

종관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

宋恩英 · 尹一燾
慶北大學校 地球科學教育科
(1995년 8월 28일 접수)

Diurnal Variations of Air Quality under the Various Synoptic Wind Fields for Each Season over Taegu City

Eun-Young SONG and Ill-Hee YOON

Dept. of Earth Science, Kyungpook National University, Taegu, 702-701

(Manuscript received 28 August 1995)

Diurnal variations of air quality for each season over Taegu city were analyzed using the characteristic features of the various synoptic wind fields. The air quality data which were monitored by four stations are the hourly averaged sulfur dioxide (SO_2), total suspended particulate (TSP) and oxidants (O_3) during the period of 1989 to 1992.

The various synoptic wind fields obtained from the 850 hPa geopotential height were divided into four geostrophic wind directions and two geostrophic wind speeds for each seasons. The synoptic weather conditions were again subdivided into two categories using the total cloud amounts.

The results shows that diurnal and seasonal variations of the air quality over Taegu city, such as sulfur dioxide, total suspended particulate and oxidants reveal the various characteristics under the same synoptic weather conditions.

Key words : air quality, synoptic wind fields, sulfur dioxide, total suspended particulate, oxidants, diurnal variations, Taegu

1. 서 론

도시화와 산업화, 인구 집중 그리고 교통량의 증가로 인한 각종 오염 물질의 인위적인 배출원으로 인하여 대기 오염 물질들의 배출량이 해마다 증가하고 있어 대도시의 경우는 대기 오염 문제가 날로 심각해지고 있다.

대기 오염 물질은 각종 산업 시설물이나 건축물의 수명을 단축시키고 인간뿐만 아니라 지상의 모든 생물체에 치명적인 영향을 미친다. 이러한 대기 오염 문제를 개선하기 위해서는 무엇보다도 배출되는 오염 물질의 양을 최대한 줄이도록 하는 노

력이 필요하다. 또한 일단 배출된 오염 물질의 영향을 최소화하기 위하여 오염 물질 자체의 특성뿐만 아니라 오염 물질의 시공간적 변화 양상과 오염 물질의 농도를 지배하는 요소, 그리고 오염 물질과 이들을 지배하는 요소들과의 연관성에 대한 연구가 필수적이다. 기상 요소와 대기 오염 물질과의 연관성에 관한 것으로는 대기 오염 농도와 시정 감소에 관한 연구 (Okada and Isodo, 1982), 지상 오염 농도와 혼합고와의 관계에 관한 연구 (Pasquill, 1969; Moses, et al., 1971), 지상 바람장과 대기 오염 농도와와의 관련성에 관한 연구 (Hanna, 1973; Kamenetsky and Vieru, 1995) 그리고 대기 오염 농도

에 영향을 주는 종관 기상에 관한 연구 (Neiburger, 1969; Vukovich, 1979; Niccum et al., 1995) 등이 행해지고 있다.

대구시는 다른 지역과는 상이한 지형 특성을 가지고 있으며 1980년대부터 가속화된 도시화와 산업화에 따라 대기 오염과 수질 오염 문제에 직면하고 있다. 대구에서의 기상 특성에 관한 연구에는 도시 열섬 및 기온과 상대 습도의 수평 분포 (민경덕 등 1994; 윤일희 등, 1994a), 종관바람장에 따른 국지 기상 특성 (윤일희와 이해경, 1994), 그리고 기상 요소들의 연직 분포에 관한 연구 (Yoon, 1994) 등이 있다. 기상요소와 대기 오염 물질과의 관련성에 관해서는 대기 오염에 의한 시정 감소 (이영옥과 정용승, 1994a; 1994b) 그리고 가우스 확산 모델을 사용한 확산 연구 (윤일희; 1994b) 등이 있으나 종관 기상 상태와 대기 오염 물질 농도 변화를 연관지은 연구는 별로 없는 실정이다.

이 연구의 목적은 내륙 분지 특성을 가지고 있는 대구시에서 1989년부터 1992년까지 4년동안 대구 지방환경관리청 산하의 4개의 측정소에서 관측한 대기질 자료를 850 hPa 등압면의 지균풍의 풍향, 풍속과 지상 전운량에 따라 통계 분석하여 종관바람장에 따른 대기질의 일변화 특징을 각 계절별로 알아보는데 있다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1 자 료

이 연구에서 사용된 자료는 1989년 1월 1일부터 1992년 12월 31일까지 4년동안 대구지방 환경관리청 산하의 4개 측정소 (즉 시내 중심지인 삼덕동 측정소, 공단지역인 중리동 측정소, 시내 주거지인 대명동 측정소 그리고 변두리 주거지역인 산격동 측정소)에서 관측한 대기질 자료 (아황산가스, 부유분진 그리고 옥시던트)와 같은 기간동안 대구기상대에서 관측한 전운량 자료이다. 또한 종관바람장을 계산하기 위해서 동일 기간 동안의 1200 UTC

850 hPa 등압면 상층 일기도 (일본기상청, 1989~1992)를 사용하였다. 4개 지점의 대기질 측정소와 기상대의 위치, 그리고 대구시의 지형을 Fig. 1에 제시하였다.

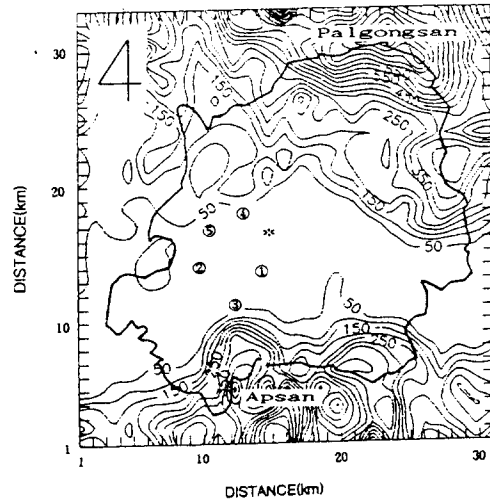


Fig. 1. Location map of the monitoring stations of air pollutants (① Samduck-dong, ② Jungri-dong, ③ Daemyung-dong, ④ Sangyuk-dong, ⑤ Nowon-dong) and Taegu meteorological observation station(*).

2.2 분석방법

종관바람장을 구분하기 위하여 850 hPa 등압면의 지균풍을 이용하였으며 지균풍은 1200 UTC의 850 hPa 면의 일기도를 이용하여 Fig. 2에서와 같이 남한 지역의 중앙의 한지점 (37°N, 128°E)을 중심으로 동서 방향과 남북 방향으로 각각 5° 떨어진 지점의 지오폠펌셜 고도차를 구하여 다음과 같이 지균풍의 풍속과 풍향을 계산하였다.

지균풍의 동서, 남북 성분은

$$U_x = (-g/f)(\delta\Phi/\delta y) \quad (1)$$

$$V_x = (g/f)(\delta\Phi/\delta x) \quad (2)$$

여기서 f 는 코리올리 매개 변수로 37°N 에서의 값이며, g 는 중력가속도, Φ 는 850 hPa 면의 지오폠펌셜 고도를 나타낸다.

