

## 점오염원과 면오염원의 대기환경영향 분석

### Air Quality Impact Analysis of Point and Area Sources

김 영 성 · 손 재 익

한국에너지기술연구소 에너지환경연구단  
305-343 대전시 대덕연구단지 사서함 5호  
(원고접수 : 1993. 4. 30)

Young-Sung Ghim and Jae-Ek Son

Energy and Environment Research Department  
Korea Institute of Energy Research  
P. O. Box 5, Taedok Science Town, Taejon 305-343, Korea  
(Received 30 April 1993)

#### Abstract

Air quality impacts of point and area sources were analyzed by using ISCST2 with wind speed and stability class combinations of SCREEN. Stack height was important in determining the impact of point sources. With the stack height reduced to 21m from 75m, the concentration in the vicinity increased several times in spite of decreasing the emission rate by half. When the emission rates were same, concentrations from an area source of 10m release height were slightly lower than those from a point source of 21m stack height at the plume centerline. But the area source resulted in larger area of high concentration. Concentration from the point source was high in neutral to slightly unstable conditions with strong winds in a short distance, and in stable conditions with weak winds in a long distance. Concentration from the area source decreased with distance from the source, and was high in stable conditions with weak winds.

#### 1. 서 론

오염원의 정확한 환경영향을 조사하기 위해서는 모델링에 의하거나 실측에 의하거나 제시된 결과와 오염원의 예상되는 결과를 충분히 포함할 수 있도록 유의하여야 한다. 미국 EPA의 모델 지침서에서는 사용모델의 복잡한 정도에 따라 오염원의 환경영향 분석을 1차(screening)분석과 정밀(refined)분석의 2단계로 구분하고 있다(USEPA, 1986). 1차 분석에서는 오염원이 주변지역에 가장 나쁜 영향을 미칠 때를 가상하여 분석하게 되며 기상조건 등도 실제 조건이 아닌 가능한 조건들을 이용한다. 1차 분석에서 양호하게 판정된 오염원은 더 이상의 분

석이 필요치 않으며, 위해 가능성이 있는 오염원만 정밀분석에 들어가게 된다.

모델링에서 오염원 자료 이외의 입력자료가 문제되거나 정확한 현장측정들이 논의되는 것은 모두 정밀분석의 단계이다. 1차분석은 실제조건을 토대로 하지 않는다는 점에서 현실성이 결여된 것으로 느낄 수도 있으나, 입수가 가능한 입력자료가 충분치 못할 경우 역설적으로 불완전한 입력자료에서 비롯되는 제한점을 극복할 수 있다는 장점이 있다. 또한 오염도가 높을 때를 집중적으로 취급하게 되므로 여하한 조건에서는 가능한 최대 오염도와 그 때의 조건들을 알아볼 수 있다.

본 논문에서는 1988년 서울지역의 SO<sub>2</sub> 오염도

조사 결과 대부분의 지역에서 면오염원의 영향이 압도적인 것으로 나타남에 따라(김영성과 손재익, 1992) 주요 점오염원과 면오염원의 대기환경영향을 1차분석하고 오염원 형태별 오염양상을 조사하고자 하였다. 원래 1차분석용 전문 모델로는 SCREEN이 있으나 이로써는 오염양상에 대한 다각적 분석이 어려울 뿐 아니라 특히 근거리에서 면오염원의 영향이 과다하게 예측될 수 있다는 단점이 있다 (Brode, 1988 ; 김영성 등, 1992). 따라서 본 논문에서는 SCREEN의 방법론을 토대로 정밀분석 모델인 ISCST2를 이용하였다 (USEPA, 1992).

2. 모델링 방법

2.1 ISCST2에 의한 1차분석

1차분석에서는 풍하거리에 따른 분석만을 행하므로 풍속자료만이 필요하다. 표 1은 SCREEN에서 사용하고 있는 10m 높이에서의 안정도별 풍속조건을 표시한 것이다. 가능한 모든 조건을 가상하기 위하여 보통은 고려하지 않는 E등급의 1m/s나 F등급의 4m/s까지 포함되어 있다. 본 논문에서는 표 1의 풍속조건을 시간별로 입력하여 주어진 기간 동안 풍하거리별 1시간 평균 최대 오염도를 계산하였다. 도시지역에서의 모델링입에도 F등급의 조건을 포함하여 분석하였는데, ISCST2의 경우 E등급과 F등급에서 확산은 동일하나 연기의 상승높이가 다르기 때문이었다.

