역이 14.7 ton으로 매우 높게 조사 되었으며, 1998년 여름에는 C지역이 10.6 ton으로 높은 침착량을 보였다. 또 각 지점에서 강하분진의 침착량이 높게 나타난 달은 A지역이 1997년 11월에 11.4 ton/km<sup>2</sup>/mon, B, C, D, E, F지역이 1998년 6월에 각각 7.5 ton/km<sup>2</sup>/mon, 7.5 ton/km<sup>2</sup>/mon, 6.8 ton/km<sup>2</sup>/mon, 5.6 ton/km<sup>2</sup>/mon 그리고 6.7 ton/km<sup>2</sup>/mon이었다. 그리고 G지역은 8.4 ton/km<sup>2</sup>/mon이었다. 그리고 1997년 가을 18.5 ton/km<sup>2</sup>/season, 1997~1998년 겨울 9.6 ton/km<sup>2</sup>/season, 1998년 봄에 10.1 ton/km<sup>2</sup>/season, 그리고 1998년 여름 8.9 ton/km<sup>2</sup>/season으로 총량면에서는 여름에 낮게 조사되었다. 또한 총강하분진의 침착량이 군산지역에서 여름에 낮게 나타난 이유는 해양지역에서 불어오는 강한 해풍에 의해 확산된 결과가 안년가 사료된다(그림 2). 그리고 원소의 총침착량을 살펴보면, 전체성분 중 인위적 기원 원소인 Cd와 Pb은 전체절을 통해 전 지역에서 2.2 kg/km<sup>2</sup>/season, 3.0 kg/km<sup>2</sup>/season로 낮은 수치를 보였고, Zn, Cr은 15.1 kg/km<sup>2</sup>/season, 22.6 kg/km<sup>2</sup>/season로 7지역 모두 비교적 고른 침착량을 보였으나, 자연적 기원원소인 Fe은 평균 171.9 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높게 검출되었다. 또한, 불용성분 중의 월평균 Pb의 침착량은 1998년 2월, 3월이 높은데 반해, 전체 Pb의 침착량은 1998년 7월이 4.3 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높고 1998년 8월이 3.0 kg/km<sup>2</sup>/season으로 여름철이 다른 계절에 비해 높게

조사되었다. 인위적 기원을 가진 Zn의 총 계절 평균 침착량은 공단지역인 A지역에서 20.8 kg/km<sup>2</sup>/season으로 가장 높았으며, 1998년 봄에 공단 입구인 D지역에서 32.2 kg/km<sup>2</sup>/season으로 가장 높게 조사되었다 또한 1997년 가을과 1998년 여름에 14.4 kg/km<sup>2</sup>/season, 29.2 kg/km<sup>2</sup>/season로 공단지역에서의 침착량이 가장 높게 조사 되었고 봄>여름>가을>겨울 순이었으며, 연간 총침착량은 82.2 kg/km<sup>2</sup>/yr이었다(그림 2). 그리고 Cd의 경우 총 계절평균 침착량은 상업지역인 C지역이 2.7 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높았으며, 계절별로는 1997년 가을이 3.2 kg/km<sup>2</sup>/season으로 타 계절에 비해 높게 조사되었다. 또한 1997년 가을에 공단에서의 Cd 침착량이 4.3 kg/km<sup>2</sup>/season으로 가장 높았고, 1998년 여름에 C지역에서 3.2 kg/km<sup>2</sup>/season로 높게 조사 되었고 가을>여름>봄>겨울 순이었으며, 연간 평균 총침착량은 8.8 kg/km<sup>2</sup>/yr이었다(그림 2). 그리고 Cr의 경우 총 계절평균 침착량은 A지역이 29.8 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높았으며, 계절별로는 1998년 봄에 C지역에서 75.4 kg/km<sup>2</sup>/season, 1998년 여름에 E지역이 41.1 kg/km<sup>2</sup>/season로 높게 조사되었고 봄>여름>가을>겨울 순이었으며, 연간 총침착량은 90.2 kg/km<sup>2</sup>/yr이었다(그림 2). 그리고 Pb의 경우 총 계절평균 침착량은 B지역이 5.0 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높았으며, 계절별로는 1998년 여름에 B지역에서 15.0 kg/km<sup>2</sup>/season으로 가장 높게 조사되었고 여름>겨울>가을>봄 순이었으며, 연간 총침착량은 11.7 kg/km<sup>2</sup>/yr이었다(그림 2). 그리고 자연적 기원을 가진 Fe의 총 계절평균 침착량은 C지역이 184.5 kg/km<sup>2</sup>/season로 가장 높았으며, 계절별로는 1998년 봄이 456.7 kg/km<sup>2</sup>/season으로 타 계절에 비해 높게 조사되었다. 또한 1998년 여름에 군산대학교 공과대학에서 148.5 kg/km<sup>2</sup>/season으로 가장 높았고, 1998년 봄에 C지역에서 490.9 kg/km<sup>2</sup>/season로 높게 조사 되었고 봄>여름>겨울>가을 순이었으며, 연간 총침착량은 686.6 kg/km<sup>2</sup>/yr이었다(그림 2) 여기에서 계절별 침착량의 변화가 인위적 기원 원소인 Zn, Cr의 경우 봄>여름>가을>겨울 순으로 침착량이 조사되었고, Pb은 여름철에, Fe은 봄철에, 그리고 Cd은 가을에 가장 높은 침착량을 나타내었다. 지역별로 일부 원소의 침착량은 커다란 차이를 보였다. 우선 아연도금 공장에서 배출되는 것으로 사료되는 Zn은

