부산광역시 보건환경연구원보 제12권, 97~121(2002)
Rep. Busan Inst. Health & Environ. Vol.12, 97~121(2002)

GIS자료를 이용한 부산시 대기 오염물질 배출량 산정 및 대기오염 예측 모델링에 관한 연구

환경조사과

홍정혜 · 곽 진 · 김영태 · 김성림 · 빈재훈 · 이상훈

Study on Estimation of Emission Amount of Air Pollutant with GIS and Air Quality Modeling in Busan

Environmental Research Division

Jung-Hye Hong, Jin Kwak, Young-Tae Kim, Seong-Nim Kim, Jea-Hun Bin and Sang-Hun Lee

Abstract

The emission amount of air pollutant(SO_2, CO and NOx) from area-sources, line-sources and point-sources was estimated with GIS(Geographic Information System) in order to simulate air pollution concentration in Busan, 1998. SO_2, CO and NOx were most emitted from line-source, 5065.35 ton/yr, 51622.68 ton/yr and 26445.01ton/yr, respectively.

MJFF(Meteorological Joint Frequency Function) was calculated by the classification of the atmospheric stability with Pasquill method for 1991~2000. The result showed that frequency of the neutral class, “D”, was most high and the absolutely stable class, “F”, was the next. And the analysis of wind-rose showed the northern-east wind and the southern-west wind were prominent annually. The northern-west wind was prominent in winter and the northern-east wind in fall.

It was simulated by the ISCLT3(Industrial Sources complex Long Term 3) on the concentration distribution of SO_2, CO and NO_2 around Busan area, 1998. The correlation of the calculated concentration to the measured concentration was as follows ;

- SO_2 : Y= 0.5112x + 0.0061, r = 0.664
- CO : Y= 1.5966x - 0.4546, r = 0.644
- NO_2 : Y= 0.9414x + 0.0025, r = 0.738

The results show that the emission of SO_2 should be reduced from the industrial area and those of CO and NO_2 should be reduced from the industrial area and the vehicle in order to control an air quality.

Key Words : emission amount, GIS, MJFF, ISCLT3

서 론

산업의 발달과 교통수단의 발달은 대기의 자정능력을 초과하는 배출량을 대기로 방출하면서, 대기질을 제어하여야 하는 시점에 이르게 하였다. 대기오염의 영향은 국지적인 자연환경과 생활환경에 영향을 줄뿐 아니라 전지구적인 기상에도 영향을 미치면서, 대기오염배출량 삭감을 위한 세계인의 관심의 결과로 “교토의정서”가 발표되기 이르러 이에 대한 세부적인 실천 계획이 수립되고 있다. 이제 대기보전은 지역 개념을 넘어 전지구적인 과제로 처해 있는 만큼 중요한 문제가 되었다.

대기보전의 측면에서 대기오염 배출량 산정과 대기오염 예측이 정확하게 수행된다면 도시환경 보전을 위한 도시계획을 수립하는데 중요한 도구로 활용될 것이다. 따라서 각 연구단체에서는 대기오염 배출량 산정 및 배출량 산정을 위한 배출계수에 관한 보고서를 발표해 왔고, 대기질 예측 모델링을 실시해 왔다.

본 연구에서는 GIS(Geographic Information System)을 이용하여 체계적인 대기오염 배출량을 산정하고, 부산시를 대상으로 대기질 확산 모델링을 수행하여 향후 지역 대기보전에 필수적인 대기오염 예측 도구 마련을 위한 기틀을 세우는 것을 목적으로 한다.

연구 범위

1. 시간적 범위

본 연구는 2001년부터 수행되어, 시작 당시 가장 접근하기 용이했던 1998년도 자료를 기초로 배출량 산정이 이루어 졌으며 따라서 확산 모델의 현황 시물레이션 및 검증 작업 또한 1998년도에 대해서 이루어 졌다.

2. 공간적 범위

배출량산정은 TM(164,181)~TM(228,211)의 범위의 부산광역시역 부분에 대해서 이루어 졌으며 모델링은 상기 전 범위에 대해서 수행되었다.

3. 대상 오염물질의 범위

대기오염 배출량 산정은 오염원이 수시로 변하기 때문에 꾸준히 새로운 자료로

대체되고, 정확한 모델 결과를 얻기 위해서는 공간적으로 세밀화 작업이 이루어져야 하는 특성이 있다. 본 연구는 본 원에서 최초로 시도되는 작업으로 처음부터 모든 대기오염 항목을 산정하기에 작업량이 방대하여, 우선 1차 오염물질 가운데 SO_2, CO, NOx에 대해서 배출량 산정 및 대기오염 확산 모델링을 수행하였다.

배출량 산정

오염배출량은 오염 배출원의 형태에 따라서 배출량 산정법이 구분된다. 오염배출원은 오염원의 이동 여부에 따라서 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 자동차와 같이 오염원이 움직이는 이동오염원과 공장이나 아파트와 같이 움직이지 않고 고정되어 있는 고정오염원이 있다.

특히 고정오염원은 발전소나 소각장과 같은 대형오염원은 점 오염, 가정난방이나 소규모 사업장과 같이 작은 오염원은 면오염원으로 분류하고 있으며, 이동오염원은 오염배출 형태로 볼 때 선모양으로 선오염원으로 분류하고 있다(표 1). 그리

표 1. 대기오염물질 배출원의 분류

분 류	형 태	종 류
이동오염원	선오염원	· 차량, 선박, 항공기
고정오염원	점오염원	· 1, 2, 3종 대기오염배출업소
	면오염원	· 4, 5종 대기오염배출업소 · 가정난방·취사

표 2. 연료사용량에 따른 대기오염 배출사업장의 규모별 구분

종 별	내 용
1종사업장	·고체환산연료사용량이 연간 10,000톤 이상인 사업장
2종사업장	·고체환산연료사용량이 연간 2,000톤 이상 10,000톤 미만인 사업장
3종사업장	·고체환산연료사용량이 연간 1,000톤 이상 2,000 미만인 사업장
4종사업장	·고체환산연료사용량이 연간 200톤 이상 1,000톤 미만인 사업장
5종사업장	·상기 1종 내지 4종 사업장에 해당되지 않는 사업장

※ 출처 : 대기환경보전법 제8조 1항 관련

※ 고체환산연료사용량이라 함은 사업장의 배출시설에서 사용되는 고체 · 액체 · 기체 기타연료(열원으로 사용되는 원료를 포함한다) 등의 사용량을 무연탄을 기준으로 환산한 량을 말한다.

고 대기오염 물질 배출업소 종별 구분은 표 2와 같다.

1. 대기오염배출량 산정법

대기오염 배출량 산정의 기본개념은 연료 종별 사용량에서 연료별 사용 용도에 따른 배출계수 만큼 대기오염 물질이 방출된다는 것이다. 따라서 점오염원 사업장의 대기오염 배출량 산정식은 다음 식과 같다.

$$E = E_F \times F \times (1 - R) \quad (1)$$

E : 오염물질 배출량

E_F : 오염물질 배출계수

F : 연료사용량

R : 방지시설의 효율

본 연구에 이용된 배출계수는 국립환경연구원(2000년)의 자료를 이용하였으며 연료종류와 용도에 따른 오염물질별 배출계수는 표 3과 같다.

표 3. 연료별 용도별 대기오염 물질 배출계수

오염물질	용도	등유	경유	B-A	B-B	B-C		무연탄	유연탄	LNG	LPG
						0.5%	0.3%				
SO_2	난방	17S	17S	18.0S	19.0S	19.0S	19.0S	10.3	-	0.01	0.01
	산업	-	17S	18.0S	19.0S	19.0S	19.0S	19.5S	19.0S	0.01	0.01
	수송	-	17S	19.1S	19.1S	19.1S	19.1S	-	-	-	-
	발전	-	17S	18.0S	19.0S	19.0S	19.0S	19.5S	19.0S	0.01	0.01
CO	난방	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	32.2	-	0.64	0.20
	산업	-	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.56	0.40
	수송	-	14.5	0.414	0.414	0.414	0.414	-	-	-	-
	발전	-	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.64	0.20
NOx	난방	5.46	2.4	2.4	6.6	6.63	6.63	1.3	-	2.62	2.18
	산업	-	2.4	4.81	6.6	5.21	6.6	9	10.9	2.00	2.30
	수송	-	42.3	6.7	6.7	6.7	6.7	-	-	-	-
	발전	-	2.4	6.5	5.64	5.87	5.87	2.4	2.69	1.43	1.70

※ 1) S(황함량) : 등유(0.1%), 경유(0.1%), B-A (1.5%), B-B (1.2%), 무연탄(0.7%), 유연탄(0.5%)로써 각각 S = 0.1, 1.5, 1.2, 0.7, 0.5

2) 배출계수단위 : 유류(kg/kℓ),석탄(kg/ton),LNG(kg/1,000㎥),LPG(kg/kℓ)

3) 환산계수 : LNG (1kg = 1.238㎥), LPG (kg = 1.97 ℓ = 0.529㎥)

면오염원으로 구분되는 4, 5종 대기오염배출시설의 배출량은 사용 연료량에 배출계수를 곱한 것으로 산정하고, 관계식은 다음과 같다.

$$E = E_F \times F \quad (2)$$

E : 오염물질 배출량

E_F : 오염물질 배출계수

F : 연료사용량

본 연구에서 배출량 산정에 이용된 대기오염 물질 배출업소 수는 1,903개 업소로 그림 1과 같이 구별로 분포한다.

