

지역 분할 방법에 의한 ISCST3 모델링으로 수도권 지역에서 SO₂ 농도 예측 연구

구윤서 · 김성태 · 신봉섭* · 신동윤** · 이정주**

안양대학교 환경공학과, 안양대학교 정보통계공학과*, 용인대학교 환경보건학과**
(2003년 2월 10일 접수, 2003년 7월 16일 승인)

A Study on the Prediction of SO₂ Concentrations by the Regional Segment ISCST3 Modeling in the Seoul Metropolitan Area

Youn-Seo Koo · Sung-Tae Kim · Bong-Sup Shin* · Dong-Yoon Shin** · Jeong-Joo Lee**

Dept. of Environmental Engineering, Anyang University

Dept. of Statistics and Information, Anyang University*

Dept. of Environmental Health, Yongin University**

(Manuscript received 10 February 2003; accepted 16 July 2003)

Abstract

SO₂ concentrations in the Seoul Metropolitan Area (SMA) were predicted by the regional segment ISCST3 modeling. The SMA was segmented by three modeling regions where the weather monitoring station exists since the area of the SMA, approximately 100km × 100km, is too wide to be modeled by one modeling domain. The predicted concentrations by the model were compared with the measured concentrations at 39 air monitoring stations located in the SMA to validate the ISCST3 modeling coupled with the regional segment approach.

The predicted concentrations by the regional segment method showed better performance in depicting the measurements than those by the non-segment ISCST3 modeling. The correction methods of the calculated concentrations reviewed were here the correlation method by the first order linear equation and the ratio method of observed to calculated concentrations. The corrected concentrations by two methods showed good agreement with the measured data. The ratio method was, however, easily applicable to the concentration correction in case of a wide modeling region considered in this study.

Key words : ISCST3, Dispersion, Modeling, Correction method, Regional segment modeling

I. 서론

가우시안 확산모델인 ISC3(Industrial Source Complex-3) 모델은 비반응성 대기오염물질의 확산을 예측하는데 널리 사용되고 있는 모델로서 미국 환경보호청에서 권장하는 모델이며, 미국 내에서 가장 널리 이용되는 대기질예측모델 중의 하나이다. 최근 한국에서도 도시나 공단 등 오염 발생량이 많은 지역에서 대기오염도 예측에 많이 이용되고 있다. 이와 같은 ISC3 모델은 농도 예측 기간에 따라서 단기모델인 ISCST3 모델과 장기 모델인 ISCLT3 모델로 구분된다. 전의찬과 김정옥(1990)은 서울지역의 SO₂ 오염도를 ISCLT3 모델로 예측하는 연구를 하였으며, 김영성과 손재익(1992)은 ISCLT3 모델로 서울지역의 SO₂ 오염도를 계산하였다. 또한 송덕만과 최청정(1996)은 ISCST3 모델을 이용하여 울산 및 온산지역에서 대기오염도를 해석하였고, 정상진과 신영철(1998)은 수원지역을 대상으로 SO₂ 오염도를 ISCST3와 ISCLT3로 각각 예측하였다. 본 연구에서는 서울, 인천, 수원을 포함한 수도권 전지역을 대상으로 SO₂ 농도를 ISCST3로 예측하고자 한다.

ISCST3모델의 공간적 적용범위가 50km 이내로 제한적이며, 모델영역이 넓으면 모델영역 내에서 기상조건이 다르기 때문에 지금까지 이루어진 연구들은 거의 모두 공간적으로 한정된 지역을 대상으로 이루어져 왔다. 따라서 모델영역에 인접한 지역에서 배출되는 오염물질과 기상이 모델 결과에 미치는 영향을 체계적으로 고려할 수가 없었다. 그러나 우리가 관심을 갖고 모델링하고자 하는 수도권 지역은 그 대상영역이 약 100km × 100km로 매우 광범위할 뿐만 아니라, 조사된 자료에 의하면 기상조건도 영역 내에서 상당한 차이를 보이고 있다. 미국 환경보호청의 모델 사용지침에 의하면 모델 영역이 50km를 초과할 시는 MESOPUFF모델의 사용을 추천하고 있다. 그러나 이 모델은 배출원의 숫자가 제한적이고, 기

상자료 수집에 많은 노력을 요구하므로 수도권 지역을 대상으로 하기에 현재로서는 많은 어려움이 예상된다. 또한 바람장을 이용한 수치모델들도 Episode성 단기농도 예측은 가능하나, 장기 농도를 예측하는데는 현재의 계산기 용량으로 불가능한 실정이다(구윤서, 1999; Koo and Reible, 1995). 따라서 수도권지역을 대상으로 단기 및 장기의 오염도를 예측하는데 현재로서는 가우시안 모델이 수행 가능한 수단이다. 본 연구에서는 수도권 전역을 대상으로 ISCST3 모델링을 수행하면서, 모델링 영역 내 서로 다른 기상특성을 모델에 반영하기 위해서 아래와 같은 지역분할 기법을 도입하였다. 즉, 수도권 지역이 광범위하므로 수도권 지역을 기상대가 위치한 3개 권역(서울권, 인천권, 수원권)으로 분할하여 각 권역별로 기상자료와 SO₂ 배출량 자료를 조사하여 모델입력 자료를 작성하고, 모델을 수행하여 수도권 지역에서 SO₂ 농도를 계산하였다. 예측한 SO₂ 농도는 수도권에 위치한 39곳의 대기오염 자동측정망 자료와 비교하여 지역분할 모델링의 타당성을 검증하고, 최종적으로 지역분할기법을 도입한 ISCST3 모델링으로 수도권 지역에서 SO₂ 농도 분포를 예측하는 방법을 정립함으로써 향후 수도권지역의 대기질 관리에 활용하고자 하였다.