측정기간 중 공단지역(A)에서 평균 20.84 kg/km<sup>2</sup>/season 침착된 것으로 추정되어 청정지역(G) 10.97 kg/km<sup>2</sup>/season, 주거지역(D) 17.95 kg/km<sup>2</sup>/season 등 타 지역에 비해 1.2~1.9배 크게 조사되었다. 그리고 카드뮴 제련이나 도금업체에서 배출되는 것으로 사료되는 Cd의 경우 측정기간 공단지역에서 평균 2.6 kg/km<sup>2</sup>/season이 침착되어 옥구(1.8 kg/km<sup>2</sup>/

season) 보다 1.4 배 높았다. Cd은 우리나라의 특정 유해 대기오염물질로서 호흡곤란 및 심장 혈관증을 유발시킬 수 있는 중금속이다. 또한 공단에서의 Cr의 평균 침착량은 29.8 kg/km<sup>2</sup>/season으로 주거지역(9.6 kg/km<sup>2</sup>/season)보다 3.1배 높았다. 일반적으로 대기 중 Cr은 위해하고 독성이 있고 주로 비강을 손상시키는 특정 유해대기오염물질로서 주로 염색

Table 3. Total elemental fluxes of total deposition collected from 7 monitoring sites. (kg/km<sup>2</sup>/season)

Site	Season	Dustfall	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb
A(Doosan)	97 fall	21908.3	14.40	4.32	9.72	47.23	1.40
	97, 98 winter	9730.1	7.71	1.05	1.14	59.89	2.65
	98 spring	8832.4	32.07	2.45	72.18	478.84	0.83
	98 summer	8876.2	29.16	2.48	33.10	120.50	3.54
	avg	12336.7	20.84	2.58	29.79	276.62	2.11
B(Ocean College)	97 fall	15704.3	5.55	2.66	6.73	35.41	0.90
	97, 98 winter	7949.1	5.51	1.19	1.10	45.22	3.20
	98 spring	10469.2	30.87	2.72	59.75	470.15	0.78
	98 summer	9114.7	11.31	2.73	35.22	170.86	15.03
	avg	10809.3	13.31	2.33	25.70	180.41	4.98
C(Kunsan E.S)	97 fall	17308.9	8.29	3.67	9.87	48.87	2.16
	97, 98 winter	10114.7	8.11	1.57	2.25	39.34	1.94
	98 spring	8164.0	25.94	2.55	75.44	490.87	0.57
	98 summer	10611.7	8.82	3.15	25.53	158.88	7.81
	avg	11549.8	12.79	2.73	28.27	184.49	3.12
D(Munwha E.S)	97 fall	15040.7	7.79	3.21	0.44	41.88	1.19
	97, 98 winter	8718.2	11.29	1.13	4.27	40.00	4.52
	98 spring	9531.9	32.19	1.41	8.00	468.97	0.72
	98 summer	9388.8	20.53	2.11	25.62	152.80	5.68
	avg	10669.9	17.95	1.97	9.56	175.91	3.03
E(Kejung~dong)	97 fall	11849.3	10.85	3.37	2.52	28.40	1.08
	97, 98 winter	10967.8	7.42	1.62	4.21	38.82	1.43
	98 spring	10741.1	26.16	0.49	60.06	434.25	0.62
	98 summer	7351.8	9.27	2.19	41.09	133.03	7.23
	avg	10227.5	13.43	1.92	26.97	158.63	2.59
F(Tech. college)	97 fall	13174.6	7.58	2.69	6.07	33.70	0.95
	97, 98 winter	12129.3	6.65	1.24	2.94	31.29	1.73
	98 spring	8154.5	25.43	1.63	34.64	409.45	0.39
	98 summer	7411.7	9.04	2.56	19.27	194.87	7.18
	avg	10217.5	12.17	2.03	15.73	167.33	2.56
G(Okku)	97 fall	15130.4	8.47	2.73	6.38	33.84	4.65
	97, 98 winter	7419.4	5.84	1.52	3.56	46.35	1.71
	98 spring	14659.8	24.24	1.01	45.44	444.31	0.48
	98 summer	9218.9	5.34	1.88	27.58	108.27	5.63
	avg	11607.1	10.97	1.78	20.74	158.19	3.12
Average	97 fall	18477.2	11.45	3.23	6.24	38.43	1.76
	97, 98 winter	9575.5	7.31	1.33	3.17	43.81	1.90
	98 spring	10079.0	28.13	1.75	51.22	456.69	0.63
	98 summer	8853.4	13.35	2.44	29.63	148.46	7.44
	avg	11746.3	15.06	2.19	22.56	171.85	2.94



