

한 시멘트공장의 분진발생과 대기확산에 관한 조사연구

연세대학교 보건대학원

장 남 익 · 정 용 · 권 속 표

=Abstract=

A Study on the Emission and Dispersion of Particulate Matter from a Cement Plant

Man-Ik Chang, Yong Chung, Sook-Pyo Kwon

*Department of Environmental Science, Graduate School of Health Science
and Management, Yonsei University.*

To investigate the an air pollution by particulate matter and its dispersion, a cement plant producing portland cement 600,000 ton/year and its vicinity were surveyed from October, 1980 to April, 1983.

The survey was mainly focused on main stack emission rate of the cement plant and particle size distribution in the dust, dustfall and total suspended particulate concentration in the area by month and distance from the stack.

The results of the study were as follows;

1. The main stack emission rate was surveyed before and after the spray tower was additionally installed to the original E.P and bag filter. Before the spray tower installed, the main stack emission rate was higher ($0.64\text{g}/\text{Nm}^3$) than the emission standard of Korean Environmental Preservation Law's ($0.5\text{g}/\text{Nm}^3$, amended to $0.4\text{g}/\text{Nm}^3$ on April 1983), but after the spray tower was installed, its main stack emission rate was markedly decreased to the standard ($0.43\text{g}/\text{Nm}^3$).
2. $2\sim 3\mu\text{m}$ of the particle size was the largest portion (20.8%) of the dust particulate from the main stack and 50% of the frequency distribution was $1.5\mu\text{m}$ of the size. Most particle size was below $10\mu\text{m}$.
3. The spray tower reduced the dustfall to $37.81\sim 9.76\text{ ton}/\text{km}^2/\text{month}$ while dustfall appeared at $45.29\sim 15.45\text{ ton}/\text{km}^2/\text{month}$, in the vicinity of plant before spray tower installed.
4. Mean concentrations of total suspended particulate for 24 hours of the various stations were determined in $20.6\sim 200.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 stations of them were higher than the value of Harry and William's arithmetic average standard $130\mu\text{g}/\text{m}^3$.
5. Linear regression between dustfall[X] and total suspended particulate[Y] concentration was an equation, $Y=4.024X+11.479$. [$r=0.91$]
6. During the whole seasons in the opposite area 100m apart from the emission source the prevailing wind direction was with estimated more than $30\text{ton}/\text{km}^2/\text{month}$, and the concentration of total suspended particulate for 24 hours averaging time was more than $140\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the same area and direction.

7. Assuming the wind direction were constant through the day dustfalls for a day were estimated at 13.40ton/km²/day, 10.79ton/km²/day and 4.55ton/km²/day at various distances of 100m, 500m and 1,500m from the emission source respectively.

8. In the simulation of dustfall and suspended dust by area, Gaussian dispersion model modified by size distribution of particulate matter was not applied since the emission of dust were from multi sources other than stack.

From the above results, it could be applied that the dispersion of dust from the cement plant is estimated and regulated for the purpose of environmental protection.

I. 서 론

시멘트 산업은 1894년 영국의 J. Aspdin에 의하여 Portland cement가 개발된 이후 천연 cement에서 Portland cement 시대로 전환되었으며 대규모 공장이 건설되어 대량생산이 가능해졌으며 인류문화에 많은 공헌을 해왔다.

현재 우리나라에는 전국에 8개의 시멘트 회사에 19개의 공장이 있으며 cement 생산량은 1982년 현재 약 1,800백만톤에 이르고 있다(한국양회공업협회, 1982).

이같은 시멘트 공업의 발전과 생산량 증대는 환경오염이란 문제를 야기시키기 시작하였으며 특히 시멘트 공장 주변 주민의 분진에 의한 생활환경 및 농작물에 대한 피해가 거론되기 시작하였다.

cement dust에 의한 식물피해는 미국의 Peirce (1909)와 Parish(1910)의 보고서에 의하면 농작물의 잎 위에 떨어진 cement dust는 이슬과 소량의 강우에 의하여 잎표면에 두껍고 견고한 피막을 형성하며, 특히 citrus(감귤류)의 경우 그 피막은 전분생성 및 광합성 작용에 지장을 준다고 보고하고 있다.

Adersen(1961)은 뱃나무열매에 미치는 cement dust의 영향에 관하여 꽃가루의 결실을 방해한다고 하였다.

Scheffer(1961) 등은 2년간 4가지 농작물에 전기집진기(Electrostatic precipitator)에서 취해진 Cement kiln dust를 1.5g/m²/day의 비율로 살포하였으나 농작물에 직접적 피해는 없었으며 토질의 변화를 통한 간접적인 영향이 있을지 모른다고 지적하였다.

Pajenkamp, H.(1961)는 시험식물에 0.75~1.5g/m²/day의 Cement dust를 살포하여 관찰하였으나 아무런 피해가 나타나지 않았다고 하였으며 이에 대하여 Guderian, R.과 Wentzel, K.F.(1961)은 식물에 피해가 없는 최대농도한계를 2.5g/m²/day라 하였고Bohee H.(1963) 3.8g/m²/day라고 하였다.

우리나라는 아직 cement 분진에 대한 생활피해 및 식물피해에 관한 연구는 물론 대량의 분진을 배출하는

시멘트 공장에 대한 정확한 분진배출 자료도 없는 실정이다.

이에 시멘트공장 주변의 분진발생 및 확산상태를 조사하고, 이에 대한 대기보전을 위한 기본자료를 제시할 목적으로 한공장 주변의 분진오염도를 파악하기 위하여 공장주연둘에서 분진배출 및 배출분진의 입경분포를 조사하였고, 주변지역의 강하분진 및 부유분진량을 실제 측정하였다. 또한 측정된 자료를 기초로 하여 대기질 확산모델을 이용하여 부유분진농도를 추계하였으며 또 강하분진과 부유분진의 실측치를 이용하여 거터별 강하분진 및 부유분진 오염농도를 구하였고, 이에 풍향빈도를 적용하여 지역별 오염강도를 예측하여 약간의 결과를 얻었기에 보고한다.