가정 난방 및 취사에 의한 대기오염 배출량은 표본 가구의 연간 연료사용량 표4에 배출계수를 곱하여 산정하였으며 관계식은 다음과 같다.

$$E_H = F \times E_F \times H_N \quad (3)$$

E_H : 취사·난방에 따른 배출량

F : 연료사용량

E_F : 사용연료에 따른 배출계수

H_N : 해당지역내의 가구 수

부산시의 격자별 가구 수는 통계연보의 동별 세대수를 기초로 하였고, 1㎞×1㎞ 격자별 가구 수는 그림 2와 같이, 세대밀도는 그림 3과 같이 GIS를 이용하여 계산하였다.

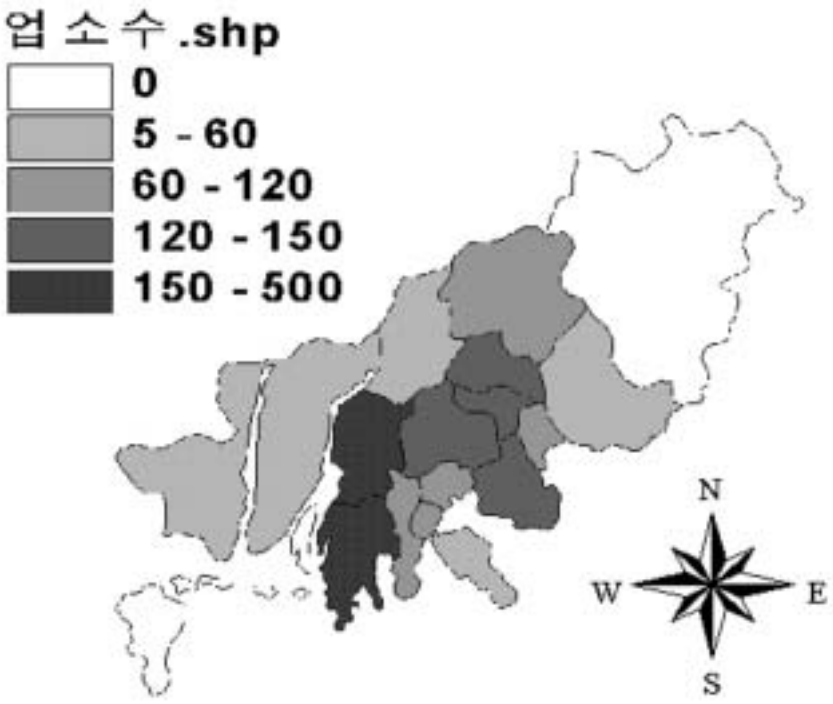


그림 1. 구별 대기오염 물질 배출 업소수.

표 4. 표본가구당 에너지 소비량 (부산광역시)

연료명	단위	사용량
연탄(무연탄)	kg	31.0
등유	ℓ	296.2
경유	ℓ	92.8
B-C	ℓ	34.6
LPG	kg	143.6
LNG	㎥	224.3
전력	kWh	2,299.0
목재	kg	0.0

※ 출처 : 에너지통계연보 2000

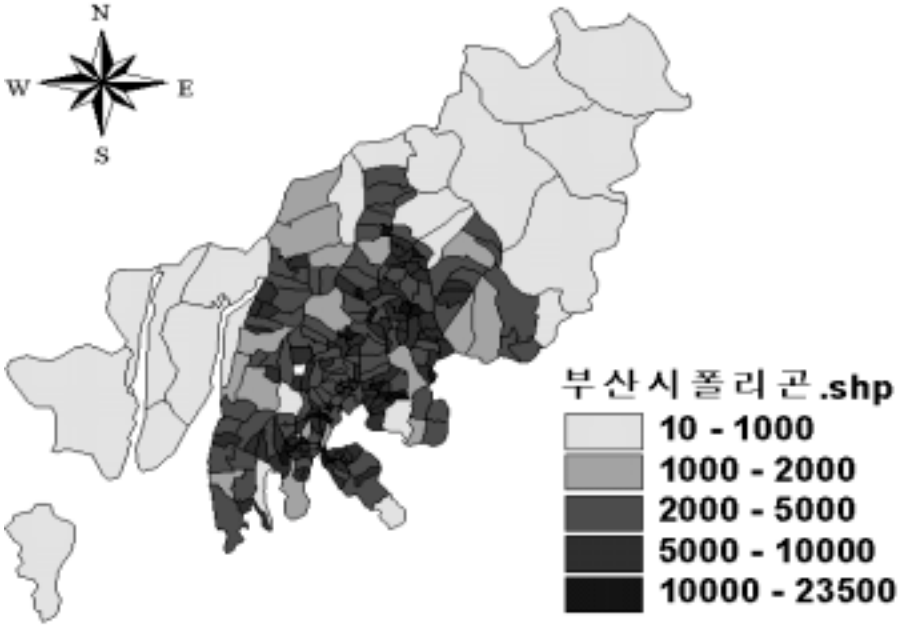


그림 2. 동별 세대밀도 (1998, 단위: 세대/㎢).

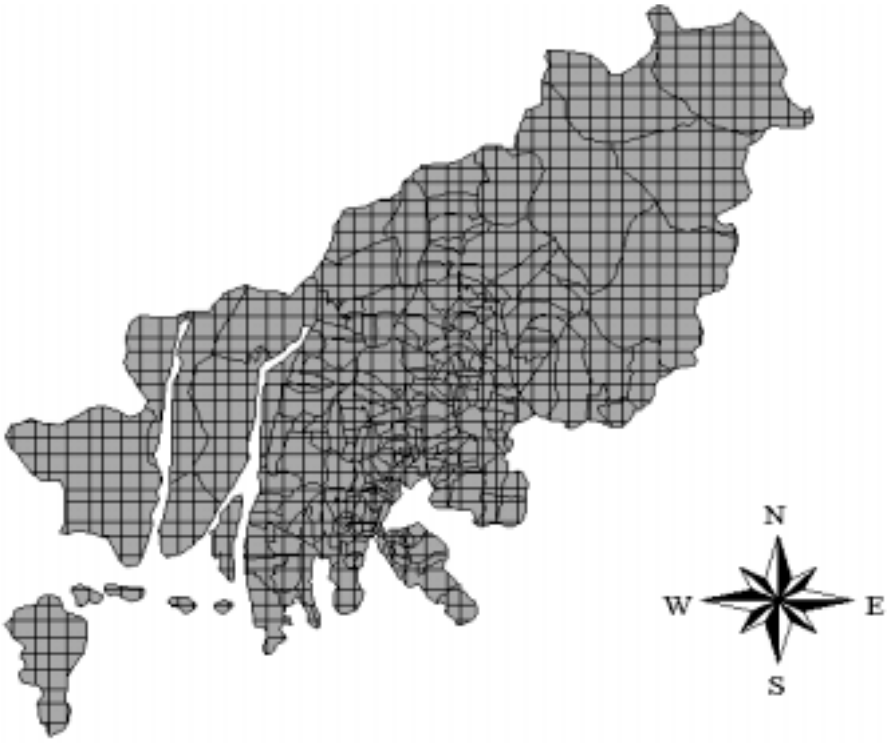


그림 3. 배출량 산정 및 대기확산 모델링을 위한 부산시의 격자화(1㎞×1㎞).

차량에 의한 대기오염 배출량 산정은 차종별 등록 대수와 일일 주행거리로부터 총 배출량을 계산한 후 공간할당 하는 것으로 산정하였다. 차종별 등록대수는 2000년 부산광역시 통계연보로 표 5부터 일일 주행거리는 교통안전공단의 “자동차 주행거리 실태 조사연구” 에서 얻었으며 차량에 의한 오염물질의 공간할당은 도로망에 따라 결정되는데 부산시의 도로망은 GIS를 이용하여 그림 4와 같이 얻었다.

차량에 의한 배출량은 각 도로의 차종별 교통량과 속도 등 운행 특성에 따라 변하지만, 본 연구에서는 차종별 주행거리 표 6과 배출계수 표 7을 적용하여 산정하였다.