공업, 석판인쇄업, 피혁제조업에서 방출되는 것으로 추정된다. Pb의 경우는 공단지역에서는 가장 낮은 침착량을 보이고 전체적으로 해안부근에서 높게 검출되고 있다. B지역의 경우 5.0 kg/km<sup>2</sup>/season이 침착되어 공단(2.1 kg/km<sup>2</sup>/season)보다 2.4배 높았으며, C지역(3.1 kg/km<sup>2</sup>/season)보다 1.6배 높았다. Pb도 또한 특정 유해 대기오염물질이며 건전지, 페인트 공업, 고무공업 등에서 배출되는 물질로서 조혈기능 장애를 유발하는 물질이다. 그리고 자연적 오염물질인 Fe은 전지역이 거의 비슷한 침착량을 나타내고 있고 C지역(184.5 kg/km<sup>2</sup>/season)이 청정지역으로 판단한 G지역(158.2 kg/km<sup>2</sup>/season)보다 1.2배 높게 나타났다. 이는 Rojas 등(1993)이 조사한 Cd 0.43, Cu 3.5, Pb 8.7, Zn 20 kg/km<sup>2</sup>/yr에 비해 상당히 높은 수치이다. 이것은 조사지점의 상이점 때문으로 사료된다. 우리나라는 무연 휘발유의 대체정책으로 Pb의 전반적 침착량은 꾸준한 감소추세에 있지만 1998년 여름에 해안에서 가까운 B지역(15.0 kg/km<sup>2</sup>/season)과 C지역(7.8 kg/km<sup>2</sup>/season)에서 보인 높은 침착량은 선박용 기름에서 배출되는 유사 오염원으로 사료되며, 이에 대한 규제부실을 의미한다. 참고로 군산지역의 7지역 평균치와 1993~1995년까지 우리나라 5지역, 즉 서울, 수원, 대전, 광주 그리고 강릉 지역의 총강하량과 비교(김성천과 김동술, 1996) 자료는 표 4에 있다.

본 연구수행과정에서 G지역의 오염현황은 특이하였다. 당초 청정지역이라는 예상과는 달리 강하분진의 총량 측면에서도 침착량이 평균치와 유사하였으며, 인위적 오염물질로 추정되는 Zn, Cd 이외에 다른 물질인 Cr, Fe이 평균과 비교해서 큰 차이가 나지 않는 높은 침착량을 보였고, Pb의 경우는 평균치를 초과해서 검출되었다. 따라서 주변지역의 오염원 조사가 시급하다고 사료되며, 육상 오염원 뿐만 아니라 해상 오염원의 규제 필요성이 절실했다. 또한 A지역의 경우 강하분진과 Zn, Cr, Fe 등이 높게 조사됐지만, 공단과 해안에서 가까운 B지역에서는 Pb이 오히려 A지역 보다 높게 검출되었고, 상업지역이면서 해안에서 가까운 위치인 C지역도 Cd의 침착량은 많았다. 군산시 국가 공단의 위치가 서쪽 해안에 위치하고 있고, 조사기간 동안에 주 풍향이 서풍인 점을 감안한다면 공단에서 배출되는 오염물질의 시내권으로의 유입이 가능해 전 지역에 영향

