

기상자료에 따른 대기오염확산 민감도평가 - 대구성서산업단지에 대한 사례연구 -

박 명 희 · 김 해 동 · 박 미 영

계명대학교 환경학부

(2004년 3월 23일 접수; 2004년 11월 29일 채택)

Sensitivity of Air Pollutants Dispersion According to the Selection of Meteorological Data - Case of Seongseo Industrial Complex of Daegu -

Myung-Hee Park, Hae-Dong Kim and Mi-Young Park

Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 23 March, 2004; accepted 29 November, 2004)

The importance of atmospheric conditions for the assessment of an air pollution situation has been demonstrated by their influence on the various compartments of an air pollution system, comprising all stages from emission to effects. Especially, air pollutants dispersion phenomenon are very sensitive according to wind data. But the discussions of how to apply representative meteorological data in air pollution dispersion model are not frequent in Korean environmental assessment processes.

In this study, we investigated the difference of air pollutants dispersion phenomenon using U.S EPA ISCLT3 model according to applying the different meteorological data observed at two points for Seongseo industrial complex of Daegu. Two points are the spot site of Seongseo industrial complex and Daegu meteorological observatory.

The winds speed of the spot site were smaller than those of Daegu meteorological observatory. In the winter season, the differences came to about 64% for the period(1 February 2001~31 January 2002). Wind directions were also fairly different at two points. The air pollutants dispersion phenomenon estimated from our numerical experiments were also fairly different owing to the meteorological conditions at two points.

Key Words : Winter season, U.S EPA ISCLT3, Air pollutant dispersion

1. 서 론

일반적으로 대기오염의 농도는 일차적으로 배출원의 위치나 배출강도에 영향을 받는다. 환경영향평가에 있어서 대기질에 대한 평가 혹은 주어진 지역에 대한 대기오염예측을 정확히 하기 위해서는 오염물질 배출원 산정작업 뿐만 아니라, 오염물질 배출원 주위의 기상조건에 대한 정보수집이 매우 중요하다¹⁾. 대기질의 평가에 있어서 기상자료의 중요성과 관련하여, Hoeschele²⁾은 대기오염원 주변의 기상자료 측정 방법에 따라서 대기오염농도가 10배에서

100배까지 다르게 평가될 수 있음을 지적한 바 있다.

대기질의 예측에 있어서, 기상자료의 중요성을 반영하여 우리나라의 대기환경영향평가기법에서는 기상자료의 이용을 다음과 같이 규정하고 있다³⁾. 기상자료로는 현지조사에서 얻어진 약 1년간에 걸친 풍향풍속, 대기안정도(일사량, 수직온도분포, 복사수지량, 지상풍속으로 구해짐) 등의 자료를 이용하여 풍향별, 풍속계급별 대기안정도 출현빈도를 구한다. 또한 기상관측소나 지방자치단체의 측정자료도 보조자료로서 동일한 해석을 하여 비교·검토하도록 기술되어 있다³⁻⁵⁾. 그러나 환경영향평가의 대기질 평가분야에 있어서 비용과 편의상의 문제로 인하여 1년간에 걸친 현장관측 기상자료를 실제로 이용하는 경우는 거의 없고 개발지점에서 가장 근접한 기상관측소의 자료를 현장자료로 이용하고 있는 실정이다⁶⁻⁷⁾.

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

한편, 대기질 환경영향평가의 규정에 의하면 결과 보고서에는 대상지역의 특이성을 판단하도록 되어 있다³⁾. 따라서 측정지점에서 기상요소(풍향, 풍속, 기온, 습도, 일사량 등)를 측정하여야 한다. 이렇게 현장의 기상자료를 이용하여야 개발지역 주변에 있는 오염원에서 이동 확산하는 특이성을 제대로 제시할 수 있을 것이다³⁾. 풍향, 풍속은 대상지역의 지형, 지세와 하천과 바다의 근접성에 따라서 매우 다르게 나타날 뿐만 아니라 고도에 따라서도 상당한 차이가 나타난다. 그래서 인접하지 않은 기상관측소의 자료로 배출원의 오염물질의 확산, 이동을 평가한다는 것은 무의미한 결과를 얻을 수 있다^{3,8-10)}.

특히 기류의 변형이 크게 나타나는 고층건물로 주변이 에워싸인 도시지역을 포함한 복잡지형조건 하에 지역과 국지풍의 출현이 탁월한 해안지역 등에서는 바람의 공간적 분포에 큰 차이가 나타난다¹¹⁾. 이 문제와 관련하여, 정우식 등은 수치모의 실험을 통하여 포항지역 주변의 겨울철 탁월풍 현상을 조사하였다¹²⁾. 이 연구에서 그들은 포항의 겨울철 국지적 탁월풍 현상은 해안선의 형태와 낮은 구릉지, 그리고 해륙분포 특성 등의 지형적 특징에 크게 영향을 받는다는 사실을 밝혔다. 김해동 등¹³⁾은 대구 성서지역의 악취 민원발생일의 기상학적 특성을 조사하여, 공단이 위치한 저지대에서 발생된 악취가 산지로 부는 국지풍에 실려 주거지로 운반됨을 보였다.

이종범 등¹⁴⁾은 기상상태와 대기오염물질과의 관계에 대하여 조사하였는데, 풍속이 낮고 고기압 상태일수록 SO₂는 고농도로 나타나며, 기압과 운량의 정도에 따라서도 농도 상승효과가 나타난다고 지적하였다. 이덕길 등¹⁵⁾도 풍속과 대기오염농도에 대하여 조사하였는데 이들은 역비례 관계에 있으며, 특히 풍속 1.5 m/s 이하일 때 고농도 SO₂가 나타나는 경우가 많음을 밝혔다.

이처럼, 대기질은 기상조건에 절대적으로 의존하므로, 주어진 지역의 대기환경을 합리적으로 예측하고 관리하기 위해서는 현장의 기상정보를 정확히 파악하고 있어야 한다. 우리나라에서는 대부분의 지역이 복잡지형에 위치하고 있어, 대기환경의 파악을 위해서는 현장의 기상정보에 대한 필요성이 더욱 요구되지만 현실적으로는 환경영향평가 대기질 분야 등에서도 기상정보에 대한 중요성이 무시되고 있는 실정에 있다¹⁶⁾.

이러한 배경에서, 본 연구에서는 대구의 대표적 산업단지이면서 주변이 산지로 둘러 싸여있어 복잡지형이라는 특성을 보이는 성서산업단지를 대상으로 하여, 현장에서 관측된 기상자료(계명대학교 성서캠퍼스 내에서 설치된 자동기상관측장치(AWS))와 가장 인접한 기상관측소의 기상자료(대구기상대)를 비교·조사하였다. 그리고 우리나라에서 대기영

향평가시 가장 널리 사용되는 대기확산모델인 ISCLT3 모델을 적용하여 두 지점의 기상자료를 입력자료로 하여, 기상자료 선택에 따라서 성서산업단지에서 배출되는 대기오염물질이 공단 인근의 상가 및 주택 단지에 미치는 영향의 차이를 평가하였다. 이를 통하여, 환경영향평가의 대기질평가 혹은 주어진 지역의 대기환경평가에 있어서 현장관측 기상자료의 사용에 대한 중요성을 제시하고자 하였다.

2. 대상지역의 개괄 및 입력자료

2.1. 대상지역의 개괄

대구시는 동경 128°21'~128°46' 북위 35°36'~36°01'에 위치하여 있으며, 기상장 분석을 위한 지점은 Fig. 1에 A와 B로 나타내었다. 성서공단은 동

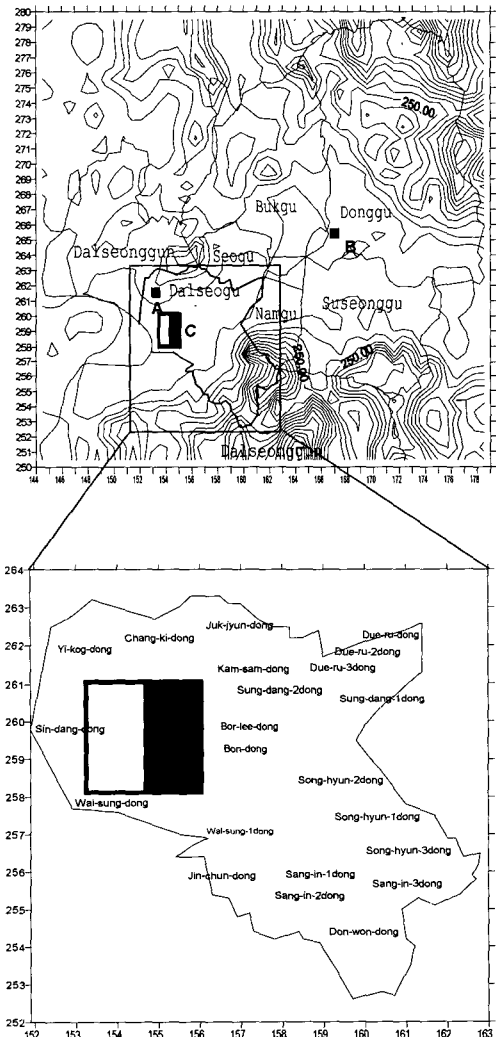


Fig. 1. Location of weather observing 2site and point source used in this study.