II. 지역 분할 방법 및 ISCST3 모델의 입력 자료

1. 지역 분할 방법

SO₂ 농도는 그 지역과 주변지역의 대기오염물질 배출량 및 기상에 가장 큰 영향을 받는다. 먼저 모델 영역인 수도권 지역에서 운영되고 있는 기상대의 위치는 그림 1과 같으며, 서울, 인천, 및 수원에 각각 기상대가 위치하고 있다. 위의 기상대에서 1995년도에 관측한 기상자료를 이용하여 작성한 바람장미는 그림 2와 같다. 서울의 기상조

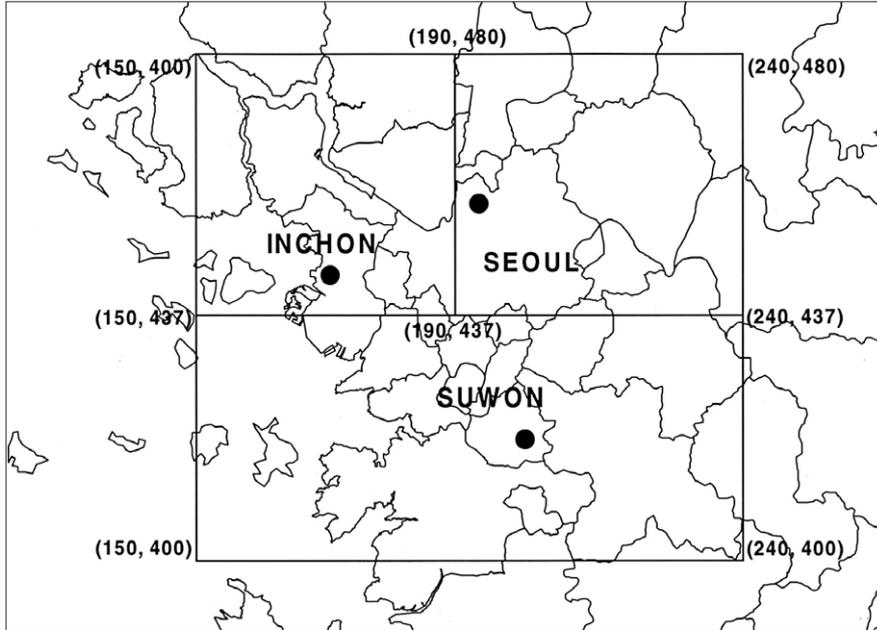


Fig. 1. Seoul metropolitan area segmented by Seoul, Incheon and Suwon regions for ISCST3 modeling. Closed circles represent the automatic weather stations.

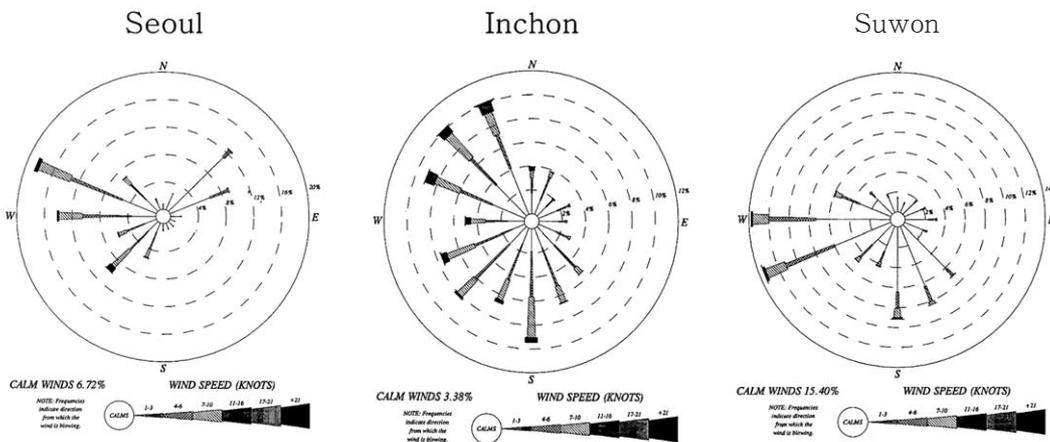


Fig. 2. Wind roses observed at Seoul, Incheon and Suwon weather stations in 1995.

건과 서해안과 인접해 있는 인천 및 수원 지역의 기상 조건은 각각 다르다. 기상 자료를 분석해 보면 서울권의 연간 주풍향은 북서서풍이며 인천권의 연간 주풍향은 전반적으로 북서풍 및 남풍이고, 수원권의 주풍향은 서풍계열로 나타났다. 이와 같

이 수도권 지역에서 기상조건이 각기 상이하므로 ISCST3모델링시 수도권 전역을 한 지역으로 간주하여 모델을 수행하기는 불가능하다. 따라서, 그림 1에 나타낸 바와 같이 수도권 지역을 서울, 인천, 수원 기상대를 중심으로 서울권, 인천권, 수

원권으로 분할하여 ISCST3 모델링을 각각의 분할권에 대해서 수행하였다.

모델의 대상영역을 구체적으로 살펴보면, 서울권은 TM 좌표 (190, 437)부터 (240, 480)까지이며, 크기는 서울 지역을 포함한 50km×43km이다. 인천권은 TM 좌표 (150, 437)부터 (190, 480)까지이며, 크기는 인천과 강화 지역을 포함한 40km×43km이다. 수원권은 TM 좌표 (150, 400)부터 (240, 437)까지로 경기 남부 지역이며, 90km×37km로 하였다. 이와 같이 수도권 전지역을 3개의 권역으로 구분하여 각각의 권역별로 기상자료와 배출량자료를 독립적으로 작성하였다. 작성한 입력자료로 ISCST3 모델링을 수행하여 각 권역별로 수용체에 미치는 농도를 각각 계산하였다. 비록 모델입력자료는 권역별로 구분되어 작성되었지만 농도를 계산하는 수용체 위치는 권역별 구분없이 수도권 전지역에 분포시키고, 동일한 좌표점을 사용하였다. 이와 같이 수도권 전역에 걸쳐 분포한 수용체에서 각 권역별로 계산한 SO₂ 농도를 모두 합하여 수용체에서 농도를 계산하여 SO₂ 농도 예측치를 구하였다.

2. ISC3 입력 자료

ISC3 모델에서 요구되는 입력자료는 배출량 자료와 기상 자료이며, 모델 검증을 위해서는 농도 실측 자료가 필요하다. 먼저 배출량 자료를 살펴보면 아래와 같다.