Table 1. Wind speed and stability class combinations used by the SCREEN model (Brode, 1988).

Stability Class	10m Wind Speed(m/s)								
	1	2	3	4	5	8	10	15	20
A	+	+	+						
B	+	+	+	+	+				
C	+	+	+	+	+	+	+		
D	+	+	+	+	+	+	+	+	+
E	+	+	+	+	+				
F*	+	+	+	+					

\* Only for the rural mode.

혼합고는 서울의 분기별 안정도별 평균치를(이덕길 등, 1987), 기온은 안정도별로 1988년 서울의 측정치를 이용하였다 (김영성과 손재익, 1992). 오염원 주변은 평탄한 것으로 가정하였으며, SO<sub>2</sub>의 반감기는 regulatory 목적의 선택조항에 지정된 4시간을 사용하였다.

2.2 대상 오염원 선정

1988년 1/4분기 오염원 중 점오염원은 배출량이 가장 많은 것과 3번째 많은 것을 택하였는데, 후자를 선택한 이유는 배출량이 많은 오염원 중 특별히 굴뚝 높이가 낮았기 때문이다. 면오염원 역시 배출량이 가장 많은 것을 택하였으나 만일 다른 조건이 동일한 채 배출량만이 다르다면 여타 면오염원의 경우도 배출량의 비(ratio)만을 고려하여 결과를 예측할 수 있다. 즉,

$$C_1/C_2=Q_1/Q_2 \quad (1)$$

여기서 C와 Q는 오염물의 농도와 배출량을 1, 2는 면오염원 1, 2를 각기 의미한다.

표 2는 분석대상 오염원의 SO<sub>2</sub> 배출특성을 보여주고 있다. 면오염원의 1차분석은 평탄한 지형에서만 행하도록 규정되어 있고(Brode, 1988), 실제 본 연구에서는 지형적 요소를 고려하지 않았으나 표 2에서는 참고로 오염원 지표면의 고도를 함께 표시하였다.

Table 2. Average SO<sub>2</sub> emissions from the target sources in the 1st quarter of 1988\*

Point source	
P1	Location(m) X=192,800, Y=449,000, Z=14.0 Emission Q=99.85g/s, h <sub>s</sub> =75m, T <sub>s</sub> =149℃, v <sub>s</sub> =12.6m/s, d <sub>s</sub> =4.4m
P3	Location(m) X=190,900, Y=446,000, Z=21.0 Emission Q=49.41g/s, h <sub>s</sub> =21m, T <sub>s</sub> =175℃, v <sub>s</sub> =6.1m/s, d <sub>s</sub> =1.9m
Area source	
A1	Location(m) X=191,000, Y=446,000, Z=20.0 Emission Q=101.5g/s, h <sub>s</sub> =10m, x <sub>s</sub> =1,000m

\* From Na (1991). X, Y in the TM coordinate, Z=el-elevation, Q=emission rate, h<sub>s</sub>=physical stack height for point source and effective release height for area source, T<sub>s</sub>=gas exit temperature, v<sub>s</sub>=gas exit velocity, d<sub>s</sub>=stack inside diameter, x<sub>s</sub>=length of side of square area source.

3. 결과 및 고찰

3.1 점오염원 P1

표 3은 점오염원 P1의 1차분석 결과이다. 굴뚝의 높이가 75m로 비교적 높아 100m 정도의 근거리에 미치는 영향은 무시할 만하다. 그러나 풍하거리 200-600m의 오염도는 C등급의 약간 불안정한 대기조건에서 바람이 8-10m/s로 강할 때 연기상승이