경128°30' 00", 북위 35°50' 00" 에 위치하고 있으며 Fig. 1에 C로 나타내었다.

대구시의 기후와 자연환경은 다른 지역에 비해 특색이 많다. 대구시 북쪽에는 팔공산 등 높은 산줄기가 여러 곳으로 뻗어 병풍처럼 둘러싸여 있고, 남쪽에도 비슬산 줄기에 여러 개의 높은 봉우리가 여러개 존재하며, 남서방면에는 와룡산이 위치하고, 그 사이를 금호강과 신천이 흐르고 있는 분지 지형이다. 이러한 이유로 대구는 기온의 일교차가 크고, 강수량이 다른 지역에 비해 적은 내륙분지형 기후를 나타낸다¹⁷⁾.

2.2. 분석자료

2.2.1. 기상자료

본 연구에 사용된 기상자료는 2001년 2월 1일부터 2002년 1월 31일까지 1년 간에 걸쳐서 성서산업단지에 인접한 계명대학교 성서캠퍼스 내 백은관 옥상에 설치된 자동기상관측시스템(AWS, A지점)과 대구기상대(B지점)에서 관측된 풍향, 풍속, 기온, 상대습도, 일사량, 운량으로 매시간 관측된 자료를 사용하였다. 운량은 대구기상대에서 3시간 간격으로 관측된 자료를 내삽법을 이용하여 매시간 자료로 환산하여 적용하였다.

2.2.2. 대기오염물질 배출량 산정

대기오염배출량은 대구 지역을 나타낸 1 : 25000의 지도를 이용하여 TM(Transverse Mercator)좌표

에 따라 1 km×1 km의 격자로 나누고, 성서공단의 배출시설에서 배출되는 아황산가스(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 부유분진(TSP)의 배출량을 산정하였다.

점오염원 배출량은 대구시 대기배출시설 중 연간 연료사용량이 1000톤 이상인 대기분야 1, 2, 3종의 업소를 대상으로 하였으나, 입수한 대기배출시설 자료는 대기분야 1, 2, 3종의 업소 중 대구시가 보유한 성서공단의 연료사용량 자료만을 이용하였다. 그리고 각 배출업소별로 TM좌표화 하여 연간 사용한 연료종류와 총 사용량을 조사하고, 연료의 종류별 대기오염물질 배출계수(Table 1) 중에서 산업용 대기오염물질 배출계수를 곱하여 점오염원에 의한 배출량을 구하였다.

$$Q = FC \times EF$$

Q : Emission rate of pollutants

FC : Annual fuel consumption

EF : Emission factor

2.2.3. ISCLT3의 입력자료

ISCLT3를 이용시 필요한 입력자료는 배출량, 기상, 그리고 지형자료이다. ISCLT3의 경우 기본적으로 평탄한 지형을 가정하므로 많은 경우 지형자료가 생략되나, 본 연구에서는 점오염원의 지표높이를 고려해주기 위해 지형자료를 입력하였다. 입력된 지형자료는 국토지리정보원에서 발행되는 1 : 25000 지

Table 1. Emission factors by fuel

Emission Pollutant		TSP	SO ₂	CO	NO ₂
		Industry	Industry	Industry	Industry
Gasoline		-	-	-	-
Kerosene		-	-	-	-
Diesel	0.1%	0.24	17S	0.6	2.4
	0.05%	0.24	17S	0.6	2.4
Bunker A oil		0.84	18S	0.6	2.4
Bunker B oil		1.2	19S	0.6	6.6
Bunker C oil	4.0%	1.12S+0.37	19S	0.6	6.6
	1.0%	1.12S+0.37	19S	0.6	6.6
	0.5%	1.12S+0.37	19S	0.6	6.6
	0.3%	1.12S+0.37	19S	0.6	6.6
Coal	Hard Coal	5A	19.5S	0.3	9
	Soft Coal	5A	19S	0.3	10.85
Gas	LNG	0.1	0.01	0.56	2.24
	LPG	0.07	0.01	0.4	2.3

Unit: Oil(kg/kℓ), Coal(kg/ton), LNG(kg/1000m³), LPG(kg/kℓ)

도를 이용하여 TM좌표 1 km×1 km 격자별로 평균고도 값을 구하였는데, 실제의 지형고도 값과는 차이가 있을 수 있다. 기상자료의 경우 2001년 2월 1일부터 2002년 1월 31일까지 1년 동안에, 성서공단에 인접해 있는 계명대학교 성서캠퍼스 내에서 얻어진 자동기상관측자료와 대구기상대의 풍향, 풍속, 일사량, 운량 자료를 사용하였다. 운량은 대구기상대에서 3시간간격으로 관측된 자료를 내삽법을 이용하여 매시간 자료로 환산하여 두 지점에 동일하게 적용하였다. 안정도 계급은 Pasquill-Turner 방법⁵⁾을 이용하였다. 이것은 대기오염의 확산에 미치는 기상상태를 나타낸 것으로 현재 ISC3모형을 비롯한 대기확산모델에서 가장 널리 사용되고 있는 방법이다.

Pasquill-Turner 방법은 평균풍속, 풍속 혹은 풍향의 변동량, 일사량(태양고도, 운량)등의 기상자료를 참조하여 대기상태를 가장 불안정한 상태(A등급)부터 가장 안정한 상태(F등급)까지 6개의 대기안정도 등급으로 구분하여 이용하였다.

3. 연구결과

2001년 2월부터 2002년1월까지의 대구기상대(동구 신암동에 위치)와 성서산업단지에 인접한 계명대학교 성서캠퍼스 내에 위치한 자동기상관측장치(달서구 신당동에 위치)의 기상자료(기온, 풍향, 풍속, 일사량, 상대습도, 운량)에 대하여, 두 지점간에 존재하는 바람자료의 차이를 비교·분석하였다. 그리고 US-EPA(미국환경보전청) 제공의 ISCLT3모형을 사용하고 두 지역의 기상자료를 각각 입력자료로 하여 성서공단에서 배출된 대기오염물질이 주변의 주택 및 상가지역으로 확산되는 양의 차이를 평가하였다. 이후부터 대구기상대와 계명대학교 내 자동기상관측장치(AWS; Automatic Weather observing System)가 위치한 지명을 이용하여 신암동(대구지방기상대)과 신당동(계명대학교 성서캠퍼스)으로 구별하여 표기하기로 한다.

3.1. 계절별 바람장과 대기안정도의 분포 특성

풍향·풍속 자료를 이용하여 지형에 의한 바람장의 계절적 특성을 지점별로 Fig. 2~3에 바람장미로

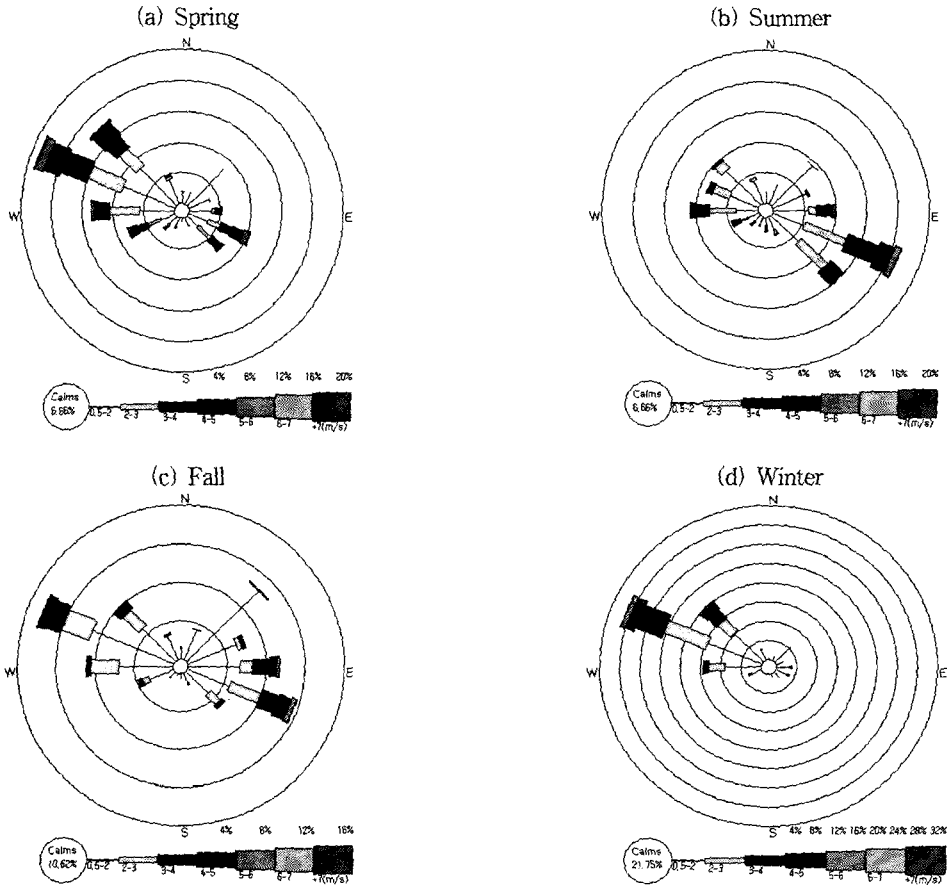


Fig. 2. Seasonal mean windrose at Shiam-Dong site.