1) 배출량 자료

본 연구에서 SO₂ 배출량 자료는 정일래 등(1997)이 1995년도를 기준으로 산출한 SO₂ 배출원 자료를 사용하였다. 배출되는 오염원 중 굴뚝 사항을 알 수 있는 1, 2, 3종만 점오염원으로 취급하였다. 점오염원 중에서 같은 작업장 내의 여러 굴뚝들이 있고, 굴뚝들의 좌표가 같을 경우, 미국 환경보호청에서 제시하고 있는 굴뚝 통합기준을

적용하였다. 즉, 굴뚝 높이가 낮고, 오염물질 배출이 많아 주변에 미치는 영향이 가장 크다고 예상되는 굴뚝 한곳에서만 배출된다고 가정하여 굴뚝 사항을 작성하였다. 굴뚝 통합기준을 적용하여 정리한 결과 각 권역별로 점오염원의 개수는 최종적으로 서울권이 232개, 인천권이 195개, 수원권이 270개로 나타났다. 한편 굴뚝사항이 불분명한 4, 5종에 해당되는 점오염원, 이동오염원, 및 난방에 의한 실제 면오염원을 면오염원으로 간주하여 각 권역별로 TM 좌표상에서 1km×1km 격자에서의 배출량을 부여하여 면오염원의 단위 면적당 배출량을 산출하였다. 4 및 5종 점오염원과 실제 난방 등에 의한 면오염원의 배출량은 월별로 가중치를 부여하여 모델 배출량을 산정하였다.

표 1은 모델 수행시 최종적으로 사용된 각 권역별 점오염원과 면오염원의 총배출량을 나타낸 것이다. 점오염원의 배출량은 공단지역이 많은 인천권과 수원권이 서울권에 비해 약 3배 정도 많은 것으로 나타났으며, 면오염원의 배출량은 가정 난방에 의한 배출원이 많은 서울권과 선박 등에 의한 배출원이 많은 인천권이 수원권에 비해 약 1.5배 가량 많이 배출되는 것으로 나타났다.

그림 3은 수도권 지역에서 행정구역별로 점오염원과 면오염원을 모두 합한 총배출량을 단위 면적당 배출량으로 환산하여 나타낸 것으로, 서울 일부 지역과 인천의 해안가에서 배출량이 높은 것으로 나타났다.

점 및 선오염원에 대한 월별 시간별 배출량의 변화는 고려하지 못하였고, 순수 면오염원에 대한 월별 배출량의 변화는 정일래 등(1997)이 제시한

Table 1. Total SO₂ emissions in the segmented regions.

Segmented region	Point source (t/year)	Area source (t/year)
Seoul	8,857.08	26,968.96
Inchon	30,871.57	24,464.37
Suwon	26,196.99	13,568.68
Total	65,925.64	65,028.01

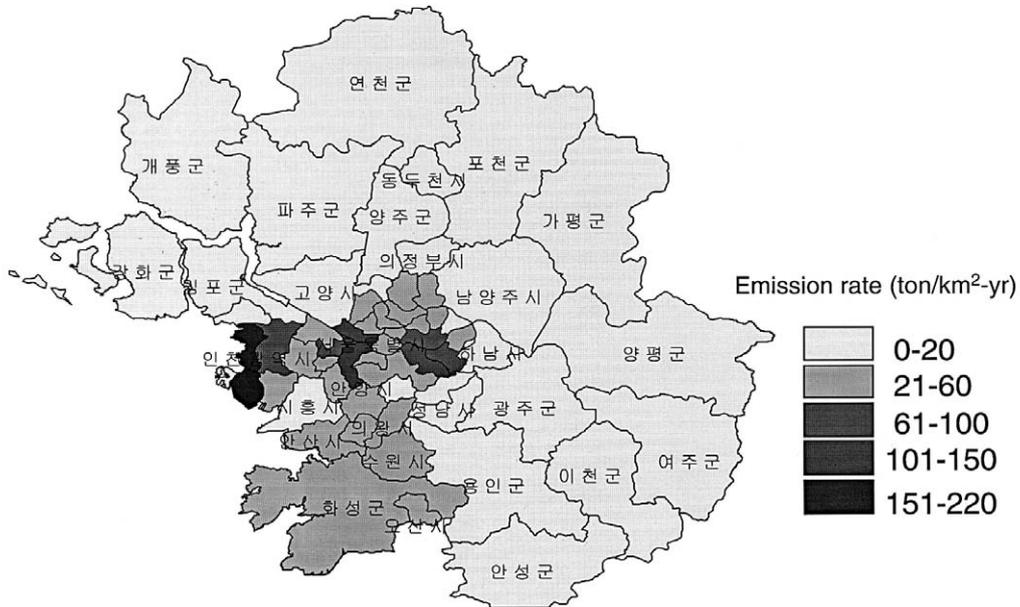


Fig. 3. Total SO₂ emission rate in the modeling domain.

월별 배출량 변화 계수를 적용하여 고려하였다.

2) 기상 자료

(1) 대기안정도(Stability)

각각의 권역별 기상대에서 대기안정도의 발생 빈도를 살펴보면 표 2와 같다. 불안정한 등급인 1~3등급까지는 세 곳의 기상대가 35% 내외로 거의 비슷한 분포를 보였다. 풍속이 2m/sec 이하이고, 대기구조가 매우 안정한 등급인 7등급이 수원에서 24.4%로 다른 지역에 비해서 비교적 높게 나타나고 있기 때문에 수원권역이 대기오염물질 확산에 상대적으로 불리한 기상조건을 가지고 있는 것으로 나타났다.

(2) 혼합고(Mixing height)

본 연구에서는 오산 고공기상 관측자료와 각 권역에 위치한 지상관측소의 95년도 자료를 이용하여 Holzworth의 방법으로 혼합고를 계산하였다. 계산시 수도권의 열섬 효과를 고려하여 측정 온도에 5를 더한 지상 온도를 가진 공기괴를 연직으로 건조 단열감율로 상승시켜 오산에서 측정된 연직 온도 분포와 만나는 고도를 혼합고로 결정하였다. 표 3은 각각의 권역에 대하여 분기별 최대 혼합고와 최소 혼합고의 높이를 나타낸 것이다.

3. 기타 모델 입력자료

ISCST3 모델로 농도 예측시 면오염원의 배출

Table 2. Stability frequency in the segmented regions.

(unit : %)

Stability category	1	2	3	4	5	6	7
Seoul	4.6	15.0	14.6	12.8	15.0	20.9	17.1
Inchon	3.4	15.2	15.9	16.3	18.4	19.5	11.3
Suwon	4.8	16.7	13.7	10.3	9.9	20.2	24.4

Table 3. Maximum and minimum mixing height in the segmented regions.