2. 배출량 산정 결과

2.1 오염원별 대기오염 배출량

2,000여 개가 넘는 대기오염 배출업소에 관한 연료사용량 및 위치에 관한 정보는 계속 수정되고 조사되어야 할 여지가 남아 있지만, 본 연구의 조사 결과, 표 8과 그림 5와 같이 차량에 의한 대기오염 배출량이 가장 많은 것으로 조사되었다.

특히 CO의 경우 대부분 선오염원으로

표 5. 자동차 등록대수

구 분	승용			택시	버스	승합			화물				특수
	소	중	대			소	중	대	소	중	대	특수	
관용	766	141	117	-	-	188	72	130	710	219	70	1,049	125
자가용	301,235	155,214	34,750	-	-	45,962	1,317	1,016	104,243	11,362	2,451	6,676	377
사업용	396	-	-	18,316	5,045	-	-	-	2,250	3,477	5,177	7,909	3,896

※ 출처 : 부산광역시 통계 연보, 1999 (단위 : 대)

그림 4. 부산시의 주요도로망.

표 6. 차종별 일일차량주행거리

용 도	승용차			택시	버스	승합차			화물차				특수
	소	중	대			소	중	대	소	중	대	특수	
관용	55.1	49.1	30.6	-	-	38.0	48.4	57.8	63.0	49.8	74.0	53.9	32.5
자가용	49.1	44.7	49.1	-	-	61.2	61.2	61.8	71.9	63.0	73.7	80.2	73.5
사업용	98.3	-	-	169.5	116.1	-	-	-	95.7	88.0	126.8	82.0	148.2

※ 출처 : '99 자동차 주행거리 실태 조사 연구, 1999 (단위 : ㎞)

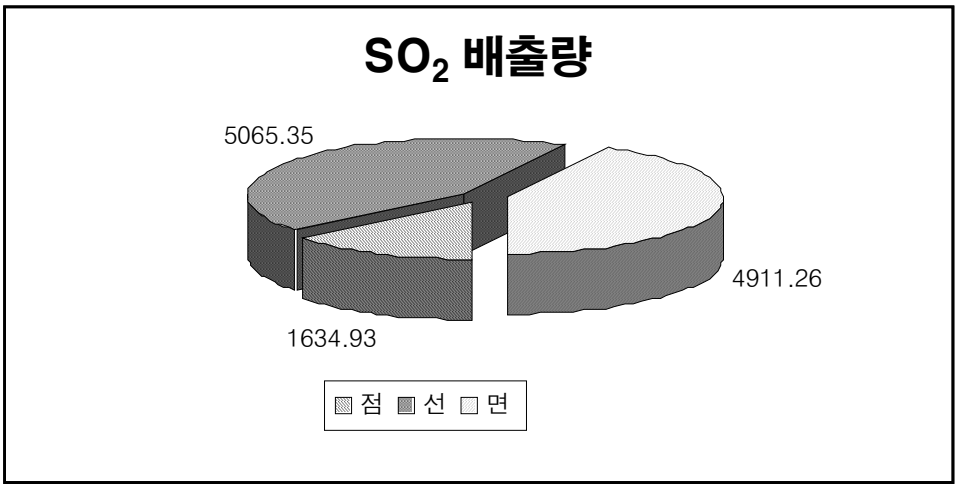
표 7. 차량별 오염물질 배출계수 (단위 : g/km·대)

차 종			CO	NOx
승용차	자 가 용		2.56	0.45
	택 시		6.36	0.84
승합차	소 형	휘발유	6.21	1.43
		LPG	6.17	0.82
		경 유	1.16	1.42
	중 형	경 유	1.66	1.48
	대 형	시 내	9.97	11.90
		시 외	9.97	11.90
		전 세	9.97	11.90
		고 속	9.97	11.90
		기 타	9.97	11.90
화물차	소 형	휘발유	6.21	1.43
		LPG	6.17	0.82
		경 유	1.57	1.48
	중 형		1.66	1.48
	대 형		12.00	12.22

※ SO2의 배출량은 연료소비량에 황함량을 곱하여 계산함.
(경유 0.1%, 휘발유0.03%).
※ 대기오염물질배출량(1999), 국립환경연구원, 2000.

표 8. 오염원에 따른 대기오염물질 배출량 (단위: ton/yr)

오염원의 종류	SO_2 배출량	CO 배출량	NOx 배출량
점	1,634.93	134.48	1,020.17
선	5,065.35	51,622.68	26,445.01
면	4,911.26	3,094.12	7,583.42



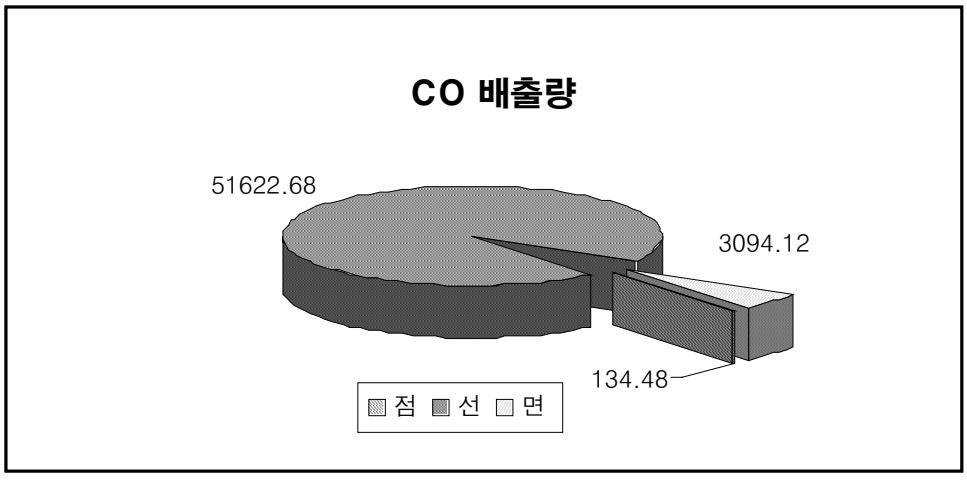


그림 5. 오염원별 대기오염 물질 배출량. (단위: ton/yr)

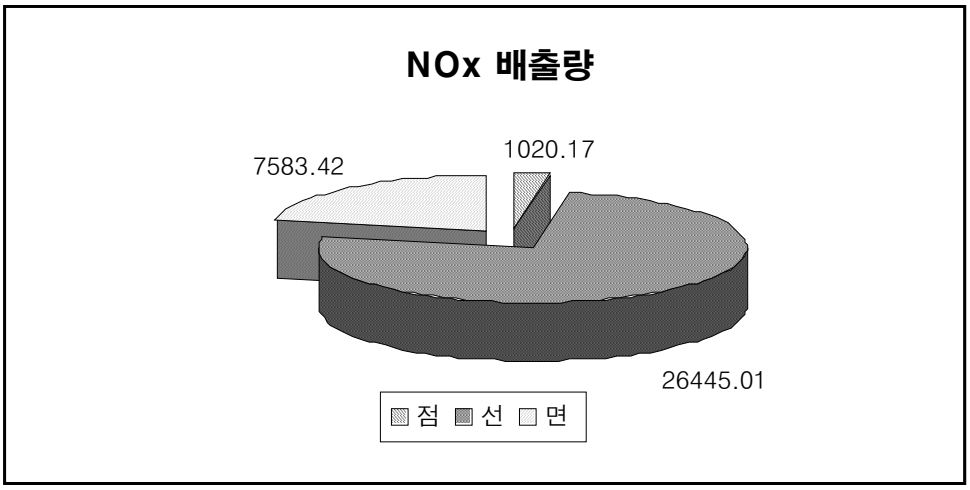


그림 5. 계 속

부터 배출되는 것으로 나타났는데, 선오염원의 경우 총량을 먼저 계산하고 이후 공간 할당 방식을 선택함으로써 누락자료가 없는 반면, 1, 2, 3, 4, 5종 대기오염 배출사업장의 자료는 완벽하게 자료를 구하는데 한계가 있어 상대적으로 선오염원의 배출량이 더 크게 나타난 것으로 사료된다.

따라서 대기오염 배출 사업장에 대한 추가적인 조사가 이루어 져야 하고 조사된 자료에 대해서도 새로운 자료로 갱신할 필요가 있다. 하지만 약간의 비의 차이가 있겠지만, 선오염원에서 배출되는 대기오염 배출량이 다른 오염원에서 배출량 보다 많다는 것은 대구를 대상으로 하는 배출량 산정 결과에서도 나타난 바 있다(박명희, 2002).

2.2 배출량 분포도

면오염원에서 방출되는 대기오염 물질의 공간분포를 그림 6에 나타내었다.