II. 조사 대상

1. 주변 현황

조사대상공장은 인구 5만 정도의 소도시의 남단에 위치하고 있으며, 주변지역의 약 70% 정도가 100~300m 정도의 야산으로 되어 있으며, 농경지는 공장을 중심으로 하여 남서쪽으로 길게 뻗어있다. 또한 주변에는 차량이동이나 주택난방등으로 인한 분진배출을 제외하고는 대규모 분진배출 산업장은 없다.

2. 공장 현황

공장규모는 공장부지 181,488m²에 공장구축물 시설 22,109m²이며 생산방법은 Rotary kila에 Suspension preheater kiln 방식으로 Portland cement 제 1종을 생산한다.

1) 원료 및 연료사용량

Portland cement의 주원료는 석회석, 점토, 철광석 석고를 사용하는데 본 공장은 석회석에 점토가 약 7% 함유되어 있어 따로 점토를 사용하지 않는다. 또한 사용 연료는 Banker-C 유로서 1년에 약 53,000kl을 사용한다.

연료 및 원료사용량은 표 1과 같다(1980년).

표 1. 조사대상 공장의 원료 및 연료사용량

단위 : ton/년

석회석	철광석	석고	방카C유(kl)
66,907	9,909	15,417	53,000

2) clinker 및 cement 생산량

이 공장의 clinker 및 cement 생산량은 표 2와 같다. 연간 cement 생산량은 약 60만톤으로 이는 우리나라 cement 생산량의 약 3%를 차지하는 량이다.

표 2. 조사대상공장의 연도별 clinker 및 cement생산량
단위 : %

년	도	clinker 생산량	cement 생산량
1976		549,371	574,207
1977		571,845	596,701
1978		599,219	634,402
1979		577,237	580,058
1980		605,848	610,407
1981		603,236	621,952

3) 집진장치 시설현황

이 공장의 집진장치 시설현황은 표 3과 같이 전기집진기 2기, 세정집진기 1기, 멀티크론 2기, 여포집진기 9기로서 총 집진기 설치대수 14기에 집진능력은 약567만m³/hr이다.

표 3 조사대상공장의 집진장치 설치현황

시 설 명	능 력 (CMH)	집진효율 (%)	실 치 대 수	설치년월일
전기집진기	111,000	99.95	2	1973. 6. 20
세 정 기	225,592	90.00	1	1981. 8. 5
멀 티 크 론	200,000	94.00	2	1973. 6. 20
여포집진기	20,000	99.60	9	1973. 6. 20
계	556,592		14	

Ⅲ. 조사 방법

1. 주변 기상

· 풍향, 풍속

1972년부터 1981년까지 10년간 공장에서 북쪽으로약 3km 거리에 위치한 농촌지도소에서 측정 한 기후자료에서 계절별 풍향 및 풍속의 출현 빈도를 구하여 오염

도 추계에 이용하였다.

2. 오염 원

1) 주연돌 배출물

공장주연돌의 높이는 지상으로부터 약 60m에 달하고 상단 배출구의 직경은 2.8m이다. 측정위치(지상 50m지점) 설정 및 측정방법은 공해공정시험법의 먼지 측정방법에 의하여 1980년 10월부터 1983년 4월까지 총13회 측정하였다. 또한 cement 공장에서는 주연돌 이외에 원료의 조쇄(crushing), 미분쇄 과정 및 크링카 분쇄 과정에서 분진이 배출되며, 또한 원료 및 크링카 저장과 운반과정에서도 분진이 발생된다.

2) 주연돌 배출분진 입경분포

Anderson 굴뚝먼지 측정기(Anderson stack dust sampler; 미국 RAC. CO.)을 이용하여 총 4회 측정하였다.

3. 주변 오염도

1) 강하 분진량

1980년 10월부터 1982년 11월까지 조사공장을 중심으로 거리별 방향별로 총 10개의 측정지점을 선정하여 각 지점마다 1개월 간격으로 16~18회 측정하였으며, 그 위치는 도 1과 같다.

측정방법은 영국의 Deposit gauge 간이법(D.S.I.R., 1958)을 이용하였으며 녹조류 발생을 방지하기 위하여 0.02N CuSO₄ 10ml을 가한 플라스틱병(구경 12cm, 높이 30cm, 용량 5l)을 차폐물을 피하여 지상 5~7m 정도의 높이에 설치한후 1개월마다 수거하여 적외선등으로 증발건고한후 첨가한 CuSO₄량을 공제하여 분진 무게를 측정하고 ton/km²/월로 표시하였다. 또한1981년 8월 5일 세정집진기 설치일을 기준으로 집진기 설치전후의 강하분진량을 구분하였다.