종관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

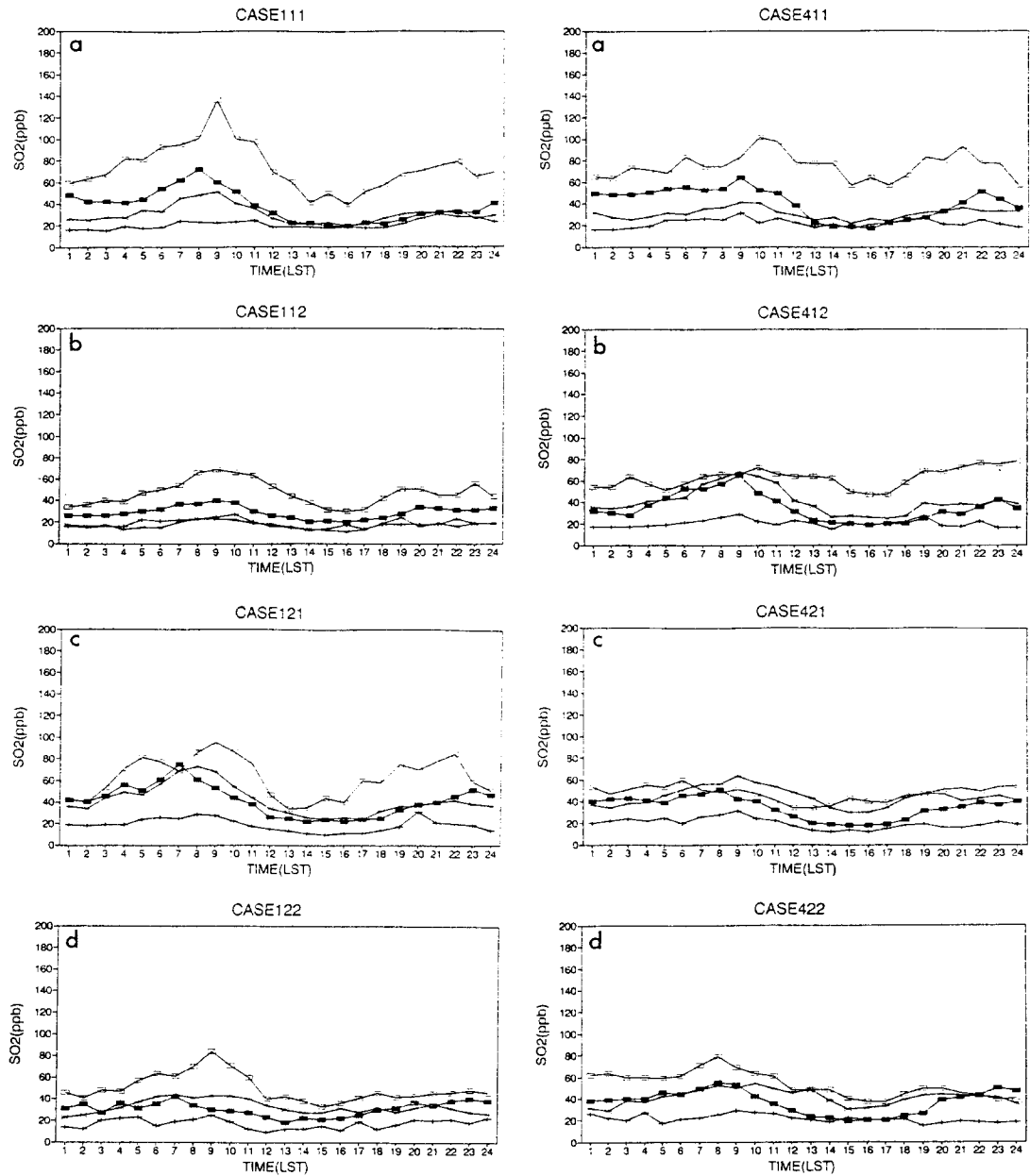


Fig. 2. Diurnal variations of the 4-year(1989~1992) average concentration SO₂ at Samduck-dong (spring —●—, summer —▲—, autumn —■—, winter —◆—).

지균풍의 풍향은

$$\theta = \tan^{-1}(U_g/V_g) \quad (3)$$

풍속은

$$|V_g| = (U_g^2 + V_g^2)^{1/2} \quad (4)$$

으로 계산된다. 위의 방법으로 구한 지균풍의 풍향을 북풍계열 (315° 이상~45° 미만), 동풍계열 (45° 이상~135° 미만), 남풍계열 (135° 이상~225° 미만), 서풍계열 (225° 이상~315° 미만)의 4개의 경우로 구분하고 풍속은 850 hPa 면의 지균풍이 약한 날 (5m/s 미만)과 강한 날 (5m/s 이상)의 2개의 경우로 나누어 종관바람장을 구분하였다. 여기에 대기 기상대에서 관측한 운량을 일평균하여 운량 5/10 이상인 날 (흐림)과 5/10 미만인 날 (맑음)을 고려하여 총 16가지의 경우를 각 계절별로 분류하였다. 이러한 분류는 박순웅과 윤일희 (1991)의 방법을 이용한 것이다.

각 계절별로 분류된 16가지의 종관 기상 상태에 따라 각 대기질 측정소별 대기 오염 농도 자료를

매시간 평균하여 각 계절별로 이들의 일변화를 분석하였다.

3. 분석 결과

3.1 종관 기상 상태별 발생 빈도

앞서 설명한 종관 기상 상태 구분 방법으로 분류된 경우를 통계 분석하여 각 계절별 대구시의 종관 기상 상태의 발생 빈도를 Table 1에 제시하였다. 여기서 각 경우를 나타내는 세자리 숫자는 분류 구분의 편의상 첫째 숫자는 풍향 구분으로서, 1이면 북풍계열 (北), 2이면 동풍계열 (東), 3이면 남풍계열 (南) 그리고 4이면 서풍계열 (西)을 의미한다. 또한 가운데 숫자는 850 hPa 지균풍속 구분으로서 지균풍의 풍속이 5m/s미만은 1(弱)로 이상은 2(強)로 표시하였다. 그리고 마지막 숫자는 전

Table 1. Seasonal frequency values of the various synoptic weather conditions of Taegu for the period of January 1989 to December 1992. The values in the parentheses represent the percentage of occurrence

Classes	Seasons	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
111(北弱晴)		22(6.0)	17(4.6)	30(8.2)	10(2.8)	79(5.4)
112(北弱曇)		30(8.2)	16(4.2)	20(5.5)	17(4.7)	83(5.7)
121(北强晴)		39(10.6)	6(1.6)	46(12.6)	69(12.1)	160(11.0)
122(北强曇)		26(7.1)	12(3.3)	17(4.7)	30(8.3)	85(5.8)
211(東弱晴)		4(1.1)	17(4.6)	13(3.6)	1(0.3)	35(2.4)
212(東弱曇)		9(2.3)	13(3.5)	13(3.6)	4(1.1)	39(2.7)
221(東强晴)		0(0.0)	6(1.6)	3(0.8)	1(0.3)	10(0.6)
222(東强曇)		3(0.8)	15(4.1)	5(1.4)	3(0.8)	26(1.8)
311(南弱晴)		8(2.2)	13(3.5)	6(1.6)	2(0.6)	29(2.0)
312(南弱曇)		22(6.0)	28(7.6)	15(4.1)	6(1.7)	71(4.9)
321(南强晴)		9(2.3)	10(2.7)	1(0.3)	11(3.0)	31(2.1)
322(南强曇)		23(6.3)	53(14.5)	18(4.9)	13(3.6)	107(7.3)
411(西弱晴)		26(7.1)	16(4.3)	44(12.2)	16(4.4)	102(7.0)
412(西弱曇)		25(6.8)	52(14.1)	32(8.9)	26(7.2)	135(9.2)
421(西强晴)		79(21.5)	26(7.1)	66(18.2)	109(30.2)	280(19.2)
422(西强曇)		43(11.7)	68(18.6)	34(9.4)	43(11.9)	188(12.9)
Total		368(100)	368(100)	364(100)	361(100)	1461(100)

운량이 5/10미만인 경우는 1(晴)로 이상인 경우는 2(雲)로 표시한 것이다(윤일희, 1991).

봄에는 지균풍의 풍향이 서풍계열인 경우가 가장 높은 빈도(47.1%)를 나타내었고, 그 다음은 북풍계열(31.9%)과 남풍계열(16.8%)순으로 나타났다. 그러나 동풍계열은 4.2%로 아주 적은 빈도를 나타내었다. 지균풍의 풍속은 강한 경우와 약한 경우가 비슷하게 나타났으나 서풍계열인 경우는 강한 경우(33.2%)가 약한 경우(13.9%)보다 훨씬 많은 빈도를 나타내었다. 북풍계열과 서풍계열에서는 맑은 경우(각각 16.6%와 28.6%)가 흐린 경우(각각 13.1%, 18.5%)보다 약간 많이 발생하였으나 동풍계열과 남풍계열에서는 그 반대로 나타났다. 봄에 가장 높은 발생 빈도를 보인 종관 기상 상태는 지균풍의 풍향이 서풍계열이고 풍속이 강하고 맑은 경우(Case 421)로 21.5%의 빈도를 나타내었다.

여름에도 서풍계열이 탁월하였으나(44.1%) 다른 계절과는 다르게 남풍계열과 동풍계열이 상대적으로 높은 빈도(28.3%와 13.8%)를 나타내었고 북풍계열은 상대적으로 낮은 빈도(13.8%)를 나타내었다. 풍속은 북풍계열과 동풍계열에서는 약한 경우가, 남풍계열과 서풍계열에서는 강한 경우가 더 많은 빈도를 나타내었다. 흐린 경우의 빈도수는 맑은 경우보다 북풍계열과 동풍계열에서는 약간 많았으나, 남풍계열과 서풍계열에서는 훨씬 많았다. 가장 많은 빈도수를 나타낸 종관 기상 상태는 지균풍의 풍향이 서풍계열이고 풍속이 강하고 흐린 경우(Case 422)로서 그 값은 32.7%이었다.

가을에는 봄과 거의 비슷한 양상을 나타내었다. 가장 많은 빈도수를 나타낸 종관 기상 상태는 봄과 마찬가지로 30.4%의 빈도수를 나타낸 Case 421이었다.

겨울인 경우는 서풍계열(53.7%)과 북풍계열(34.9%)이 압도적으로 88.6%의 빈도수를 나타내었다. 그리고 풍속이 강한 경우가 77.2%로 나타났다. 또한 맑은 경우가 60.7%으로 흐린 경우보다 많이 발생하였다. 가장 많은 빈도수를 나타낸 종관 기상 상태는 봄, 가을과 마찬가지로 Case 421(34.6%

)이었다.

전반적으로 빈도가 가장 많이 나타나는 풍향은 서풍계열(48.3%)이었고 그 다음이 북풍계열(27.9%) 그리고 남풍계열(16.3%)순으로 나타났다. 반대로 가장 적게 나타나는 풍향은 동풍계열(7.5%)이었다. 이것은 한반도가 중위도 편서풍대에 위치하고 있기 때문이다. 풍속은 강한 경우(60.7%)가 약한 경우(39.3%)보다 더 많이 발생하였다. 흐린 경우(50.3%)와 맑은 경우(49.7%)는 거의 비슷한 빈도를 나타내었다.

3.2 대기질의 일변화

앞서 분류된 각 계절별 16가지의 종관 기상 상태중 빈도수가 많은 북풍계열과 서풍계열에 대하여 각 대기질 측정소에서의 일변화 양상을 분석하여 Figs. 3~14에 제시하였다. 여기서 아황산가스와 옥시던트의 농도 자료는 1989~1992년 동안의 4년 치이고, 부유분진 농도 자료는 1990~1992년 동안의 3년치 자료이다. 매시 측정된 이들 자료를 이용하여 각 종관 기상 상태별과 각 계절별로 분류하여 매시간 평균하였다.