SO_2, CO 그리고 NOx는 그림 1과 같이 대기오염물질 배출업소 수가 많은 사상공단과 장림공단 주변에서 그리고 그림 2에서 나타난 바와 같이 주택이 밀집된 동래구, 진구와 동래구의 번화가에서 높은 배출량을 나타냈다.

하지만 총량에서 도로길이에 대한 공간분할 방법으로 배출량을 산정한 선오염원으로부터 방출되는 대기오염물질 배출량은 부산시 도로망을 따라 나타나는 것을 볼 수 있다(그림 7).

바람장 및 안정도 분석

동일한 대기오염물질이 배출된다고 할지라도 대기의 상태에 따라서 지표부근에서 대기오염 농도가 높아지거나 낮아질 수 있다. 예를 들어서 대기오염 배출량은 크게 변하지 않음에도 불구하고 기상상태

에 따라서 오존 경보가 발령되는 날이 있다. 이것으로 대기오염 농도에 기상 상태가 미치는 영향은 매우 크다는 것을 이해하여야 한다.

본 연구에서는 부산지방기상관측소에서 측정된 지난 10년간의 1시간 관측자료를 이용하여 대기오염물질 수평 확산에 가장 큰 영향을 미치는 바람장을 분석하였다.

또한 대기 확산 예측모델은 그 지역에 관측된 장기간의 기상관측자료를 요구하는데, 풍향, 풍속별로 대기 안정도 빈도를 계산한 기상결합빈도함수(MJFF; Meteo-rologi cal Joint Frequency Function)를 계산하였다.

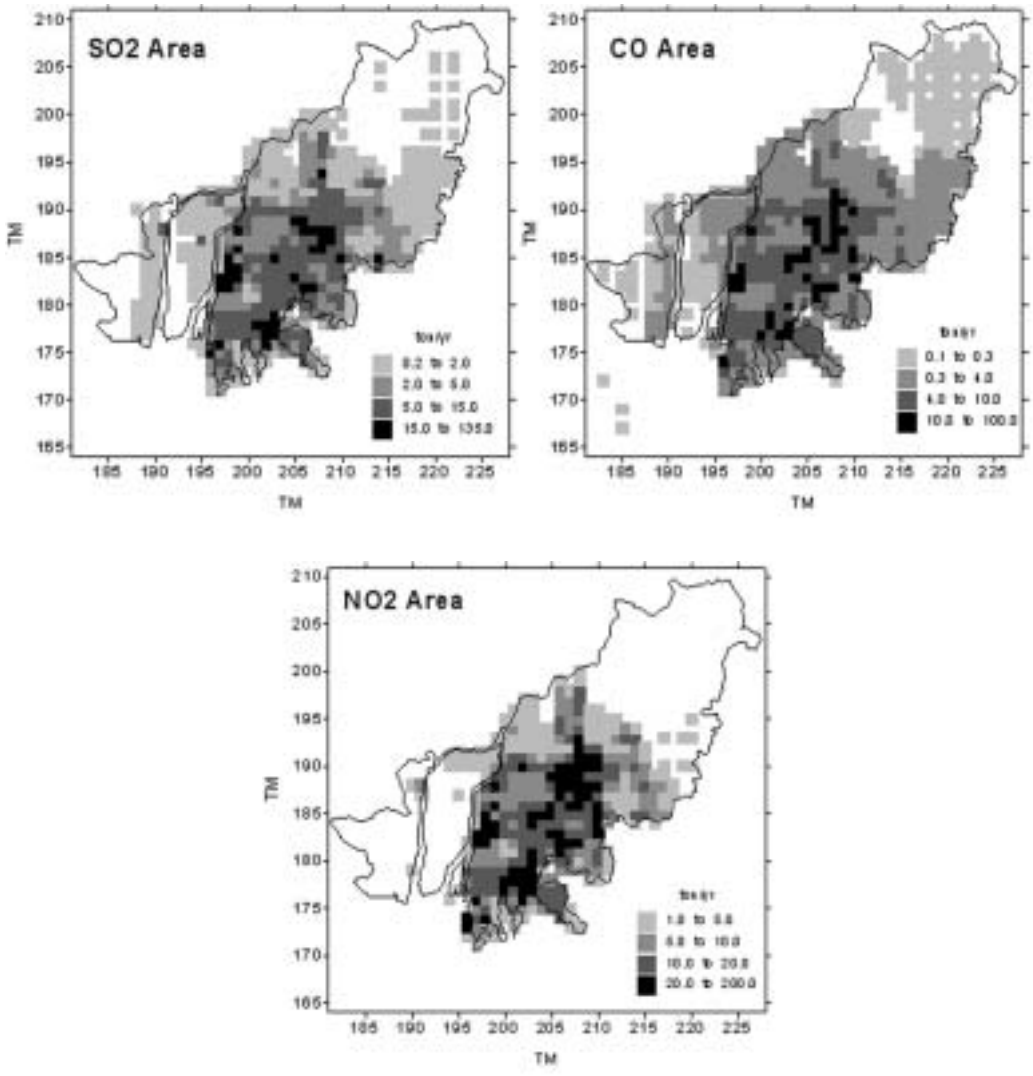


그림 6. 면오염원에 의한 대기오염 방출량 분포도.

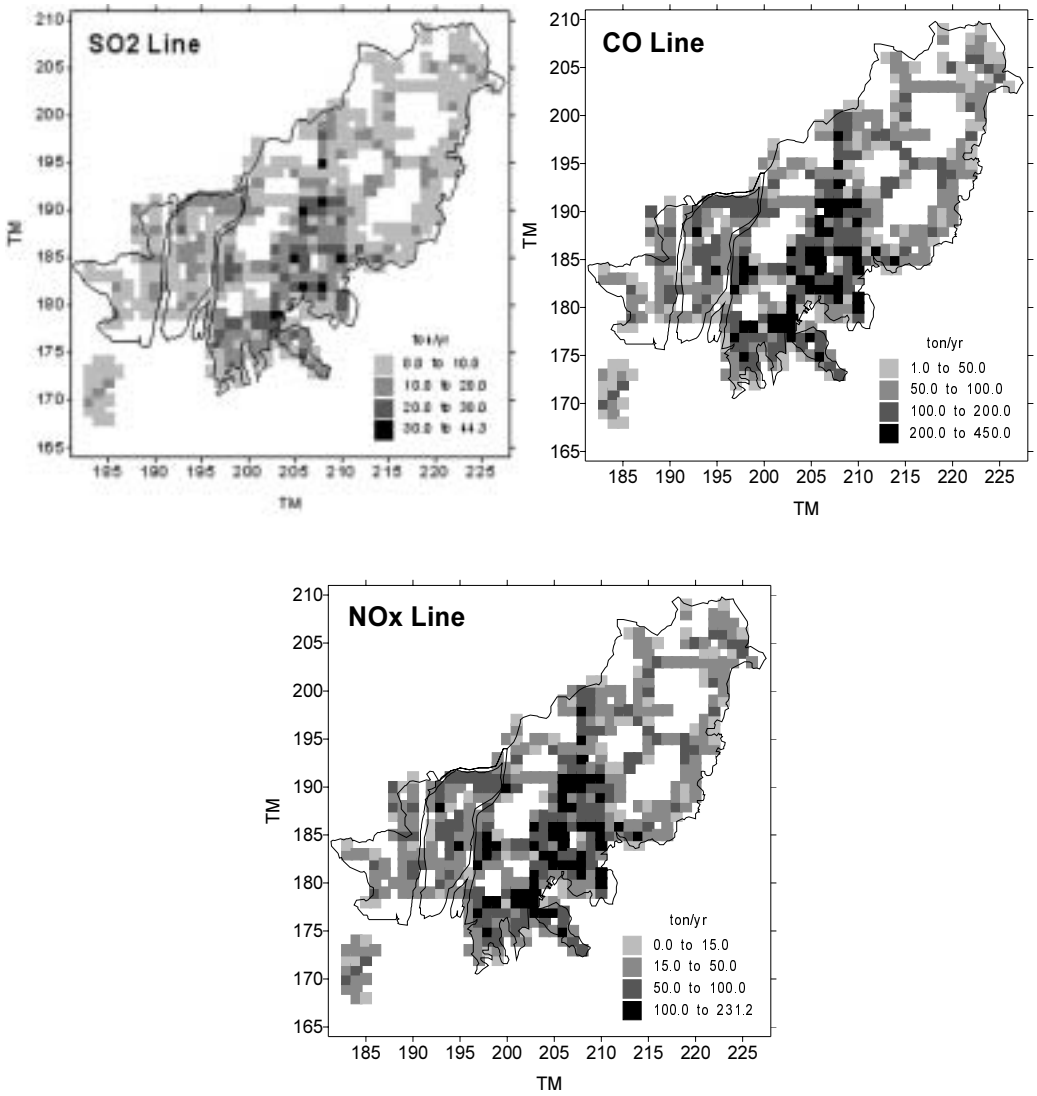


그림 7. 선오염원에 의한 배출량 분포도.