Table 4. Comparison of flux data in 6 cities in Korea. (kg/km<sup>2</sup>/yr)

City	Class	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb
Seoul*	Insoluble	10.1	0.0	0.4	552.6	5.3
	Soluble	82.5	4.7	22.9	33.1	69.0
	Total	92.6	4.7	23.3	585.5	74.3
Suwon	Insoluble	7.8	0.0	1.9	359.9	4.2
	Soluble	75.6	3.9	31.6	31.7	43.7
	Total	83.4	3.9	33.4	391.6	47.9
Taejon*	Insoluble	6.8	0.0	1.3	251.4	3.9
	Soluble	66.4	2.0	23.9	31.0	33.8
	Total	73.2	2.0	25.2	282.4	37.7
Kwangju*	Insoluble	5.4	0.0	0.5	302.8	3.8
	Soluble	82.2	1.7	27.7	25.8	108.8
	Total	87.5	1.7	28.2	328.5	112.6
Kangnung*	Insoluble	3.1	0.0	1.1	178.7	3.0
	Soluble	47.6	2.9	40.6	18.9	71.4
	Total	50.7	2.9	41.7	197.6	74.4
Kunsan	Insoluble	0.9	0.0	1.3	0.9	41.8
	Soluble	14.1	2.2	21.2	2.1	130.1
	Total	15.1	2.2	22.6	2.9	171.9

\* 김성천과 김동술(1996)

을 미치리라고 생각되므로 분석시 기상에 의한 영향을 고려해야 한다고 사료된다.

그리고 표 5를 보면, 각 지역의 계절별 원소 침착량 중 수용성분의 분율을 계산한 결과, 조사기간 동안 7지역의 수용성 강하분진의 분율의 범위는 0.45~0.65였고, 공단 입구지역인 B지역이 0.65로 가장 높아 공단지역과 공단 진입로 부근에 있는 지역이 다른 지역에 비해 다소 분율이 높게 조사되었다. 평균 Fe의 분율은 A지역 0.37, B지역 0.35, C지역 0.26, D지역 0.24, E지역 0.31, F지역 0.44 그리고 G지역 0.43으로 평균 0.34으로 낮게 조사되었지만, 계절별로는 1998년 봄 0.63, 1998년 여름 0.46, 1997년 가을 0.14 그리고 1997~1998년 겨울 0.14로 봄철에 Fe의 수용성 분율이 높게 조사되었다. 측정된 원소 중 Fe은 주로 거대입자 영역에 속하는 지각원소인데 약 34% 정도가 미세입자 영역에 포함되고 66% 정도는 거대입자 영역에 속한다고 볼 수 있다. 그리고 Zn은 대부분 지역이 비슷하였고, 범위는 0.56~0.65였으며 평균 0.62이었고, 계절별로는 1997~1998년 겨울이 0.79로 1998년 봄 0.36에 비해 2.2배 높게 조사되었다 Cd은 A, B지역이 1.00, C, E지역이 0.83, F지역 0.98 그리고 G지역 0.91로

