

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

서 기 수 · 윤 일 희 · 안 병 호 · 문 영 수*

경북대학교 지구과학교육과 · 경상대학교 환경과학과

(1997년 1월 21일 접수)

Variations of Air Quality in Kunsan, Taegu, and Pohang due to the Characteristics of Local Weather

Ki-Soo Seo, Ill-Hee Yoon, Byung-Ho Ahn, and Young-Soo Moon*

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

**Dept. of Environmental Science, Kyungsan University, Kyungsan, 712-240*

(Manuscript received 21 January 1997)

Diurnal variations of air quality due to the characteristic features of local weather phenomena over Kunsan, Taegu, and Pohang are analyzed using various synoptic wind fields and the characteristics of local weather during the period of 1990 to 1992.

The air pollutants analyzed are sulfur dioxide(SO₂), nitrogen dioxide(NO₂), and oxidants(O₃). The synoptic wind fields estimated at over the 850 hPa geopotential height are divided in terms of four wind directions and two wind speed categories for each season. The synoptic weather conditions are also classified into two categories depending on the total cloud amounts.

The present study shows that the SO₂ concentration over Kunsan, and Taegu was maximum at the two or three hours after sunrise and second primary was three or four hours after sunset. On the other hand, its concentration over Kunsan was maximum at 1900 LST or 2000 LST. The O₃ concentration over the three cities shows its maximum in the afternoon when the solar radiation is strong. The NO₂ concentration over Kunsan shows in reverse proportion to the O₃ concentration over the Kunsan.

Key words : Air quality, synoptic wind fields, local weather phenomena, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, oxidants, Kunsan, Taegu, Pohang

1. 서 론

최근 대도시의 대기질은 급속한 산업 발전, 폭발적인 자동차 보유 대수의 증가, 대도시로의 인구 밀집 그리고 전반적인 주거 환경의 개선과 소비 증대로 인한 연료 사용량의 증가로 심각해지고 있다.

대기질은 그 지역의 오염 배출 특성, 지형, 종관 기상장 그리고 국지 기상 현상 등에 의해

서 결정된다. 그러므로 기상 조건과 오염의 관계를 파악하는 것은 대기질 문제 해결의 관건이 된다. 기상 조건은 지역에 따라 현저한 차이를 나타내므로 국지 기상 현상에 대한 연구가 필수적으로 수반되어야 한다. 특히 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있고 또한 내륙 지방에는 산이 많아 아주 복잡한 지형을 이루

고 있으므로 해륙풍과 산곡풍 그리고 도시 열섬 효과와 같은 국지 순환과 관련된 현상들이 다양하게 나타나고 있다 (박순웅·윤일회, 1991).

기상 조건과 대기질의 변화에 관련된 연구 중 국외의 연구로는 관측된 바람과 대기질 자료의 농도와 관련성을 밝히는 연구 (Hanna, 1973; Gifford, 1972), 기상 조건과 광화학적 대기질 자료인 O_3 농도와 관계에 관한 연구 (Chung, 1977; Shreffler and Evans, 1982; Edmonds and Basabe, 1989; Niccum et al., 1995), 그리고 기상 조건에 따른 대기 오염 농도 분포를 대기질 자료의 이류와 확산으로 나타낸 연구 (Ragland, 1973) 등이 있었다. 또한 이 연구와 관련된 국내 연구로는 국지 기상 특성에 관한 연구 (박순웅·윤일회, 1991; 박영산·박순웅, 1991; 윤일회·이해경, 1994; 민경덕 등, 1994; 김지영 등, 1995), 기상 조건과 대기질 자료 농도와 관계에 관한 연구 (박일수, 1990; 장근일, 1991; 송은영·윤일회, 1995; 전병일 등, 1995), 그리고 대기 오염 확산 모델링에 관한 연구 (윤일회, 1991; 박순웅, 1994; 윤일회 등, 1994) 등이 있다. 그러나 이들 연구에는 국지 기상 특성이 상이한 지역에서의 대기질 자료의 변화에 관한 것은 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 위도상으로 거의 동일한 위치에 있으나 지형적인 특성이 상이한 서해안의 군산, 동해안의 포항 그리고 내륙 분지인 대구 지역을 선택하였다. 그리고 최근 3년 동안 관측한 기상 자료와 대기질 자료들을 종관 바람장으로 구분하고 대기질의 일변화를 비교 분석하여, 세 지역의 대기질의 일변화 특성을 밝히고자 한다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1 자 료

본 연구에서 사용한 자료는 1990년 7월 1일부터 1992년 12월 31일까지 30개월 동안 군산(중양로), 포항(장흥동, 죽도동) 및 대구 지방 환경청(삼덕동, 중리동, 대명동, 산격동, 노원동)에서의 대기질 자료 (TSP, SO_2 , O_3 , NO_2 , CO)이다.

대기질 자료는 자동 관측 자료로서 매시간

평균 자료이며, 각 기상대 자료 중 풍향, 풍속 및 일사량은 매시간 관측 자료이며, 그 외 기온과 전운량은 3시간 간격으로 관측된 자료이다. 그리고 종관 바람장을 계산하기 위해서 같은 기간 동안 2100 LST의 850 hPa 상층 일기도 (일본 기상청, 1990-1992)를 사용하였다.

2.2 분석 방법

국지 기상이 종관 바람의 방향과 세기에 따라 달라진다는 사실에 의해 박순웅·윤일회 (1991)의 방법을 이용하여 종관 바람장을 구분하였다. 이 방법에서는 종관 바람을 850 hPa 등압면의 지균풍으로 가정하고 2100 LST의 850 hPa 상층 일기도를 사용하여 남한 지역의 중앙의 한 지점 ($37^\circ N$, $128^\circ E$)을 중심으로 동서 방향과 남북 방향으로 각각 5° 떨어진 지점의 고도 차를 구하여 다음과 같은 지균풍의 풍속과 풍향을 계산하였다.

지균풍의 동서, 남북 성분은 각각 $u_g = (-g/f)(\partial\phi/\partial y)$, $v_g = (g/f)(\partial\phi/\partial x)$ 로 주어지며 지균풍의 풍향은 $\theta = \tan^{-1}(u_g/v_g)$ 로, 풍속은 $|Vg| = (u_g^2 + v_g^2)^{1/2}$ 로 계산된다. 여기서 f 는 코리올리 인자로 $37^\circ N$ 에서의 값이고, g 는 중력 가속도이며 ϕ 는 850 hPa에서의 지오폠펌텐셜 고도이다.

위의 방법으로 계산한 지균풍의 풍향을 북풍 계열 (北, 1 : 315° 이상 - 45° 미만), 동풍 계열 (東, 2 : 45° 이상 - 135° 미만), 남풍 계열 (南, 3 : 135° 이상 - 225° 미만) 그리고 서풍 계열 (西, 4 : 225° 이상 - 315° 미만)의 4개의 경우로 구분하였다. 풍속은 850 hPa면의 지균풍이 약한 날 (弱, 1 : 5m/s 미만)과 강한 날 (强, 2 : 5m/s 이상)의 2개의 경우로 나누어 종관 바람장을 구분하였다. 여기에 각 기상대에서 관측한 운량을 일 평균하여 맑은 날 (晴, 1 : 운량 5/10미만)과 흐린 날 (曇, 2 : 운량 5/10이상)을 고려하여 총 16가지의 경우를 각 계절별로 분류하였다.

국지 규모의 대기질을 대표할 수 있도록 각 계절별로 분류된 16가지의 기상 상태에 따라 각 관측 지점별 대기질 자료들을 매시간 평균하여 이들의 일변화를 분석하였다.

3. 분석 결과

3.1 종관 기상 상태별 발생 빈도

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

지군풍의 풍향, 풍속에 따라 구분한 8가지 경우와 일사량 등에 영향을 주는 기상 요소인 운량을 고려하여 16가지의 종관 기상 상태를 구분하였다. 16가지 종관 기상 상태를 계절별로 분류하여 군산, 대구 및 포항의 종관 기상 상태의 발생 빈도를 Tables 1~4에 제시하였다.