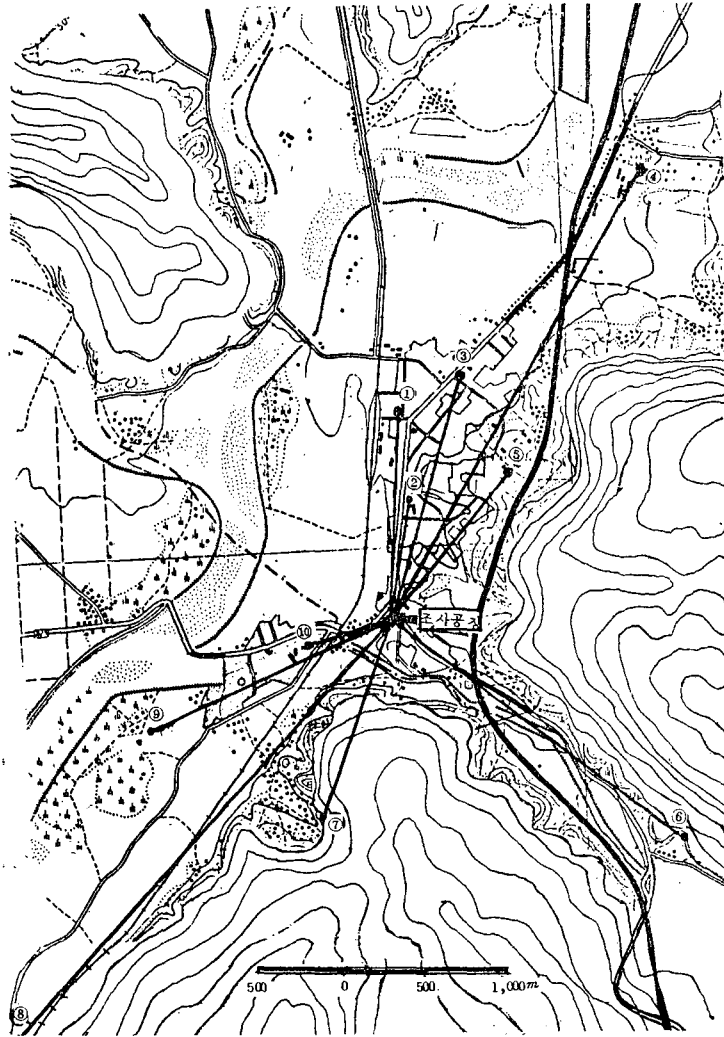
2) 부유 분진량

공해공정시험법 하이볼륨 에어 샘플러법(High volume air sampler; 일본 KIMOTO. Co. Model-120)에 의해 측정하였다.

측정위치는 강하분진 측정위치와 같으며 1980년 10월부터 1983년 4월까지 8개 지점에 총 18회 측정하였다

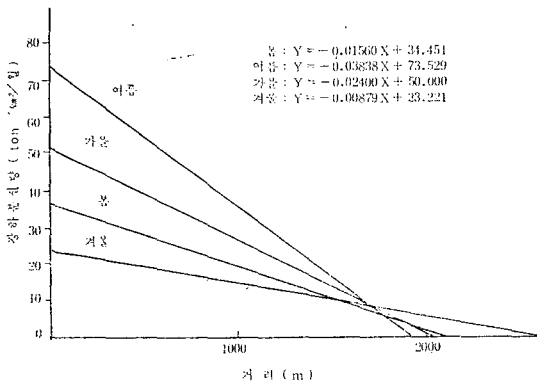
4. 오염도 추계

공장에서 NE 방향에 위치한 3개의 실측지점 ①②③에서 세정집진기 설치전에 측정 한 계절별 강하분진량을 이용하여 공장에서 거리에 따른 농도의 변화를 계절별로 도 2와 같이 직선회귀방정식으로 표시하였으며, 이 직선회귀방정식을 이용하여 거리별 강하분진량



도 1. 강하분진 및 부유분진 측정위치

을 구하여 다음과 같이 계절별 지역별로 강하분진량을 추계하였다.



도 2. 동일방향(N.E)에서 계절별 거리에 따른 강하분진량의 변화

$$Cd = C_g \times \frac{30}{D} \dots \dots \dots (1)$$

$$Cdy = Cd \times \frac{Dy}{30} \dots \dots \dots (2)$$

Cd : 풍향이 동일방향으로만 불었다고 가정하였을 때 1개월간 이론 강하분진량 (ton/km²/월)

Cg : 직선회귀방정식에 의한 계절별, 거리별 강하분진량 (ton/km²/월)

D : 측정 1개월간의 SW 풍향일수 (횟수)

Cdy : 일정지점 y에서의 강하분진량 (ton/km²/월)

Dy : 동일계절 3개월간 평균 y방향 풍향빈도율 × 30

위 (1) (2)식을 이용하여 계절별로 각 방향의 풍향일수를 적용하여 지역별로 오염농도를 추계하였다.

또한 세정집진기 설치후의 강하분진량은 집진기 설치전의 직선회귀방정식에서 설치후의 감소율을 적용하

여 위식에서 강하분진량을 추계하였다. 또한 부유분진량은 위식에서 나타난 계절별 지점별 강하분진량에 강하분진량에 따른 부유분진농도 변화의 관계식에서 나타난 계수를 곱해서 지역별 계절별 농도를 추계하였다.

또한 식 (1) (2)를 이용하여 다음과 같이 1일 강하분진량을 구했다.

$$Cd(\text{day}) = \frac{Cd}{30} \dots\dots\dots (3)$$

$$= Cg \times \frac{30}{D} \times \frac{1}{30}$$

$$= Cg \times \frac{1}{D}$$

Cd(day) = 동일 풍향이 계속될때 1일 이론 강하분진량 (ton/km²/day)

1. 오염 원

1) 주연돌 배출물

주연돌 배출물 조사 성적은 표 4과 같이 최고 0.78g/Nm³에서 최저 0.22g/Nm³이었으며, 세정집진기 설치(1981. 8. 5) 전에는 평균 0.64g/Nm³으로 환경보전법 배출구 먼지허용기준 0.5g/Nm³을 약간 상회하고 있으며 세정집진기 설치후에는 평균 0.43g/N으로 기준에 미달하고 있다.

2) 주연돌 배출분진의 입경분포

주연돌 배출분진의 입경분포는 총 4회 측정하였으며 그 결과는 도 3 같다. 비표면적크기에서 빈도분포율은 2~3μm가 20.8%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 누적분포율 50% 값은 1.5μm로 나타났으며, 주연돌분진의 비표면적 입경의 크기는 10μm이하가 대부분을 차지하고 있다(도 3).