3.2.1 아황산가스(SO₂)

삼덕동 측정소에서 관측한 SO₂ 농도의 계절별 일변화 경향을 지균풍의 풍향이 북풍계열인 경우와 서풍계열인 경우를 분석하여 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 제시하였다. Fig. 3는 지균풍의 풍향이 북풍계열인 경우 유형별 계절별에 따른 SO₂ 농도의 일변화를 제시한 것이다. 지균풍의 풍속이 약하고 맑은 경우(Case 111)의 SO₂ 농도의 일변화는 겨울에 가장 심하게 일어났다(Fig. 3a). 이 경우 0900 LST에 최대값(140 ppb)을 나타내었고 그 후 감소하여 1600 LST에 최소값(40 ppb)을 그리고 다시 상승하여 2200 LST에 제2의 극대값(80 ppb)을 나타내었다. 이 경우 일변화 폭이 100 ppb로서 극심한 일변화 양상을 보여주었다. 이러한 이유는 겨울철 가장 난방과 밀접한 관계가 있다고 사료된다. 봄에

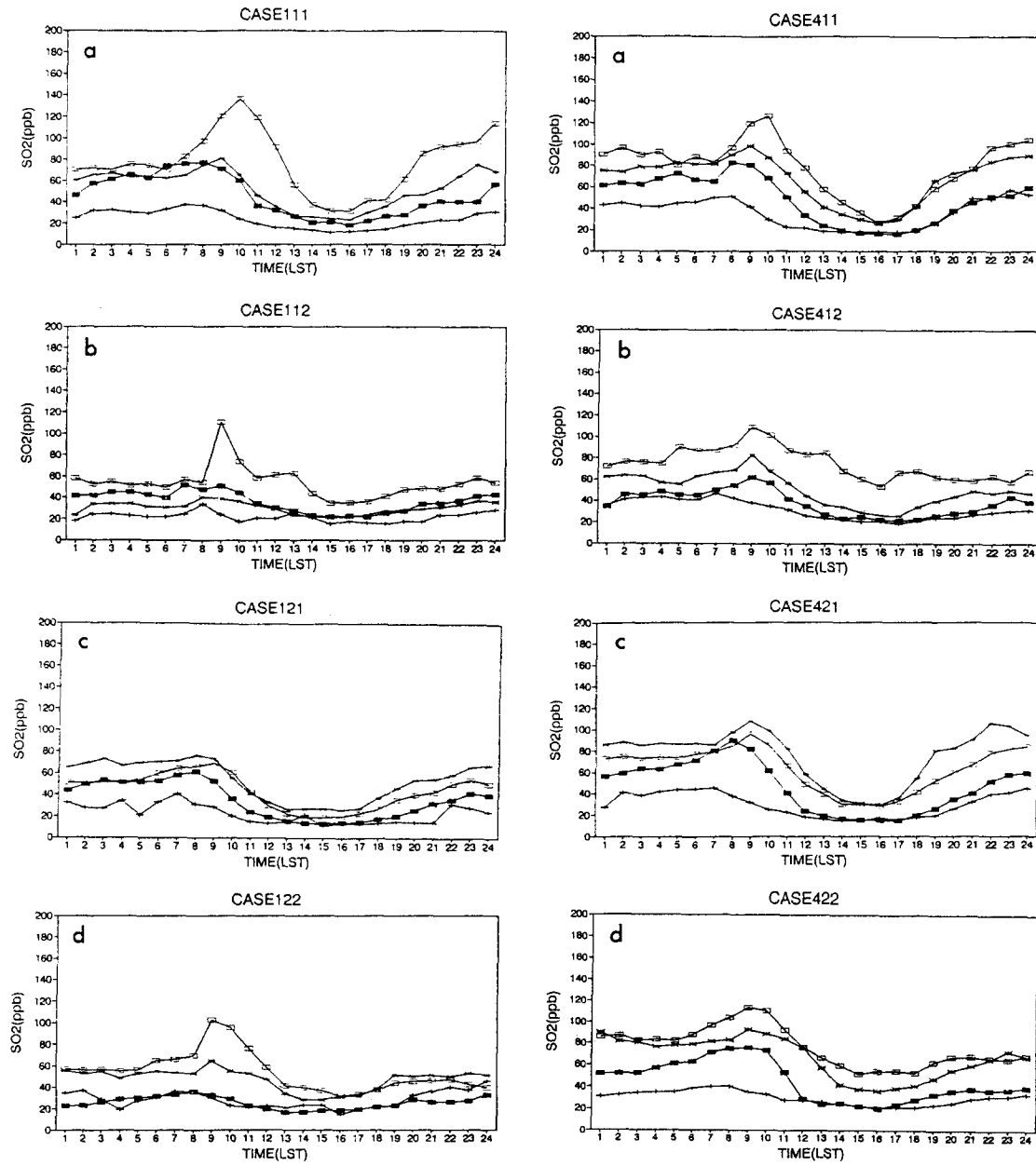


Fig. 3. Same as in Fig. 2 except for at Jungri-dong.

종관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

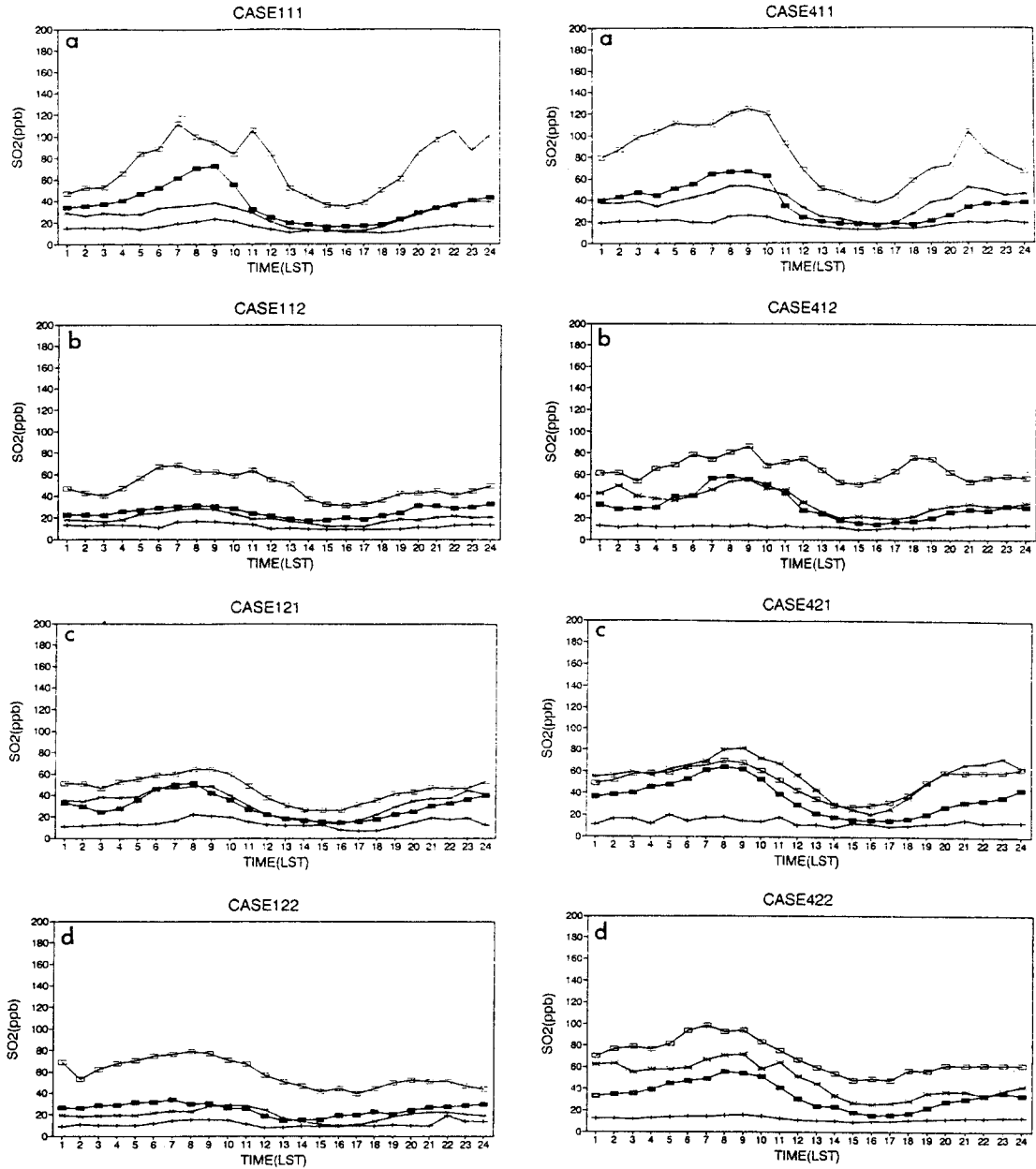


Fig. 4. Same as in Fig. 2 except for at Daemyung-dong.