1. 부산지역의 바람장

부산의 바람장은 1991년부터 2000년까지 부산지방 관측소에서 1시간 단위로 관측된 풍향과 풍속자료를 이용한 바람장미 분석으로 이루어 졌다. 각 계절에 대

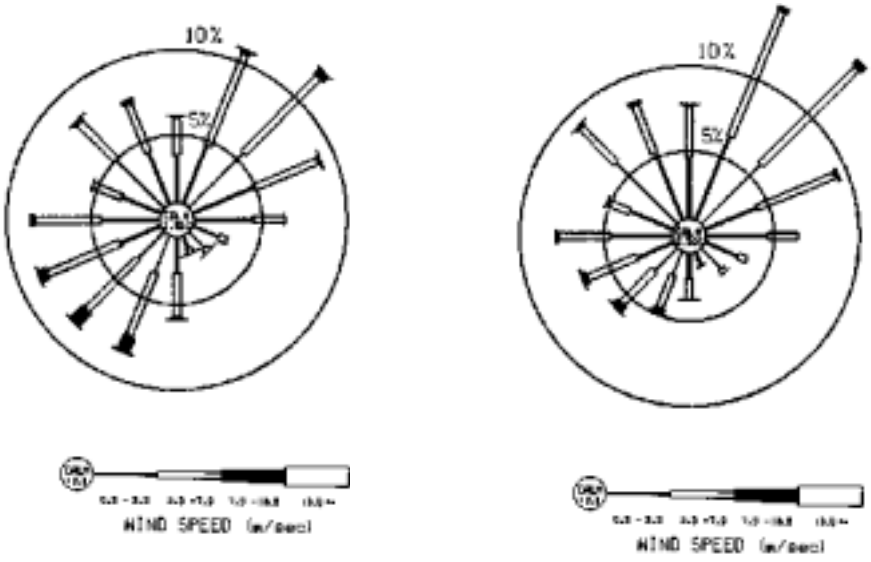
한 분류는 가을은 9월, 10월 그리고 11월, 겨울은 12월, 1월 그리고 2월, 봄은 3월, 4월 그리고 5월, 여름은 6월, 7월 그리고 8월로 구분하였다. 부산지방은 연간 전체로 보았을 때 북동 및 남서풍이 탁월하게 불지만 가을은 북동풍이, 겨울은 북서풍이, 봄은 남서풍이 탁월하여 계절별 특성이 뚜렷하였다. 따라서 부산은 계절풍이 뚜렷하므로 대기환경보전을 위한 도시개발 계획에 바람장을 반드시 고려하여야 할 것으로 사료된다(그림 8).

2. 기상결합빈도함수

기상결합빈도함수는 풍향별 풍속별 대기의 안정도 발생빈도를 나타낸 것으로, ISCLT3는 각 경우의 대기오염농도를 계산하여 가중평균으로 대기오염농도를 예측한다. 대기안정도분류법은 Pasquill의 안정도 분류법을 이용하였으며 표 9와 같다.

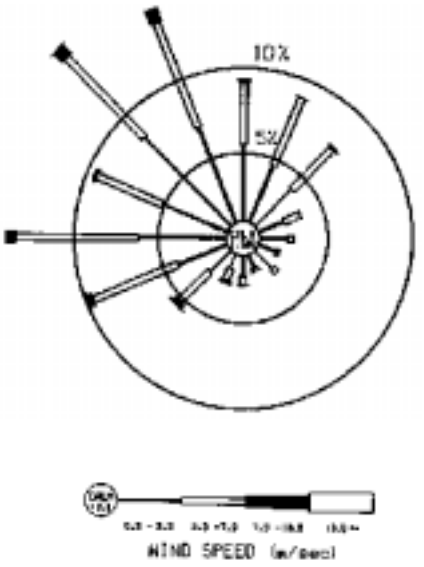
1991년도부터 2000년도까지 지난 10년간 부산지방기상청에서 관측된 1시간간격 관측 자료를 이용하여 부산의 기상결합빈도를 표 10과 같이 구하였다. 기상결합빈도함수는 10년간의 기상자료로부터 6개의 안정도 그룹별, 16방위, 6개 풍속등급에 대한 발생빈도의 형식으로 표현하여야 한다. 안정도 “G” 등급은 6개 등급 안정도 분류에서는 “F” 등급에 포함시킨다.

1991년부터 2000년까지 10년간 Pas-

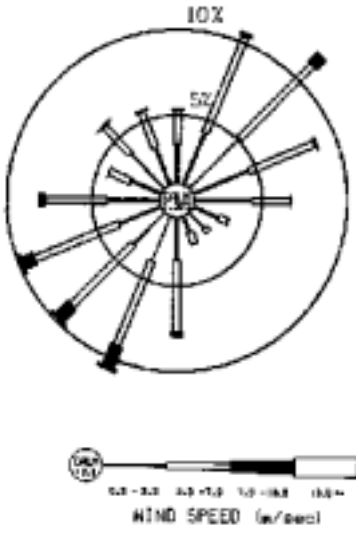


10년간 바람장미　　10년간 가을 바람장미

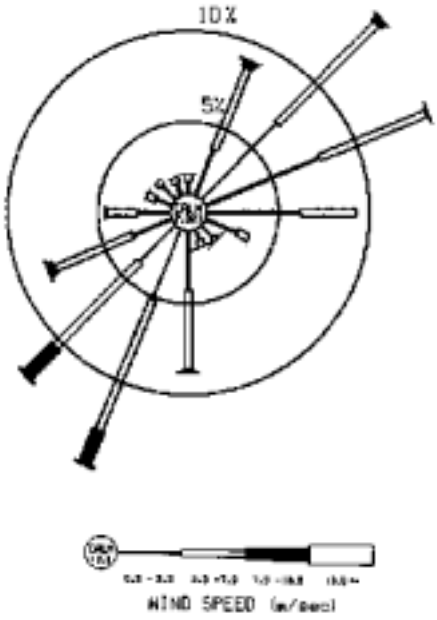
그림 8. 부산지방기상청에서 관측된 10년간 바람장미 (1991년도~2000년도).



10년간 겨울 바람장미



10년간 봄 바람장미



10년간 여름 바람장미

그림 8. 계 속

표 9. Pasquill의 안정도 분류법

풍속(지상10m)	일사량(cal/cm2h)			흐린날	야간	
	≧50	49~25	≦24	일중·야간	상층운(5~10) 하층운(5~7)	운량 (0~4)
<2	A	A-B	B	D	G	G
2~3	A-B	B	C	D	E	F
3~4	B	B-C	C	D	D	E
4~6	C	C-D	D	D	D	D
6<	C	D	D	D	D	D

※ 야간이라함은 일몰 1시간 전~일출 후 1시간
※ 일간·야간과 흐린날(운량8~10)은 풍속에 무관하게 안정도 D
※ Pasquill-Gifford 확산계수 σ_y, σ_z은 초원(지면 거칠기길이 3cm)에서 실시한 실험 자료에 기초
※ 야간 청정시 약풍(2m/s) 일 때 (최근에 붙여진 안정도)
※ 등급별 안정도 (A 등급 : 매우 불안정, B 등급 : 불안정,
C 등급 : 약한 불안정, D 등급 : 중립, E 등급 : 안정,
F 등급 : 매우 안정, G 등급 : 특히 안정)

표 10. 부산의 기상결합빈도 (1991년~2000년)

STABILITY(6)*WIND DIRECTION(16)*WIND SPEED(6)

0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000346	0.000138	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000484	0.000415	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000554	0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000831	0.000415	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000277	0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000623	0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000484	0.000138	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000900	0.000138	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000346	0.000484	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000346	0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000415	0.000208	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000277	0.000346	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000069	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000277	0.000277	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000208	0.000138	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.002492	0.000692	0.000900	0.000000	0.000000	0.000000
0.000484	0.001107	0.000969	0.000000	0.000000	0.000000
0.001453	0.001384	0.000554	0.000000	0.000000	0.000000
0.001246	0.001246	0.000969	0.000000	0.000000	0.000000
0.001523	0.001107	0.004291	0.000000	0.000000	0.000000
0.000831	0.001107	0.002076	0.000000	0.000000	0.000000
0.001177	0.000692	0.000415	0.000000	0.000000	0.000000
0.000623	0.000277	0.000692	0.000000	0.000000	0.000000
0.000623	0.001384	0.003391	0.000000	0.000000	0.000000
0.000900	0.001315	0.002007	0.000000	0.000000	0.000000
0.000761	0.001246	0.001177	0.000000	0.000000	0.000000
0.000138	0.000484	0.000969	0.000000	0.000000	0.000000

.
.
.

quill의 안정도 분류법에 의한 부산의 안정도는 각 계절별로 중립인 “D” 등급이 가장 많았으며, 다음으로 매우 안정한 “F” 등급이 높은 것으로 나타났다.(표 11, 그림 9)

따라서 부산은 대기오염물질이 방출되었을 때 확산되지 않고 정체되어 높은 대기오염 농도를 나타낼 잠재적 가능성을 가지고 있다.