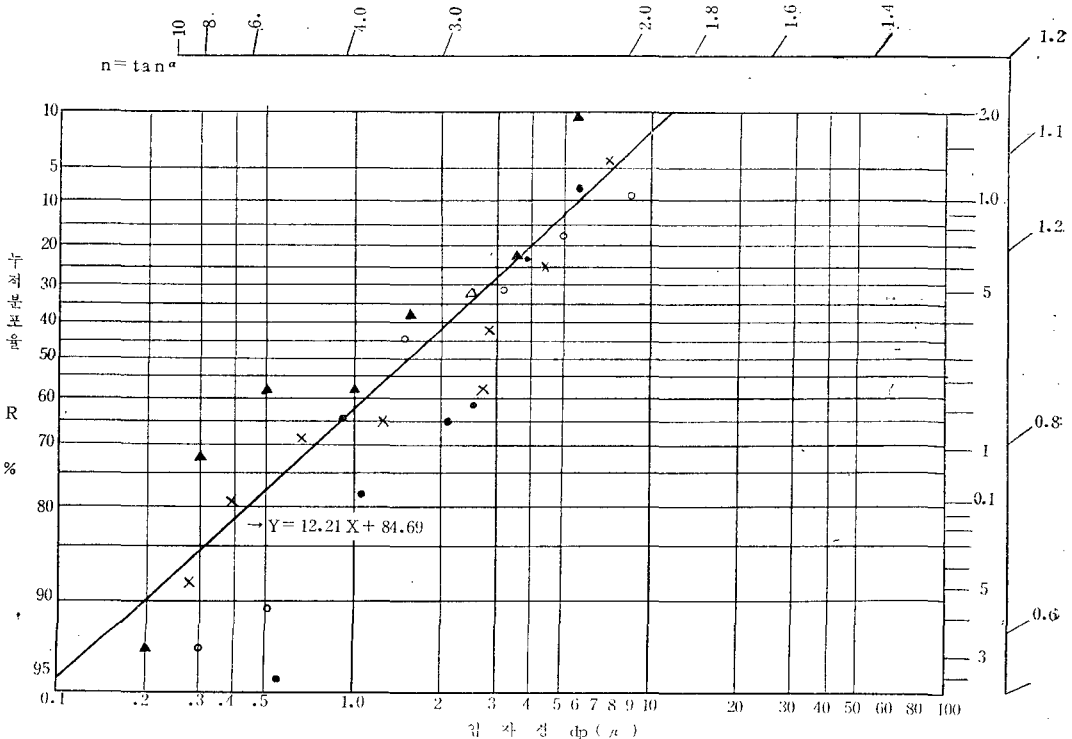
2. 주변 오염도

1) 강하 분진량

1981년 8월 5일 세정집진기가 설치되었으며 설치전 후 강하분진량의 성적을 구분하여 비교하였다. 세정집진기는 고온의 합집배기를 전기집진기 최적의 조건으로 만들어 주는 설비로서 처리능력 약 22만 5천m³/hr 효율 90%이며 전기집진기 전단에 위치하고 있다.

세정집진기 설치전의 강하분진량의 최고치는 배출원에서 가장 가까운 10번(거리: 350m, 각도: 265°) 지점에서 61.81ton/km²/월로 나타났으며 최소치는 4번(거리: 2,450m, 각도: 30°) 지점에서 2.10ton/km²/월로 나타났다(표 5).

또한 평균치는 10번지점이 45.29ton/km²/월로 가장 높았으며 2번(거리: 575, 각도: 15°) 지점이 29.63ton/km²/월 7번(거리: 875m, 각도: 203°) 지점이 27.80



도 3. 주연돌 배출분진의 입경분포

표 4. 공장 주변돌 분진배출율 조사

단위 : g/Nm³

측정횟수	측정일시	배출율	비고
1	80. 10. 29	0.74	세정집진기설치전
2	81. 1. 13	0.54	
평균		0.64	
1	81. 9. 7	0.37	81. 8. 5·세정
2	81. 10. 14	0.45	집진기 설치후
3	81. 12. 16	0.78	
4	82. 2. 16	0.56	
5	82. 4. 2	0.35	
6	82. 5. 7	0.22	
7	82. 6. 14	0.46	
8	82. 7. 15	0.25	
9	82. 8. 19	0.37	
10	82. 9. 22	0.46	
11	82. 4. 22	0.42	
평균		0.43	

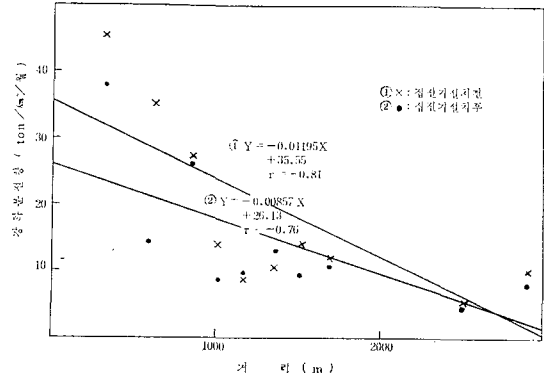
ton/km²/월 순으로 나타났고, 4번지점이 5.45ton/km²/월로 가장 적은 값을 보였다(표 5) (도 4)

세정집진기 설치후의 강하분진량은 10번지점이 70.04 ton/km²/월으로 최고치를 나타냈으며, 4번지점이 2.79 ton/km²/월으로 최소치를 나타냈다(표 6).

또한 세정집진기 설치후의 강하분진량 평균치는 10번지점이 37.81ton/km²/월, 7번지점 26.32ton/km²/

월, 2번지점이 14.42ton/km²/월 순으로 나타났으며, 4번지점이 4.76ton/km²/월으로 제일 적은 값을 보였다(표 6).

또한 배출원으로부터 거리에 따른 강하분진량의 변화는 도 4와 같이 거리가 공장으로 부터 멀어질수록 뚜렷이 감소하는 것으로 나타났으며, 세정집진기 설치전후의 강하분진량은 설치전에 비해 설치후가 다소 감소하고 있다(도 4).