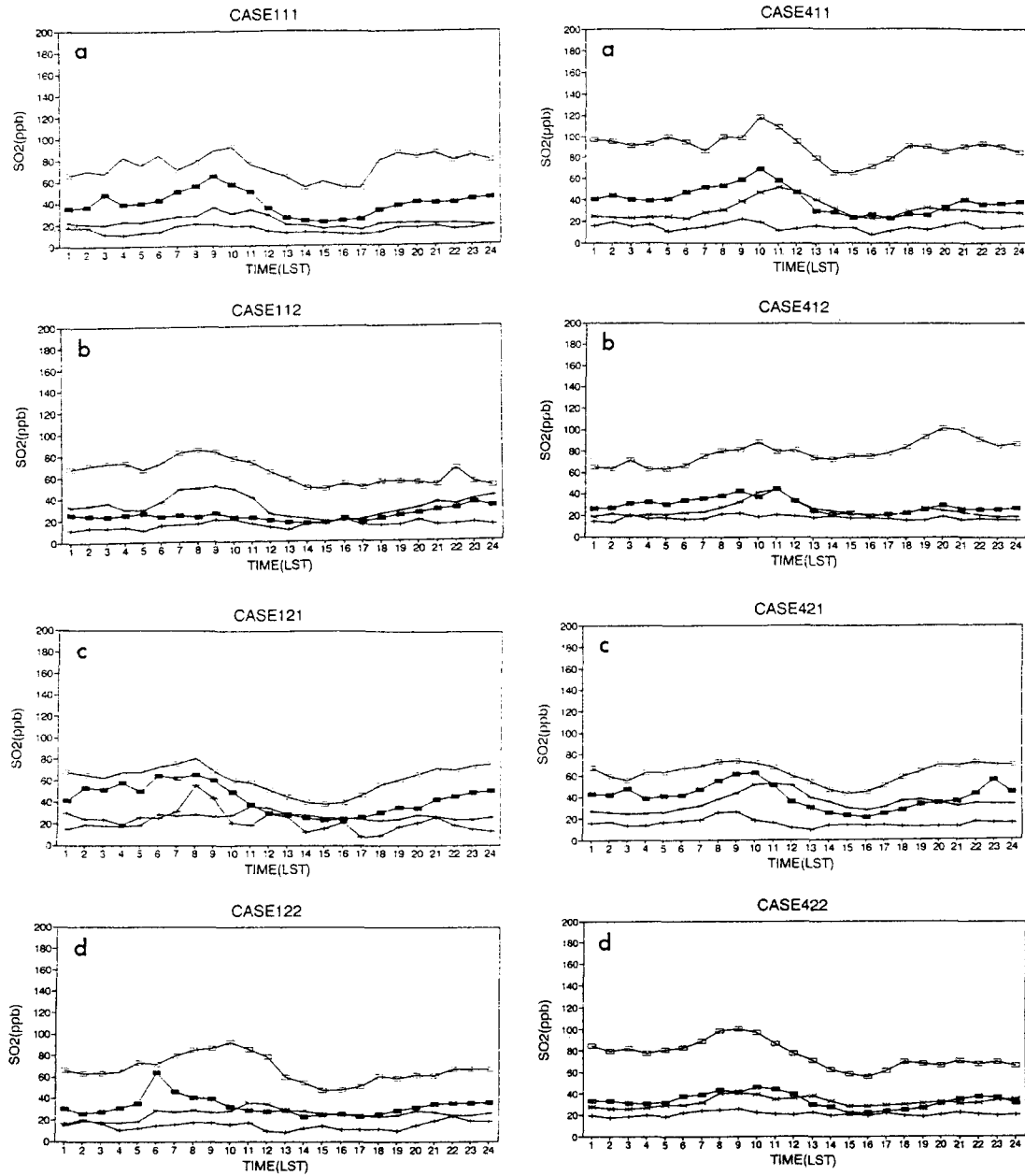


Fig. 5. Same as in Fig. 2 except for at Sangyuk-dong.

는 0800 LST에 최대값 (60 ppb)을 1600 LST에 최소값 (20 ppb)을 나타내었고 이후의 증가폭은 겨울과는 다르게 아주 적게 나타났다. 가을은 봄과 비슷한 일변화 경향을 나타내었으나 그 변화의 폭은 약간 작게 나타났다. 여름은 다른 계절과 다르게 일변화가 아주 적게 나타났다. 지균풍의 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 112)는 가을을 제외하고는 맑은 경우와 비슷한 일변화를 나타내었으나 그 변화의 폭은 아주 적게 나타났다 (Fig. 3b). 지균풍의 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 121)는 풍속이 약하고 맑은 경우와 비슷한 양상을 나타내었지만 그 변화의 폭은 약간 작게 나타났고 최소값이 나타나는 시간이 보다 빠르게 나타났다 (Fig. 3c). 주목할 점은 겨울에 0500 LST 무렵 높은 농도치 (80 ppb)를 나타내었다. 이는 북쪽에 위치한 공단 지역으로부터 수송된 것으로 사료된다. 지균풍의 풍속이 강하고 흐린 경우 (Case 122)는 가을을 제외하고는 풍속이 강하고 맑은 경우와 비슷한 일변화 양상을 나타내었다 (Fig. 3d). 지균풍이 서풍계열인 경우 유형별 SO₂ 농도의 일변화를 계절별로 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 지균풍의 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 411)의 SO₂ 농도의 일변화는 Case 111과 마찬가지로 겨울에 뚜렷하게 일어났으나 변화의 폭은 작았으며, 최대값과 제2의 극대값이 나타나는 시간도 1시간 가량 각각 늦게 나타났다 (Fig. 4a). 지균풍의 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 412)는 봄과 가을에 Case 112보다 상대적으로 그 변화의 폭이 크게 나타났다 (Fig. 4b). 지균풍의 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 421)는 전 계절을 통해 일변화가 적게 나타났으며 특히 겨울에는 Case 121보다 현저하게 적은 일변화 양상을 나타내었다 (Fig. 4c). 이는 서쪽으로부터 수송되는 오염 물질들이 없기 때문으로 사료된다. 지균풍의 풍속이 강하고 흐린 경우 (Case 422)는 Case 122와 비슷하게 나타났다 (Fig. 4d). Fig. 5와 Fig. 6은 대명동 측정소에서 관측한 SO₂ 농도의 계절별 일변화 경향으로서 지균풍의 풍향이 북풍계열과 서풍계열인 경우를 유형별로 분석하여 각각 제시한 것이다. 지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 약하고 맑은 경

우 (Case 111)는 다른 유형들 보다는 일변화가 잘 나타났으나 일변화 경향은 봄과 겨울에 삼덕동 측정소와는 다르게 나타났다 (Fig. 5a). 특히 겨울에는 0700 LST에 최대값 (110 ppb)을 나타내었고 1100 LST와 2200 LST에 제 2의 극대값 (100 ppb)을 나타내었다. 이러한 결과는 Ku et al. (1987)의 분석과 거의 비슷한 것이다. 지균풍의 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 112)는 겨울을 제외하고는 일변화가 거의 나타나지 않았다 (Fig. 5b). 지균풍의 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 121)는 삼덕동 측정소보다 적은 일변화의 폭을 나타내었지만 그 경향은 겨울을 제외하고는 비슷하였다 (Fig. 5c). 지균풍의 풍속이 강하고 흐린 경우 (Case 122)는 Case 112와 거의 비슷한 일변화를 나타내었다. 이 경우, 삼덕동 측정소와 비교해 보면 겨울에는 일변화의 폭은 더 적으나 그 값은 약간 높게 나타났다. 그러나 나머지 계절은 일변화의 폭과 농도치 모두 적게 나타났다 (Fig. 5c). 지균풍의 풍향이 서풍계열인 경우를 Fig. 6에 제시하였다. 이 경우에는 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 411) 겨울에 가장 뚜렷한 일변화와 가장 큰 일변화 폭 (80 ppb)을 나타내었다 (Fig. 6a). 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 421)에는 다른 유형과는 다르게 가을에 가장 큰 일변화의 폭 (50 ppb)을 나타내었다. 이는 지균풍이 북풍계열인 경우보다 다른 경향을 보인 것이다. 삼덕동 측정소와 비교해 보면 일변화 경향은 비슷하나 변화의 폭은 여름을 제외하고는 대명동 측정소에서 크게 나타나고 있다 (Fig. 6c). 흐린 경우 (Case 412와 Case 422)에는 북풍계열보다는 특히 봄과 가을에 일변화의 폭이 상대적으로 크게 나타나고 있다 (Fig. 6b and d).

중리동 측정소에서 관측한 SO₂ 농도의 계절별 일변화 경향을 지균풍의 풍향이 북풍계열인 경우와 서풍계열인 경우를 분석하여 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 제시하였다.