**Table 3.** Screening estimates of maximum 1-hour ground-level SO<sub>2</sub> concentration for Source P1\*

X(m)	C(ppb)	Stability	u <sub>10</sub> (m/s)	z <sub>m</sub> (m)
100	0.0	F	1	360
200	2.2	C	10	1147
300	19.3	C	10	1147
400	31.3	C	10	1147
500	33.0	C	10	1147
600	31.9	C	8	1147
700	29.8	D	10	753
800	29.4	D	8	753
900	28.7	D	8	753
1000	27.3	D	8	753
1100	26.4	D	5	753
1200	26.1	D	5	753
1300	25.4	D	5	753
1400	24.6	D	4	753
1500	24.1	D	4	753
1600	25.3	F	1	360
1800	31.1	F	1	360
2000	36.2	F	1	360
3000	50.2	F	1	360
5000	50.0	F	1	360
10000	31.9	F	1	360
20000	14.5	F	1	360
50000	2.9	F	1	360

\* X=downwind distance, u<sub>10</sub>=10m wind speed, z<sub>m</sub>=mixing height.

억제되어 점차 높아지고 있다. 풍하거리 700-1, 500m에서 오염원 P1의 영향은 D등급의 중립조건에서 가장 큰데, 풍속이 낮을수록 연기가 높이 상승하여 먼 곳에서 최대오염도를 나타내며 오염도는 낮아진다. 1,600m 이후에 오염도가 최대가 되는 조건은 F등급의 1m/s로 일정하다. 3,000m 부근까지 오염도가 다시 높아지는데 이때가 P1의 영향으로 나타날 수 있는 가장 높은 최대오염도이다.

결국, P1의 오염도는 1km 이내의 근거리에서는 C-D등급의 바람이 강할 때 가장 높으며, 2km 이상의 원거리에서는 F등급의 바람이 약할 때 높다. 확산만을 감안하면 A등급일 때 근거리에서 오염도가 높아질 것을 예상할 수도 있으나 이때에는 바람이 약하여 연기가 높이 상승하므로 지표에 미치는 영향은 크지 않다.

### 3.2 점오염원 P3와 면오염원 A1

표 4는 점오염원 P3의 1차분석 결과이다. 전체적

**Table 4.** Screening estimates of maximum 1-hour ground-level SO<sub>2</sub> concentration for Source P3.

X(m)	C(ppb)	Stability	u <sub>10</sub> (m/s)	z <sub>m</sub> (m)
100	254.6	C	10	1147
200	258.7	D	10	753
300	216.7	D	5	753
400	185.6	D	4	753
500	160.9	D	3	753
600	200.7	F	1	360
1000	270.8	F	1	360
2000	194.0	F	1	360
3000	132.0	F	1	360
5000	74.0	F	1	360
10000	29.9	F	1	360
20000	9.9	F	1	360
50000	1.6	F	2	360

**Table 5.** Screening estimates of maximum 1-hour ground-level SO<sub>2</sub> concentration for Source A1.

X(m)	C(ppb)	Stability	u <sub>10</sub> (m/s)	z <sub>m</sub> (m)
1100	509.1	E	1	360
2000	250.2	E	1	360
3000	158.6	E	1	360
5000	97.0	E	1	360
10000	47.9	E	1	360
20000	17.7	E	1	360
50000	3.0	E	2	360

양상은 표 3의 P1과 비슷하나 굴뚝의 높이가 낮아 100m의 근거리부터 오염도가 높으며, 풍하거리별 최대오염도가 나타나는 기상조건의 변화도 오염원 가까이 앞당겨져 있다. 표 5는 면오염원 A1의 1차 분석 결과이다. 일정높이까지 연기가 상승하는 점오염원과 달리 오염물질이 오염원 높이에서 그대로 확산되는 것으로 가정함에 따라 오염도는 풍하거리에 곧바로 반비례하여 감소하고 있다. 연기상승이 배제된 까닭에 오염도가 높아지는 기상조건도 대기가 안정되고 풍속이 낮을 때로 단순하다.