도 4 세정집진기 설치전후의 거리에 따른 강하분진량 변화

또한 세정집진기 설치후의 강하분진량의 평균실측치를 이용하여 거리에 따른 직선회귀방정식을 작성하였다. 그 식은 도 4에서 보는 바와 같이 세정집진기 설치전에는 $Y = -0.01195X + 35.55$ ($r = -0.81$)이고, 세정집진기 설치후에는 $Y = -0.00857X + 26.13$, ($r = -0.76$)으로 표시되었다. [(X=거리m), Y=강하분진량(ton/km²/월)]

표 5. 세정집진기 설치전 강하분진량

ton/km²/월

번호	조사기간 거리(m)	각도(°)	1980							1981		
			11.29~ 1.13	1.14~ 3.20	3.21~ 4.17	4.18~ 5.16	5.17~ 6.9	6.10~ 7.9	7.10~ 8.6	최고치	최소치	평균
1	1,350	5	12.17	9.35	15.04	13.30	8.99	8.40	8.03	15.04	8.03	10.75
2	575	15	21.25	15.24	19.49	31.22	12.70	48.70	58.83	58.83	12.70	29.63
3	1,500	20	12.37	8.62	10.81	9.99	5.04	48.23	6.67	48.23	5.04	14.53
4	2,450	30	—	5.20	7.21	8.42	5.04	4.73	2.10	8.42	2.10	5.45
5	1,000	35	10.76	9.70	12.32	13.39	8.99	36.13	6.66	36.13	6.66	13.99
6	1,690	123	21.24	10.31	10.94	9.10	12.46	17.29	8.69	21.24	8.69	12.86
7	875	203	40.21	39.06	29.26	14.25	14.37	38.65	18.83	40.21	14.25	27.80
8	2,875	223	11.10	7.83	8.61	8.23	5.76	27.33	5.49	27.33	5.49	10.62
9	1,175	250	11.03	—	—	11.26	8.34	7.96	6.70	11.26	7.06	9.13
10	350	265	57.63	54.07	54.21	61.81	37.39	39.73	12.18	61.81	12.18	45.29

표 6. 세정집진기 설치후 강하분진량

ton/km²/월

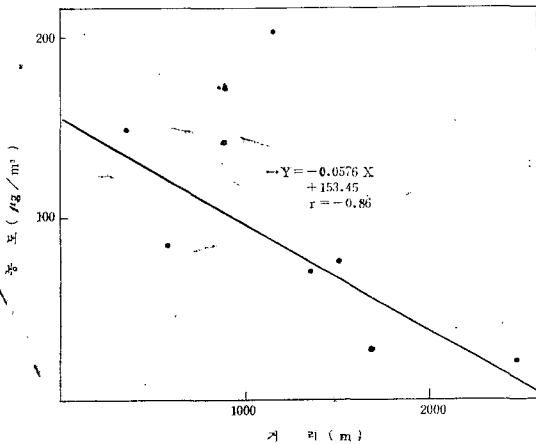
조사시간		1 9 8 1				1 9 8 2						최고치	최소치	평균		
번호	거리 () ()	8.7	9.8	9.30	11.11	4.1	5.8	6.15	8.17	8.20	9.23	10.23	최고치	최소치	평균	
		9.7	9.29	11.10	12.15	5.7	6.14	7.16	8.19	9.22	10.22	11.11				
1	1,350	5	7.02	15.36	11.16	10.84	20.53	13.53	9.28	21.26	11.71	7.45	10.66	21.16	7.02	12.60
2	575	15	14.36	8.69	15.70	13.31	16.97	13.30	10.34	17.75	20.22	12.68	15.34	20.22	8.69	14.42
3	1,500	20	5.54	12.20	13.63	5.50	11.44	5.61	5.50	11.41	10.79	7.80	13.09	13.63	5.50	9.32
4	2,450	30	3.93	4.50	5.78	3.45	9.81	4.49	4.59	4.26	5.23	3.61	2.79	9.81	2.79	4.76
5	1,000	35	6.62	4.34	6.15	10.28	9.12	13.72	7.06	5.95	10.27	—	13.27	13.72	4.34	8.68
6	1,690	123	5.44	5.91	11.79	8.79	14.28	7.65	9.71	7.53	10.17	13.38	26.67	26.67	5.44	11.03
7	875	203	14.54	25.06	37.81	46.02	18.14	15.85	14.33	20.27	24.54	36.30	36.69	46.02	14.33	26.32
8	2,875	223	3.72	7.56	10.93	7.50	9.55	8.83	7.32	7.99	8.79	8.08	8.73	10.93	3.72	8.09
9	1,175	250	5.51	6.60	9.88	10.75	14.16	11.67	7.99	9.44	8.98	11.94	9.64	11.94	5.51	9.69
10	350	265	39.77	22.00	43.44	70.04	35.28	31.23	31.00	29.66	44.56	31.16	—	70.04	22.00	37.81

표 7. 지점별 부유분진농도

측정지점번호거리()	1	2	3	4	6	7	9	10
측정수	1,350	575	1,500	2,450	1,690	875	1,175	350
1	73.3	95.3	52.2	20.6	36.1	82.7	180.9	123.9
2	69.5	74.2	104.1		17.2	195.7	219.0	316.8
3								112.8
4								114.3
5								54.5
평균	71.4	84.8	78.1	20.6	27.7	140.1	200.0	144.5

2) 부유 분진량

부유분진량은 8개 지점에서 18회 측정하였다. 표 7과 같이 최고농도는 10번지 점에서 316.8μg/m³으로 나타났으며



도 5. 거리 변화에 따른 부유분진농도의 변화

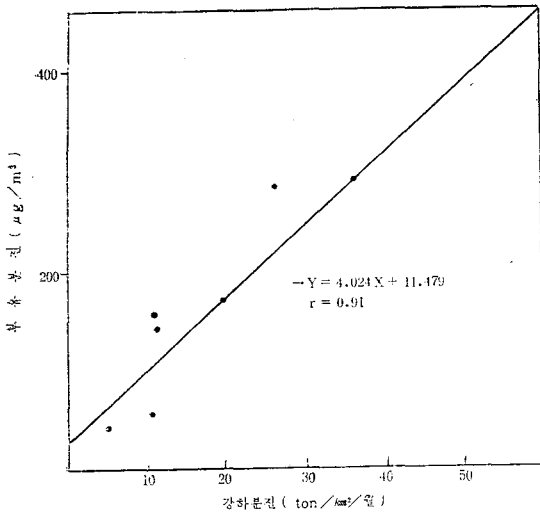
타났으며 최소치는 4번 지점에서 20.6μg/m³으로 나타났습니다.