제시하였다. 본 연구에서는 16방위를 사용했으며, 막대의 중심으로부터 원의 수는 백분율로 발생빈도를 나타내고, 막대의 종류에 따라 풍속 구간을 구분한다.

Fig. 2(a)와 Fig. 3(a)에 지점별 봄철(3월, 4월, 5월)의 바람장미를 제시하였다. 신암동(Fig. 2(a))의 경우에는 서북서풍과 동남풍이 주풍향을 보이는 것에 대하여, 신당동(Fig. 3(a))에서는 남풍이 탁월풍으로 나타났다. 풍속의 경우 대구는 최대 6~7 m/s, 성서는 최대 3~4 m/s로 대구에 비해 약하게 나타났다. Fig. 2(b)와 Fig. 3(b)는 여름철(6월, 7월, 8월)의 바람장미를 나타낸 것이다. 신암동(Fig. 2(b))에서는 동남풍과 서북서풍이 주풍향으로 나타났는데, 성서(Fig. 3(b))는 남풍과 북풍이 탁월풍으로 평가된다. 풍속의 경우는 신암동에서 최대 5~6 m/s가 기록되었지만, 신당동에서는 이보다 작은 4~5 m/s로 나타났다. Fig. 2(c)와 Fig. 3(c)는 가을철(9월, 10월, 11월)의 바람장미를 나타낸 것이다. 신암동(Fig. 2(c))에서는 북서풍과 동남풍이 주풍향으로 나타난 것에

대하여, 신당동(Fig. 3(c))에서는 남풍과 북풍이 주풍향으로 나타났다. 풍속의 경우, 신암동에서는 최대풍속이 5~6 m/s에 이르렀고, 신당동에서는 4~5 m/s에 그쳤다. Fig. 2(d)와 Fig. 3(d)에는 겨울철(12월, 1월, 2월)의 바람장미를 제시하였다. 신암동(Fig. 2(d))에서는 서북서풍이 주풍향을 이루었고, 신당동(Fig. 3(d))에는 북풍과 남풍이 주풍향으로 나타났다. 풍속의 경우에는 신암동에서 최대풍속이 5~6 m/s로 나타났고, 신당동에서는 3~4 m/s로 관측되었다.

바람장미분석을 통해 얻은 각 지점별 풍향별 빈도와 풍속별 빈도를 Table 2와 3에 제시하였다. 두 지역의 풍향자료(Table 2)를 살펴보면, 신암동의 봄철은 서북서풍(19.4%), 남서풍(14.4%), 여름은 동남동풍(17.3%), 서풍(9.0%), 가을은 서북서풍(14.6%), 동남동풍(11.7%), 겨울은 서북서풍(29.3%), 북서풍(16.3%) 순으로 빈도가 높게 나타났다. 이에 대하여, 신당동의 관측자료는 봄철에 남풍(36.8%), 남남동풍(9.9%)이, 여름철에는 남풍(25.2%), 북풍

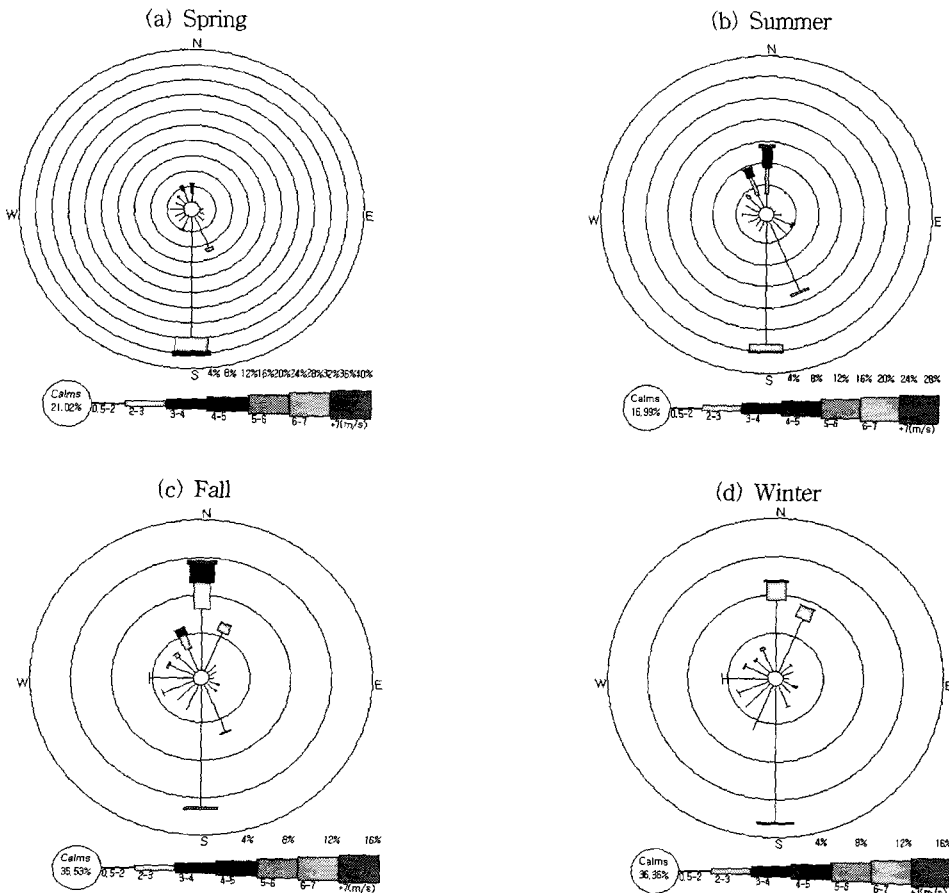


Fig. 3. Seasonal mean windrose at Shindang-Dong site.

Table 2. Occurrence frequency of seasonal mean wind direction in Shinam-Dong and Shindang-Dong site

Frequency (%)	Spring		Summer		Fall		Winter	
	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong
N	1.8	5.4	1.4	11.0	1.3	11.8	0.4	9.7
NNE	1.6	0.6	2.6	0.5	3.4	5.4	0.8	7.4
NE	6.5	0.1	7.4	0.1	10.5	1.1	4.2	1.4
ENE	2.9	0.2	4.8	0.2	6.2	0.8	1.4	1.0
E	4.5	0.8	8.2	1.4	9.4	0.5	3.2	0.6
ESE	8.5	1.3	17.3	3.9	11.7	1.1	2.9	1.5
SE	6.1	2.1	12.0	4.2	5.1	1.2	1.4	1.2
SSE	1.3	9.8	2.6	14.1	1.3	5.6	0.4	2.4
S	0.6	36.9	2.0	25.2	0.5	13.3	0.1	14.7
SSW	1.5	3.7	1.4	1.7	0.1	29	0.1	5.0
SW	2.3	2.2	1.9	1.2	0.8	2.5	0.1	3.3
WSW	6.6	2.3	3.9	2.0	4.1	3.3	3.1	3.2
W	11.2	3.5	9.0	3.0	9.1	4.4	12.0	4.7
WNW	19.4	2.2	7.1	2.8	14.6	2.7	29.2	2.6
NW	14.4	3.1	7.9	4.0	8.2	2.9	16.3	2.1
NNW	4.2	4.9	3.6	8.2	3.1	4.9	2.8	2.8

Table 3. Occurrence frequency of seasonal mean speed in Shinam-Dong and Shindang-Dong site

Frequency (%)	Spring		Summer		Fall		Winter	
	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong	Shinam -Dong	Shindang -Dong
0.5~2.0	47.2	63.3	51.4	64.6	59.5	53.7	43.1	57.9
2.0~3.0	19.5	9.5	22.8	12.4	16.5	7.3	18.4	5.3
3.0~4.0	12.9	4.5	12.4	5.3	8.4	2.8	10.6	0.4
4.0~5.0	9.3	1.5	4.8	1.0	3.6	0.6	4.3	0
5.0~6.0	3.4	0.2	1.6	0.1	1.3	0	1.5	0
6.0~7.0	0.9	0	0.3	0	0.1	0	0.4	0
7.0~	0.2	0	0	0	0	0	0	0

(11.0 %), 가을철에는 남풍(13.3 %), 북풍(11.8 %) 그리고 겨울철에는 남풍(14.7 %), 북풍(9.7 %) 순으로 높은 빈도를 나타내었다. 두 지역의 풍속(Table 3) 자료를 살펴보면, 풍속빈도는 두 지점 모두에서 사계절에 걸쳐 2 m/s 이하가 가장 많은 빈도를 나타내었다. 두 지역을 비교하여 보면, 신당동에 비하여 신암동의 풍속이 강함을 볼 수 있는데, 가을을 제외한 3계절에서 특히 그 차이가 컸다.