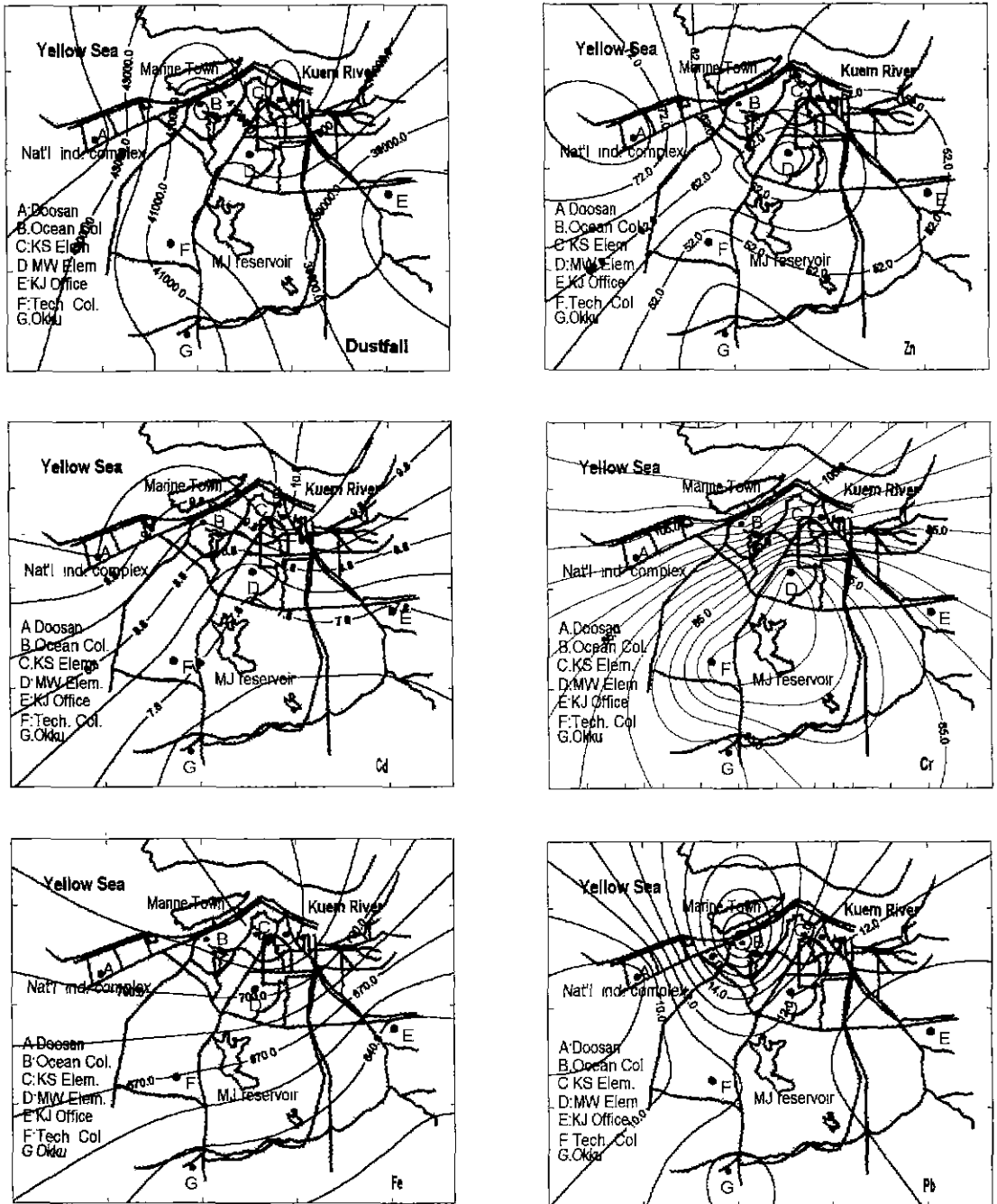


Fig. 2. Map of deposition flux of dustfall, Zn, Cd, Cr, Fe and Pb (kg/km<sup>2</sup>/yr).

평균 0.90이었고, 계절별 범위는 0.80~0.98이었다. 그리고 Pb는 분율의 범위가 0.33~0.61이었고 평균

0.47로 조사되었으며, 계절별로는 여름철이 0.84로 타 계절에 비해 약 2.5배 높게 조사되었다. 그러나

Table 5. The ratio of soluble to total elemental fluxes collected from 7 monitoring sites. (kg/km<sup>2</sup>/season)