평균농도는 9번 지점에서 200μg/m³, 10번 지점에서 144.5μg/m³, 7번 지점에서 140.1μg/m³ 순으로 나타났으며 4번 지점에서 20.6μg/m³으로 제일 낮은 농도를 보였다.

거리에 따른 부유분진량의 변화는 도 5과 같이 배출원에서 거리가 증가할 수록 감소되는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 또한 실측된 부유분진량의 평균치를 이용하여 거리에 대한 직선회귀방정식으로 표시한 결과 $Y = -0.00576X + 153.45$ 로 나타났으며 $r = -0.86$ 으로 높은 상관성을 보였다($X =$ 거리(m), $Y =$ 거리부유분진량(μg/m³))

3) 강하분진량과 부유분진량의 관계

배출원으로부터 거리가 멀어 질수록 강하분진량과 부유분진량의 감소 경향은 뚜렷하게 나타났으며 이들간의 직선회귀방정식은 $Y = 4.024X + 11.479$ 로 표시되었



도 6. 부유분진량과 강하분진량의 관계

으며, $r=0.91$ 로 강하분진량과 부유분진량의 상관성은 매우 높은 것으로 나타났다(도 6).

3. 오염도 추계

1) 강하 분진량

각 지점에서 조사 실측된 분진 농도로부터 얻은 관계식으로부터 계절별 농도를 세정집진기 설치전후의 농도로 나누어 추계하였다.

표 9 계절별 주풍향 방향에서 강하분진량 추계(세정집진기 설치전)

단위 : $\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$

계절	주풍향	거리 (m)						
		100	250	500	750	1000	1500	2000
봄	NE	32.8	30.5	26.6	22.7	18.8	11.0	3.2
여름	NE	69.7	63.9	54.4	44.8	35.2	16.0	—
가을	SW	102.3	94.5	81.6	68.7	55.8	30.0	4.2
겨울	SW	84.5	79.5	71.2	62.8	54.5	37.9	21.3

표 10 계절별 주풍향 방향에서 강하분진량추계(세정집진기 설치후)

단위 : $\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$

계절	주풍향	거리 (m)						
		100	250	500	750	1000	1500	2000
봄	NE	24.1	22.4	19.6	16.8	14.0	8.3	2.5
여름	NE	51.3	47.1	40.1	33.2	26.2	12.0	—
가을	SW	75.2	69.1	60.3	50.9	41.5	22.6	3.3
겨울	SW	62.1	58.5	52.6	46.6	40.6	28.5	16.4

세정집진기 설치전 강하분진량 추계치는 봄에는 SW방향, 100m에서 $34.25 \text{ ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 제일 높았으며, 여름에는 SW방향 100m지점에서 $79.68 \text{ ton}/\text{km}^2/\text{월}$, 가을에는 NE, 100m에서 $47.60 \text{ ton}/\text{km}^2/\text{월}$, 겨울에는 NE, 100m에서 $22.34 \text{ ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 가장 높은 농도를 나타냈다.

세정집진기 설치후에는 설치전에 비하여 다소 강하분진량이 감소하는 것으로 나타났다. 단 추계치는 공장 이외의 배출원 즉 주택난방이나 차량이동등으로 인한 발생분진량을 공제하지 않은 수치이다.

또한 III-4의 식(3)의 방법에 의한 1일 동일풍향이 계속될때 1일 거리별 강하분진추계량은 표 8과 같다.

표 8. 거리별 1일 강하분진량 추계치

거리 (m)	100	250	500	750	1000	1500	2000
강하분진량 ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{일}$)	13.40	12.38	10.79	9.16	7.53	4.55	1.56

이때 평균 풍속은 $2.03 \text{ m}/\text{sec}$ 이고 풍속범위 $0 \sim 10 \text{ m}/\text{sec}$ 였다.

2) 부유 분진량

부유분진량은 봄에 SW방향 100m지점에서 $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 여름에는 SW방향, 100m지점에서 $332 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을에는 NE방향 100m지점에서 $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울에는 NE방향, 100m에서 $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도

표 11. 계절별 주풍향 방향에서 부유분진량 추계

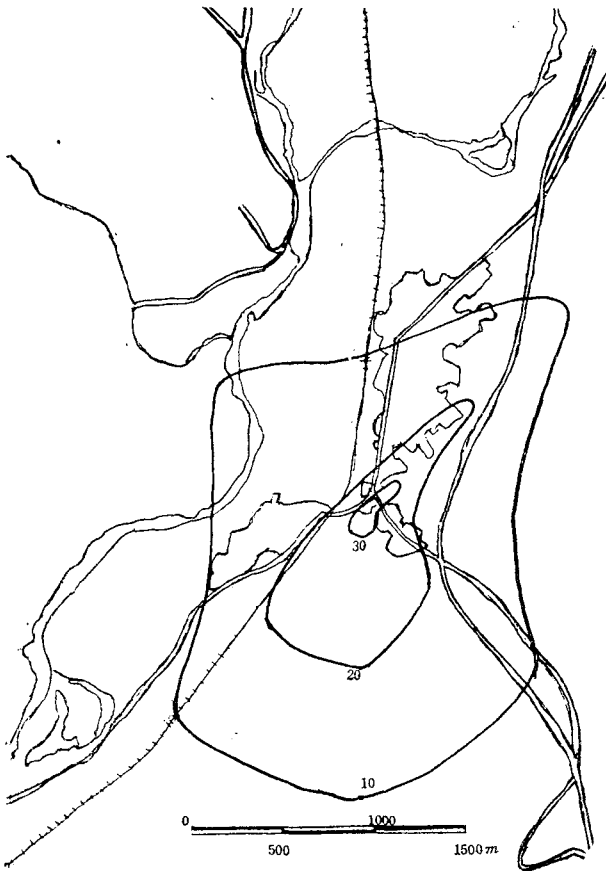
단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$

계절	주풍향	거리 (m)						
		100	250	500	750	1000	1500	2000
봄	NE	143.7	134.3	118.6	102.9	87.2	55.9	24.5
여름	NE	292.1	268.9	230.3	191.8	153.2	76.0	1.1
가을	SW	423.2	392.0	340.1	288.2	236.3	132.5	28.7
겨울	SW	351.5	331.5	298.0	264.5	231.1	164.1	97.2

를 나타냈다.