	Maximum (m)				Minimum (m)			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
Seoul	1241.40	1504.95	1429.95	1227.87	839.26	892.56	996.95	727.78
Inchon	1173.67	1214.81	1310.42	1234.58	830.81	743.86	967.44	853.42
Suwon	1187.26	1318.47	1364.55	1201.63	622.61	685.67	551.71	503.63

높이와 SO₂ 반감기에 따라 예측 농도가 크게 변하는 특성이 있으므로 대상지역의 특성에 따라 적절한 값을 선정해야 한다.

본 연구에서 면오염원은 난방에 의한 면오염원, 차량, 선박 등에 의한 이동오염원과 함께 4, 5종의 점오염원이 포함되어있기 때문에 지상에서 2m 높이에서 배출된다고 가정하여 계산하였다.

SO₂의 반감기는 기후와 강수량에 따라 차이를 보이게 된다. 김영성과 손재익(1992)은 ISCLT 모델로 서울지역의 SO₂ 오염도를 평가시 분기별로 반감기를 구하였다. 본 연구에서 예측 결과 반감기를 4시간으로 하였을 때와 2시간으로 하였을 때 계산농도의 차이가 크지 않았으나, 4시간으로 하였을 때 측정값에 더 근사하였다. 또한 모델 계산시 지형은 평탄지형으로 가정하였고, McElroy-Pooler의 도시확산계수를 사용하였다.

III. 결과 및 논의

각각의 권역별로 2절에서 설명한 바와 같이 입력자료를 작성하여 모델링을 수행하였다. 각 권역별로 모델 수행시 농도계산을 위한 수용체는 수도권 전지역을 대상으로 분포시켜 권역에 관계없이 수도권 전지역에서 계산하였다. ISCST3 모델 수행결과 계산된 SO₂ 농도 예측치의 신뢰도를 검증하기 위해서 수도권 모델 영역에 위치한 대기오염 자동측정망 자료와 비교하였다. 1995년도에 수도권에 위치한 자동측정망 39곳 중 Larsen의 기준에 의해 연간 측정일수가 2/3 이상 측정되지 않은 자동 측정망 자료는 비교대상에서 제

외하였다. 측정 일수가 부족하여 연평균 측정치를 구할 수 없었던 의왕시 오전동 측정망과 시흥시 정왕동 측정망 등 2곳을 제외한 37개 지점의 자동측정망에서 측정한 자료를 모델 비교에 이용하였다.

먼저 지역분할모델을 적용했을 때의 효과를 알아보기 위해서 분할 기법을 도입한 경우와 도입하지 않은 경우에 대해서 각각 계산한 일평균농도를 자동측정망에서 측정한 농도와 비교하여 그림 4에 나타내었다. 분할모델을 적용한 경우에 정합도가 높은 것으로 관찰되고 있는데 정량적으로 그 정도를 비교하기 위해서 일별 농도자료에 대해서 다음 식과 같은 Bias, NMSE(normalized mean square error)를 각각 구했다.

$$\text{Bias} = \frac{(C_{pi} - C_{oi})}{C_o}$$

$$\text{NMSE} = \frac{(C_{pi} - C_{oi})^2}{C_p C_o}$$

여기에서, C_{oi}는 i 지점에서의 자동 측정망의 측정농도(ppb), C_{pi}는 i 지점에서의 모델에 의한 계산농도(ppb), C_o는 측정농도의 평균, C_p는 계산농도의 평균을 나타낸다. Bias는 평균 측정값에서 계산값과의 상대평균오차를 의미하고, NMSE는 계산치가 측정치에 근접하는 정도를 의미한다. 37개 측정지점에서 일평균 농도자료에 대해서 구한 Bias와 NMSE는 자료량이 방대하여 그대로 비교하기 어려우므로 본 연구에서는 모든 농도자료에 대해서 평균값으로 비교하였다. 분할모델을 적용한 경우에는 평균 Bias가 -0.06, 평균 NMSE가 0.59이며, 분할모델을 적용하지 않은 경우에는 평

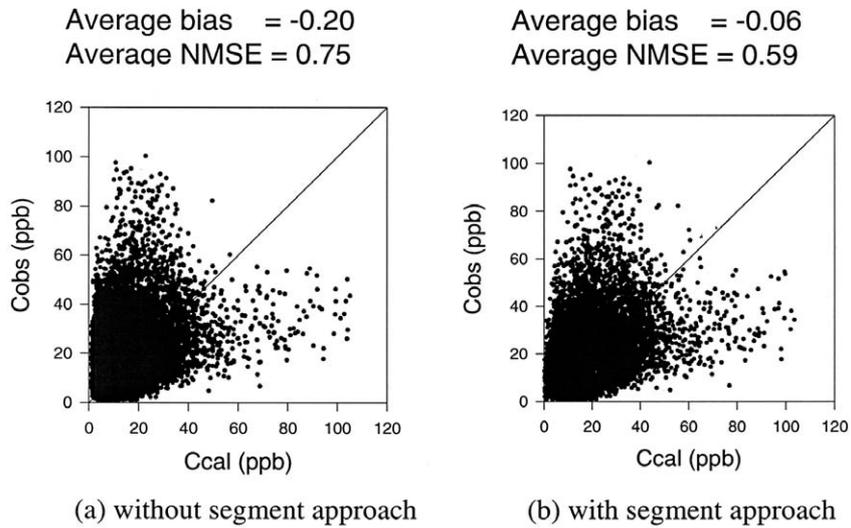


Fig. 4. Comparison of the observed daily averaged concentrations with the calculated ones(Ccal is the predicted concentration and Cobs is the observed concentration).