다른 측정소와 마찬가지로 SO₂ 농도는 지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 111)의 겨울에 뚜렷한 일변화와 일교차 (100 ppb)를 나타내었다. 겨울을 제외한 나머지 계절에

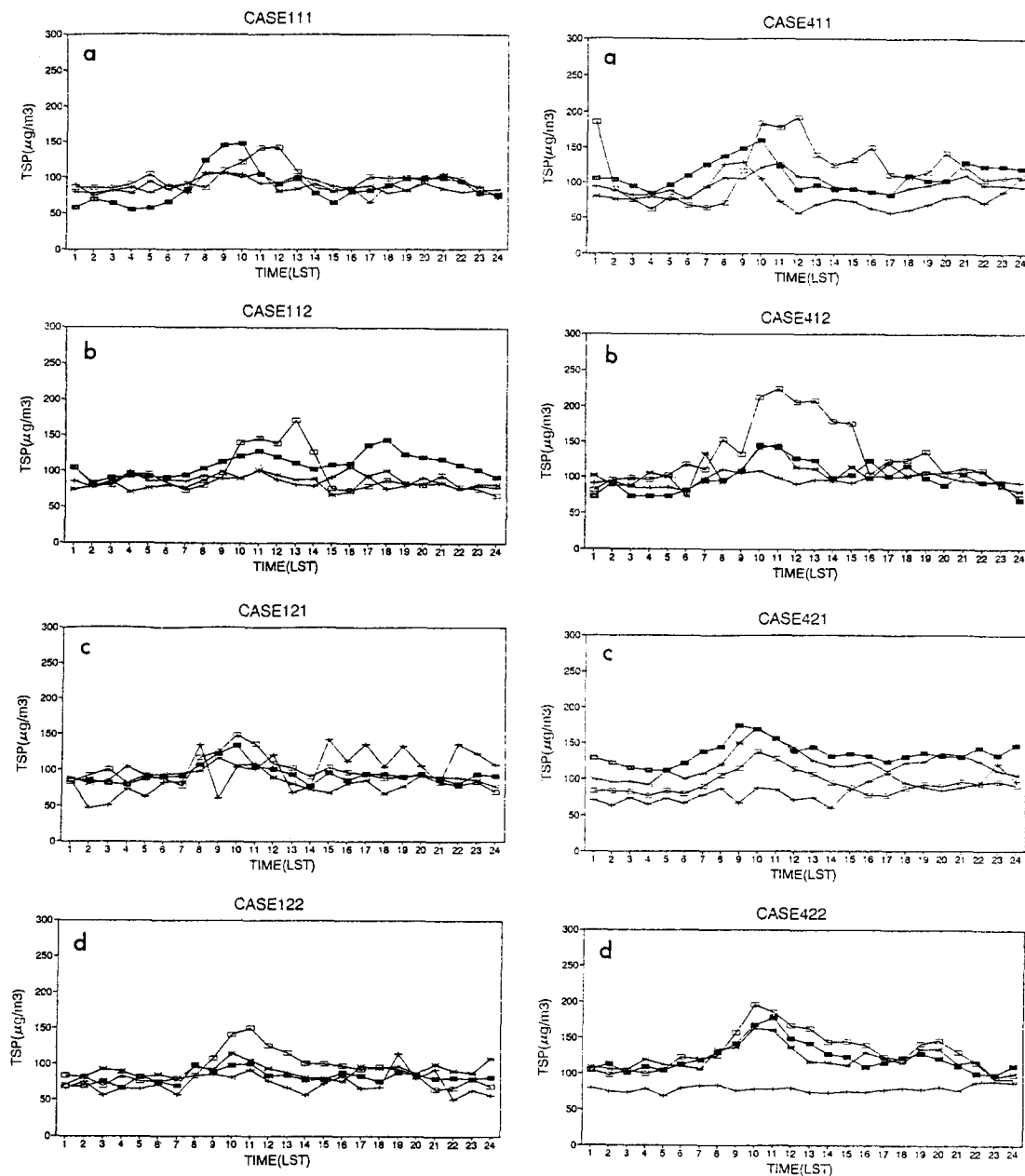


Fig. 6. Diurnal variations of the 3-year(1990~1992) averaged concentration TSP at Sangyuk-dong (spring \blacksquare , summer \bullet , autumn \blacktriangle , winter \blacksquare).

종관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

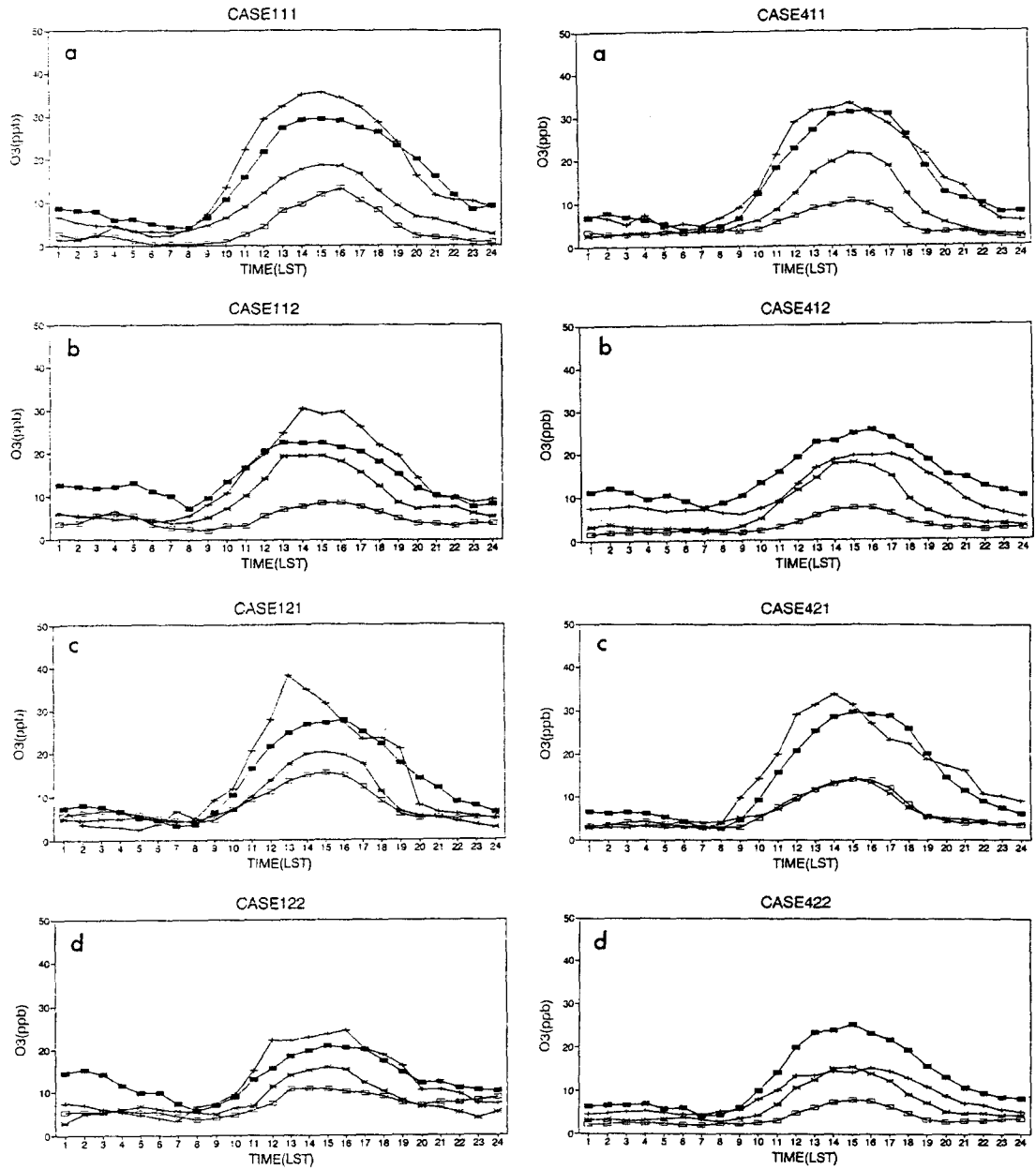


Fig. 7. Diurnal variations of the 4-year(1989~1992) averaged concentration O₃ at Sangyuk-dong (spring —●—, summer —▲—, autumn —■—, winter —◆—).

서는 야간에 다른 지역과는 다르게 상대적으로 높은 농도값을 나타내었다. 특히 여름은 다른 측정소들과는 다르게 맑은 경우 (Case 111과 Case 121)에는 일교차는 적으나 일변화의 특징을 보여주었으며 (Fig. 7a and b), 흐린 경우 (Case 112와 Case 122)에는 다른 지역과 마찬가지로 일변화가 뚜렷하지 않았다 (Fig. 7c and d).

지균풍이 서풍계열인 경우는 전체적으로 다른 측정소와 비교하면 일변화 양상은 비슷하나 상대적으로 높은 농도값과 일교차를 전 계절에 걸쳐서 나타내고 있다 (Fig. 8). 이는 중리동 측정소 지역이 공업단지 지역임을 강력히 시사하고 있다. 북풍계열과 비교해 보면 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 411)에는 거의 비슷한 일변화를 나타내었으나 (Fig. 8a) 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 421)에는 전 계절에 걸쳐서 상대적으로 높은 농도값과 일교차를 나타내었다 (Fig. 8c). 또한 흐린 경우 (Case 412, Case 422)에도 같은 현상이 나타났다 (Fig. 8c and d).

Fig. 9와 Fig. 10은 산격동 측정소에서 관측한 SO₂ 농도의 계절별 일변화 경향으로서 지균풍의 풍향

이 북풍계열과 서풍계열인 경우를 유형별로 분석하여 각각 제시한 것이다.

지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 약한 경우 (Case 111와 Case 112) 다른 측정소와 비교하여 특히 겨울에 일변화의 폭이 상대적으로 작게 나타났다 (Fig. 9a and b). 지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 121)에는 야간에 아주 낮은 농도값을 보인 가을을 제외하고는 대명동 측정소와 비슷한 일변화 양상을 나타내었고 (Fig. 9c), 흐린 경우 (Case 122)에는 봄에 0600 LST경 약간 높은 SO₂ 농도값 (60 ppb)을 보인 것을 제외하고는 대명동 측정소와 비슷하게 나타났다 (Fig. 9d).