봄에는 세 지역 모두 지군풍의 풍향이 서풍 계열인 경우가 가장 높은 발생 빈도(군산, 대구 및 포항 순으로 49.5, 49.4, 49.5%)를 나타내었고, 그 다음은 북풍(27.7, 27.8, 27.7%), 남풍(17.9, 17.9, 17.9%) 및 동풍 계열(4.9, 4.9, 4.9%)인 순으로 나타났으나 남풍과 동풍 계열의 빈도 수는 적었다. 그리고 북풍 계열에서는 풍속이 강한 경우가 약한 경우보다 다소 많은 빈도를 나타내었으나, 서풍 계열에서는 풍속이 강한 경우가 약한 경우보다 훨씬 많은 빈도를 나타내었다. 동풍 계열에서는 풍속이 약한 경우가 강한 경우보다 다소 많이 나타나고, 남풍 계열에서는 서로 비슷하였다. 군산은 북풍과 서풍 계열에서는 맑은 경우(15.2, 29.4%)가 흐린 경우(12.5, 20.1%)보다 많이 발생하였으나 대구와 포항은 북풍 계열에서는 흐린 경우(16.9, 18.5%)가 맑은 경우(10.9, 9.2%)보다 많이 발생하였고, 서풍 계열에서는 맑은 경우(31.5, 29.4%)가 흐린 경우(17.9,

20.1%)보다 더 많이 발생하였다. 또 세 지역 모두 동풍과 남풍 계열에서 흐린 경우는 맑은 경우보다 더 많이 발생하였다. 봄에 가장 높은 발생 빈도를 보이는 종관 기상 상태는 군산, 대구 및 포항 모두가 지군풍이 서풍 계열이면서 풍속이 강하고 맑은 경우 (CASE 421)로 21.8, 23.3, 21.8%의 빈도를 나타내었다. (Table 1).

여름에도 봄과 마찬가지로 세 지역 모두 지군풍의 풍향이 서풍 계열인 경우가 가장 높은 발생 빈도(49.3, 49.2, 49.0%)를 보였으나 그 외의 풍향은 다른 계절과 다르게 남풍(25.9, 26.0, 26.1%), 동풍(13.0, 13.0, 13.1%) 및 북풍 계열(11.8, 11.8, 11.8%)의 빈도순으로 나타났다. 또 서풍 계열이면서 풍속이 약하고 흐린 경우(CASE 412)의 빈도 수가 다른 계절에 비해 많이 나타났다. 세 지역 모두 북풍과 동풍 계열에서 풍속이 약한 경우가 강한 경우보다 많이 발생하였다. 군산은 북풍 계열에서 맑은 경우(6.7%)의 발생 빈도가 흐린 경우(4.9%) 보다 조금 높았으나, 동풍 계열에서는 서로 같았다(6.5%). 남풍 계열에서는 흐린 경우와 맑은 경우가 같았으며(6.5%) 서풍 계열에서는 흐린 경우(23.3%)가 맑은 경우(3.6%)보다 훨씬 더 많이 발생하였다. 대구는 동풍 계열에서만 맑은 경우(7.3%)가 흐린 경우(5.7%)보다 다소 많았고, 나머지 풍향에서는 흐린 경우의 빈도 수

Table 1. Frequencies(%) of the various synoptic meteorological conditions at Kunsan, Taegu, and Pohang in spring for the three-year period

Classes	Cities			
	Kunsan	Taegu	Pohang	Average
111 (北弱晴)	7.6	4.9	3.8	5.4
112 (北弱曇)	4.3	7.1	8.2	6.5
121 (北强晴)	7.6	6.0	5.4	6.3
122 (北强曇)	8.2	9.8	10.3	9.4
211 (東弱晴)	1.6	0.5	0.5	0.9
212 (東弱曇)	2.2	3.3	3.3	2.9
221 (東强晴)	0.0	0.0	0.0	0.0
222 (東强曇)	1.1	1.1	1.1	1.1
311 (南弱晴)	1.6	2.7	1.6	2.0
312 (南弱曇)	7.6	6.5	7.6	7.2
321 (南强晴)	1.1	3.3	2.2	2.2
322 (南强曇)	7.6	5.4	6.5	6.5
411 (西弱晴)	7.6	8.2	7.6	7.8
412 (西弱曇)	7.6	7.1	7.6	7.4
421 (西强晴)	21.8	23.3	21.8	22.4
422 (西强曇)	12.5	10.8	12.5	12.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 2. Same as Table 1 except for in summer

Classes	Cities	Kunsan	Taegu	Pohang	Average
111 (北弱晴)		4.9	3.7	3.3	3.9
112 (北弱曇)		3.3	4.5	4.9	4.2
121 (北强晴)		2.0	1.2	1.2	1.5
122 (北强曇)		1.6	2.4	2.4	2.2
211 (東弱晴)		4.9	6.5	3.3	4.9
212 (東弱曇)		4.1	2.4	5.7	3.9
221 (東强晴)		1.6	0.8	0.4	0.9
222 (東强曇)		2.4	3.3	3.7	3.1
311 (南弱晴)		2.0	3.3	3.7	3.0
312 (南弱曇)		8.1	6.9	6.5	7.2
321 (南强晴)		1.6	2.8	3.3	2.6
322 (南强曇)		14.2	13.0	12.6	13.2
411 (西弱晴)		6.5	4.9	5.3	5.6
412 (西弱曇)		16.0	17.5	17.0	16.8
421 (西强晴)		5.7	8.1	8.9	7.8
422 (西强曇)		21.1	18.7	17.8	19.1
Total		100.0	100.0	100.0	100.0

Table 3. Same as Table 1 except for in autumn

Classes	Cities	Kunsan	Taegu	Pohang	Average
111 (北弱晴)		8.1	7.7	6.2	7.3
112 (北弱曇)		5.5	5.9	7.3	6.2
121 (北强晴)		10.6	11.3	8.8	10.3
122 (北强曇)		6.2	5.5	8.0	6.6
211 (東弱晴)		3.7	3.7	2.9	3.4
212 (東弱曇)		3.3	3.3	4.0	3.7
221 (東强晴)		1.5	1.1	0.4	1.0
222 (東强曇)		1.5	1.8	2.6	2.0
311 (南弱晴)		3.7	2.2	1.1	2.3
312 (南弱曇)		2.2	3.7	4.8	3.7
321 (南强晴)		0.4	0.0	0.0	0.1
322 (南强曇)		4.4	4.8	4.8	4.5
411 (西弱晴)		10.2	13.2	11.3	11.6
412 (西弱曇)		10.2	7.3	9.2	8.9
421 (西强晴)		15.0	20.5	19.8	18.3
422 (西强曇)		13.5	8.0	8.8	10.1
Total		100.0	100.0	100.0	100.0

가 더 많이 발생하였다. 또한 포항은 모든 풍향에서 흐린 경우가 맑은 경우보다 더 많이 발생하였다. 세 지역에서 여름에 가장 많이 발생한 종관 기상 상태는 서풍 계열이면서 풍속이 강한 흐린 경우 (CASE 422)로 14.2, 13.0, 12.6%의 빈도를 나타내었다 (Table 2).

가을에도 역시 세 지역의 지군풍의 풍향이 서풍 계열인 경우가 높은 발생 빈도 (48.9, 49.0, 49.1%)를 나타냈었으나 다른 계절과는 다르게 서풍 계열이면서 풍속이 약하고 맑은

경우(CASE 411)의 빈도 수(10.2, 13.2, 11.3%)가 가장 많이 나타났다. 그리고 세 지역의 풍속이 북풍과 서풍 계열에서 풍속이 강한 경우가 약한 경우보다 많았으며, 동풍과 남풍 계열에서는 풍속이 약한 경우가 강한 경우보다 많이 나타났다. 그리고 군산은 북풍, 동풍 및 서풍 계열의 풍향에서 맑은 경우가 흐린 경우보다 다소 많이 발생하였으나, 남풍 계열의 바람이 불 때는 흐린 경우(6.6%)가 맑은 경우(4.1%) 보다 더 많이 발생했다. 대구는 북풍과 서

Table 4. Same as Table 1 except for in winter

Classes	Cities	Kunsan	Taegu	Pohang	Average
111	(北弱晴)	1.9	1.9	1.4	1.7
112	(北弱曇)	1.9	1.9	2.4	2.0
121	(北强晴)	15.1	21.2	21.7	19.3
122	(北强曇)	14.2	8.0	7.5	9.9
211	(東弱晴)	0.5	0.5	0.0	0.3
212	(東弱曇)	0.9	0.9	1.4	1.1
221	(東强晴)	0.0	0.0	0.0	0.0
222	(東强曇)	0.9	0.9	0.9	0.9
311	(南弱晴)	0.0	0.5	0.5	0.3
312	(南弱曇)	0.9	0.5	0.5	0.5
321	(南强晴)	2.8	4.7	3.8	3.8
322	(南强曇)	5.2	3.3	4.2	4.6
411	(西弱晴)	3.3	4.3	1.9	3.1
412	(西弱曇)	5.7	4.7	7.1	5.8
421	(西强晴)	20.8	35.9	36.3	31.0
422	(西强曇)	25.9	10.8	10.4	15.7
Total		100.0	100.0	100.0	100.0

풍 계열에서 맑은 경우(19.0, 33.7%)가 흐린 경우(11.4, 15.3%)보다 훨씬 많았고 동풍과 남풍 계열에서는 흐린 경우(5.1, 8.5%)가 맑은 경우(4.8, 2.2%)보다 다소 많았으며 포항은 서풍 계열에서만 맑은 경우(31.2%)가 흐린 경우(18.0%)보다 더 많았다. 세 지역에서 가을에 가장 많이 발생한 종관 기상 상태는 봄과 마찬가지로 서풍 계열이고 풍속이 강한 맑은 경우(CASE 421)로 15.0, 20.5, 19.8%의 빈도를 나타내었다. (Table 3).