대기상대가 위치한 동구 신암동은 대체로 사방이 열린 공간에 위치하고 있으나, 성서산업단지는 북쪽에 공산, 남쪽으로 앞산자락인 청계산이 위치하

고 있고, 서쪽으로는 성주와 현풍지역으로 낮은 야산이 존재하고 동쪽으로는 30층에 이르는 고층의 아파트단지가 인접하여 위치하고 있어 신당동의 풍속이 약하게 관측된 것으로 추정된다. 풍향의 경우에는, 성서산업단지에는 남과 북에 높은 산지가 위치하고 있는데 연중 풍속빈도에서 가장 높은 비율을 보인 2 m/s 이하의 약풍시에 국지순환풍인 곡풍과 산풍의 출현이 높았을 것으로 추정되며, 이로 인하여 신당동에서는 신암동에 비하여 남풍과 북풍이 높은 빈도로 관측된 것으로 사료된다.

대기확산모델에 널리 이용되는 Pasquill-Turner

의 방법을 따라서 2001년 1월부터 2002년 2월까지의 전체 일수에 대한 지점별 안정도 등급을 조사하여 Table 4에 제시하였다. 두 지점의 계절별 대기안정도를 조사한 결과, 대체적으로 매우 안정한 등급(F등급)의 빈도가 가장 높게 나타났고, 신당동의 기상자료로 추정된 대기안정도 F등급의 비율이 신암동에 비하여 높게 나타나났다. 그 차이는, 봄철 10.8%, 여름철 7.4%, 가을철 8.5% 그리고 겨울철에 23.3%에 이르렀다.

두 지점의 기상자료를 이용하여 대기안정도를 구하고, 두 지점에 있어서 풍속과 대기안정도간의 산포도를 구하여 Fig. 4에 제시하였다. 풍속의 범위는 1(2 m/s미만), 2(2 m/s이상~3 m/s미만), 3(3 m/s이상~4 m/s미만), 4(4 m/s이상~6 m/s미만), 5(6 m/s이상~10 m/s미만), 6(10 m/s이상)으로 구분하였다. 두 지점 모두 1~2 m/s 내외의 약풍시에 매우 안정한 등급의 빈도가 계절에 관계없이 높게 나타났다. 풍속이 2 m/s를 초과한 경우에는 안정한 등급의 출현 빈도가 모든 계절에서 낮게 나타났다. 그러나 풍속이 1~2 m/s 내외로 약풍일 때, 가장 안정한 등급(F등급)의 출현빈도는 신당동이 신암동보다 0.1(봄)~0.2(겨울) 정도 높게 나타났다. 따라서 성서산업단지에서 배출된 오염물질이 주변지역으로 확산되어 미치는 효과를 평가할 때, 바람이 약하고 기층이 안정할수록 오염물질의 확산이 제한되어 인근 지역에 고농도대기오염을 유발하게 되므로 현장의 기상관측자료(신암동)를 이용하지 않고, 현장에 가장 인접한 기상관측소(신암동)의 자료를 이용하게 되면 실제 상황보다 저농도의 대기오염현상을 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.2. 월평균 기상자료의 분포특성

성서산업단지에 인접한 신당동과 대구지방기상대가 위치한 신암동에서 관측된 월평균기온을 Fig. 5에 나타내었다. 신암동의 월평균기온이 신당동보다 2002년 1월을 제외하고는 연중 약간 높게 나타났다. 이는 관측지점 주변의 지리적 영향으로 생각된다. 두 지점의 위치는 Fig. 1을 통해 알 수 있는데, 신암동(대구기상대)은 도시의 중심에 가까이 위치하고 있고, 신당동(계명대학교 성서캠퍼스 내)은 비교적 교외지역에 위치하고 있어 두 지역 사이에 도시화 효과의 차이가 반영된 결과로 사료된다.

두 관측지점에서의 월평균 풍속을 Fig. 6에 나타내었다. 풍속은 대기오염확산 평가 시에 대기오염농도를 결정짓는 가장 중요한 인자 중의 하나이다. 특히, 풍속이 1 m/s이하로 약할 때에 대기환경조건을 저하시켜 고농도의 대기오염을 유발할 수도 있다. 모든 계절에 걸쳐서 신암동에 비하여 신당동에서 낮은 풍속을 보였다. 연평균으로는, 신암동에서 약 1.9 m/s, 신당동에서 약 1.0 m/s로 관측되어 그 차이가 약 2배에 이르렀다. 월별 최대풍속은 신암동에서 3월에 약 2.4 m/s로 나타났고, 신당동에서는 6월에 약 1.4 m/s로 나타났고, 신당동에서는 11월에 약 0.6 m/s로 기록되었다. 두 지점에서 관측된 풍속에 큰 차이가 나타났는데, 이는 김유근 등이 부산지역에 설치된 지표바람장을 분석하여, 1997년 1년 동안에 부산의 14개 자동기상관측망에서 측정된 풍속을 분석한 결과 부산지방기상청에서 관측된 연평균 풍속(약 3.9 m/s)의 60%에 미치는 못하는 곳이 8개 지점에 이르렀다는 사실을 상기한다면 그

Table 4. Seasonal mean atmospheric stability occurrence frequency at Shinam-Dong and Shindang-Dong and sites

Stability class	Spring		Summer		Fall		Winter	
	Shinam-Dong	Shindang-Dong	Shinam-Dong	Shindang-Dong	Shinam-Dong	Shindang-Dong	Shinam-Dong	Shindang-dong
A	4.8	15.4	2.0	7.9	2.1	11.8	0.6	12.5
A-B	5.8	3.4	3.6	2.3	7.5	4.9	5.4	3.9
B	6.1	3.0	4.5	1.8	6.5	3.8	6.0	6.3
B-C	1.2	0.3	0.5	0.2	1.6	0	2.1	0.1
C	3.8	1.1	1.8	0.5	1.9	0.3	3.0	0.4
C-D	1.0	0.05	0.2	0	1.1	0	3.4	0
DD	14.6	14.2	24.8	24.9	16.9	16.7	16.9	14.3
DN	9.8	4.8	6.1	3.6	3.2	0.5	13.9	0.7
E	12.2	6.4	11.5	6.6	8.4	2.4	12.5	2.6
F	40.4	51.2	44.9	52.3	51.0	59.5	36.1	59.4