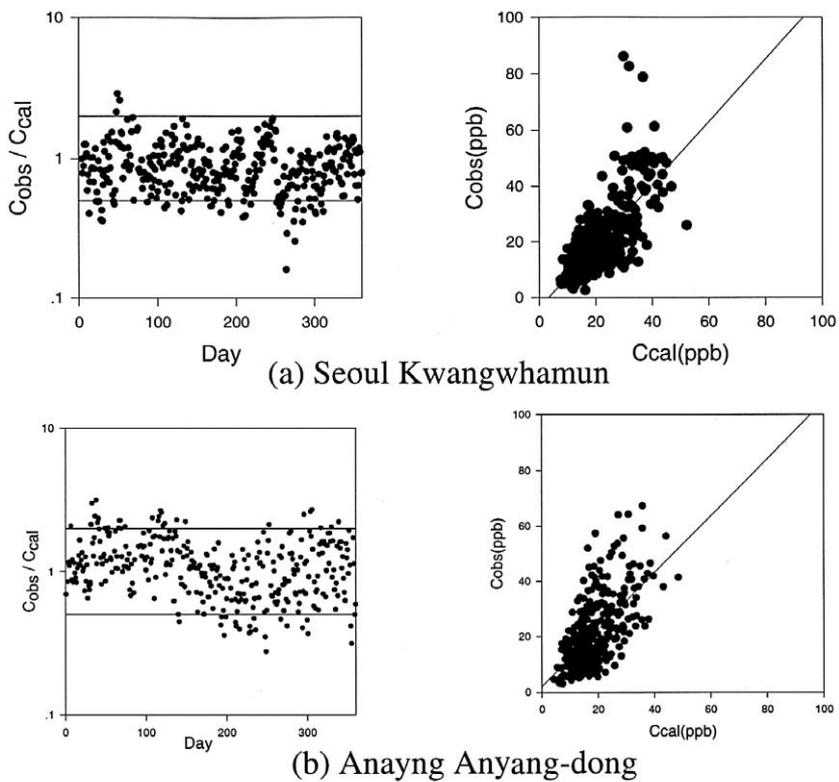


Fig. 5. Examples of the air monitoring stations which show good agreement between the measured daily averaged concentrations with the calculated ones.

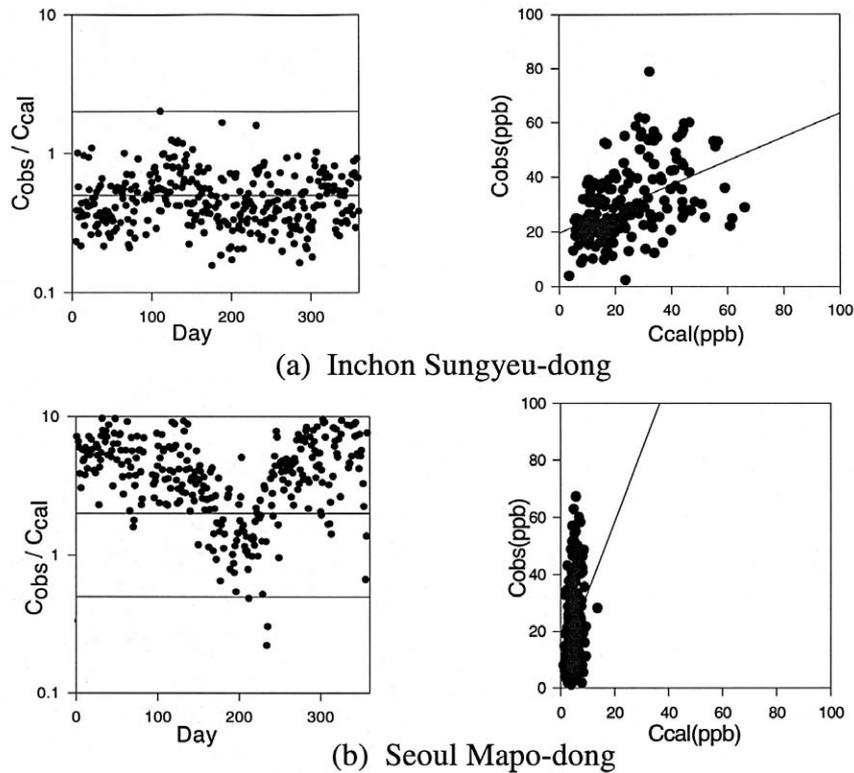


Fig. 6. Examples of the air monitoring stations which show large discrepancies between the measured daily averaged concentrations with the calculated ones.

균 Bias가 -0.20, 평균 NMSE가 0.75로 나타났다. Bias와 NMSE 모두가 0 값에 가까울수록 측정농도와 계산농도와의 정합도가 높으므로, 분할모형을 적용시 정합도가 더 우수함을 알 수 있었다. 따라서 이후에 논의되는 모든 결과는 분할모형을 적용한 경우에 대해서만 논의하기로 한다.

한편 각각 측정지점별로 계산농도와 측정농도의 상관관계를 비교한 결과 측정지점에 따라서 상관관계가 매우 상이하게 나타났다. 그림 5는 상관관계가 높은 대표적인 지점에서 비교를 나타낸 것이고, 그림 6은 상관관계가 낮은 대표적인 지점을 나타낸 것이다. 각 지점별로 수행한 상관관계를 정리하여 표 4에 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 서울 광화문과 안양 안양동은 측정농도(Cobs)와 계산농도(Ccal)의 비(Cobs/Ccal)가 거

의 1에 근접하고 있고, 상관관계도 매우 우수한 것을 알 수 있다. 한편 그림 6을 살펴보면 인천 송의동에서는 측정농도가 계산농도보다 크게 나타나고 있고, 서울 마포동에서는 측정농도보다 계산농도가 크게 나타나고 있다. 37개 지점에 대해서 조사한 결과 계산농도가 측정치에 비해서 50%이상 낮게 나타나는 지점(표 4에서 Cobs/Ccal 값이 2이상인 지점)은 8개지점이고, 200%이상 크게 나타나는 지점(표 4에서 Cobs/Ccal 값이 0.5이하인 지점)은 2개지점이다.

한편 표 4에 있는 측정농도와 계산농도의 비(Cobs/Ccal)를 기준으로 공간적인 상관성을 살펴보면 주로 서울지역에서는 마포동, 문래동, 길음동 및 쌍문동을 제외하고는 16개 지점에서 계산농도가 높게 나타났고, 수원, 인천, 안양 등의 서

Table 4. Results of correlations between the model predicted concentrations with the measured concentrations at 37 air monitoring station.