겨울 역시 다른 계절과 마찬가지로 세 지역에서 서풍 계열인 경우가 가장 높은 빈도(55.7, 55.7, 55.7%)를 보였고 그 다음이 북풍, 남풍 및 동풍 계열 순으로 나타났으나, 북풍 계열의 빈도가 다른 계절보다 많이 나타났다. 그리고 동풍 계열을 제외하고는 지균풍의 풍속이 약한 경우보다 강한 경우가 훨씬 많은 빈도를 나타내었다. 군산은 동풍, 남풍 및 서풍 계열일 때 흐린 경우가 맑은 경우보다 많았고, 대구는 북풍, 남풍 및 서풍 계열일 때 맑은 경우가 흐린 경우보다 많았다. 그리고 포항은 북풍과 서풍 계열일 때 맑은 경우가 흐린 경우보다 많은 빈도 수를 나타내었다. 세 지역에서 겨울에 가장 많은 발생 빈도를 나타내는 종관 기상 상태는 군산이 여름의 경우처럼 서풍 계열이면서 풍속이 강하고 흐린 경우(case 422)로 25.9%이고, 대구와 포항은 봄과 가을의 경

우처럼 서풍 계열이면서 풍속이 강하며 맑은 경우(CASE 421)로서 35.9, 36.3%이었다 (Table 4).

전체적으로 군산, 대구 및 포항에서는 4계절 평균한 서풍 계열의 바람이 50.9%, 50.8%와 50.8%로 압도적으로 많으며 그 다음은 북풍 계열의 바람이 군산, 대구 및 포항 순으로 각각 25.8, 25.7, 25.8%로 서풍 계열과 북풍 계열의 바람이 각각 76.7, 76.5, 76.6%를 차지하였다.

가장 빈도 수가 많은 북풍이나 서풍 계열의 바람이 불 때, 봄은 군산, 대구 및 포항이 북풍 계열에서는 풍속이 강하고 흐린 날이(8.2, 9.8, 10.3%) 많았으나, 서풍 계열에서는 풍속이 강하고 맑은 날(21.8, 23.3, 21.8%)이 많았다. 여름의 경우 군산은 북풍 계열에서는 풍속이 약하고 맑은 날(4.9%)이 많았으나, 서풍 계열에서는 풍속이 강하고 흐린 날(21.1%)이 많았다. 대구와 포항은 북풍 계열에서 풍속이 약하고 흐린 날(4.5%, 4.9%)이 많았고 서풍 계열에서는 풍속이 강하고 흐린 날(18.7, 17.8%)이 많았다. 가을에는 세 지역 모두 북풍과 서풍 계열에서 풍속이 강하고 맑은 날이 많았다. 겨울에는 군산이 북풍 계열에서 풍속이 강하고 맑은 경우(15.1%)가 조금 많았으나, 서풍 계열에서는 풍속이 강하고 흐린 경우(25.9%)가 많았다. 대구와 포항은 북풍과 서풍 계열에서 풍속이

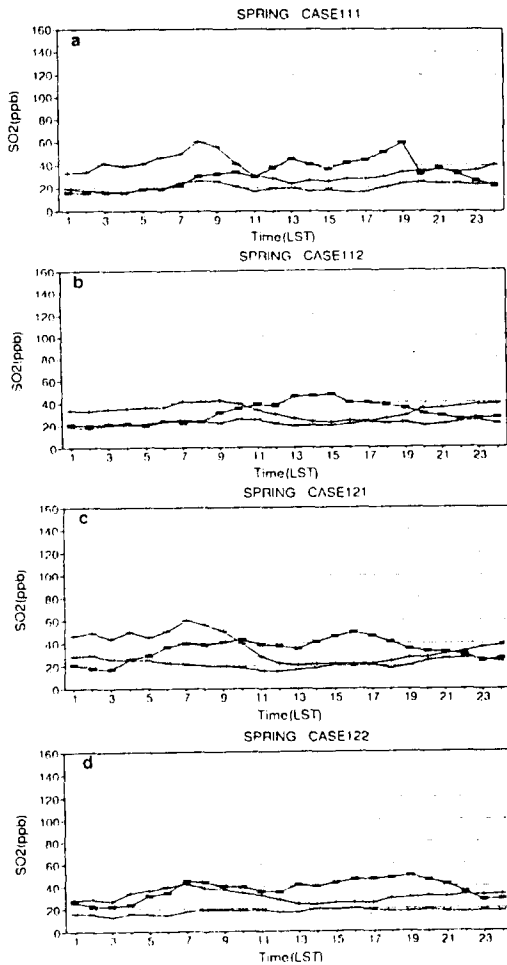


Fig. 1. Diurnal variation of the 3-year (1990-1992) averaged mean concentration of SO₂ at Kunsan (—), Taegu (---), and Pohang (---) in spring for the case of northerly geostrophic wind ; (a) clear day with weak wind, (b) cloudy day with weak wind, (c) clear day with strong wind, and (d) cloudy day with strong wind.

강하고 맑은 경우가 많았다.

3.2 대기질의 일변화

오염 농도의 일변화 양상을 살펴보기 위하여 앞에서 분류한 16가지의 종관 기상 상태 하에서 계절별로 살펴보았다. 각 오염물의 농

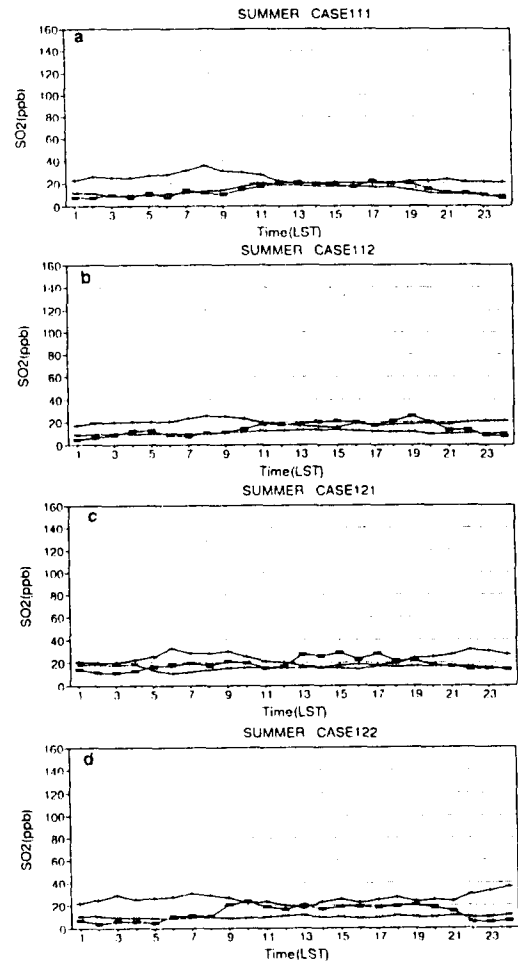


Fig. 2. Same as Fig. 1 except for in summer.

도는 1990. 7 - 1992. 12까지 약 3년 동안 매시 관측된 농도를 분류한 종관 기상 상태에 따라 지역별로 다시 평균하고 분석하여 일변화 양상을 Figs. 1~18에 제시하였다.