Site	Season	Dustfall	Zn	Cd	Cr	Fe	Pb
A(Doosan)	97 fall	0.55	0.71	1.00	0.92	0.24	0.33
	97, 98 winter	0.53	0.85	0.99	0.41	0.38	0.41
	98 spring	0.52	0.33	1.00	0.97	0.49	0.33
	98 summer	0.60	0.64	1.00	0.33	0.38	0.91
	avg	0.55	0.63	1.00	0.66	0.37	0.50
B(Ocean College)	97 fall	0.57	0.65	1.00	0.87	0.01	0.33
	97, 98 winter	0.49	0.64	1.00	0.45	0.23	0.42
	98 spring	0.67	0.43	1.00	0.99	0.51	0.67
	98 summer	0.86	0.66	1.00	1.00	0.64	1.00
	avg	0.65	0.60	1.00	0.83	0.35	0.61
C(Kunsan E.S)	97 fall	0.33	0.66	0.67	0.22	0.14	0.33
	97, 98 winter	0.49	0.68	0.66	0.58	0.07	0.33
	98 spring	0.38	0.40	1.00	0.97	0.50	0.33
	98 summer	0.60	0.49	1.00	0.33	0.32	0.89
	avg	0.45	0.56	0.83	0.53	0.26	0.47
D(Munwha E.S)	97 fall	0.38	0.79	0.96	0.44	0.02	0.33
	97, 98 winter	0.47	0.84	0.62	0.62	0.06	0.57
	98 spring	0.62	0.38	0.87	0.66	0.50	0.67
	98 summer	0.70	0.57	0.64	0.33	0.37	0.81
	avg	0.54	0.65	0.77	0.51	0.24	0.60
E(Kejung-dong)	97 fall	0.44	0.80	0.33	0.32	0.00	0.33
	97, 98 winter	0.41	0.77	1.00	0.62	0.00	0.33
	98 spring	0.64	0.33	0.99	0.81	0.83	0.00
	98 summer	0.71	0.65	1.00	0.33	0.41	0.95
	avg	0.55	0.64	0.83	0.52	0.31	0.40
F(Tech. college)	97 fall	0.46	0.74	1.00	0.66	0.24	0.33
	97, 98 winter	0.65	0.88	0.94	0.61	0.10	0.33
	98 spring	0.63	0.33	1.00	0.93	0.79	0.33
	98 summer	0.57	0.66	1.00	0.33	0.62	0.66
	avg	0.58	0.65	0.98	0.63	0.44	0.41
G(Okku)	97 fall	0.38	0.73	0.67	0.33	0.30	0.33
	97, 98 winter	0.47	0.84	0.98	0.62	0.11	0.00
	98 spring	0.34	0.33	0.99	0.98	0.82	0.33
	98 summer	0.62	0.64	1.00	0.67	0.48	0.65
	avg	0.45	0.64	0.91	0.65	0.43	0.33
Average	97 fall	0.45	0.73	0.80	0.54	0.14	0.33
	97, 98 winter	0.50	0.79	0.89	0.56	0.14	0.34
	98 spring	0.54	0.36	0.98	0.90	0.63	0.38
	98 summer	0.66	0.62	0.95	0.48	0.46	0.84
	avg	0.54	0.62	0.90	0.62	0.34	0.47

Cr은 Zn, Cd, Pb 등 인위적 기원물질에 속하는 원소들과는 달리 1998년 봄에 0.90로 높게 조사되었고 겨울(0.56), 가을(0.54), 여름(0.48) 순으로 조사되었다. 우리나라 대기환경보전법에는 대기오염물질은 입자상물질을 비롯하여 47종류이고, 이 중에서 Cd, Cr, Pb 등을 비롯하여 16종류를 특정대기 유해물질

로 규정하고 있다. 이들은 미세입자군에 속하며 인간의 산업활동에 의해 주로 발견되며 인체 및 동식물에 큰 피해를 나타낸다. 수용성 분율이 Zn 0.62, Cd 0.90, Cr 0.62, 그리고 Pb 0.47로 Fe의 분율(0.34)보다는 높게 조사되었다는 미세영역의 입자가 차지하는 비율이 크다는 것이고, 이들의 침착으로 대기

오염의 피해와 더불어 수질환경에도 큰 영향을 미칠 수 있음을 뜻한다. 또한, 총강하분진에 대한 수용성 분진의 비율의 범위는 0.33~0.86으로 1995년도에 우리나라 전역의 비율인 0.371~0.960(김성천과 김동술, 1996)에 비해 비슷하게 조사되었다.