표 11. 10년간 (1991~2000) 계절별 안정도 발생빈도

안정도등급	봄	여름	가을	겨울
A	0.015986	0.014257	0.015224	0.006297
B	0.065819	0.054262	0.085684	0.077659
C	0.106242	0.085892	0.086027	0.096758
D	0.604028	0.677951	0.533012	0.525127
E	0.071012	0.060492	0.094824	0.102436
F	0.136906	0.107143	0.185217	0.191723

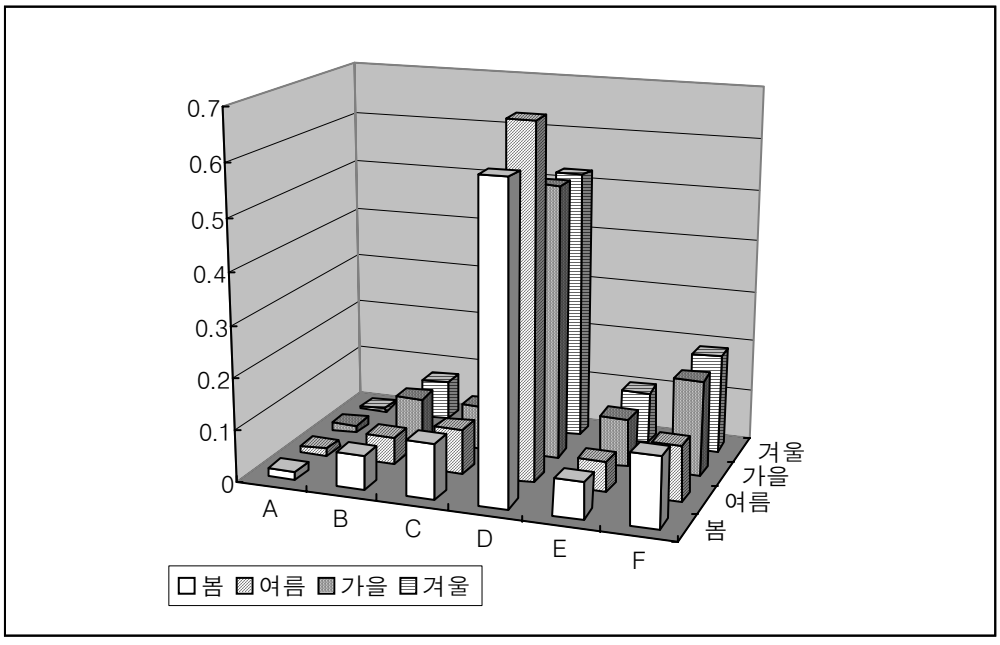


그림 9. 부산의 안정도 등급별 출현빈도 (1991년도~2000년도).

대기확산 모델링

대기확산 모델은 대기오염 확산 방정식의 해를 구하는데 있어서 배출량, 적용지역의 지형 그리고 적용지역의 기상현황을 수학적으로 고려한 것으로, 그림 10과 같은 작업 흐름으로 수행된다.

이때 준비되는 입력 자료는 모델이 요구하는 형식과 단위를 모두 맞추어 주어야 하며, 결과 출력도 목적에 따라 조정해 주어야 한다. 그리고 결과 분석이나 가시화는 연구목적에 따라 다른 프로그램을 이용하여야 한다.

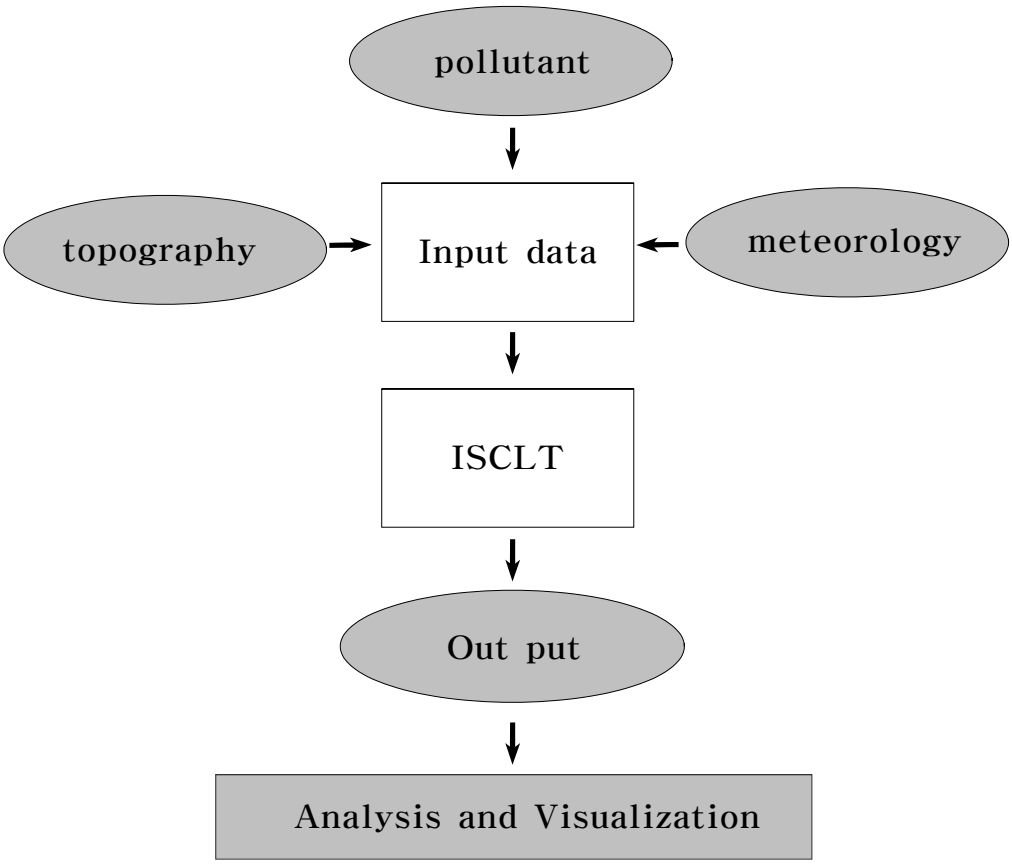


그림 10. 대기 확산 모델링 작업 흐름도

1. 모델의 선정 (ISCLT3, Industrial Sources complex Long Term 3)

대기 확산 모델은 오염물질의 배출, 이동, 확산, 반응에 의한 생성과 소멸과정 등 대기오염의 전반적인 인과관계를 이해, 각종 규제 대책의 영향과 효과 분석 등에서 필수적인 도구이다. 본 연구에는 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 보급하고 있는 대기질 예측모델 시리즈, UNAMAP(User's Network for Applied Modeling of Air Pollution) 가운데 하나로 다중오염원을 고려할 수 있고, 특히 우리나라처럼 지형이 복잡한 지역에 적용 가능한 비 반응성 장기 대기 확산모델이다.

ISCLT3 모델은 정상상태를 가정하며 Gaussian 확산 방정식을 기본으로 한다. 오염원을 점오염원으로 할 때 지표면 위의 연돌 위치를 오염원 기준으로 삼아 x축은 풍하방향, y축은 x축의 법선 방향, z축은 x축의 수직방향을 나타내며, 입력된 착지점 위치 또한 오염원 좌표에 따라 재정리된다. 정상상태의 Gaussian 확산 방정식은 오염원으로부터의 풍하거리 x(m), 법선 거리y(m)에서 시간당 농도변화는 아래식과 같다.

$$C = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp[-0.5(\frac{y}{\sigma_y})^2] \quad (4)$$

C : 오염농도(g/m^{3-km^2})
Q : 오염물질 배출량$(g/\sec - km^2)$
K : 단위 환산계수
D : $D = \exp(-\Psi \frac{x}{u_s})$; 오염물질의분해를고려하는항
x : 풍하거리(m)
Ψ : $decay\ coefficient$; 분해계수
σ_y, σ_z : 수평, 수직방향으로의 확산계수(m)
u_s : 배출지점에서의 평균풍속$(m/\sec)$
V : 오염물질의 수직방향 이동($V = \frac{\sqrt{2\pi}\sigma_z}{z_i}$, z_i : 혼합고)

면오염원은 점오염원을 x, y축 방향으로 적분하여 이용하며 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며,

$$C = \frac{Q_A K}{2\pi u_s} \int_{-}^{VD} \frac{}{\sigma_y \sigma_z} \left(\int_y \exp[-0.5(\frac{y}{\sigma_y})^2] ay \right) ax \quad (5)$$

여기서, Q_A는 면오염원의 배출량$(g/\sec - km^2)$을 나타낸다.