3.2.1 SO₂의 일변화

3.2.1.1 지균풍이 북풍 계열인 경우

봄에 군산은 SO₂의 농도가 1500 LST경에서 1900 LST경 사이에 높게(47.3-50.9 ppb) 나타났고, 대구는 0800 LST경 전후로 높게 (40.9-60.2 ppb) 나타났다가 일몰 후에 농도가 다시 상승한다. 포항은 군산 및 대구와는 달리 농도의 일변화가 뚜렷하지 않으나, 지균풍이 약하고 맑은 날 (CASE 111 : Fig. 1a)은 이른 아

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

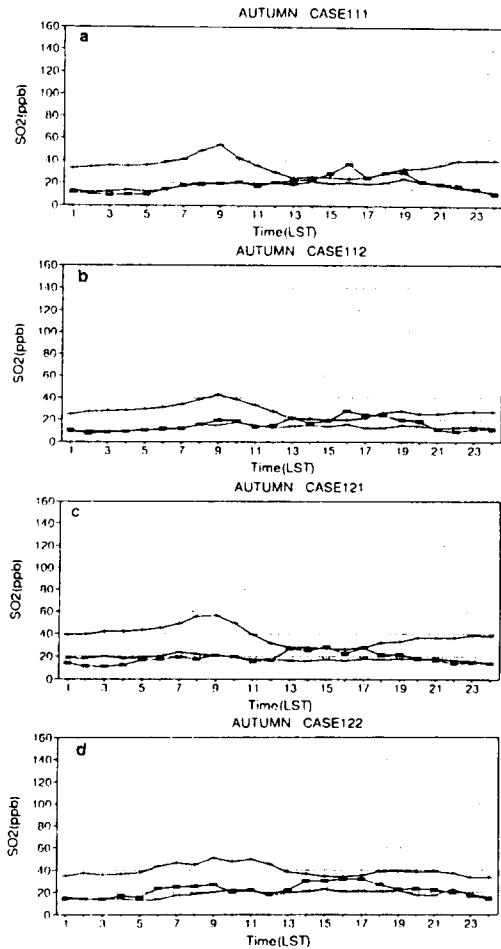


Fig. 3. Same as Fig. 1 except for in autumn.

침과 일몰 후에 비교적 높은 농도(19.4-26.9 ppb)를 나타낸다.

여름에는 세 지역 (Fig. 2a~2d) 모두 농도가 낮고 특히 오후에는 농도의 변화가 거의 없다.

가을은 봄의 일변화 경향과 유사하며, 군산의 SO₂의 농도가 1600 LST경 전후에 높게 (27.6-36.8 ppb) 나타나고, 대구는 0900 LST경 전후에 높게(50.6-56.5 ppb) 나타나며 일몰 후에 농도가 다시 상승한다. 포항은 농도의 일변화가 뚜렷하지 못하다. 군산은 종관 기상 상태별로 농도가 비슷하지만 CASE 122 (Fig. 3d)에서 농도가 다소 높다. 대구는 CASE 112 (Fig. 3b)에서 농도가 낮게 나타나

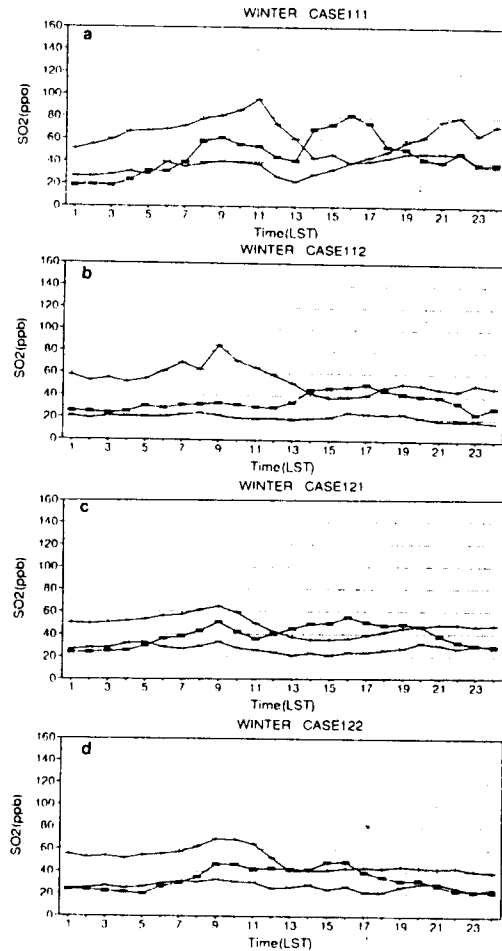


Fig. 4. Same as Fig. 1 except for in winter.

며 CASE 111 (Fig. 3a), CASE 121 (Fig. 3c)에서는 농도가 높게 나타났다.

겨울은 SO₂의 농도가 가장 높게 나타난다. 군산이 1600 LST경 전후에 농도가 높게 (48.0-81.8 ppb) 나타나고, 대구는 0900 LST에서 1100 LST경 사이에 높게(64.4-95.6 ppb) 나타나며 일몰 후에 농도가 다시 상승한다. 포항은 다른 계절과는 다르게 0900 LST경과 1900 LST에서 2100 LST사이에서 농도의 극대값 (23.5-47.2 ppb)이 두 번 나타난다. 군산은 CASE 111 (Fig. 4a), CASE 121 (Fig. 4c)의 1600 LST경에 최대값이 나타나고, 0900 LST경에 두 번째 극대값이 있었다. 대구와 포항은 CASE 111 (Fig. 4a)에서 농도가 높게 나타난다.

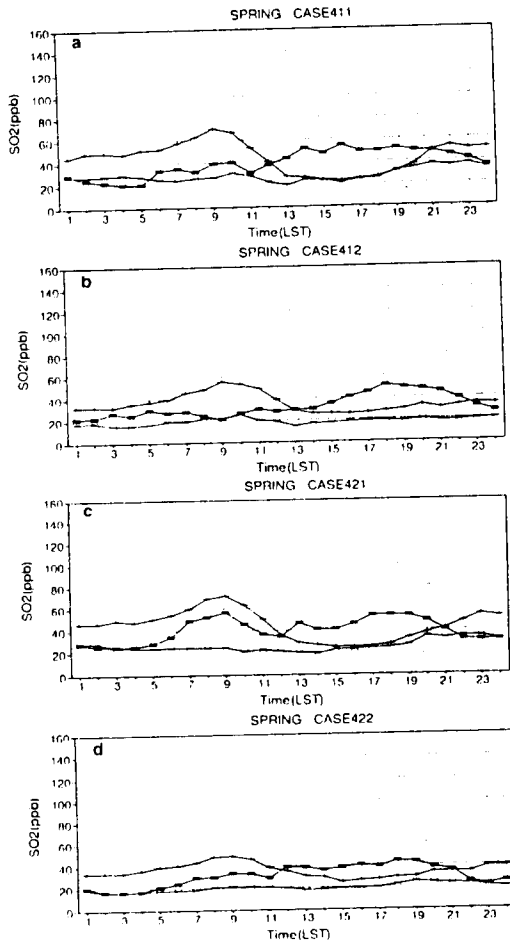


Fig. 5. Same as Fig. 1 except for the case of westerly geostrophic wind.

지쿠평이 북풍 계열인 경우 SO_2 의 농도는 군산이 봄과 가을에 CASE 122에서 농도가 높았고, 겨울에는 CASE 111에서 농도가 높았다. 대구는 봄과 겨울에 CASE 111에서 농도가 높았다. 가을에는 지상풍이 서풍 계열이며, 기온의 일교차가 크며 일사량이 많은 CASE 121에서 농도가 높았다. 포항은 농도의 일변화가 가장 큰 겨울의 경우 CASE 111에서 농도가 높았다.