### 3.2 총 강하분진의 침착량

표 6을 보면, 조사기간 동안 군산지역 1km<sup>2</sup>에 침착된 강하분진 중 불용성분의 양은 평균 19.6 ton이며, 이를 하루 동안에 침착된 양으로 계산하면 53.6 kg이다 따라서 군산지역의 전체 면적이 376.35km<sup>2</sup>이므로 군산시 전체 면적에 1년동안 침착된 강하분진의 총량은 7,358.1 ton이며 1일 동안 군산지역에 침착된 강하분진의 총량은 20.2 ton으로 조사됐다. 그리고 조사기간 1년 동안 군산지역 1km<sup>2</sup>에 침착된 강하분진 중 수용성분의 양은 평균 24.3 ton이며, 이를 하루 동안에 침착된 양으로 계산하면 66.5 kg이다. 따라서 1년 동안 군산시 전체 면적에 침착된 강하분진의 총량은 9,134.4 ton이며 1일 동안 군산지역에 침착된 수용성 강하분진의 총량은 25.0 ton으로 조사됐다. 그러므로 조사기간 1년 동안 군산지역 1km<sup>2</sup>에 침착된 총 강하분진의 양은 평균 48.8 ton이며, 이를 하루 동안에 침착된 양으로 계산하면

0.1 ton이다. 따라서 군산시 전체 면적에 침착된 강하분진의 총량은 16,492.5 ton이며 1일 동안 군산지역에 침착된 강하분진의 총량은 45.2 ton으로 조사됐다.

또한 본 연구를 수행시 용해적과 활동도 계수(박기채, 1982)를 고려하지 않은 점이 있는데, 이는 차후에 연구 분야에 도입해야 하리라 생각된다. 각 원소의 용해적(Solubility product; Ksp)에 따라 금속원소의 검출되는 정도가 다르게 나타난다. 용해적이란 "고체염이 용액내에서 녹아 성분이온으로 나뉘는 반응에 대한 평형상수"이다 이때 고체는 표준상태에 있으므로 고체의 농도는 평형상수식에서 제외된다. 대부분의 경우에 해리하지않는 화학종의 용해가 해리되는 용해만큼 중요하다. 그리고 이온의 세기의 영향을 밝히려면 농도에 활동도계수를 곱한 활동도로 대처해야 한다. 활동도계수는 이온의 세기에 의존한다. 수용액 상태에서 용해적곱 상수는 Ca>Mn>Cd>Fe>Pb>Ni>Zn>Cu>Cr 순이며, 활동도계수는 Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>>Cd<sup>2+</sup>>Pb<sup>2+</sup>>Fe<sup>3+</sup>>Cr<sup>3+</sup>으로 실제 자연상태에서 Ca, Na, Mn, Cd, Fe 등은 용해가 다른 원소보다 원할하므로 다른 원소들의 농도를 정량화할때 용해도곱 상수와 활동도계수를 고려한 연구를 병행함으로써 보다 정확한 결과를 얻을수 있으리라 사료된다.

Table 6. Mass of dustfall and elements by area and period in Kunsan. (kg)

Class	Element	yr.flux <sup>a</sup> ~ day.flux <sup>b</sup>		yr.flux <sup>d</sup> day.flux <sup>c</sup>	
		1 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup>	376.35 km <sup>2</sup>	376.35 km <sup>2</sup>
Insoluble	Dustfall	19,551.2	53.6	7,358.108.9	20,159.2
	Zn	3.72	0.01	1,400.15	3.84
	Cd	0.08	0.00	30.76	0.08
	Cr	5.12	0.01	1,925.60	5.28
	Fe	167.15	0.46	62,906.23	172.35
	Pb	3.47	0.01	13,073.5	3.58
Soluble	Dustfall	24,271.0	66.5	9,134,378.3	2,5025.7
	Zn	55.90	0.15	21,037.42	57.64
	Cd	8.68	0.02	3,266.81	8.95
	Cr	85.11	0.23	32,029.77	87.75
	Fe	519.44	1.42	195,489.91	535.60
	Pb	8.27	0.02	3,111.06	8.52
Total	Dustfall	48,822.2	120.1	16,492,487.0	45,184.9
	Zn	59.62	0.16	22,437.57	61.47
	Cd	8.76	0.02	3,297.56	9.03
	Cr	90.22	0.25	33,955.36	93.03
	Fe	686.59	1.88	258,396.14	707.94
	Pb	11.74	0.03	4,418.41	12.11

## 4. 결 론

본 연구는 대기 중 강하분진을 포집하기 위해, 영국식 deposit gauge를 제작하여 사용했다. 시료 채취 장소는 군산시 7개 지역을 선정하여, 1997년 9월부터 1998년 8월까지 1년간의 측정된 결과를 이용하여 월별, 계절별 침착량을 구한 결론은 다음과 같다

1. 총 강하분진과 Zn, Cd, Fe, Pb 침착량이 조사기간 동안 7지역 모두 유사하였으나, 청정 지역으로 선택한 G지역이 강하분진, Cr이 높았고 Pb이 평균치를 상회하고 있는 것으로 조사되었는데, 이는 오염물질이 상당히 멀리 이동하여 침착량이 높아지는 것으로 보여 주변지역의 오염원 조사가 시급하다고 사료되며, 육상 오염원 뿐만 아니라 해상 오염원의 규제 필요성이 절실하였다.