2. 대기확산 모델링 결과

2.1 대기확산 모델 결과와 측정결과 비교

SO_2, CO 그리고 NO_2에 대한 장기 대기 확산 모델링 결과와 부산광역시에 소재한 대기오염자동측정망 측정결과의 연평균을 상관분석을 실시한 결과, 표 12와 같은 모델 결과와 측정 결과 사이의 상관

표 12. 대기확산 모델 결과와 측정결과(1998년도)의 상관관계 및 상관관계식 (Y= a0x + b, x : 모델치, Y : 측정치)

항목	SO_2	CO	NO_2
상관관계	0.664	0.644	0.738
a0	0.5112	1.5966	0.9414
b	0.0061	−0.4546	0.0025

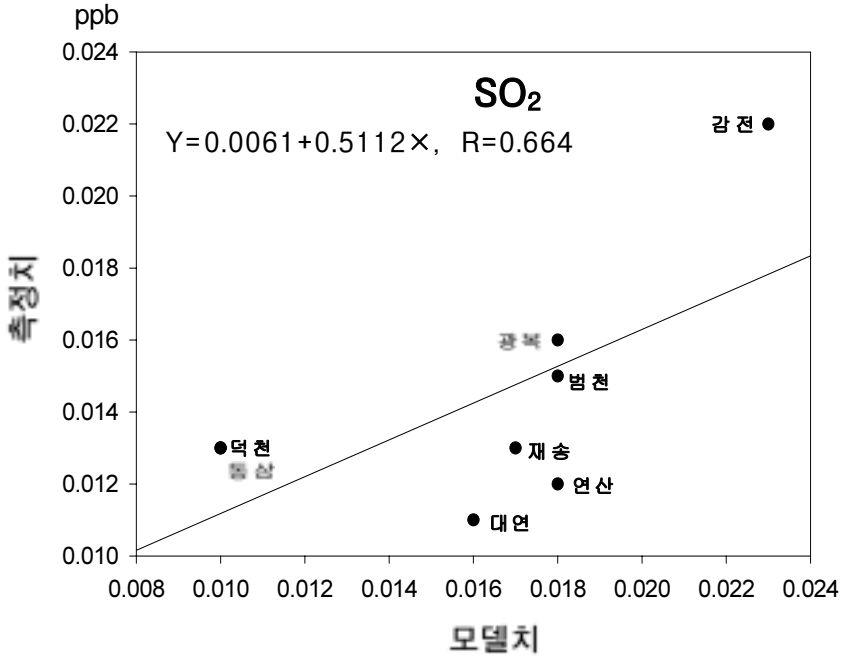
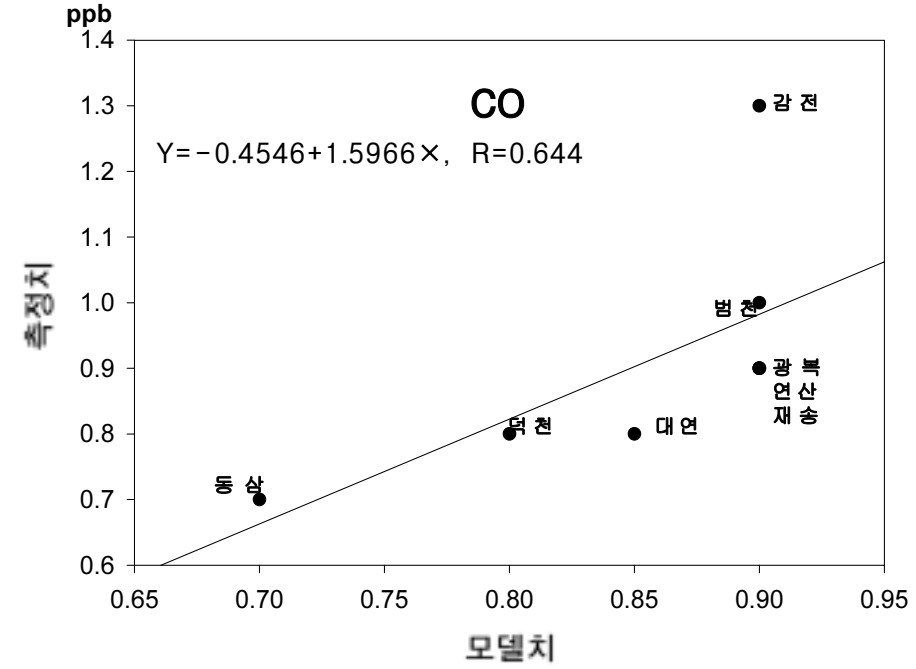


그림 11. 대기확산 모델 결과와 관측결과의 비교 (1998년도, 단위:ppm).


ppb
CO
Y=-0.4546+1.5966×, R=0.644
측정치
모델치
감 전
범 천
광 복
연 산
재 송
덕 천
대 연
동 삼
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.65
0.70
0.75
0.80
0.85
0.90
0.95

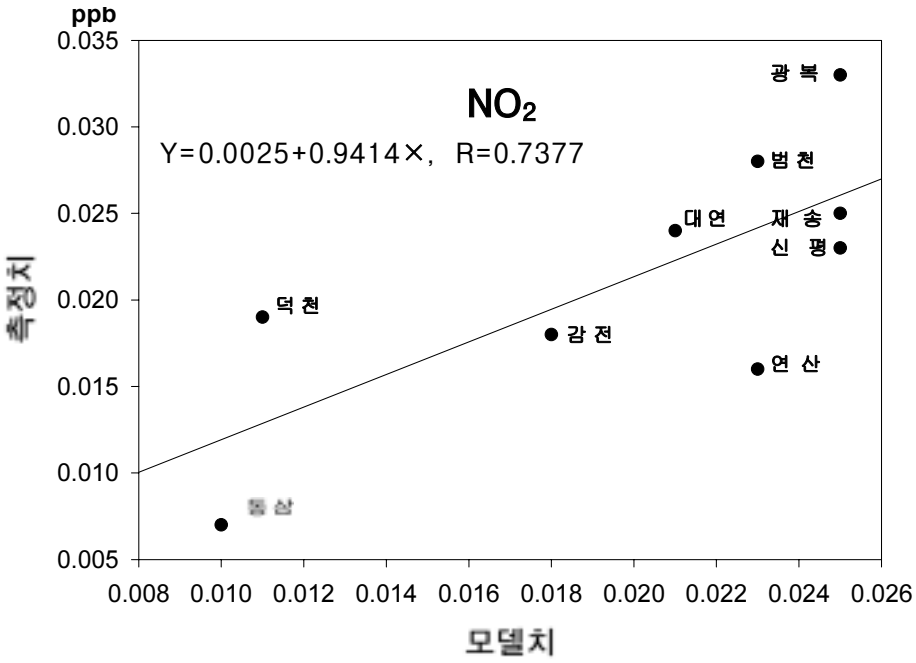

ppb
NO2
Y=0.0025+0.9414×, R=0.7377
측정치
모델치
광 복
범 천
대 연
재 송
신 평
덕 천
감 전
연 산
동 삼
0.035
0.030
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.008
0.010
0.012
0.014
0.016
0.018
0.020
0.022
0.024
0.026

그림 11. 계 속

관계식과 상관관계를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 NO_2가 가장 높은 상관관계를 보여 가장 잘 모사하는 것으로 나타났으며, 그 외 항목도 0.6 이상의 상관관계를 보였다(그림 11).

2.2 대기확산 모델 결과 분석

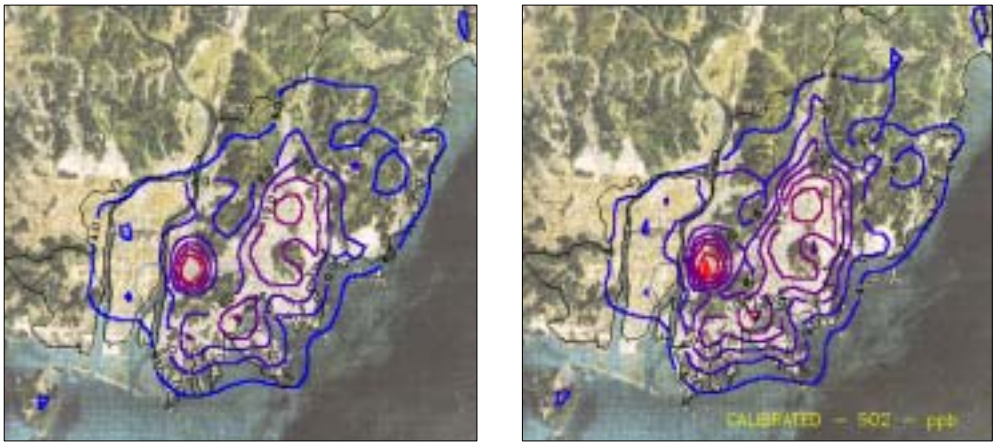
SO_2, CO 그리고 NO_2의 대기확산 모델 결과를 상관관계식을 이용하여 보정한 결과와 같이 등농도 분포도를 이용하여 그림 12 ~ 그림 14에 나타내었다.