3.2.1.2 지쿠평이 서풍 계열인 경우

봄에 군산은 SO_2 의 농도가 1600 LST경에서 1900 LST경 사이에서 높게(43.7-54.2 ppb) 나타나고, 대구는 0900 LST경에서 농도

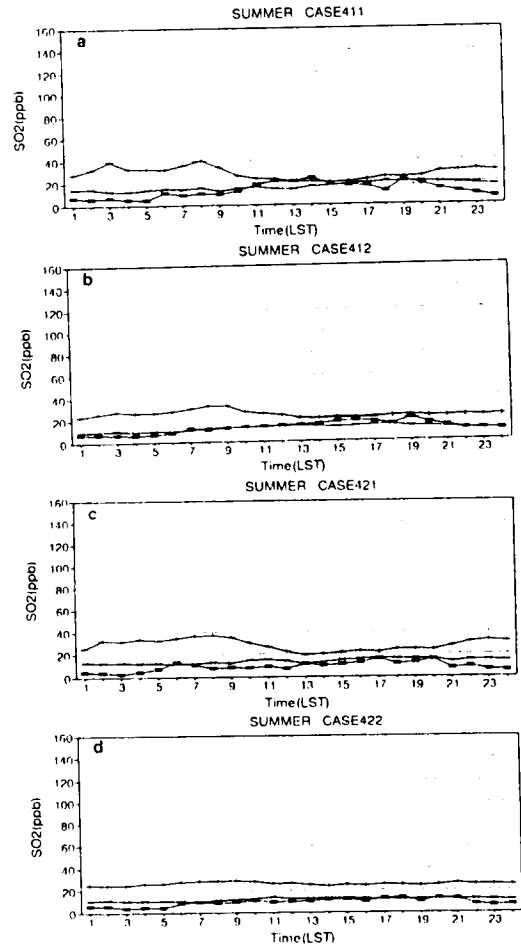


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for in summer.

가 높게(49.1-72.4 ppb) 나타난 후 다시 일몰 후에 농도가 상승한다. 포항은 지쿠평이 북풍 계열일 때와 동일하게 농도의 일변화가 뚜렷하지 않았지만, 2100 LST에서 2300 LST사이에서 농도가 비교적 높게(19.2-33.9 ppb) 나타났다. 대구는 CASE 411 (Fig. 5a), CASE 421 (Fig. 5c)에 농도가 높게 나타났다.

여름에는 세 지역 모두 종관 기상 상태에 관계없이 농도가 낮게 나타나며, 오후에는 농도의 변화가 거의 없다. 특히 대구의 농도가 CASE 411 (Fig. 6a) 및 CASE 421 (Fig. 6c)에서 다소 높게 나타났다.

가을에는 군산이 SO_2 의 농도가 1800 LST경에서 1900 LST경 사이에 최대값(35.4-47.9

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

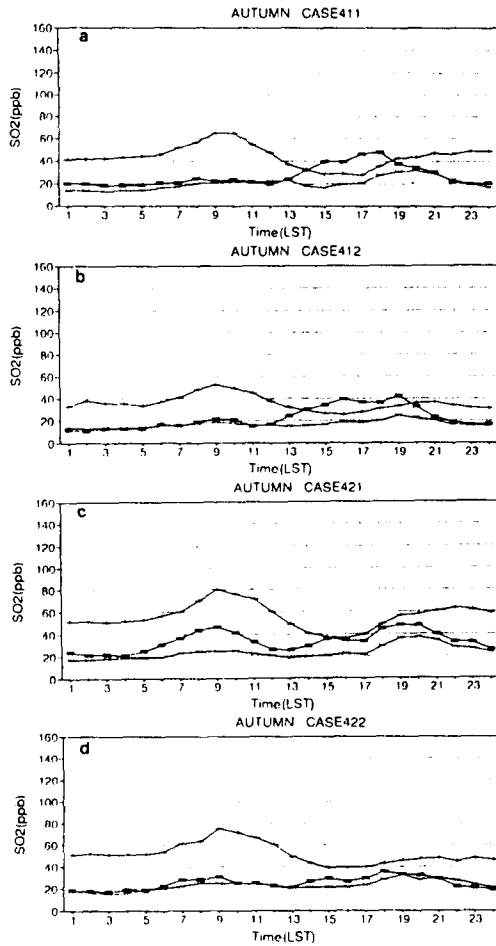


Fig. 7. Same as Fig. 5 except for in autumn.

ppb)을 나타내고, 대구는 0900 LST경에서 높게(52.6-79.7 ppb) 나타났다. 포항은 농도의 일변화가 뚜렷하지 못한편이며, 농도가 높을 때는 오후 늦게 나타난다. 군산은 CASE 421 (Fig. 7c)에서 농도가 높게(36.8 ppb) 나타나고, 대구는 CASE 411 (Fig. 7a), CASE 421 (Fig. 7c)에 농도가 높게 나타난다. 포항은 농도의 일변화가 뚜렷하지는 않지만 대구와 대체로 비슷하였다.

겨울에 군산은 지균풍이 약할 때는 다른 계절과 비슷한 시각에 농도가 높게 나타나지만, 지균풍이 강할 때는 0900 LST경에 농도가 최대(54.4-68.3 ppb)이다. 대구는 모든 종관 기상 상태별로 농도가 높게 (84.3-91.2 ppb) 나

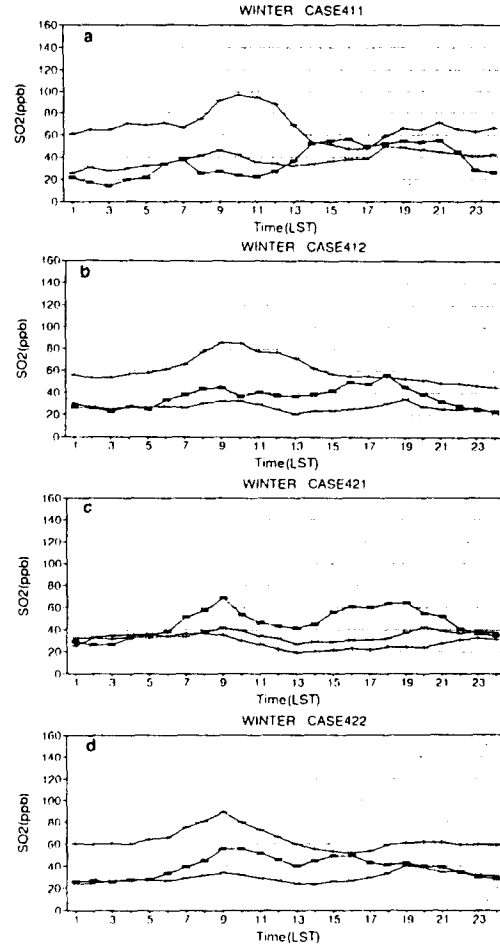


Fig. 8. Same as Fig. 5 except for in winter.

타났지만, 지균풍의 영향을 받은 CASE 421 (Fig. 8c)에서는 농도가 가장 낮게 나타났다. 포항은 다른 계절에 비해 농도의 일변화 크게 나타나며 CASE 411 (Fig. 8a)에서는 농도가 가장 높았다(49.1 ppb).

지균풍이 서풍 계열인 경우 SO₂의 농도는 군산이 봄, 가을 및 겨울에 CASE 421에서 농도가 높게 나타난다. 대구는 봄과 겨울에는 CASE 411에서 농도가 높았고, 가을은 CASE 421에서 농도가 높았다. 포항은 농도의 일변화가 가장 큰 겨울의 경우 CASE 411에서 농도가 가장 높았다.

전체적으로 SO₂ 농도의 일변화는 군산이 봄, 가을 그리고 겨울의 CASE 421에서는 최대값이 0900 LST경에 나타나고, 두 번째의 극대값

이 1700 LST경이지만, 나머지 종관 기상 상태에서는 1700 LST경에 최대값이 나타냈다. 대구는 일출 후 약 2-3시간 뒤에 최대값이 나타나며, 일몰 3-4시간 후에 두 번째의 극대값이 나타나는 일변동을 보였다. 포항은 1900 LST에서 2100 LST사이에서 최대값이 나타났

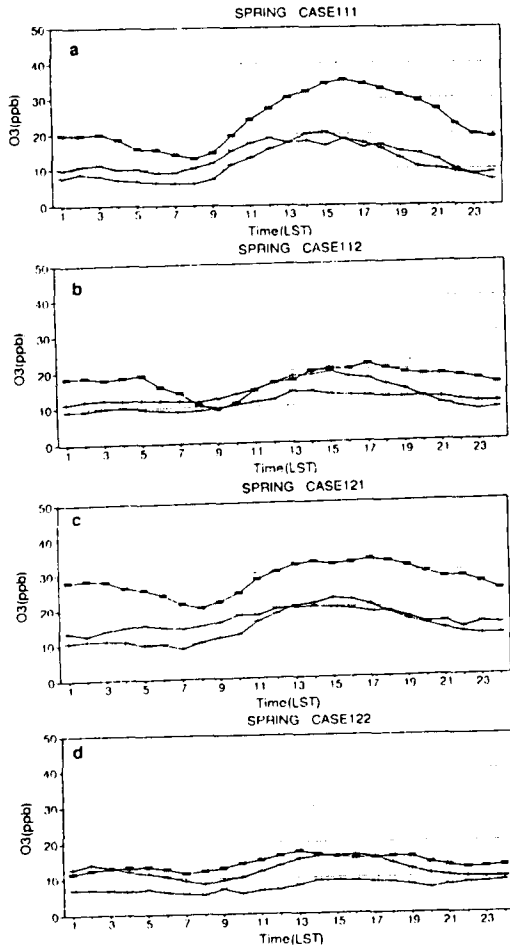


Fig. 9. Diurnal variation of the 3-year (1990-1992) averaged mean concentration of O_3 at Kunsan (—), Taegu (—), and Pohang (---) in spring for the case of northerly geostrophic wind ; (a) clear day with weak wind, (b) cloudy day with weak wind, (c) clear day with strong wind, and (d) cloudy day with strong wind.