### 3.3 오염원 배출물의 농도분포

그림 1은 점오염원 P1, P3와 면오염원 A1의 1차 분석 결과를 비교한 것이다. P3의 배출량은 P1의 약 1/2임에도 굴뚝의 높이가 28%에 불과하여 주변 지역의 가능한 최대 오염도가 P1의 수십 ppb에 비

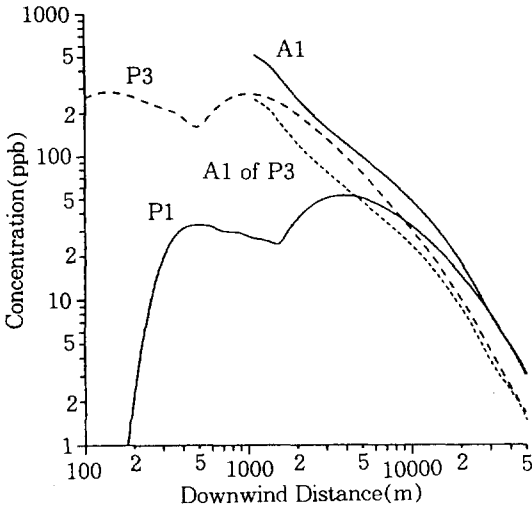


Fig. 1. Comparison of maximum 1-hour ground-level  $SO_2$  concentration distributions from point and area sources as a function of downwind distance. A1 of P3 signifies a hypothetical source that has the characteristics of Source A1 but has the emission rate of Source P3.

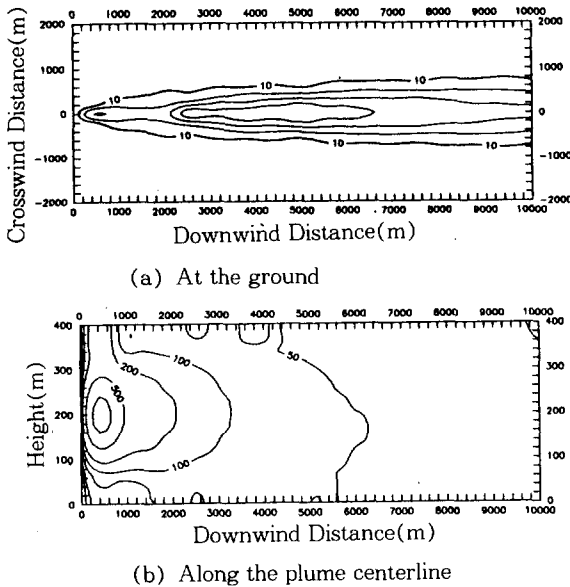


Fig. 2. Maximum 1-hour  $SO_2$  concentration distributions from Source P1 in ppb by screening analysis.

하여 수백 ppb로 높다. 그림 2와 3은 오염원 배출물의 이동 및 확산의 전반적 경향을 알아보기 위하

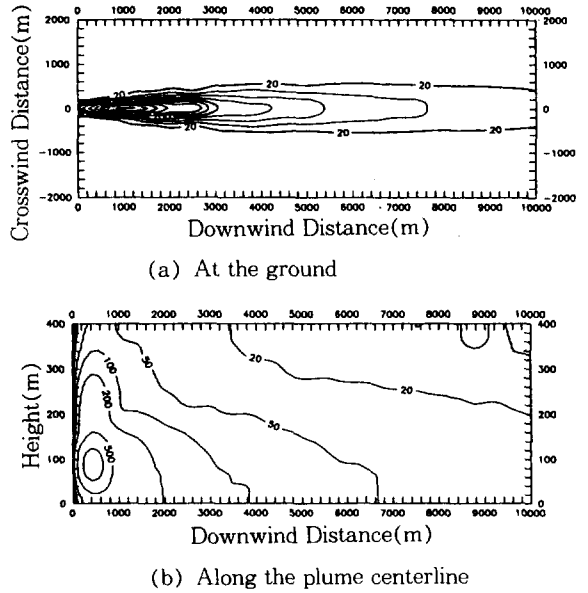


Fig. 3. Maximum 1-hour  $SO_2$  concentration distributions from Source P3 in ppb by screening analysis.

여 각기 P1과 P3 배출물의 지표면에서의 농도분포와 중심선을 따라 고도별 농도분포를 조사한 것이다. P3의 경우 굴뚝의 높이가 낮아 고농도 부분이 지표에 인접함에 따라 지표의 농도가 높아지는 현상을 명확히 볼 수 있다. 그러나 이같은 차이는 근거리에서 집중되며, 10km 이상 중거리(mesoscale) 지표면에 미치는 영향은 절대값은 작으나 P1이 P3보다 크다.