또한 세정집진기 설치전후의 주풍향 방향에서 계절별 강하분진량 추계치는 표 9, 10과 같으며 부유분진량 추계치는 표 11과 같다.

그리고 강하분진량의 지역별 추계도의 예는 도 7과 같다.



(단위 : $\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$)

도 7. 세정집진기 설치전 강하분진량 추계도(봄)

V. 고 찰

산업이 고도로 발달함에 따라 각종 배출원에서 배출되는 대기오염 물질은 생태계는 물론 건강피해 및 경제적인 피해까지 유발시키고 있다.

현재 우리나라는 분진배출업소인 시멘트공장이 전국에 19개소가 산재해 있으며, 여기에서 배출되는 분진에 의한 생활환경 및 농작물에 대한 피해가 거론되고 있다.

또한 우리나라는 아직 부유분진에 대한 환경 기준은 아직 없는 실정이며 배출구 먼지허용기준은 $500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 이하로 규제하고 있다. 미국 환경청(U.S. EPA)은 부유분진의 권고기준 농도를 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하연평균)으로 정하고 있으며 Harry와 William(1976)의 모델에 의한 30일간의 산술평균 농도로 환산하면 $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

본 조사에서 실측한 부유분진 농도는 $200\sim 20.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위에 있으며 배출원에서 거리가 멀어짐에 따라 농도는 감소되는 경향을 보였으며 8개 측정지점중 3개 지점의 평균농도가 Harry등의 기준농도를 초과하였다.

또한 세정집진기 설치전 강하분진량은 10개의 실측조사지점중 배출원에서 500m 이내의 거리의 평균치는 $45.29\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 1974년 국립보건원에서 조사한 서울시내의 상업지역 강하분진량 평균치 $34.86\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 을 초과하고 있으며 500~1000m에서는 평균 $29.63\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 서울시의 도심지역 $23.28\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 과 비슷하였고, 1000m 이상에서는 $10.75\sim 5.45\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 서울공원 지역의 $18.63\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 에 미달하는 것으로 나타났다.

또한 강하분진량 추계치는 세정집진기 설치전에는 봄에 배출원에서 100m 거리에서 NE, SW, 방향이 $30\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 이상으로 나타났으며 여름에는 배출원에서 100m거리 NE, SW, 방향에서 $60\text{ton}/\text{km}^2/\text{월}$ 로 높

은 수치를 보였다. 또한 가을과 겨울은 SW방향, 100m에서 102.84ton/km²/월로 가장 높은 농도로 나타났으며, 세정집진기 설치후에는 설치전에 비하여 다소감소하는 경향을 보였다.

또한 부유분진량 추계농도는 봄에는 SW방향 250m에서 Harry(1976)등의 기준농도인 130μg/m³을 초과하였고 여름에는 NE, NW방향 1000m지점에서 이기준을 초과하였다. 또한 가을과 겨울에는 SW방향, 1,500m 지점에서 Harry등의 기준농도를 초과하였다.

그러나 실측치 및 추계치는 공장이외의 배출원이나 지면에서 비산되는 분진을 공제하지 않았기 때문에 모두 조사대상 공장에서 배출되는 분진의 영향이라고 말할 수는 없으며 앞으로 공장에서 배출되는 분진의 기여도를 정확히 예측하기 위해서는 공장주변에서 조사한 강하분진량 및 부유분진량의 화학성분과 배출원의 Cement dust의 화학성분을 비교하여 방향별, 거리별, 오염기여도를 추정할 필요가 있다고 사료된다.

한편 동일 풍향이 1일동안 계속되었다고 가정했을때 풍하측의 1일동안 낙하하는 강하분진의 거리별 추계치는 100m, 500m, 1500m에서 13.40, 10.79, 4.55ton/km²/day로 순으로 추계되었다.

또한 Gaussian model에 의하여 주연돌 배출율을 적용하여 여러 기상조건에 따라 부유분진량을 추계하였으며, 이를 실측농도와 비교하였으나 실측치에 비하여 낮은 농도를 보였다. 이는 공장 근처에 영향을 주는 부유분진은 주연돌 dust보다는 주연돌 이외에서 비산되는 분진의 영향이 더 큰것으로 사료되어 진다.

IV. 결 론

시멘트 생산량 약 60만톤/년의 Rotary kiln에 Suspension preheater kiln 방식의 Portland cement 제 1종을 생산하는 한 시멘트 공장주변의 분진오염도 및 대기확산상태를 조사하기 위하여 조사대상 공장에서 주연돌 배출율, 주연돌 배출분진의 입경분포를 조사하였고 조사대상공장 주변에서 강하분진량 및 부유분진량을 실제 측정하였으며 또한 실측된 자료를 이용하여 강하분진 및 부유분진의 지역별 오염농도를 추계하였으며 이에 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주연돌 배출율은 1980년 10월부터 1983년 4월까지 13회 측정하여 최고 0.78g/Nm³에서 최저 0.22g/Nm³으로 나타났고, 이를 세정집진기 설치전후로 비교하면 세정집진기 설치전에는 평균 0.64g/Nm³으로 환경보전법 배출구 먼지허용기준 0.5g/Nm³을 초과하고 있었으며 세정집진기 설치후에는 평균 0.43g/Nm³으

로 기준을 미달하고 있었다.