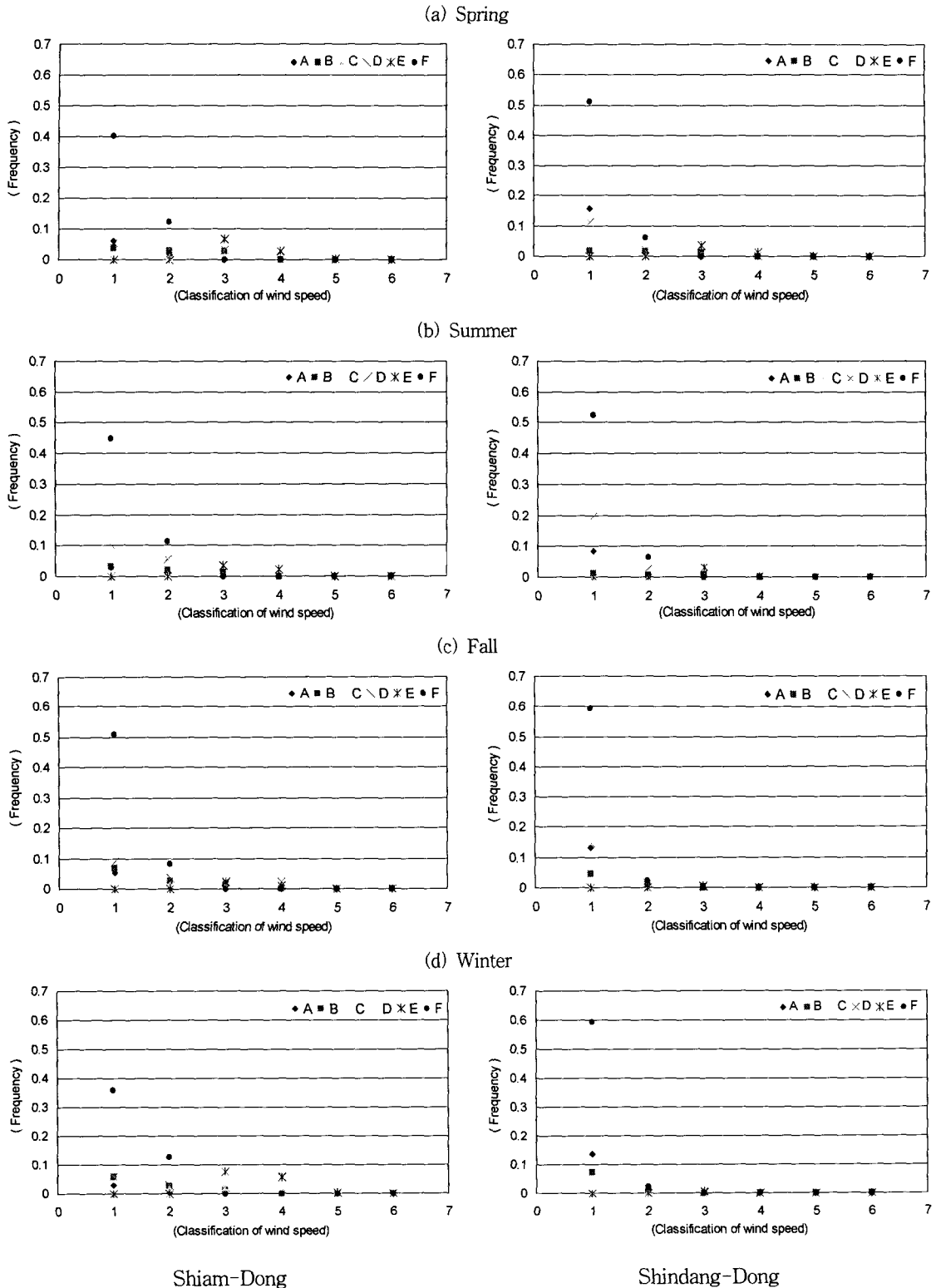


Fig. 4. Relationship between the atmospheric stability and wind speed at Shinam-Dong and Shindang-Dong sites

다지 놀라운 사실은 아닌 것으로 평가된다.

Fig. 7에 월별 상대습도의 변화를 제시하였다. 도시의 기온변화는 상대습도의 변화를 초래한다. 기온 20℃에서 상대습도가 80%인 공기가 2℃ 온도가 올라가면 상대습도는 약 8% 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 상대습도는 도시화를 예측하는데 효과적이다. 상대습도는 성서가 3월과 11월을 제외하고는 대구보다 약 6% 이상 높음을 알 수 있었다. 이는 두 지점의 지리적 지형적 요인에 의한 기온변화와도 관계가 있음을 보여준다.

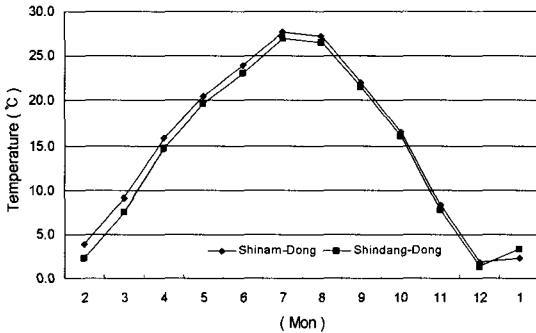


Fig. 5. Distribution of monthly averaged air-temperature at Shinam-Dong and Shindang-Dong site.

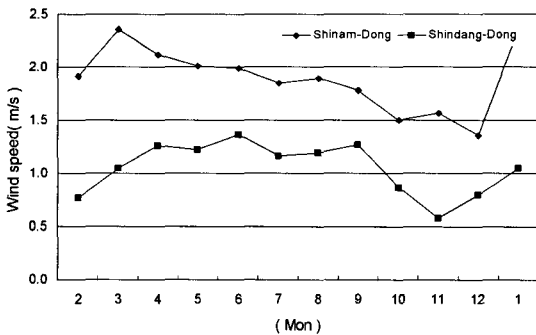


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for the wind-speed.

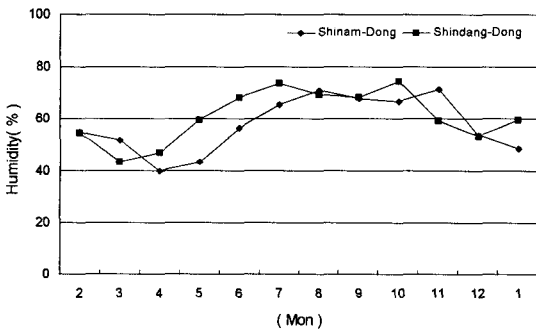


Fig. 7. Same as Fig. 5 except for the relative humidity.

3.3. 점오염원의 대기오염물질배출량 공간적 분포
 성서공단을 포함하고 있는 달서구의 점오염원에서 배출되는 이산화질소(NO_2), 아황산가스(SO_2), 부유분진(TSP), 일산화탄소(CO)에 대한 공간분포를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 성서지역의 점오염원의 공간적 분포를 살펴보면, 대부분 성서공단 내에 밀집하여 분포함을 알 수 있다. 그 중에서 가장 높은 대기오염물질 배출량을 나타내고 있는 지점은 한국지역난방공사와 쌍용중공업 대구공장이 위치한 곳임을 확인할 수 있다.

3.4. 대기확산모델의 결과

신암동(대구기상대)과 신당동(계명대학교 성서캠퍼스 내)의 기상자료를 이용하여 성서산업단지에서 배출된 대기오염물질이 인접지역에 미치는 영향의 차이를 대기확산모델로 평가하여 Fig. 9~12에 나타내었다. 모델산출 결과를 제시함에 있어서, 앞 절에서와 마찬가지로 대구지방기상대의 관측자료를 사용한 결과는 신암동, 성서산업단지에 인접한 계명대학교 성서캠퍼스 내에서 관측한 기상자료를 사용한 결과는 신당동으로 표기하기로 한다.

부유분진(TSP; Total Suspended Particulates)에 대한 대기확산모델의 결과를 Fig. 9에 제시하였다. 신암동의 기상자료를 사용한 경우에, 모든 계절에 걸쳐서 성서산업단지의 북서쪽과 남동쪽에 위치한 본리동, 송현동과 상인동으로 확산이 많이 이루어지는 것으로 평가되었다. 반면에, 신당동의 기상자료를 이용하였을 경우에는 성서산업단지의 남쪽과 북쪽에 위치한 이곡동, 장기동 및 용산동으로 확산이 많이 이루어짐을 알 수 있다. Fig. 10~12에 각각 SO_2 , NO_2 및 CO의 성서산업단지에서 인근지역으로의 확산을 제시하였다. 대기오염물질 확산경향은 부유분진의 경우와 같았다. 그리고 성서산업단지 내에서의 대기오염농도는 겨울철에 가장 높은 것을 알 수 있는데, 이는 겨울철에 대기오염물질 발생량이 가장 많을 뿐만 아니라, 겨울철에 풍속이 낮게 관측되고 대기안정도가 높게 평가되는 것에 기인하는 것으로 생각된다. 두 지역의 기상자료 차이에 따른 대기오염농도의 차이도 겨울철에 가장 크게 평가되었는데, 이는 겨울철에 신당동과 신암동의 풍속 차이가 가장 크게 관측된 탓으로 추정된다. 계절별 두 지역의 기상자료 차이에 따른 성서산업단지 내의 대기오염물질의 농도 차이를 Fig. 13에 제시하였다. 부유분진(Fig. 13(a) 성서) 농도의 경우에, 봄에는 거의 같은 농도를 보이고, 여름과 겨울에는 기상자료 사용에 따른 차이가 약 $0.5 \mu g/m^3$ 이상에 이르렀다. 이산화황(Fig. 13(b))은 봄과 가을에 약 0.05 ppb 이상, 여름과 겨울에 약 0.2 ppb 이상의 차이가 나타났다.

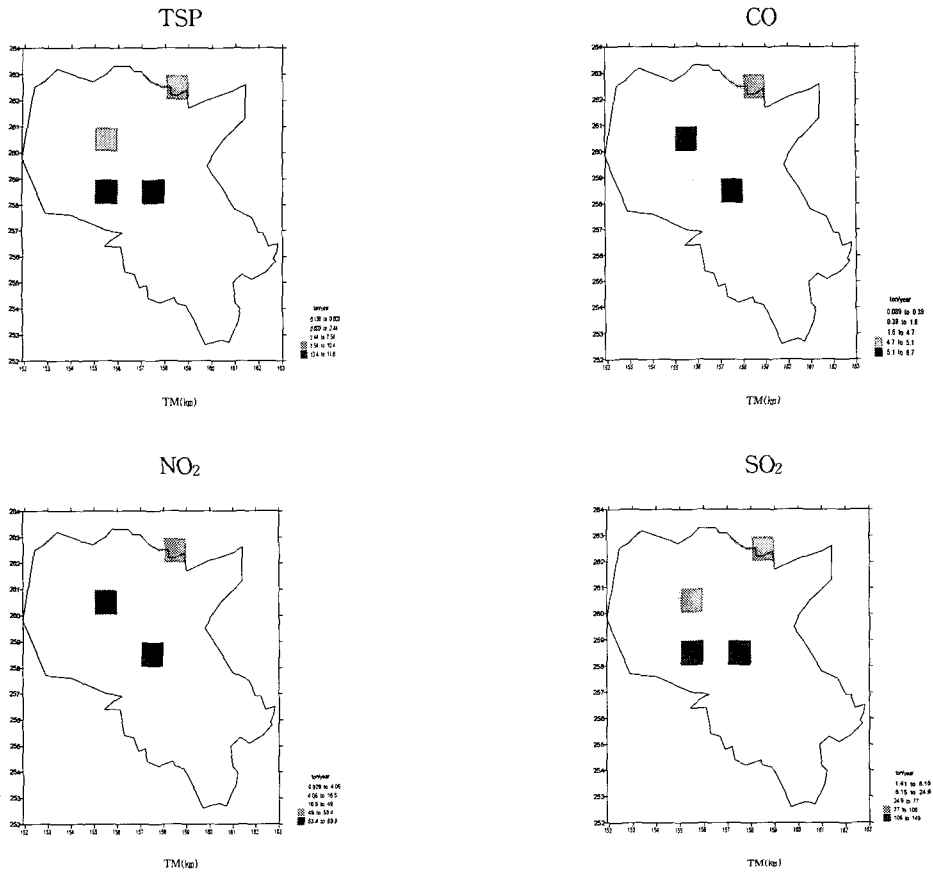


Fig. 8. Distributions of total air pollutants emitted from point sources at Seong seo industrial complex (Unit:ton/year).