지균풍의 풍향이 서풍계열이고 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 411), 겨울에는 다른 측정소와 달리 일교차 (60 ppb)가 상대적으로 적게 나타났으나 나머지 계절에는 거의 비슷한 양상을 보였다 (Fig. 10a). 지균풍의 풍향이 서풍계열이고 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 412)에는 다른 측정소와는 상이한 모양을 나타내었다 (Fig. 10b). 즉 겨울에는 자정에서부터 SO₂ 농도값이 점진적으로 증가하여

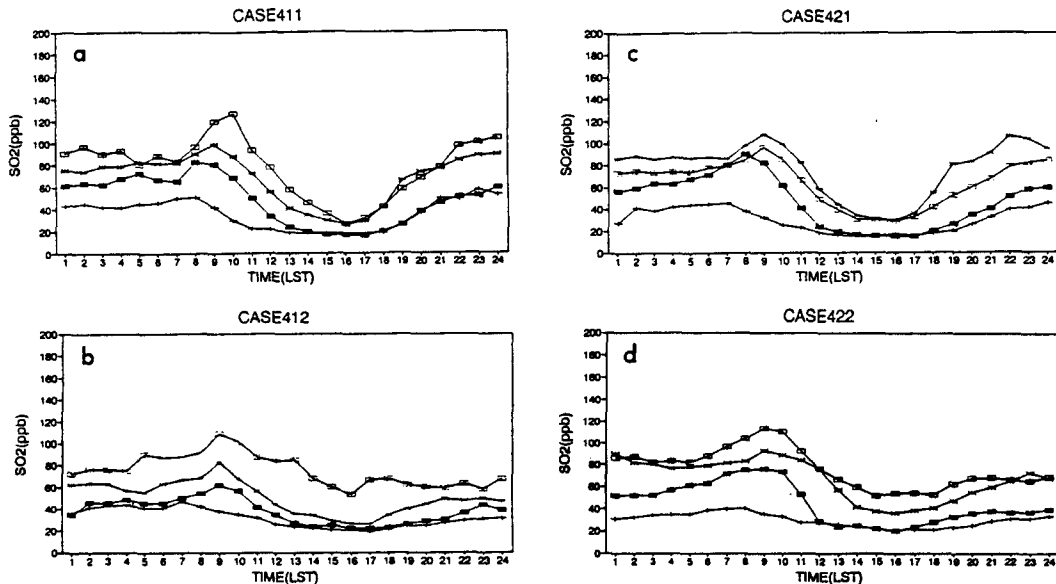


Fig. 8. Same as in Fig. 7 except for the the westerly geostrophic wind.

중관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

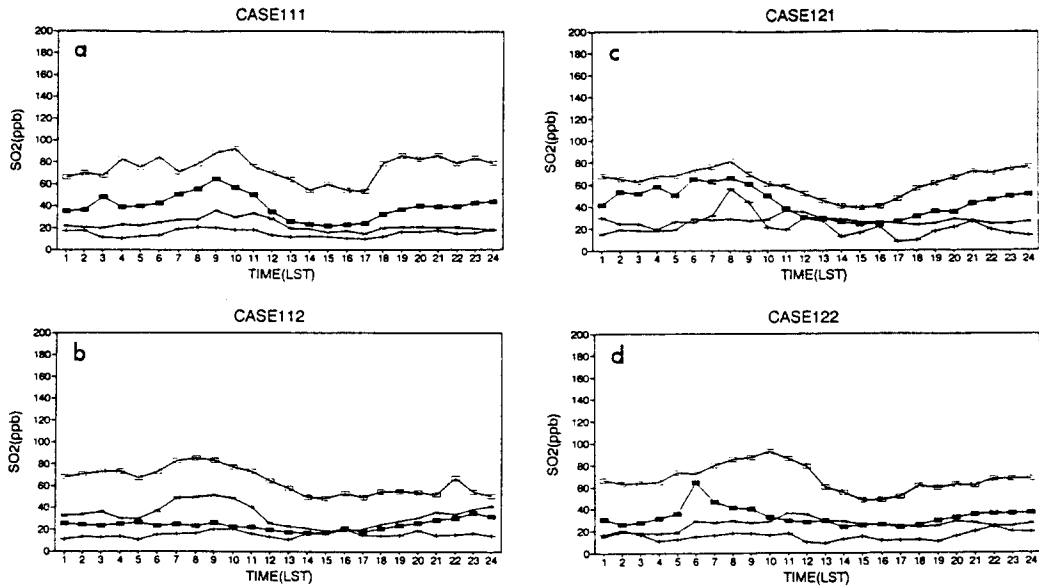


Fig. 9. Same as in Fig. 3 except at the Sangyuk-dong monitoring station.

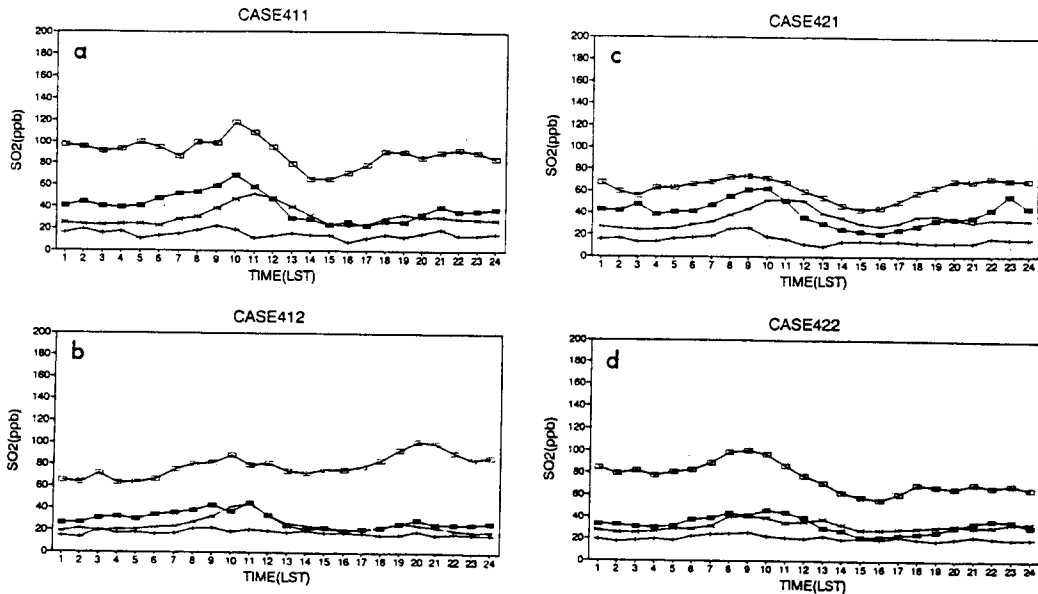


Fig. 10. Same as in Fig. 9 except for the the westerly geostrophic wind

2000 LST경에 최대값 (100 ppb)를 나타내었다. 그러나 다른 계절은 정오무렵을 제외하고는 거의 변화가 나타나지 않았다. 또한 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 421)에도 다른 측정소와는 다르게 겨울에 상대적으로 SO₂ 농도값이 높게 분포하였으나

그 변화의 폭 (30 ppb)은 적었다 (Fig. 10c). 풍속이 강하고 흐린 경우 (Case 422) 여름과 겨울에는 대명동과 비슷한 일변화와 일교차를 나타내었으나, 봄과 가을에는 대명동 측정소와 달리 일교차가 거의 나타나지 않았다 (Fig. 10d).

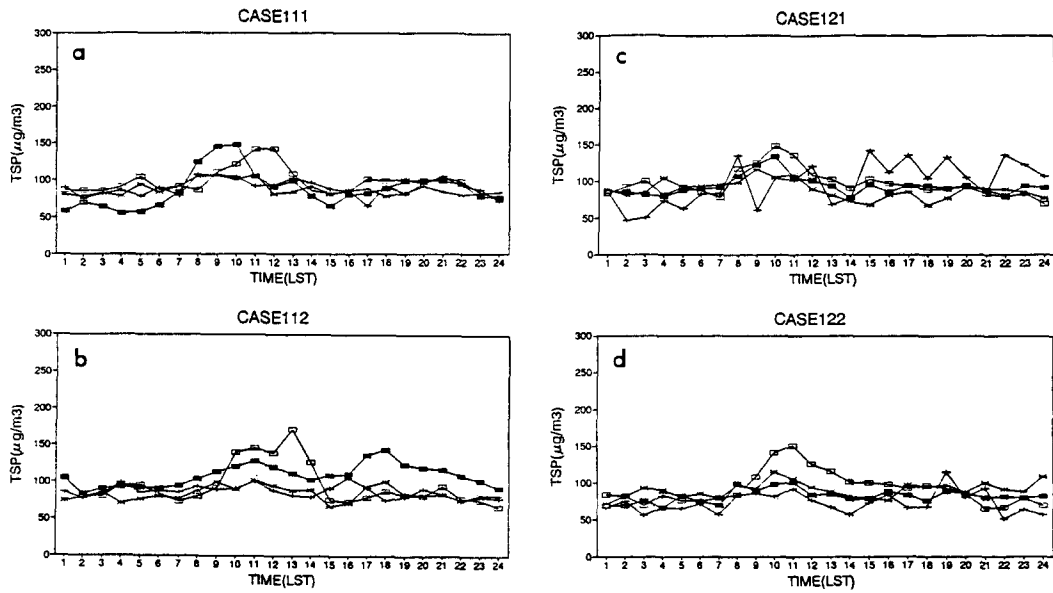


Fig. 11. Same as in Fig. 3 except for the 3-year(1990~1992) averaged concentration of total suspended particulate at Sangyuk-dong monitoring station.