2. 주연돌 입경분포는 비표면적 크기에서 2~3μm가 20.8%로 가장 높은 비율을 차지하고 있으며 누적분포율 50% 값은 1.5μm이고, 10μm 이하가 전체분진의 대부분을 차지하고 있다.

3. 강하분진량의 평균치는 세정집진기 설치전에는 45.29ton/km²/월~5.45ton/km²/월로 나타났으며 설치후에는 37.81~4.76ton/km²/월로 집진기 설치후가 설치전에 비해 다소 감소되었다.

4. 부유분진량은 8개 지점에서 총 18회 측정하였으며 측정평균농도는 200~20.6μg/m³으로 나타났으며 배출원에서 거리가 증가할수록 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

5. 부유분진량과[Y] 강하분진량[X]의 관계를 직선 회귀방정식으로 표시하여 보면 Y=4.024X+11.479로 나타났고, r=0.91의 높은 상관성을 보였다.

6. 강하분진량 추계치는 세정집진기 설치전 주풍향 반대방향, 100m거리에서 가을, 겨울, 여름, 봄이 102.3ton/km²/월, 84.5ton/km²/월, 69.7ton/km²/월 32.8ton/km²/월의 순으로 나타났으며 세정집진기 설치후에는 다소 감소되었다. 부유분진농도는 주풍향 반대방향, 배출원에서 100m지점의 농도는 가을, 겨울, 여름 봄이 423μg/m³, 351μg/m³, 292μg/m³, 143μg/m³의 순으로 나타났으며 배출원에서 거리가 멀어질수록 감소하는 경향이 뚜렷하였다.

7. 동일 풍향이 1일동안 계속되었다고 가정했을때 풍하측의 1일 거리별 이론 강하분진추계량은 배출원으로부터 100m에서 13.40ton/km²/day, 500m에서 10.79ton/km²/day, 1,000m에서는 7.53ton/km²/day로 추계되었다.

참 고 문 헌

1. 권숙표, 정용: "서울시 대기중 유해 부유분진의 성분 분포에 관한 연구", 대한예방의학회지, 12:1, 1979
2. 권숙표, 정용: "Hanna-Goifford 모델에 의한서울시 대기오염 추정", 환경보전협회지, 1:1, 1980.
3. 권숙표, 정용, 임동규: "도시의 대기오염 모델과 환경기준 설정에 관한 연구", (I), (II), (III), (IV) (V), 1977~1981.
4. 권혁희, 김동근: "환경오염에 관한 연구(대기오염에 관하여)", 국립보전연구원보, vol.11, 203~220, 1974.
5. 국립환경연구소: "서울시내의 대기오염 확산현황과 측정오염도와의 비교분석에 관한 조사 연구"

- 1980.
6. 신응배 : "전국 특별대책지역 대기관리에 관한연구 한국과학기술연구소, BS E 475(4)-1339-6, 1909.
 7. 윤명조 : "도시의 대기오염현황과 건강에 미치는피해에 관한 연구", 카톨릭대학 의학부 논문집 20, 1971.
 8. 조병항 : "서울시내의 대기확산현황과 측정농도와 의 비교분석에 관한 연구", 국립환경연구소 1980.
 9. 환경청 : "공해공정시험법", 1981.
 10. 환경청 : "환경보전법", 1982.
 11. 한국양회공업협회 : "시멘트 통계연보", 1982.
 12. 横山長之, 北林興二 : "浮遊粒子狀物質の擴散", 産業公害 vol.17, No.4.
 13. 千秋銳夫 : "大氣擴散式の 整理と解", 公害と對策, 909-914, 1971.
 14. 失野雄辛, 佐藤弘三 : "擴散方程式入門", 公害研究對策センタ, 1978.
 15. Anderson, P.J. : "The Effect of Dust from Cement Mills on the Setting of Fruit," *Plant World*, 17 : 3, 57-68, 1961.
 16. Dicke, J. and Cross, F.L. : *Air Quality Management Strategy through the of Diffusion Model*, 1969.
 17. D.S.I.R. : "Measurement of Air Pollution", (H.M S.D), 1958.
 18. Ellis, F.D. : "Studies on the Effect of Cement-Kiln Dust on Vegetation", *J. of Air poll. Control Assoc.* 16-13, 1966.
 19. Frenkiel, F.N. and Goodall, D.W., : "Simulation Modeling of Environmental Problems," *John Wiley & Sons, N.Y.*, 1978.
 20. Guderian, R., : "Kurzberichte, H. Pajenkamp: *Einwirkung des Zementofenstaubes auf Pflanzen und Tiere*", *Staub*, 21 : 11, 518.
 21. Howard M. Ellis, Simon K. Mencher, "An Evaluation of the Proposed National, Ambient Air Quality standard for Particulate Matter, Sulfur Dioxide, and Nitrogen Dioxide", *J. of Air poll, Control Assos.* 21, 348-353, 1971.
 22. Harny, H. Hovey, Howard C. Jones, William N. Stasiuk, : "Short Term Air Quality Standards or Suspended Particulate Matter in New York State." *J. of Air poll, Control Assos.* 26, 129-131, 1976.
 23. Pasquill, F., "Atmospheric Diffusion," 2nd Ed., Ch. 5, *Ellio Horwood, England*, 1974.
 24. Parish, S.B. : "The Effect of Cement Dust on Plants," *Science*, 30 : 775, 652-654, 1909.
 25. Pajenkamp, H. : "Einwirkung des Zementofenstaubes auf Pflanzen und Tiere," *Zement-kalk-Gybs*, 14 : 3, 88-95, 1961.
 26. Peirce, G.J. : "The Possible Effect of Cement Dust on Plants," *Science*, 30 : 775, 652-654, 1909
 27. Peirce, G.J. : "An Effect of Cement Dust on Organge Trees," *Plant World*, 13 : 12, 288-290, 1910.
 28. Wayne R. Ott : "Environmental Indices Theory and Parctice, 149, *Ann. Arbourn. Science Publishers, Inc.*, 1978.