이산화질소(Fig. 13(c))는 봄과 가을에 그 차이가 약 0.02 ppb 정도에 머물렀지만, 여름과 겨울에는 그 차이가 약 0.2 ppb 이상에 이르렀다. 일산화탄소(Fig. 13(d))의 경우, 봄과 가을에는 그 차이가 약 0.001 ppb로 작았지만, 여름과 겨울에는 약 0.04 ppb 이상 차이를 보였다.

4. 요약 및 결론

대기오염농도는 해당지역의 오염배출 상황, 지형적 조건 및 국지적 기상 특성에 크게 의존한다. 특히, 수년 이내의 기간에 대해서는 급속한 개발이 이루어지는 지역을 제외하고는 주어진 지역의 대기오염물질 발생량에 큰 차이가 발생하지 않으므로 대기오염물질 농도의 시간변화는 기상조건에 거의 전적으로 의존한다고 말할 수 있다¹⁹⁻²¹⁾. 기상자료 중에서도 바람과 대기안정도에 대한 의존성이 매우 높다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 성서산업단지를 포함한 성서지역을 대상으로 기상관측지점의 차이

에 따른 각종 기상자료의 차이를 조사하고, 이에 따른 대기오염확산의 차이를 대기확산모델을 이용하여 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 바람장의 계절별 분포 특성은, 신암동의 경우는 북서풍과 동남풍이 연중 탁월풍으로 나타났지만, 성서산업단지에 인접한 신당동관측소에서는 북풍과 남풍이 주풍향으로 평가되었다. 또, 풍속은 두 지점 모두 2.0 m/s이하의 약풍의 출현빈도가 가장 높게 나타내서 대구지역의 대기환기기능이 낮음을 알 수 있었다. 그리고 두 지역의 풍속을 비교하여 보면, 주변이 산지로 고층의 인공구조물로 막혀있는 성서산업단지에 인접한 신당동의 값이 대구지방기상대가 위치한 신암동에 비하여 연중 34%(하계)~64%(동계)정도 낮게 평가되었다.
- 2) 대기안정도는 두 지점 모두 가장 안정한 등급(F등급)의 빈도가 가장 많았다. 지역별로는, 신당동이 신암동보다 가장 안정한 등급(F등급)이 연간 12.5%, 계절별로는 봄(10.8%), 여름(7.4%), 가

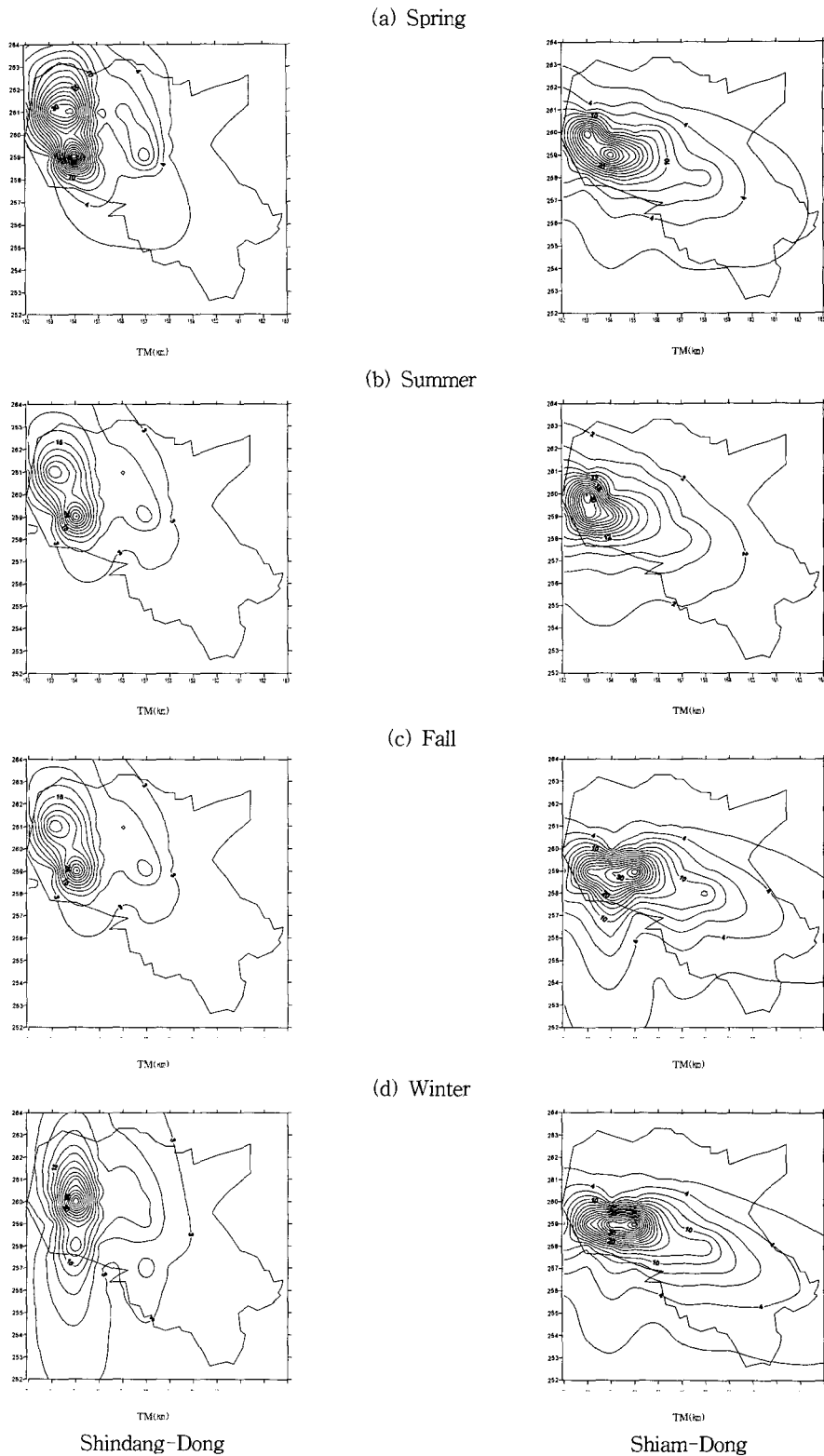


Fig. 9. The distribution of seasonal mean TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$) concentrations simulated by ISCLT3 model using the meteorological data observed at Shiam-Dong and Shindang-Dong sites.