Air monitoring station	C _{obs} /C _{cal}	Correlation*	
		equation	coefficient
서울 종로구 광화문	0.91	Y = 1.11X - 3.79	0.73
서울 중랑구 면목동	0.91	Y = 0.79X - 0.95	0.76
서울 동대문구 신설동	0.91	Y = 0.63X + 5.40	0.54
서울 은평구 불광동	0.85	Y = 0.91X - 0.67	0.63
서울 마포구 마포동	4.68	Y = 2.48X + 8.76	0.32
서울 영등포구 문래동	5.25	Y = 1.95X + 10.91	0.60
서울 관악구 관악산	0.78	Y = 0.36X + 6.00	0.16
서울 강남구 대치동	0.73	Y = 0.51X + 4.14	0.51
서울 송파구 잠실동	0.75	Y = 0.66X + 1.89	0.68
서울 성북구 길음동	1.16	Y = 1.61X - 7.91	0.79
서울 용산구 한남동	0.55	Y = 0.71X - 3.15	0.80
서울 성동구 구의동	0.57	Y = 0.74X - 2.53	0.74
서울 성동구 성수동	0.74	Y = 0.75X - 0.18	0.76
서울 도봉구 쌍문동	1.48	Y = 1.64X - 2.08	0.65
서울 서대문구 남가좌동	0.70	Y = 1.13X - 8.13	0.81
서울 구로구 구로동	0.58	Y = 0.58X + 0.25	0.64
서울 구로구 오류동	0.90	Y = 0.38X + 6.94	0.45
서울 서초구 반포동	0.56	Y = 0.58X - 0.40	0.74
서울 강서구 화곡동	0.78	Y = 0.90X - 1.95	0.73
서울 송파구 방이동	0.46	Y = 0.70X - 4.39	0.68
수원 팔달동	2.77	Y = 1.68X + 18.79	0.55
수원 권선동	1.58	Y = 1.50X + 1.28	0.56
안양 안양동	1.15	Y = 1.03X + 2.01	0.61
안양 호계동	1.41	Y = 1.33X + 1.28	0.67
성남 성남동	3.66	Y = 1.12X + 20.35	0.37
성남 단대동	2.64	Y = 0.82X + 8.08	0.50
의정부 의정부동	3.23	Y = 3.74X - 3.60	0.70
부천 심곡동	1.88	Y = 0.41X + 17.05	0.31
부천 내동	4.46	Y = 1.05X + 28.10	0.54
광명 철산동	1.68	Y = 0.95X + 11.12	0.54
안산 고잔동	1.93	Y = 1.23X + 8.56	0.41
안산 원시동	1.11	Y = 0.74X + 6.76	0.31
인천 구월동	1.60	Y = 0.44X + 19.57	0.46
인천 송의동	0.50	Y = 0.24X + 11.33	0.63
인천 부평동	1.09	Y = 0.26X + 12.00	0.35
과천 별양동	1.66	Y = 1.05X + 3.92	0.66
구리 수택동	3.75	Y = 1.11X + 9.24	0.42

* X : calculated concentration, Y : measured concentration

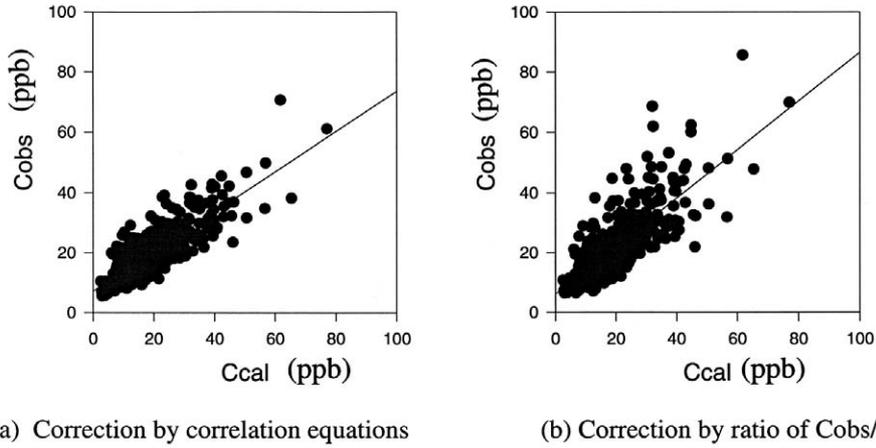


Fig 7. Comparison of observed monthly averaged concentrations with the calculated ones by different correction methods.

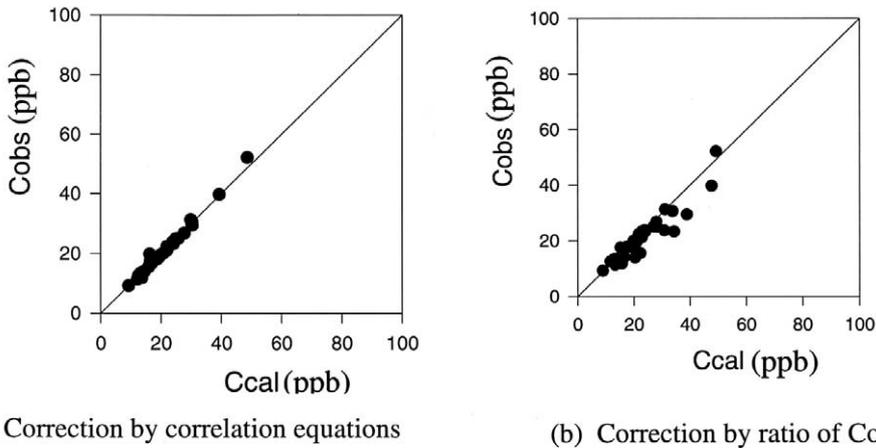


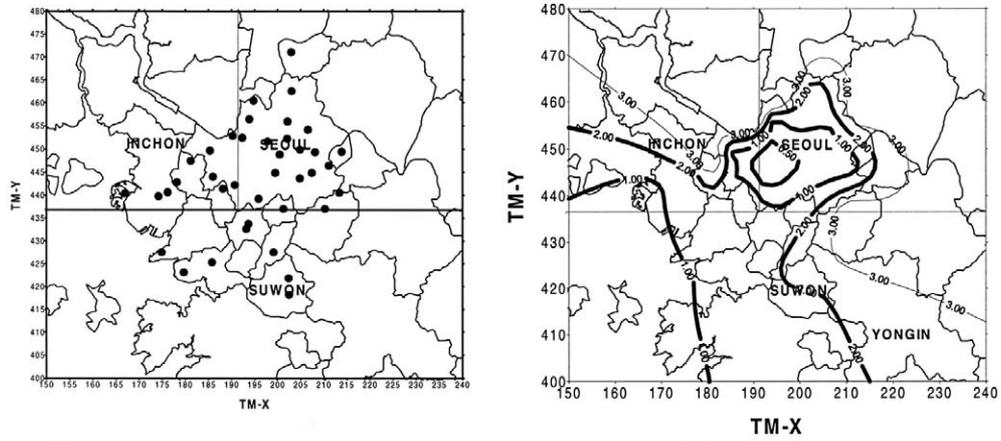
Fig 8. Comparison of observed annually averaged concentrations with the calculated ones by different correction methods.