다. 이러한 일변동은 기상 변동에 의한 것인지 혹은 SO_2 의 배출량에 의한 것인지는 좀 더 구체적인 조사가 필요하지만, 박일수(1990)는 기상 변동에 의한 것이라 보았다. 그리고 전병일 등(1994)은 이른 아침의 최대값은 출근 시간대의 자동차에 의한 배출량의 증가와 지표의 야간 복사 냉각에 의해 형성된 역전층의 영향으로 대기층이 안정하여 확산이 억제되기 때문이며, 1000 LST 이후의 농도 감소는 기온 상승에 의한 대기의 불안정과 풍속의 증가가 중요한 원인이 되어 대류에 의한 확산 현상이 잘 일어나서 오염 물질이 희석되기 때문이라고 했다. Ku et al.(1987)은 두 번째의 극대값은 일몰 직후부터 난류의 약화로 연직 혼합이 둔화

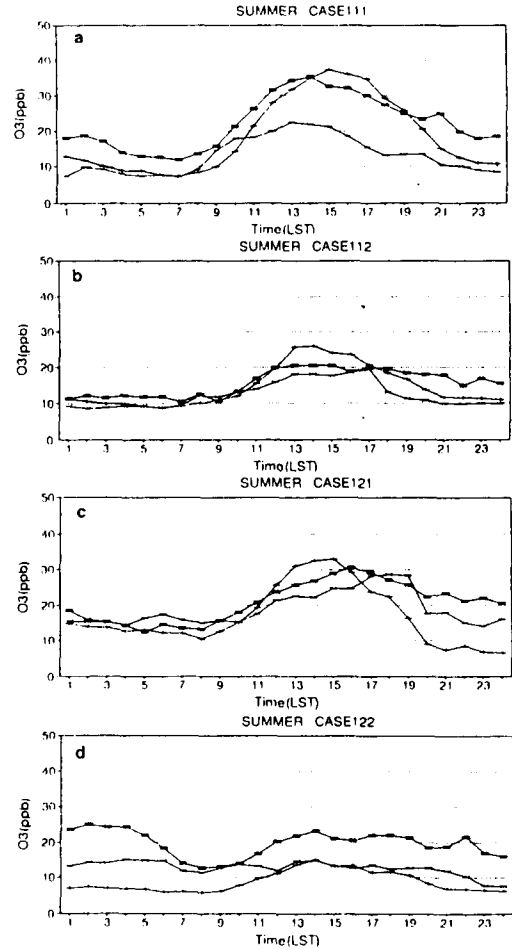


Fig. 10. Same as Fig. 9 except for in summer.

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

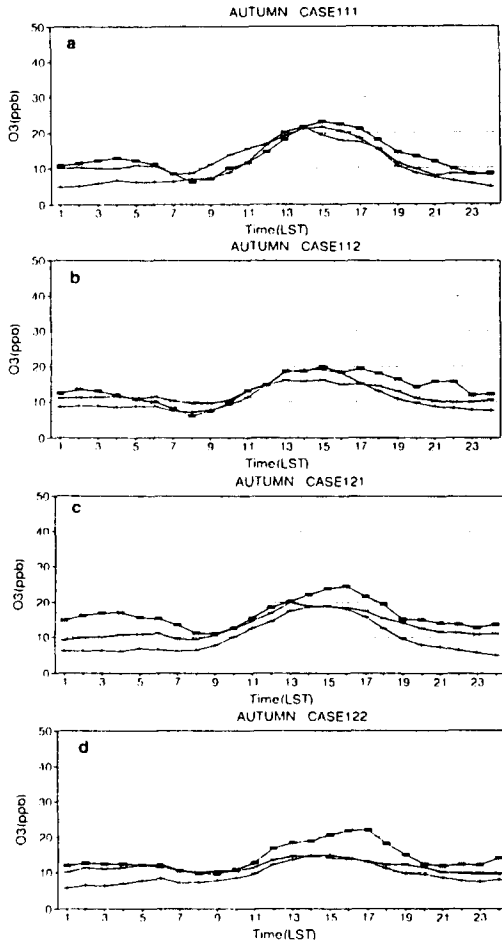


Fig. 11. Same as Fig. 9 except for in autumn.

되면서 지표 농도의 재상승이 있다가 역학적 혼합층의 발달로 인해 오염 물질의 연직 확산에 기인한 농도의 하강에 의해 일어난다라고 했다.

군산, 대구 및 포항에서 분석한 계절별 종관 기상 상태별 SO₂의 농도는 군산은 봄과 겨울에 가장 높게 나타났으나, 여름에 가장 낮게 나타났다. 대구와 포항은 겨울에 가장 높았고 여름에 가장 낮았다.

3.2.2 O₃의 일변화

지균풍이 북풍 계열인 경우와 서풍 계열인 경우를 구분하여 Fig. 9에서 Fig. 16까지 제시하였다.

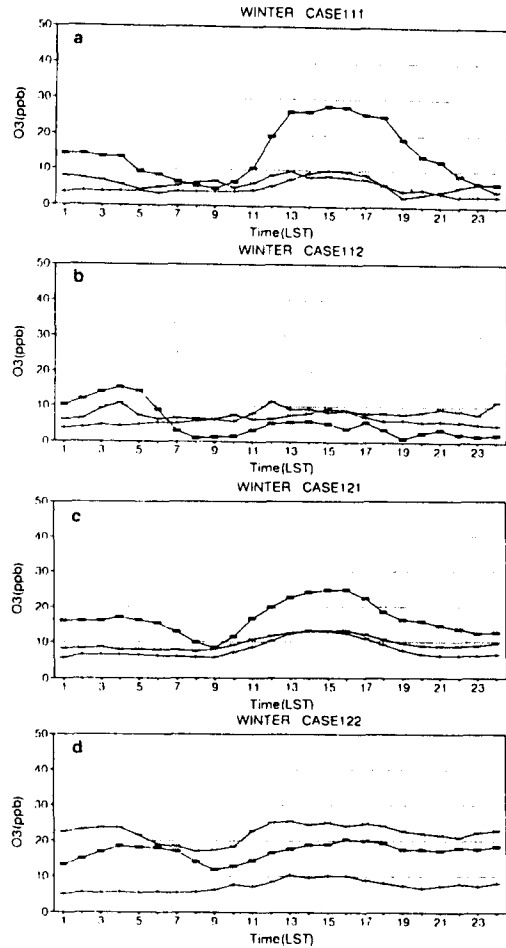


Fig. 12. Same as Fig. 9 except for in winter.

3.2.2.1 지균풍이 북풍 계열인 경우

군산, 대구 및 포항은 계절에 따라 종관 기상 상태별로 비슷한 경향을 나타내며, 농도의 일변화가 사계절 모두 뚜렷하다.