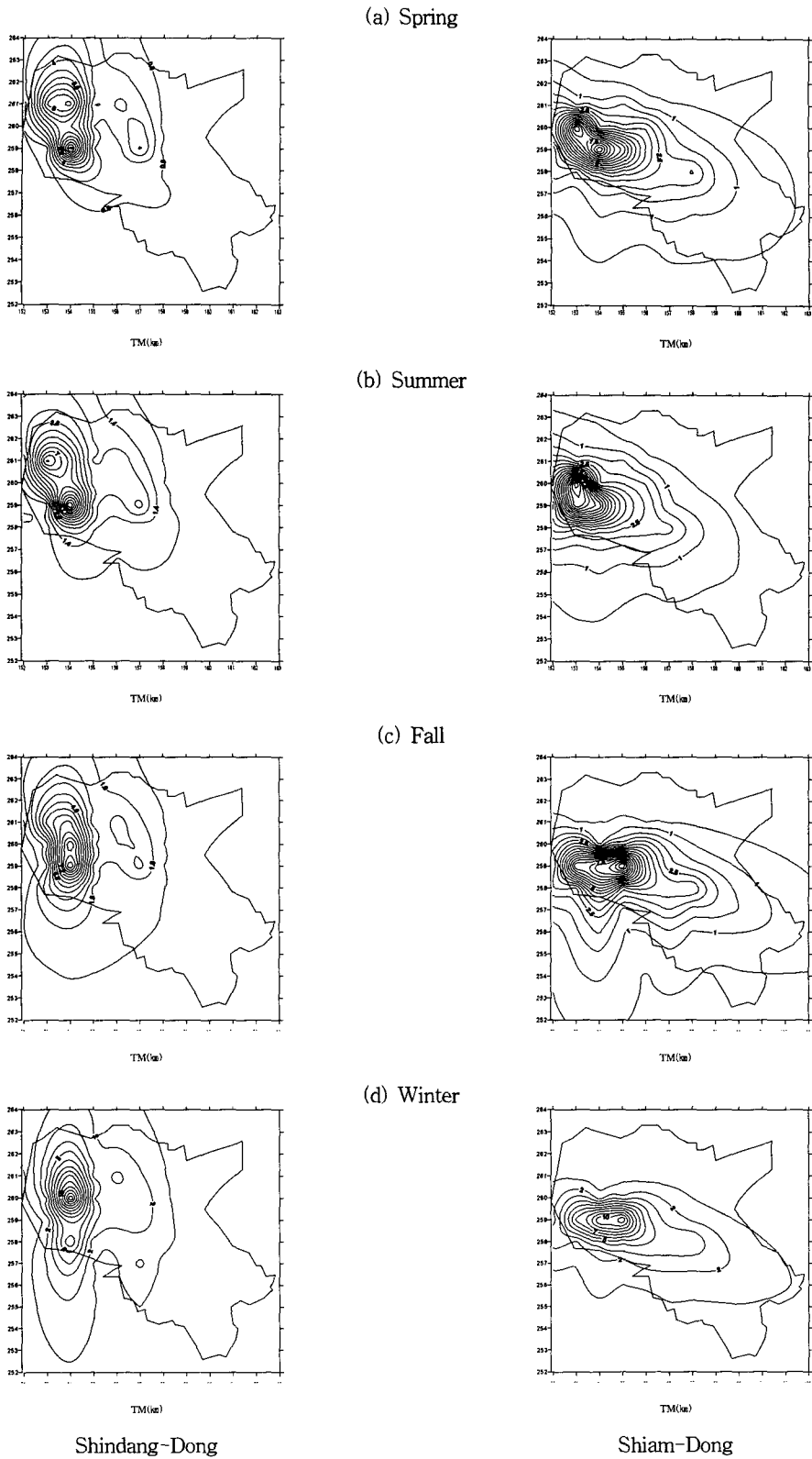


Fig. 10. Same as Fig. 9 except for SO₂(ppb) concentration.

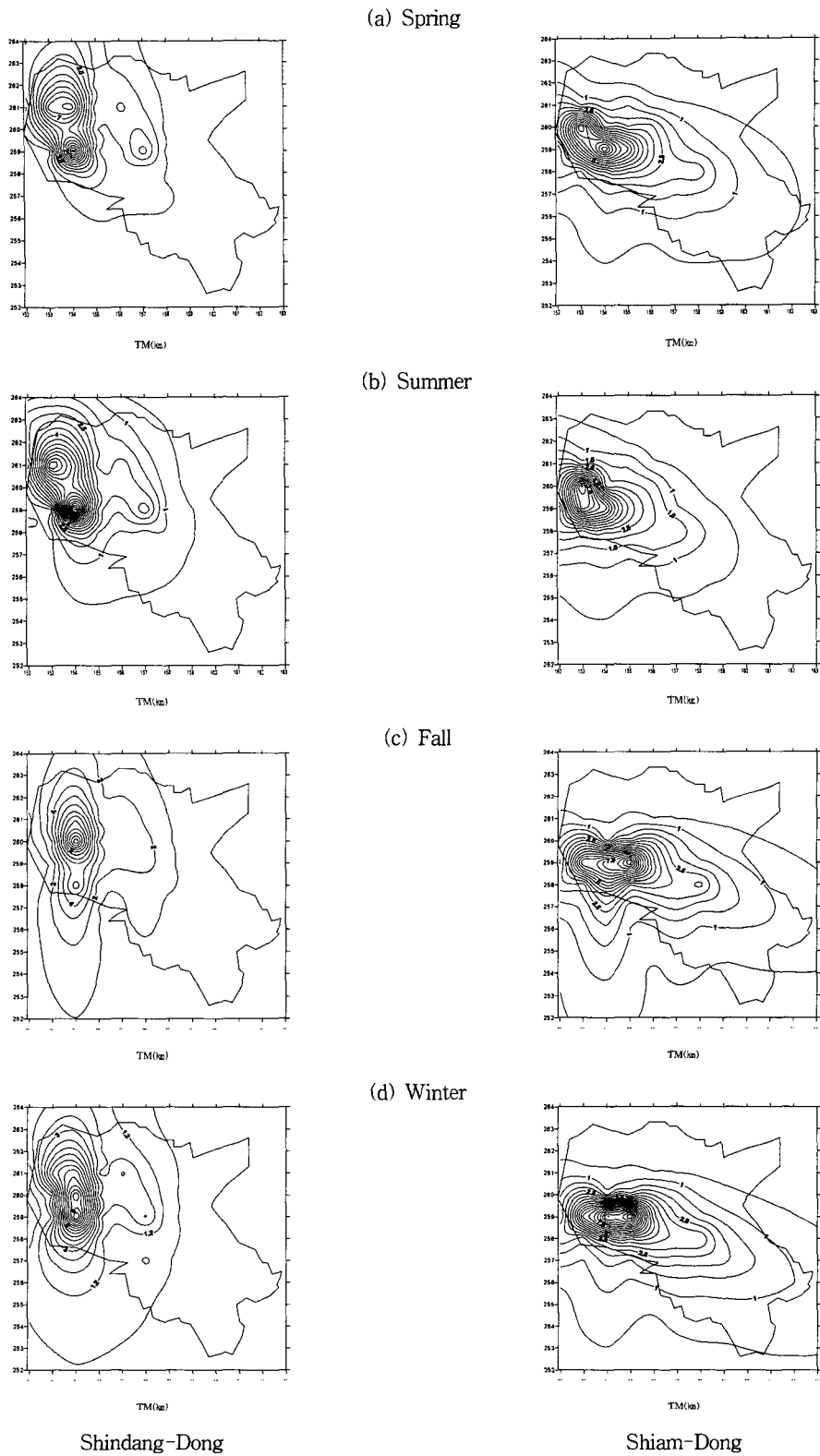


Fig. 11. Same as Fig. 9 except for NO_2 (ppb) concentration.

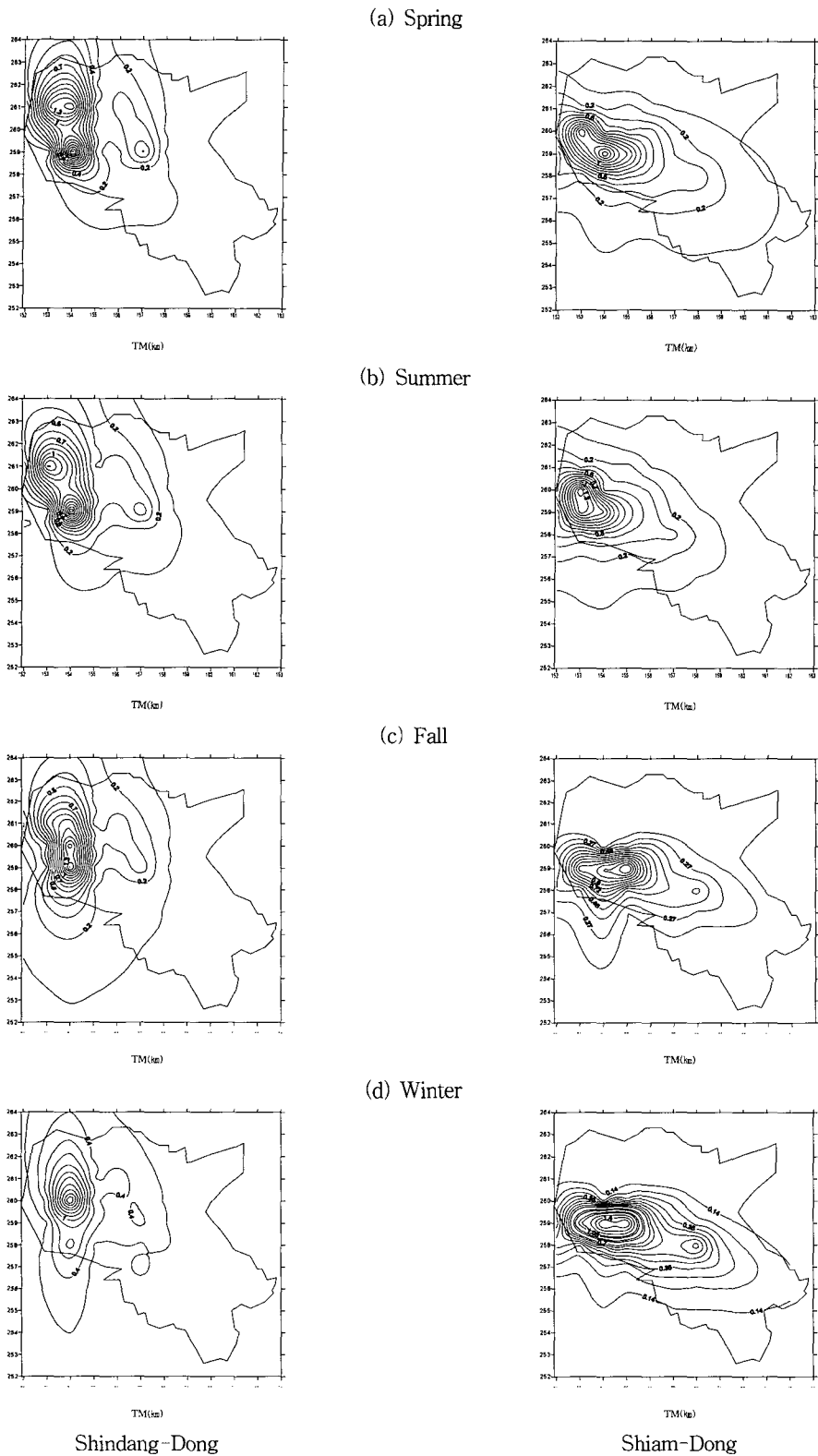


Fig. 12. Same as Fig. 9 except for CO(ppb) concentration.