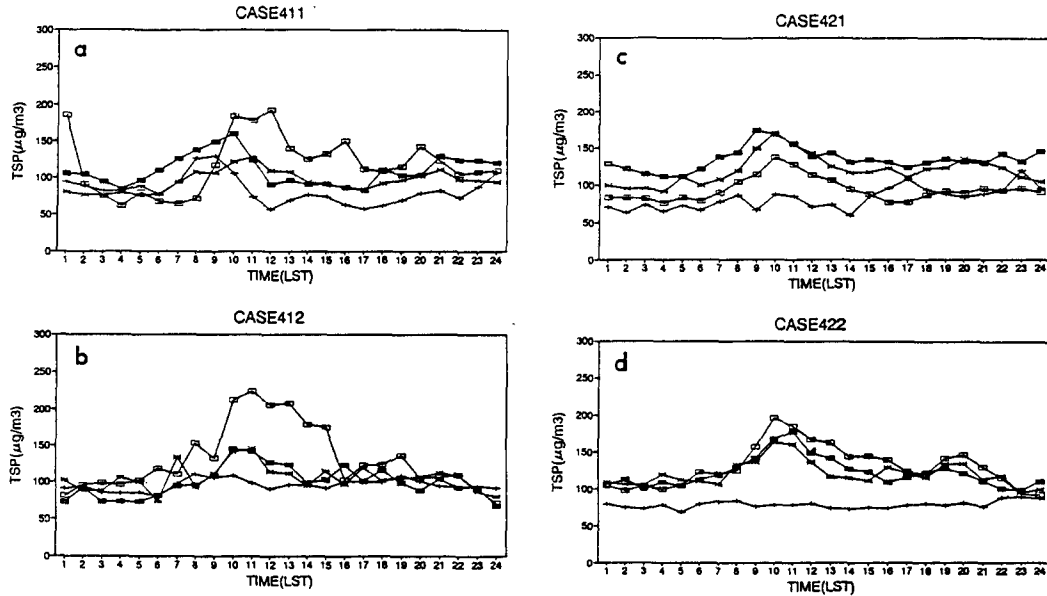


Fig. 12. Same as in Fig. 11 except for the the westerly geostrophic wind

3.2.2 부유분진 (TSP)

산격동 측정소에서 측정한 TSP 농도의 계절별 일변화 경향을 지균풍의 풍향이 북풍계열인 경우와 서풍계열인 경우를 분석하여 Fig. 11과 Fig. 12에

각각 제시하였다. 다른 측정소의 TSP 농도 자료는 미관측 일수가 많아 생략하였다. TSP 농도의 일변화는 지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 111)에는 봄과 겨울에 가장 뚜렷하게 나타났으나, 최대값 ($150 \text{ g}/\text{m}^3$)이 나타나는 시

종관바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화

각은 봄에는 1000 LST경에 겨울에는 1200 LST경에 각각 일어났다 (Fig. 11a). 그러나 여름과 가을에는 일중 거의 일정한 값 (80 g/m^3)을 나타내었다. 지균풍의 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 112)에는 겨울에 뚜렷한 일변화, 가장 심한 일교차 (110 g/m^3) 그리고 높은 최대값 (150 g/m^3)을 나타내었다. 그리고 최대값이 나타나는 시각도 Case 111보다는 약간 늦게 일어났다. 최소값이 나타나는 시각은 일출후와 일몰전에 일어났다 (Fig. 11b). 그러나 봄에는 최대값이 나타나는 시각은 1800 LST이었다. 지균풍의 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 121)에는 여름에 일중 아주 심한 주기적 변동을 나타내었고 그 교차도 100 g/m^3 으로 높은 값을 나타내었다 (Fig. 11c). 지균풍의 풍속이 강하고 흐린 경우 (Case 122)에는 겨울을 제외하고는 거의 일정한 값 (80 g/m^3)을 나타내었다 (Fig. 11d).

지균풍의 풍향이 서풍계열인 경우의 TSP 농도는 북풍계열보다 전체적으로 일변화 현상이 잘 일어났으며 그 변화의 폭도 상대적으로 크게 나타났다 (Fig. 12). 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 411)에는 전 계절에 걸쳐 일변화가 잘 나타났다 (Fig. 12a).

최대값이 나타나는 시각은 여름은 1900 LST (120 g/m^3)경에, 봄은 1000 LST (150 g/m^3)경에, 가을은 1100 LST (120 g/m^3)경에, 그리고 겨울은 가장 늦은 1200 LST (200 g/m^3)경이었다. 최소값이 나타나는 시각은 가을이 0200 LST (70 g/m^3)경에, 봄과 겨울은 0400 LST (각각 80 g/m^3 과 60 g/m^3)경에, 그리고 여름은 1200 LST (50 g/m^3)경에 나타났다. 그리고 일교차는 봄과 여름에는 70 g/m^3 , 가을에는 50 g/m^3 , 그리고 겨울은 140 g/m^3 로 나타났다. 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 412)의 겨울에 전 유형별 전 계절에 걸쳐서 가장 높은 최대값 (220 g/m^3)과 가장 심한 일교차 (150 g/m^3)를 기록하였다 (Fig. 12b), 풍속이 강한 경우 (Case 421와 Case 422)에는 북풍계열보다는 봄과 가을에 상대적으로 높은 농도값을 특징적으로 나타내고 있다 (Fig. 12c and d).

3.2.3 옥시던트 (O_3)

Fig. 13과 Fig. 14는 산격동 측정소에서 측정된 O_3 농도의 계절별 일변화 경향을 지균풍의 풍향이 북풍계열인 경우와 서풍계열인 경우를 각각 분석한

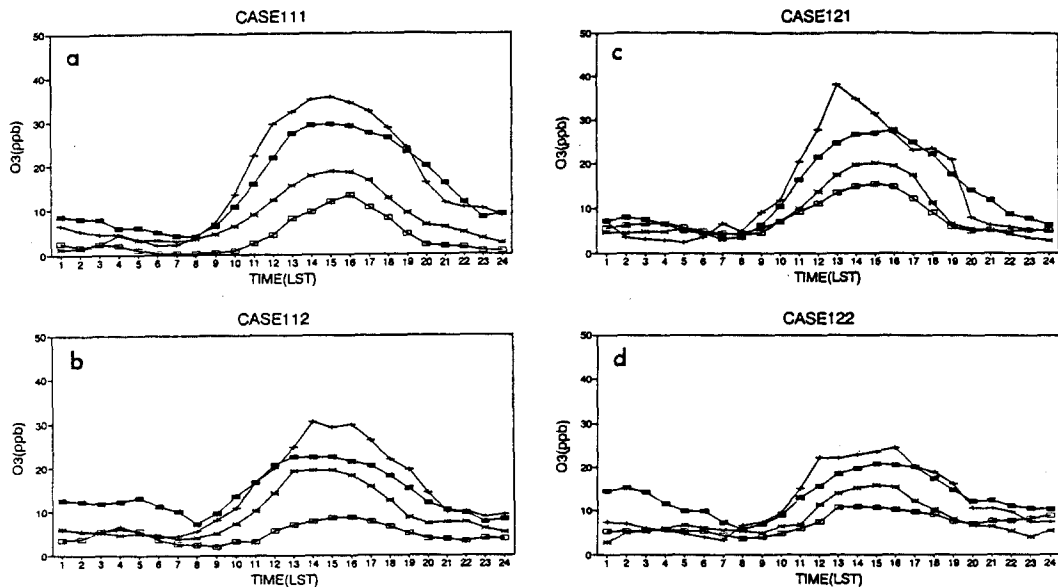


Fig. 13. Same as in Fig. 3 except for the concentration of oxidants at Sangyuk-dong monitoring station.