2. 불용성분에 비해 수용성분의 침착량은 강하분진이 1.4배, Zn이 15.2배, Cd이 106.2배, Cr이 16.6배, Fe이 3.1배 그리고 Pb이 2.4배로 수용성분 중에 상당량 검출되었다. 지역별로는 총 강하분진 계절평균침착량의 범위가 8.8~18.5 ton으로 공단 지역인 A지역이 12.3 ton으로 가장 높았으나 조사 대상 7군데 지역 모두 비슷한 침착량을 나타내었다.

3. 계절별 침착량의 변화가 인위적 기원 원소인 Zn, Cr의 경우 봄>여름>가을>겨울 순으로 침착량이 조사되었고, Pb는 여름철에, Fe은 봄철에, 그리고 Cd은 가을에 가장 높은 침착량을 나타내었다

4. 1998년 여름철에 Pb은 해안에서 가까운 B지역 (15.0 kg/km<sup>2</sup>/season)과 C지역 (7.8 kg/km<sup>2</sup>/season)의 높은 침착량은 선박용 기름에서 배출되므로 유사 오염원에 대한 규제가 필요하다고 사료된다.

5. 공단지역(A)의 경우 강하분진과 Zn, Cr, Fe 등이 높게 조사됐지만 공단과 해안에서 가까운 B지역에서는 Pb이 오히려 A지역 보다 높게 검출되었고, 상업지역이면서 해안에서 가까운 위치인 C지역도 Cd의 침착량이 높아 분석시 기상에 의한 영향을 고려해야 한다고 사료된다.

6. 각 지역의 계절별 원소 침착량 중 수용성분의 평균 분율은 Fe 0.34, Zn 0.62, Cd 0.90, Pb 0.47, Cr 0.62로 조사되었으며, Fe은 거대입자 영역에 Zn, Cd, Cr은 미세입자 영역에 많이 포함된 것으로 조사되었다.

### 참 고 문 헌

김성천, 김동술(1996) 한국에서 분진 및 금속원소의 건식 침착속도 추정에 관한 연구, 한국대기보전학회

지, 12(1), 101-112.

박기채 (1982) 일반화학, 일신사, 472-476.

BSI(1969) Methods for the measurement of air pollution Part 1, Deposit Gauges. BS 1747. British Standards Institution, London.

BSI(1972) Directional dust gauges. BS 1974: Part 5. British Standards Institution, London.

Hall, D J and S.L. Upton (1988) A wind tunnel study of the particle collection efficiency of an inverted Fuisbee used as a dust deposition gauge, Atmospheric Environment, 22 1383-1394

ISO(1986) Measurement of particulate fallout by a horizontal deposit gauge, ISO/TC 146/ET 4 (Paris 75-2) 69E, International Organization for Standardization, Paris.

Jaffe, R H C.A. Cabreira, and J. Alvarado (1993) Organic compounds and heavy metals in the atmosphere of the City of Caracas, Venezuela I : Atmospheric Particles, II : Atmospheric Deposition Water, Air, and Soil pollution, 71, 293-313, 315-329

Rojas C M . J. Injuk, R.E Van Grieken and R.W. Laane (1993) Dry and wet deposition fluxes of Cd, Cu, Pb, and Zn into the southern bight of the North sea, Atmospheric Environment 27(A), 251-259.

Ross, M. and E.S. MacGee (1989) Chemical and mineralogical effects of acid deposition on marble and Salem limestone test samples placed at four NAPAP weather-monitoring sites. Am. Miner, 74, 367-383.

Standard Methods, for the examination of water and wastewater (1992) 18th Ed., preliminary treatment of samples, 3030 E Nitric acid digestion, 3~5, American Public Health Association, Washington, DC.

Warren Spring Laboratory(1983) Acid deposition in the United Kingdom. WSL, 104.