그림 1에서 면오염원 A1의 오염도는 점오염원 P3보다도 높다. 그러나 A1의 배출량이 P3와 같을 때를 가정하면 거리별로 차이가 있으나 P3보다 약간씩 오염도가 낮다. 그림 4는 A1의 배출량이 P3와 같다고 가정하여 A1 배출물의 지표면에서의 농도분포와 중심선을 따라 고도별 농도분포를 살펴본 것이다. 점오염원이 일정 높이에서 배출된 오염물이 지표면에 영향을 미치는 반면 면오염원은 배출 자체가 지표부근에서 이루어진 후 지표위로 확산되는 형태이다. 배출량이 동일할 때 중심선 상 지표위의 오염도가 다소 낮음에도 불구하고 고농도 지역이 지표위에 훨씬 광범위하게 분포되어 있다.

#### 4. 검토

##### 4.1 점오염원의 굴뚝높이

점오염원의 굴뚝의 높이가 낮을 때 주변지역에

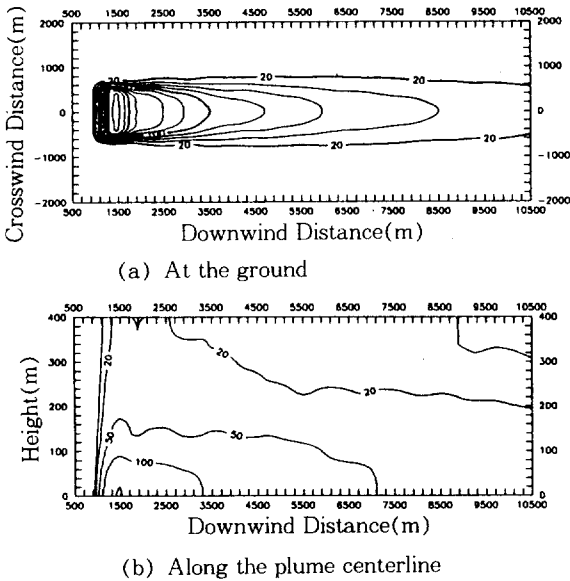


Fig. 4. Maximum 1-hour SO<sub>2</sub> concentration distributions from Source A1 in ppb by screening analysis with assuming that Source A1 has the same emission rate as Source P3.

미치는 영향이 커지며 면오염원의 배출이 지표부근에서 이루어짐에 따라 넓은 지역에 영향을 미친다는 사실은 충분히 예측할 수 있는 결과이다. 1차분석의 결과이기는 하나 문제는, 배출량이 100g/s에서 49g/s로 줄었음에도 굴뚝의 높이가 75m에서 21m로 낮아짐에 따라 최대오염도가 52ppb에서 271ppb로 5배 이상 높아진다는 점이다. 또한 굴뚝이 낮을 경우 배출물이 주변 건물에 의한 와류의 영향권에 들 가능성이 높아지므로 실제 상황은 더욱 악화될 수도 있다.

그러나 지표면의 오염도를 낮추기 위하여 굴뚝의 높이만 높히는 것 역시 해결책이 될 수 없다. 그림 2와 3에서 볼 수 있는 것과 같이 대기 공간내 오염물질의 농도는 분포의 차이가 있을 뿐 배출량에 비례할 수 밖에 없기 때문이다. 미국의 GEP(Good Engineering Practice) 굴뚝높이를 바탕으로 한 규제에 상응하는 관심이 필요하다(USEPA, 1985).

4.2 면오염원의 현황과역

면오염원의 중요성은 1988년 현재 서울지역 전체 배출량 중에서 면오염원의 배출이 80%를 넘나든다는 점에서 일단 주목할 필요가 있다(나진균, 1991). 뿐만 아니라 본 논문의 조사에 의하면 면오염원 배출의 영향은 우리생활과 밀접한 지표면에 집중되고

있다. 표 2의 면오염원 배출에는 4, 5종의 소규모 사업장의 배출과 가정용 연료사용, 차량 배가스 배출 등이 포함되어 있다. 소규모 사업장 배출은 1-3종 사업장 배출과 더불어 환경처에서 정기적으로 조사가 실시되므로 어느 정도 신뢰성을 지닐 수 있으나 비중이 월등 큰 가정용 연료사용은 총량만이 집계될 뿐이다. 차량등 수송에 의한 배가스 배출 역시 1990년 통계에도 서울지역 SO<sub>2</sub> 배출의 12%를 접하는 것으로 나타나있으나(환경처, 1991), 지역별 운행형태에 근거한 집계가 아닌 이상 큰 의미를 부여하기 힘들다.