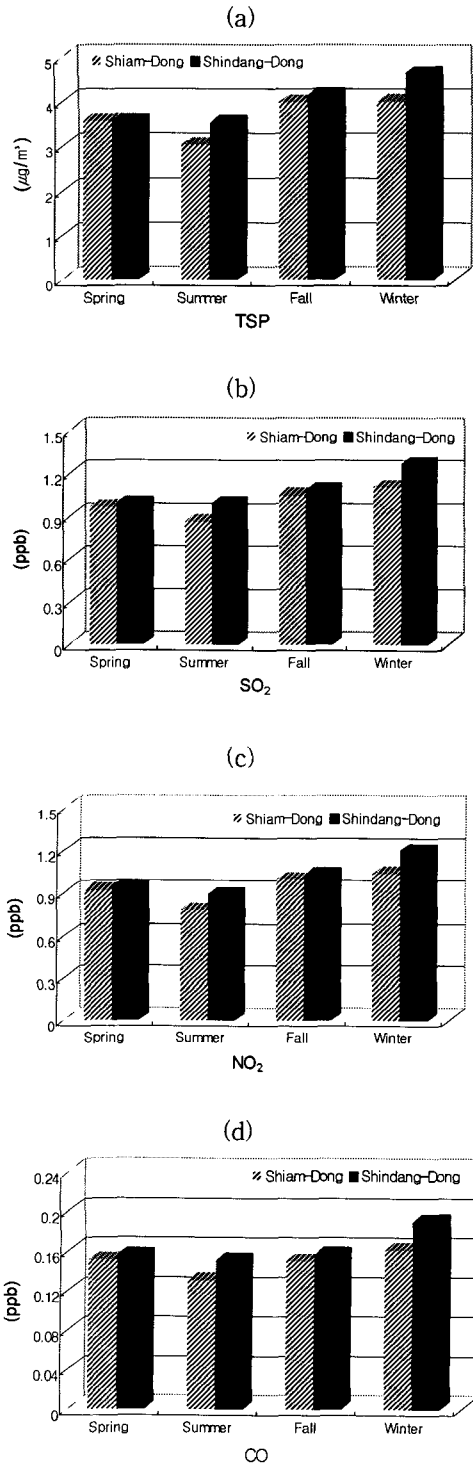


Fig. 13. Seasonal comparison of each air pollution concentration within Seongseo industrial complex simulated by ISCLT3 model using the meteorological data observed at Shiam-Dong and Shindang-Dong sites.

을(8.5%), 겨울(23.3%)에 걸쳐서 모두 높게 나타났다. 대기확산모델을 이용한 대기오염확산 평가시에 풍속이 약하고 기층이 안정한 경우에는 대기오염물질의 환기기능이 저하되고 연직 확산 고도가 제한되므로 고농도의 대기오염이 유발되기 쉽다. 그러므로 신암동의 기상자료를 이용하여 성서산업단지의 대기오염농도를 예측하면, 실제보다 낮은 대기오염농도가 예측될 수밖에 없을 것이다. 특히, 고농도 대기오염이 나타나는 겨울철에 대구지역을 포함한 우리나라의 탁월풍은 북서풍계열인데, 성서산업단지의 동쪽에 대규모 고층 아파트단지가 급속히 건설되고 있어 대기 환기조건이 악화될 것으로 예상되며, 이로 인한 대구지역 최대의 산업단지인 성서지역의 대기질 악화가 우려된다.

- 3) 대기오염물질의 확산은 모든 계절에서 모두 신암동의 기상자료를 이용하였을 경우에는 성서산업단지의 북서쪽과 남동쪽에 위치한 본리동, 송현동, 상인동의 주거단지로 대기오염 확산이 많이 이루어지는 것으로 추정된다. 반면에 신암동에서 관측된 현장자료를 이용하여 대기오염확산을 평가하여 보면, 성서산업단지의 남쪽과 북쪽에 위치한 이곡동, 장기동, 용산동으로 대기오염확산이 탁월하게 이루어짐을 알 수 있었다.
- 4) 성서산업단지 내의 대기오염물질의 농도도 신암동에서 관측된 기상자료를 입력자료로 하여 평가된 값이 신암동의 기상자료를 이용하였을 경우에 비하여 높은 값을 나타내었다. 이러한 대조는 봄과 가을에 비해 여름과 겨울철에 더욱 뚜렷하였다.

이러한 사실로부터, 대기환경의 평가시에 현장기상관측의 필요성이 매우 중요하다는 사실을 입증할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) 윤일희, 2002, 대기오염기상학, 시그마프레스, 236pp.
- 2) Lobal, J. and G. Klaus, 1987, Environmental Meteorology, Kluwer Academic Publishers, 655pp.
- 3) 주수영, 신보균, 1998, 환경영향평가실무, 동화기

- 술, 423pp.
- 4) 이영수, 1999, 환경영향평가연수반, 국립환경연구원, 203pp.
 - 5) 김유근, 이화운, 1999, 대기오염개론, 시그마프레스, 280pp.
 - 6) 환경부, 1999, 환경영향평가, 343pp.
 - 7) 한상욱, 1998, 환경영향평가제도 - 국내의 동향과 향후과제 -, 동화기술, 134pp.
 - 8) 原田 郎, 1985, 大氣の汚染と氣候の變化 - 人間社會と氣候の關係 -, 東京堂出版, 221pp.
 - 9) 이현영, 1989, 도시기후학, 대광문화사, 303pp.
 - 10) 전상기, 이성철, 2000, 환경영향평가와 사후환경조사의 비교에 관한 연구 - 태안화력 발전소 사례분석 -, 한국환경영향평가학회지, 9(1), 61-74.
 - 11) 정영진, 이동인, 한영호, 이협희, 1998, 기상조건에 따른 부산지역 대기오염물질농도변화와 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(3), 177-189.
 - 12) 정우식, 이화운, 김현구, 2003, 포항지역의 겨울철 남서계열 탁월풍 현상에 관한 분석 및 수치모의, 한국지구과학회지, 24(6), 533-548.
 - 13) 김해동, 구현숙, 정우식, 최성우, 안지숙, 박명희, 2003, 대구 성서지역 악취 민원발생일의 기상학적 특성, 한국환경과학회지, 12(10), 1101-1108.
 - 14) 이종범, 강인구, 김양균, 나진균, 이석조, 유승도, 김정수, 이재인, 박보현, 남영규, 1989, 도시지역 도시 대기질에 관한 연구(I) - 기상특성 및 대기질 분석을 중심으로, 국립환경연구원보, 11, 81-96.
 - 15) 이덕길, 안인구, 김양균, 홍율기, 나진균, 유승도, 김정수, 이재인, 정준화, 양은희, 1990, 도시지역 도시대기질에 관한 연구(II) - 대기오염영향 인자 분석, 국립환경연구원보, 12, 71-96.
 - 16) 이영수, 김석철, 1998, 대기질환경영향평가, 한국환경정책평가연구원, 156pp.
 - 17) 김해동, 김수봉, 2000, 불쾌지수를 이용한 우리나라의 기후학적 환경특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 10(2), 129-134.
 - 18) 김유근, 이화운, 홍정혜, 2001, 부산지역 지표 바람장의 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 10(2), 135-142.
 - 19) 송동용, 송창근, 2003, 미세격자 대기확산 모델링을 통한 안산지역 PM10 고농도 사례분석, 한국환경과학회지, 12(9), 977-986.
 - 20) 김철희, 송창근, 2002, 4차원 자료동화기법을 이용한 해안가 대기순환 수치실험, 한국환경영향평가학회지, 11(2), 79-91.
 - 21) Masuhara, T., 1990, Urban influence on the automobil air pollution in Tokyo, Tenki, 37(2), 41-49.