봄에 가장 높은 농도를 나타내는 군산은 O₃의 농도가 1700 LST를 전후하여 최고 농도 (15.8-35.1 ppb)를 나타내었으며, 2200 LST를 지나면서 농도는 낮아지고 다시 0100 LST에서 0500 LST사이에 두 번째의 극대값(13.1 -28.3 ppb)이 나타난다. 아침에는 0700 LST경에서 0900 LST경 사이에 O₃의 농도가 급격히 낮아지는 현상이 나타났다. 대구도 군산과 비슷해서 O₃의 농도가 1600 LST의 전후에 최고 농도 (16.3-22.4ppb)를 나타내었으며, 2200 LST를

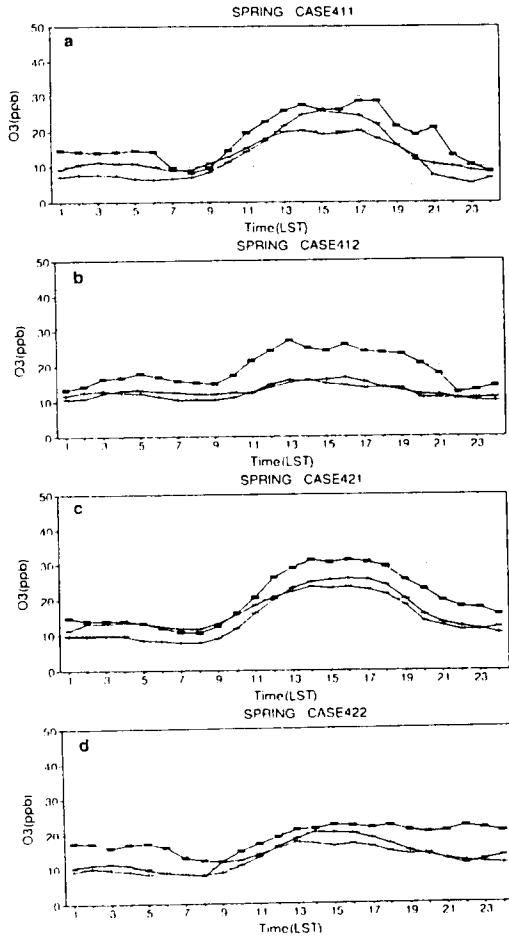


Fig. 13. Same as Fig. 9 except for the westerly geostrophic wind.

지나면서 농도는 낮아진다. 지균풍이 강하고 흐린 날(CASE 122 ; Fig. 9d)에는 1300 LST에서 최고 농도(15.2 ppb)를 나타내고, 0200 LST에서 두 번째의 극대값(14.0 ppb)을 나타낸다. 그리고 0800 LST를 전후로 O₃의 농도가 급격히 낮아지는 현상이 나타났다. 포항은 O₃의 농도가 1400 LST를 전후하여 최고 농도(9.1-20.1 ppb)를 나타내고 있으며, CASE 122 (Fig. 9d)를 제외하고는 2100 LST를 지나면서 농도가 낮아지는 경향이다. 봄에 군산의 O₃ 농도가 높게 나타날 때는 CASE 111 (Fig. 9a), CASE 112 (Fig. 9b)이며 대구와 포항은 CASE 111과 CASE 121 (Fig. 9c)이다.

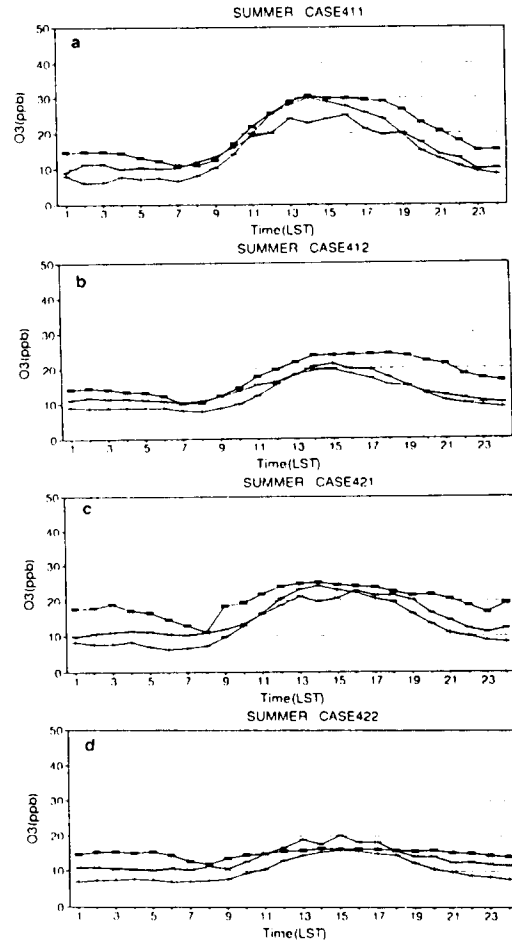


Fig. 14. Same as Fig. 13 except for in summer.

여름에 군산은 CASE 121 (Fig. 10c)에서 봄에 비해 O₃농도가 많이 감소했으며, 대구는 CASE 111 (Fig. 10a)과 CASE 121 (Fig. 10c)에서 O₃의 농도가 봄에 비해 많이 증가했다. 포항은 CASE 121에서 O₃의 농도가 봄과 비교할 때 많이 증가했다.

가을에는 세 지역 모두 CASE 111 (Fig. 11a)과 CASE 121 (Fig. 11c)에서 여름에 비해 농도가 낮다.

겨울은 군산이 CASE 111 (Fig. 12a), CASE 121 (Fig. 12c)에서 농도가 높았고, 대구는 사계절 중에서 가장 농도가 낮고 일변화의 폭도 적었으며 포항은 CASE 122에서 높은 농도를 나타내었다.

국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화

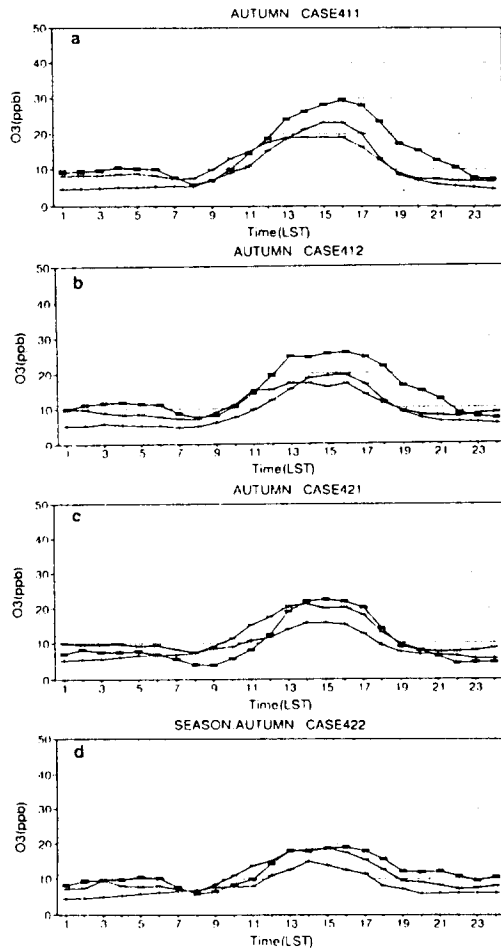


Fig. 15. Same as Fig. 13 except for in autumn.

균풍이 북풍 계열인 경우 군산은 사계절 모두 CASE 111이나 CASE 121에서 오염 농도가 높게 나타난다. 대구는 봄과 겨울에 CASE 121에서 농도가 높고, 여름은 CASE 111 가을에는 CASE 112에서 농도가 높다. 포항은 봄과 여름에는 CASE 121에서 농도가 높고, 가을에는 CASE 111과 CASE 121에서 농도가 높다.

3.2.2.2 지균풍이 서풍 계열인 경우

지균풍이 북풍 계열인 경우의 O₃ 농도의 일변화와 유사하지만, 겨울을 제외하고는 북풍 계열만큼 세 지역이 계절에 따른 농도의 일변화가 크지 않았다.

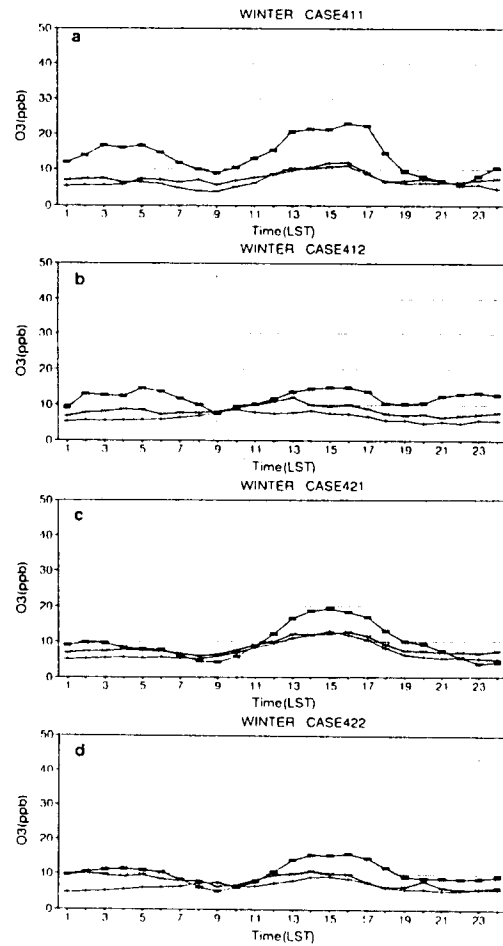


Fig. 16. Same as Fig. 13 except for in winter.