울 외곽 지역에서는 인천 송의동을 제외하고 16 개 지점에서 측정농도가 높게 나타났다.

이와 같이 상이한 상관관계를 보이는 이유로는 여러 가지 있으나, 크게 1) 배출량 자료와 실제 배출량과의 차이, 2) 모델입력자료(배출량자료의 해상도, 기상자료, 지형의 특이성)의 미비, 3) 측정망자료의 신뢰성 등을 생각해 볼 수 있다. 모델 입력자료에 대해서는 현재 면오염원의 배출량의 자료가 크기 1km×1km의 격자로 되어 있기 때문

에 격자내에 위치하고, 측정소에 인접한 지점에서 국소적으로 다량 배출되는 배출원에 대한 영향은 고려할 수 없는 문제점도 있다. 한편 배출량 자료 및 측정망 자료의 신빙성에 대해서 점검하기에는 많은 노력과 비용이 요구되며, 현재의 연구범위를 벗어나기 때문에 차선의 방법으로 측정농도와 계산농도의 차이를 보정하는 방법을 도입하였다.

모델 계산농도를 보정방법은 크게 두가지로 분류할 수 있다. 표 4에 있는 각 지점별로 구한 측



(a) Location of air monitoring station

(b) Values of Col

Fig. 9. Locations of air monitoring stations and distribution of Cobs/Ccal value in the Seoul Metropolitan Area.

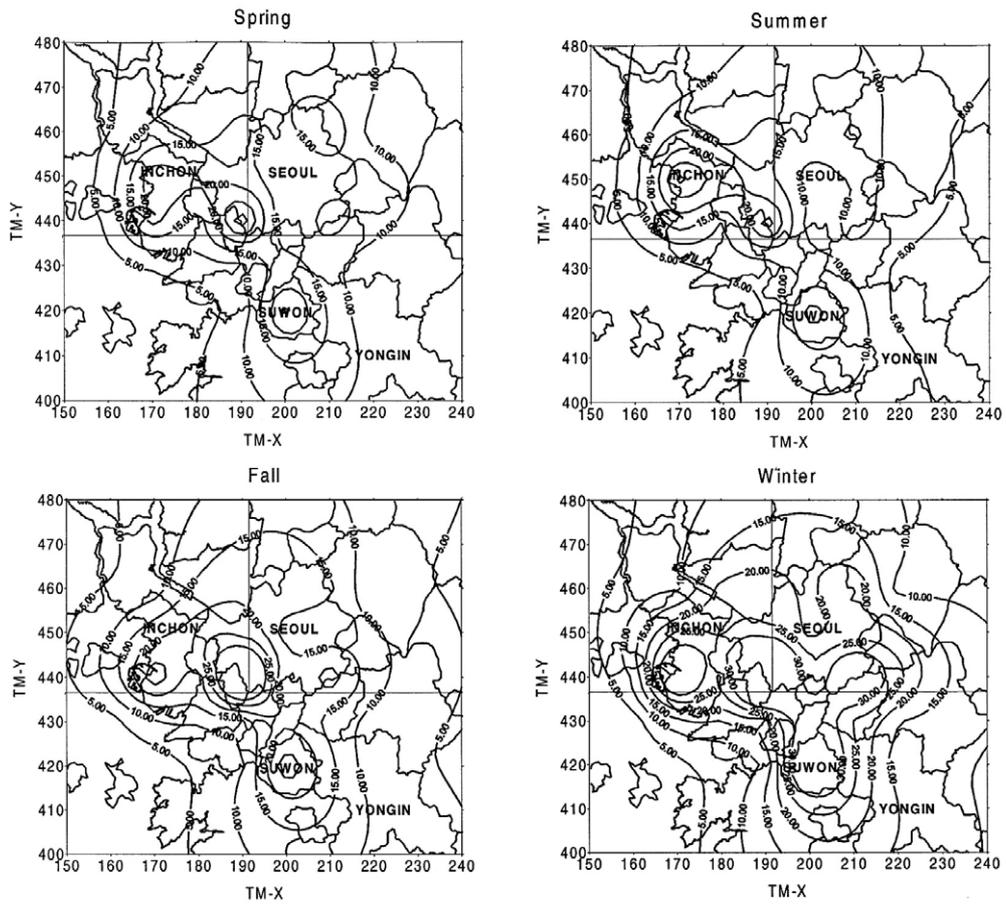


Fig. 10. Distributions of calculated seasonally averaged concentrations in the Seoul metropolitan area in 1995 (unit: ppb).

정농도(Cobs)와 계산농도(Ccal)의 상관관계식을 구하여 계산농도를 보정하는 상관관계식에 의한 방법과 단순히 각 지점별로 구한 Cobs/Ccal의 비를 이용하여 계산농도에 이 농도비값을 곱하여 계산농도를 보정하는 방법이다. 표 4에 일평균농도를 기준으로 37개소의 측정지점에서 구한 상관관계식 및 농도비를 이용하여 모델로 계산한 월평균농도에 대해서 보정하였다. 각각의 측정지점에서 측정된 월평균 농도와 보정방법에 따라서 보정된 계산농도를 비교하여 그림 7에 나타냈다. 상관관계식을 사용한 경우에 상관관계수가 0.83, 농도비를 이용하여 보정한 경우가 0.79로 상관관계식을 사용한 경우가 보다 나은 상관관계를 보이고 있다. 또한 연평균농도에 대해서도 두 경우의 농도보정방법에 적용하여 각각의 측정지점별로 측정된 연평균농도와 보정한 계산농도를 그림 8에서 비교하였다. 비교 결과 월평균 비교 결과와 마찬가지로 연평균농도의 상관관계도 우수한 결과를 보이고 있다. 상관관계식을 사용한 경우의 상관관계수가 0.99, 농도비를 이용하여 보정한 경우가 0.94로 상관관계식을 사용한 경우가 보다 높은 상관관계를 보이고 있다.