최근 국내에서도 대기질 모델링에 관한 관심이 많이 증대되고 있다. 그러나 배출량의 비중도 크고 지표면 오염도에 특히 많은 영향을 미치는 면오염원에 대한 상세한 자료준비 과정을 거치지 않은 대기질 모델링으로부터 좋은 결과를 기대하기 어려움은 물론이다.

5. 결 론

SCREEN의 안정도별 풍속조건을 토대로 ISCST2를 이용하여 1988년 1/4분기 서울지역 주요 오염원의 풍하거리별 최대 오염도와 그 때의 기상조건을 조사하였다.

1) 점오염원의 영향은 굴뚝 높이에 따라 크게 달랐다. 굴뚝 높이 75m, 배출량 100g/s인 오염원이 지표면에 미치는 영향은 최대 50ppb 정도인 반면, 굴뚝 높이 21m, 배출량 49g/s인 오염원의 영향은 배출량이 1/2임에도 최대 271ppb로 5배 이상 컸다. 1, 2km 이내 근거리 오염도는 연기상승이 억제되는 강풍의 중립 내지는 약간 불안정한 대기조건에서 높았으며, 수 km 이상 거리의 오염도는 미풍의 안정된 대기조건에서 높았다. 오염원이 인근지역에 미치는 실제적 영향을 고려한다면 배출량과 함께 굴뚝 높이에 관한 규제가 필요하였다.

2) 점오염원이 일정 높이에서 배출된 오염물이 지표면에 영향을 미치는데 비하여 면오염원은 지표부근에서 배출된 오염물이 지표위로 확산되는 형태였다. 따라서 오염도는 오염원에 가까울수록 높았고, 지표위로의 확산이 억제되는 미풍의 안정조건일 때 오염도가 가장 높았다. 배출량이 동일할 때 10m 높이의 면오염원의 연기중심선 상의 오염도는 21m 높이의 점오염원의 오염도 보다 약간 낮았으나 전체적 고농도 지역의 범위는 면오염원이 훨씬 넓었다. 대기오염현상의 정확한 분석을 위하여서는 1-5종 배출업소뿐 아니라 가정용 연료사용과 수송부분 배출에 대한 상세한 정기적 조사가 필요하였다.

〈감 사〉

본 연구는 청정 에너지정책 수립을 위한 동력자원부(현 상공자원부) 출연연구사업의 일환으로 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

김영성, 경남호, 선도원, 배달희, 조성호, 임정환 (1992) 에너지소비에 따른 대기환경영향 평가법 개발(Ⅲ), 한국에너지기술연구소 연구보고서 KE-92058G.

김영성, 손재익 (1992) ISCLT에 의한 서울지역의 SO<sub>2</sub> 오염도 조사, 한국대기보전학회지, 8, 128-137.

나진균 (1991) 국립환경연구원, 개인 교신.

이덕길, 김양균, 나진균, 이석조, 유승도, 김진규, 김정수, 박보현, 김명식, 윤순창 (1987) 대기오염예측 모델개발에 관한 연구(Ⅱ), 국립환경연구원 연구보고서 NIER No. 87-03-199.

환경처 (1991) 한국환경연감.

Brode, R. W. (1988) Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, EPA Publication No. EPA-450/4-88-010, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

U. S. Environmental Protection Agency (1985) Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height (Technical Support Document For the Stack Height Regulations) (Revised), EPA Publication No. EPA-450/4-80-023R.

U. S. Environmental Protection Agency (1986) Guideline on Air Quality Models (Revised), EPA Publication No. EPA-450/2-78-027R.

U. S. Environmental Protection Agency (1992) User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC2) Dispersion Models. Volume I - User Instructions ; Volume II - Description of Model Algorithms ; Volume III - Guide to Programmers, EPA Publication No. EPA-450/4-92-008a ; -008b ; -008c.