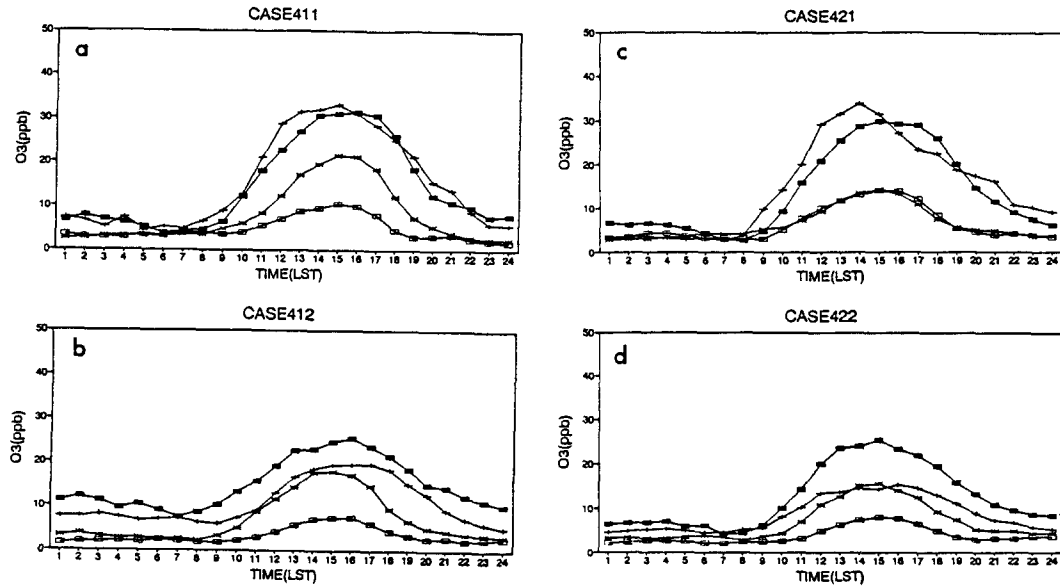


Fig. 14. Same as in Fig. 13 except for the the westerly geostrophic wind

것이다. O_3 농도는 지균풍의 풍향이 북풍계열이고 풍속이 약하고 맑은 경우 (Case 111)에는 SO_2 농도와는 상이하게 여름에 가장 일변화가 잘 나타났고 겨울이 가장 적게 나타났다 (Fig. 13a). 최대값은 봄 (30 ppb), 여름 (35 ppb) 그리고 가을 (20 ppb)은 1500 LST경에 겨울 (14 ppb)은 조금 늦은 1600 LST경에 나타났다. 최소값은 일출직전에 전 계절을 통하여 나타났다. 일교차는 여름이 가장 큰 값인 30 ppb, 그 다음이 봄으로 25 ppb, 가을은 15 ppb 그리고 겨울은 가장 적은 14 ppb로 나타났다. 북풍계열이고 풍속이 약하고 흐린 경우 (Case 112)에는 Case 111과 일변화의 양상은 비슷하였으나 진폭은 작게 나타났다. 특징적인 것은 봄인 경우 0100-0800 LST 동안에 상대적으로 높은 값 (10 ppb 이상)을 지속적으로 나타낸 것이다 (Fig. 13b). 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 121)는 Case 111과 거의 비슷한 일변화를 나타내었다. 풍속이 강하고 맑은 경우 (Case 122)도 최대값이 조금 작은 경우를 제외하고는 Case 112와 거의 비슷한 경향을 보여주었다 (Fig. 13d). 이는 O_3 농도는 풍속의 세기의 강약보다는 구름의 유무 즉 기온의 변화에 영향을 받고 있음을 시사해 주고 있다. 이러한 결과는 Vuko-

vich (1979)와 Varey et al. (1988)의 분석과도 동일한 것으로 나타났다. 지균풍이 풍향이 서풍계열인 경우 (Fig. 14)는 북풍계열인 경우 (Fig. 13)와 비교하면 맑은 경우 (Case 411과 Case 421)는 비슷한 일변화를 보였으나 (Fig. 14a and c), 흐린 경우 (Case 412와 Case 422)에는 여름보다 봄에 더 높은 농도값을 나타내는 일변화를 나타내었다 (Fig. 14b and d).

4. 요약 및 결론

종관 기상 상태별 대구시에서의 대기 오염 물질들의 농도의 일변화를 계절별로 알아보기 위하여 대구지방 환경관리청산하 4개 측정소의 관측자료와 대기기상대의 지상 관측 자료를 이용하여 이들을 통계적으로 분석하였다. 종관 기상 상태는 한반도를 중심으로 850 hPa 등압면의 지균풍을 계산하고 이 지균풍의 풍향 (4방위), 풍속 (2등급) 그리고 대기기상대의 전운량 (2등급)에 따라 구분되었다. 가장 빈도가 많은 종관바람장의 풍향은 서풍계열이었고 그 다음이 북풍계열이었다. 반대로 가장 적

게 나타나는 풍향은 동풍계열이었다. 풍속은 강한 경우가 약한 경우보다 더 많이 발생하였다. 흐린 경우와 맑은 경우는 거의 비슷한 빈도를 나타내었다. 빈도수가 많은 서풍계열과 북풍계열을 선택하여 이들에 따른 대기질 측정소의 SO₂, TSP 그리고 O₃의 농도들의 일변화 특징을 각 계절별로 분석하였다. 이들을 요약하면 다음과 같다. 각 계절별 SO₂ 농도의 일변화는 종관 기상 상태에 따라 다른 특징을 나타내었다. 즉 모든 측정소에서 겨울에 가장 뚜렷한 일변화와 높은 농도값과 일교차를 나타내었고 여름에는 중리동 측정소를 제외하고는 거의 변화가 나타나지 않았다. SO₂ 농도는 일출 약 2~3 시간 후에 일 최대값이 나타났고 그 이후 서서히 감소하다가 늦은 오후부터 증가하여 일몰 약 3~4 시간 후에 제2의 극대값이 나타나는 일변동 특징을 나타내었다.

산격동 측정소에서 측정된 TSP 농도의 계절별 일변화 경향은 지균풍의 풍향이 북풍계열보다는 서풍계열의 각 유형에서 특히 겨울에 잘 나타났다. 일 최고값이 나타나는 시각은 각 계절에 따라 각각 다르게 나타났으나 최소값이 나타나는 시각은 비슷하였다. 가장 높은 농도값과 큰 일교차를 나타낸 경우는 지균풍의 풍향이 서풍계열이고 풍속이 약하고 흐린 경우의 겨울이었다.

산격동 측정소에서 측정된 O₃ 농도는 SO₂ 농도와는 상이하게 맑은 경우에는 지균풍의 풍향이 북풍계열이거나 서풍계열 모두 여름에 가장 일변화가 잘 나타났고 겨울이 가장 적게 나타났다. 그러나 흐린 경우에는 서풍계열에서는 봄에 가장 높은 값과 큰 일교차를 보이는 특징을 나타내었다. 이상의 결과에서 종관 기상 상태에 따라 상이한 대기질의 농도 일변화의 특징을 나타남을 알 수 있었다. 그러나 여러가지 원인에 대한 고찰은 그 복잡성때문에 부족한 점이 많으며 또한 이 연구의 범위를 넘는 문제이다. 이들에 대한 연구는 계속적으로 수행될 것이다.

두 분의 심사위원님들의 좋은 지적에 대해서 감사함을 전합니다. 이 연구의 일부는 한국과학재단의 일반 연구 사업의 지원 (KOSEF 923-0500-001-1) 과 94년도 경북대학교 발전기금 학술연구 장려비에 의해서 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- 민경덕, 김경익, 윤일희, 이인숙, 1994, 대구지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발: I. 도시 기온 및 상대 습도의 수평 분포, 한국기상학회지, 30, 289~301.
- 박순웅, 윤일희, 1991, 한반도의 국지 기상 특성, 한국기상학회지, 27, 88~92.
- 윤일희, 1991, 지상 관측 자료를 이용한 한반도의 대기질 추정, 서울대학교 대학원 박사 학위 논문, 110 pp.
- 윤일희, 민경덕, 김경익, 1994, 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발: II. 도시 열섬 특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 30, 303~313.
- 윤일희, 민경덕, 박동재, 1994, 대구상공에서의 대기 오염 물질 확산에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3, 241~252.
- 윤일희, 이해경, 1994, 대구지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 적용: III. 종관바람장을 이용한 국지 기상 특성, 한국지구과학회지, 15, 259~271.
- 이영옥, 정용승, 1994a, 대구의 저시정과 대기 오염에 관하여: I. 시정 감소, 한국기상학회지, 30(1), 21~26.
- 이영옥, 정용승, 1994b, 대구의 저시정과 대기 오염에 관하여: II. 대기 오염, 한국기상학회지, 30(1), 27~34.
- 일본기상청, 1989. 1~1992. 12., 850 hPa 1200 GMT 인쇄 일기도
- Hanna, S. R., 1973, Urban Air Pollution Models-Why? Proceeding of Nordic Symposium on

- Air Pollution Modeling, Vedbeck, Denmark.
- Kamenetsky, E., and N. Vieru, 1995, Model of air flow and air pollution concentration in urban canyons, *Bound-Layer Meteor.*, 73, 203~206.
- Ku, J. Y., S. T. Rao and Rao, K. S., 1987, Numerical simulation of air pollution in urban areas: Model development, *Atmos. Environ.*, 21, 201~212.
- Moses, H., H. F. Gatz, A. C. Strong and G. A. Zerbe, 1971, Mixing Height, Ventilation Rates and Observed Ground SO₂ Concentrations, Quarterly Report, Atmospheric Science Group, Argonne National Laboratory, Argonne, I 11.
- Neiburger, Morris, 1969, The role of meteorology in the study and control of air pollution, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 50, 957~965.
- Niccum, Elizabeth M., Donald E. Lehrman and William R. Knuth, 1995, The influence of meteorology on the air quality in the San Luis Obispo County-Southwestern San Joaquin Valley region for 3~6 August 1990, *J. Appl. Meteor.*, 34, 1834~1847.
- Okada, Kikuo and Kenji Isodo, 1982, Trends in visibility in the urban atmosphere-A case study in Nagoya, Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 777~786.
- Pasquill, F., 1969, The influence of the turning of wind with height on crosswind diffusion, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A.* 265, 173~181.
- Yoon, I.-H., 1994, Vertical profiles of meteorological parameters over Taegu city, *Korean J. Geophys. Res.*, 22, 24~32.
- Varey, R. H., D. J. Ball, A. J. Crane, D. P. H. Laxen and F. J. Sandalls, 1988, Ozone formation in the London plume, *Atmos. Environ.* 22, 1335~1346.
- Vukovich, Fred M., 1979, A note on air quality in high pressure systems, *Atmos. Environ.*, 13, 255~265.