SO_2의 농도는 사상공단 주변에서 가장 높게 나타났으며 다음, 중구와 동래구에서 번화한 곳을 중심으로 높은 농도를 나타내었다(그림 12).

CO는 선오염원으로 부터의 배출량이 많기 때문 또는 사상공단이나 장림공단지역 외 차량운행이 많은 범천동, 광복동, 연산동 지역에서 높은 농도를 나타내었다(그림 13).

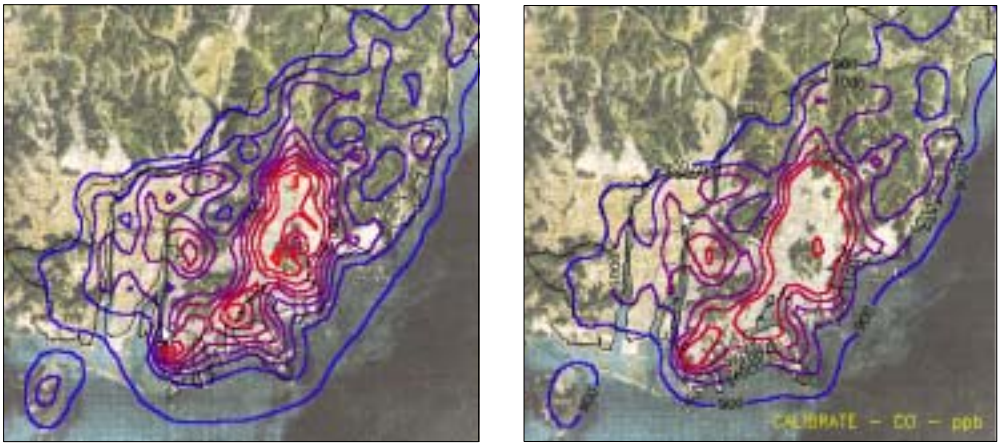
NO_2 등농도 분포도는 CO 와 마찬가지로 선오염원에 의한 배출량 비중이 높기 때문에 CO 등농도 분포도와 유사한 모습을 보여주고 있는데, 장림공단, 광복동, 범천동 그리고 동래 지역을 중심으로 높은 농도를 나타내었다(그림 14).

1998년도를 기준으로 배출량 산정하고 대기확산 모델링을 실시한 결과, SO_2는 감전동 지역에서 배출량 저감을 위한 대책이 필요한 것으로 나타났으며, CO와 NO_2는 사상공단과 장림공단뿐만 아니라 차량으로부터 배출되는 오염물질량을 저감시키기 위한 대책이 필요한 것으로 나타났다.



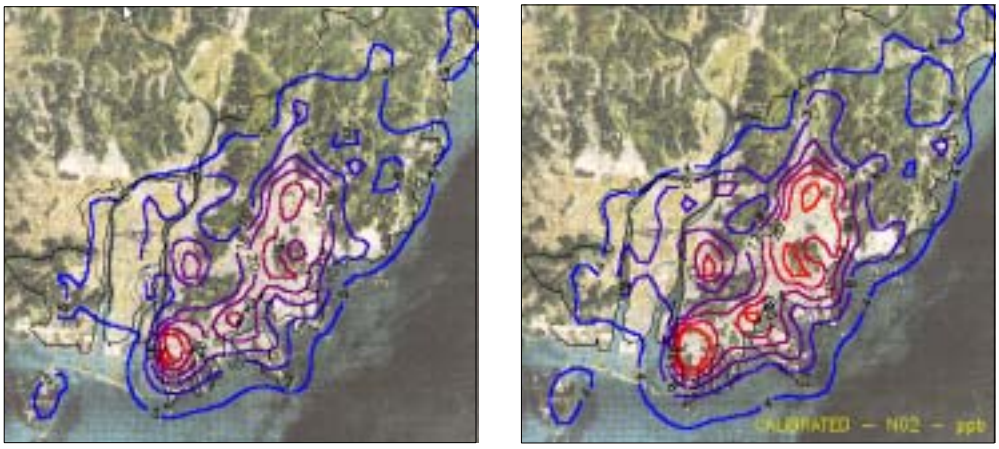
a) 보정전 b) 보정후

그림 12. 대기확산 모델링 결과 - SO_2 분포도 (1998년도, 단위: ppb).



a) 보정전 b) 보정후

그림 13. 대기확산 모델링 결과 - CO 분포도 (1998년도, 단위:ppb).



a) 보정전 b) 보정후

그림 14. 대기확산 모델링 결과 - NO_2 분포도 (1998년도, 단위:ppb).

결 론

본 연구에서는 지역 대기보전에 필수적인 대기오염 예측 도구 마련을 위한 기틀을 세우는 것을 목적으로 부산지역을 대상으로 GIS를 이용하여 대기오염 물질 배출량을 산정하고 부산지역의 10년간 기상자료를 분석한 후 대기확산 모델링을 실시하였다. 그 결과,

1. SO_2, CO 그리고 NOx 배출량을 산정한 결과 점, 선, 면오염원 가운데, 차량을 오염원으로 하는 선오염원으로부터 배출되는 배출량이 항목별로 5065.35ton/yr, 51622.68ton/yr 그리고 26445.01ton/yr으로 가장 많았다.
2. 1991년도~2000년도까지 10년간의 기상자료 분석결과, 바람장은 연간 북동풍과 남서풍이 탁월하며, 특히 겨울에는 북서풍이 가을에는 북동풍이 탁월하였고 안정도는 중립상태인 “D” 등급의 출현빈도가 가장 높았으며, 다음은 절대안정 상태인 “F” 등급의 출현빈도가 높았다. 따라서 부산은 계절풍이 뚜렷하고 대기가 중립 및 절대 안정한 특성이 있으므로 대기환경 보전을 위한 도시개발 계획에 기상장을 반드시 고려하여야 할 것으로 사료된다.
3. 대기확산 모델링을 실시하여 측정값과 비교한 결과, 연구대상 항목별로 다음과 같은 상관관계식과 상관관계를 얻었다.

· SO_2 : Y= 0.5112x + 0.0061 , r = 0.664
· CO : Y= 1.5966x − 0.4546 , r = 0.644
· NO_2 : Y= 0.9414x + 0.0025 , r = 0.738

4. 대기확산 모델링 결과로 대기오염 등농도 분포도를 작성하여 분석한 결과, SO_2는 공단지역을 중심으로 높은 농도가 나타났으나 CO와 NO_2는 공단과 도로가 많은 번화가를 중심으로 높은 농도가 나타났다. 따라서 대기보전을 위하여 SO_2는 대기오염물질 배출사업장을 주요 관리대상으로 하여야 하고 CO와 NO_2는 사업장뿐만 아니라 차량에서 배출되는 량을 저감하도록 대책을 세워야 할 것이다.

본 연구는 정확한 결과를 얻기 위하여 부산시에 소재하고 있는 모든 대기오염 배출사업장에 대한 자료를 처리하여야 하였지만, 자료가 방대하고 자료수집에 한계가 있어 미흡한 점이 있으므로, 부족한 자료의 수집과 새로운 자료의 갱신이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 첨언한다.

참고문헌

1. 국립환경연구원, 대기오염물질배출량 보고서, 2000.
2. 교통안전공단, ‘99 자동차 주행거리 실태 조사 연구, 1999.

3. 민은주, 울산지역에서의 대기오염물질 배출량 산정과 대기오염농도 분포 연구, 부산대학교 석사 학위논문, 2002.
4. 박명희, 대구시 대기오염물질배출량 산정에 관한 연구, 계명대학교 석사 학위 논문, 2002.
5. 부산광역시, 제38회 부산통계연보, 1999.
6. 방종선, 부산 지역에서의 대기 확산 모델의 적용 및 평가 -TCM2, CDM2.0, ISCLT2 모델을 중심으로-, 부산대학교 석사 학위논문, 1996.
7. 에너지경제연구원, 에너지통계연보, 2000.
8. Montserrat, Costa, and Jose M. Balda sano, Development of a source emission model for atmospheric pollutants in the Barcelona area, *Atmospheric Environment*, 30(20), 809~818pp, 1996.
9. U.S. EPA, user's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion model, Volume Ⅰ, 1995.
10. U.S. EPA. user's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion model. Volume Ⅱ, 1995.