한편 측정망이 설치된 지점에서는 상관계수나 농도비를 이용하여 보정할 수 있으나, 측정치가 존재하지 않는 지역에서의 농도보정이 문제가 된다. 자동측정망이 없는 지역에서는 인근 측정망에서 구한 보정치를 이용하여 보정하는 것이 하나의 방법인데, 상관관계식을 이용한 보정은 일차방정식으로 구성되어 있어서 측정지점사이의 상관관계식을 보간법(interpolation method)에 의해서 구하는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 각각의 측정지점에서 상수값으로 주어지는 농도비를 이용하여 측정지점이 위치하지 않는 지역에서의 농도비를 보간법으로 구해서 모델 계산치를 보정했다. 그림 9는 수도권지역에 위치한 자동측정지점과 측정지점에서 구한 농도비를 보간법을 이용하여 수도권 전지역에 대해 농도비를 구한

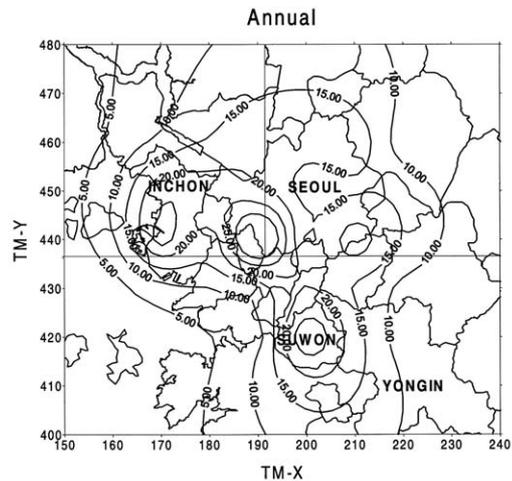


Fig. 11. Distributions of calculated annually averaged concentrations in the Seoul metropolitan area in 1995 (unit : ppb).

값을 나타낸 것이다. 따라서 측정망이 존재하지 않는 지점에서는 그림 9에 나타난 바와 같이 보간법에 의해서 농도비를 구해서 모델에 의한 계산농도를 보정하였다.

수도권지역을 5km×5km의 격자의 수용체를 구성하여 지역분할방법을 이용한 ISCST3 모델로 각각의 수용체에서 계절별 평균농도를 계산하고, 앞에서 설명한 농도비를 이용하여 보정한 농도분포를 그림 10에 나타냈고, 연평균 농도는 그림 11에 나타냈다. 1995년도를 기준으로 계산한 결과에 의하면 서해안 지역에 위치한 공단 및 선박에 의한 SO₂ 배출량이 많아서 인천, 광명 및 수원 등의 서해안 지역에서 SO₂ 농도가 일반적으로 높게 분포하고 있고, 연간 대기환경기준(30ppb)을 초과하는 것으로 나타났다. 실제 자동 측정망의 측정값도 1, 2, 11월에 대기환경기준을 초과하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

현재까지 확산모델에 의한 연구는 공간적으로

제한된 지역에 대한 오염도 예측이었다. 이러한 예측은 주위의 오염물이 상이한 기상인자와 배출량 등에 따라 유입되는 것을 고려를 하지 않았기 때문에 정밀도가 떨어진다. 본 연구가 기존의 연구와 다른 점은 지역분할 방법을 이용하여 보다 정확한 예측을 하고자 한 것이다. 본 연구에서는 수도권지역을 기상대가 위치한 서울권, 수원권, 인천권등의 3권역으로 분할하고, 각각의 권역에 대해서 독립적으로 기상 및 배출원 등의 모델 입력자료를 작성하여 ISCST3 모델링을 수행하였다. 기상 및 배출원 입력자료는 1995년도 자료를 사용하였다. 농도계산은 권역에 무관하게 수도권 전역에 분포한 동일한 수용체에 대해서 계산하여 각각의 권역에서 배출된 오염물질이 수용체에 미치는 기여도를 가중하여 전체 수도권 지역의 농도를 계산하였다.

지역분할 방법을 적용하였을 경우가 자동측정망에서 측정된 농도와 높은 상관성을 나타냈고, 계산된 농도를 보정하는 방법으로는 상관관계식을 이용하는 방법과 측정농도와 계산농도의 비를 이용하는 방법에 대해서 검토하였는데, 상관관계식을 이용한 보정이 보다 정합도가 높은 것을 알 수 있었다. 그러나 측정자료가 존재하지 않는 지역에서는 농도비를 이용한 방법이 유효한 적용 방법이였다.

연구 결과 수도권지역과 같이 모델링 영역이 넓은 지역에서 ISCST3 모델링을 수행하는데 모델링 영역내의 상이한 기상조건을 효과적으로 반영하기 위해서는 지역분할방법을 사용하는 것이 효과적인 방법으로 밝혀졌다.

감사의 글

본 연구의 일부는 안양대학교 교내연구비의 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 구윤서, 1999, 비평형 2.5 난류모델을 이용한 라그란지안 입자확산모델, 대기환경학회지, 15, 613-623.
- 김영성, 손재익, 1992, ISCLT에 의한 서울지역의 SO₂ 오염도 조사, 한국대기보전학회지, 8(2), 128-136.
- 송덕만, 최청정, 1996, 울산-온산공단 배출가스의 대기오염 예측을 위한 분산모델링, 대한환경공학회지, 18(10), 1217-1226.
- 전의찬, 김정옥, 1990, 대기오염 방지대책으로서 지역난방의 효과분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 6(1), 51-56.
- 정상진, 신영철, 1998, ISC 모형을 이용한 수원지역 SO₂ 농도에 관한 연구, 대한환경공학회, 98추계학술대회 논문초록집, 565-566.
- 정일래, 장영기, 이우근, 조석연, 선우영, 구윤서, 김선태, 전의찬, 1997, 서해안 권역내 발전소 입지 예정지역 주변의 대기오염원 조사, 한국전력공사, 478pp.
- Koo, Y. S. and D. D. Reible, 1995, Flow and transport modeling in the sea breeze, Part II : Flow model application and pollutant transport, Boundary -Layer Meteorology, 75, 209-234.
- Larsen, R. I., 1973, An air quality data analysis system for interrelation effects, standards, and needed source reductions, J. Air Pollution Control Assoc, 23, 922-940.
- US EPA, 1995, User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model.
- US EPA, 1998, Appendix W to Part 51-Guideline on Air Quality Models.