전체적으로 군산, 대구 및 포항은 O₃ 농도의 일변화가 사계절 모두 뚜렷하며, 특히 군산은 봄과 여름에 가장 높은 농도를 나타내고, 대구와 포항은 여름에 농도가 높게 나타난다.

지균풍이 서풍 계열인 경우 군산은 사계절 모두 CASE 411에서 농도가 높았다. 대구는 봄, 여름 및 가을에는 CASE 411에서 농도가 높고, 겨울에는 CASE 421에서 농도가 높았다. 포항은 봄, 가을 및 겨울에 CASE 421에서 농도가 높고, 여름에는 CASE 411에서 농도가 가장 높았다.

세 지역의 O₃ 농도의 일변화에서 두 번째 큰 대값이 생기는 형태의 차이는 배출원 활동, 기상 조건의 차이 및 오염 물질의 생성 속도와 1,

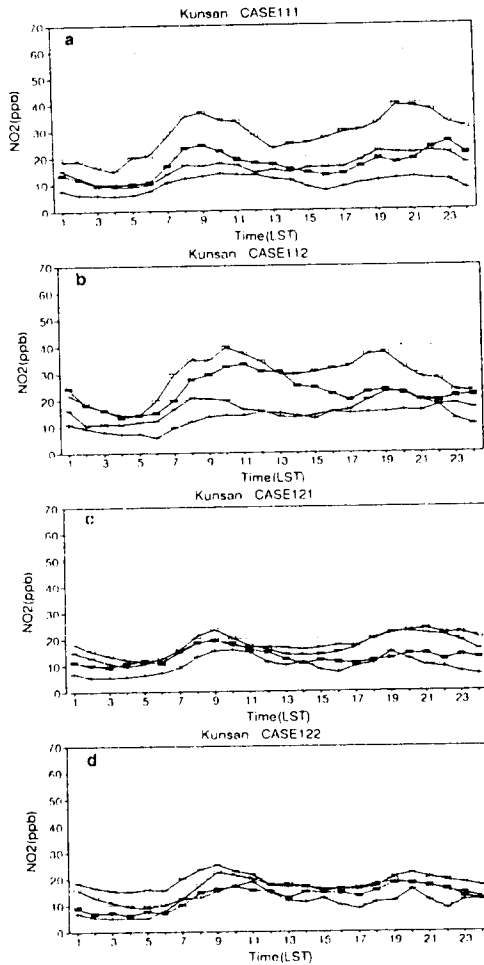


Fig. 17. Diurnal variation of the 3-year (1990-1992) averaged mean concentration of NO_2 at Kunsan in spring (—), summer (—), autumn (—), and winter (—) for the case of northerly geostrophic wind ; (a) clear day with weak wind, (b) cloudy day with weak wind, (c) clear day with strong wind, and (d) cloudy day with strong wind.

2차 오염 물질의 소비 속도에 의해 영향을 받을 것이라 생각된다.

3.2.3 NO_2 의 일변화

NO_2 의 경우 대구와 포항의 대기질 관측 지

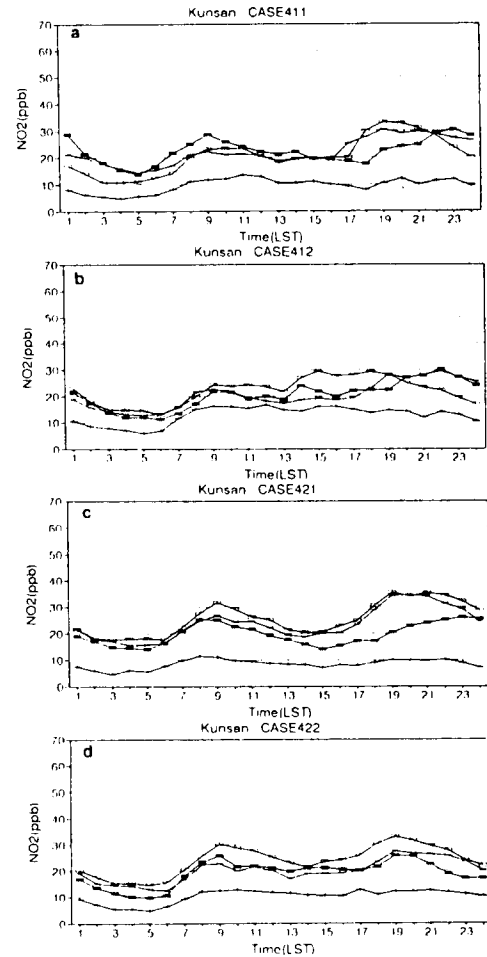


Fig. 18. Same as Fig. 17 except for the case of westerly geostrophic wind.

점에서 NO_2 에 관한 미관측일수가 많아 군산에서만 NO_2 의 농도의 일변화 경향 (Figs. 17~18)을 살펴보았다.

지균풍이 북풍 계열인 경우에 CASE 111 (Fig. 17a) 서 오염 농도가 가장 높은 겨울은 0500 LST경부터 NO_2 의 농도가 상승하여 0900 LST에 두 번째의 극대값(36.8 ppb)을 나타내며, 그 후 2000 LST에 최대값(39.0 ppb)을 나타낸다. 봄에는 0500 LST부터 NO_2 의 농도가 상승하여 0900 LST에 최대값(24.4 ppb)을 나타내고 2300 LST에 두 번째의 극대값(25.1 ppb)을 나타낸다. 가을에는 1000 LST경에 두 번째의 극대값(17.7 ppb)을 나타내고 1900 LST에 최대값(21.9 ppb)을 나타낸다. 농

도가 가장 낮은 여름에는 0500 LST부터 NO₂의 농도가 상승하기 시작하여 1000 LST에 최대값(13.8 ppb)을 나타내고, 2100 LST에 두 번째 극대값(12.0 ppb)을 나타낸다. CASE 111 (Fig. 17a)과 CASE 112 (Fig. 17b)의 비교에서 봄과 여름은 CASE 112의 농도가 더 높았고, 가을과 겨울은 농도가 서로 비슷하였다. CASE 111은 CASE 121 (Fig. 17c)보다 봄과 겨울에 NO₂의 농도가 더 높았고, 여름과 가을은 농도가 서로 비슷했다. CASE 121과 CASE 122 (Fig. 17d)의 농도 비교에서 봄과 겨울은 CASE 121의 농도가 더 높았으나, 여름과 가을은 CASE 122의 농도가 더 높았다.

지균풍이 서풍 계열인 경우는 CASE 411 (Fig. 18a)과 CASE 412 (Fig. 18b)의 비교에서 봄 때 봄과 가을은 CASE 411의 농도가 다소 높고, 여름과 겨울은 CASE 412의 농도가 더 높았다. CASE 411과 CASE 421 (Fig. 18c)의 비교에서는 봄과 여름은 CASE 411의 농도가 더 높았고, 가을과 겨울에서는 CASE 421의 농도가 더 높았다. CASE 421과 CASE 422 (Fig. 18d)의 비교에서는 봄에는 농도가 비슷하고, 여름에는 CASE 422의 농도가 다소 높으며, 가을과 겨울에는 CASE 421의 농도가 더 높았다.

CASE 122와 CASE 411을 제외하고는 NO₂의 농도가 겨울에는 가장 높게 나타났으나, 여름에는 가장 낮게 나타났다. 그리고 지균풍이 북풍 계열인 경우, CASE 111과 CASE 112의 겨울에 농도가 높게 나타났고, 봄에도 CASE 112에서 농도가 높게 나타났다. 가을에는 CASE 122에서 농도가 가장 높았다. 지균풍이 서풍 계열인 경우, 가을과 겨울에는 CASE 421에서 농도가 가장 높고, 봄에는 CASE 411에서 NO₂의 농도가 최대이다. 여름에는 농도가 서로 비슷하였다.

4. 요약 및 결론

지형적인 특성이 상이한 서해안의 군산, 동해안의 포항 그리고 내륙 분지인 대구의 대기 오염 물질 농도의 일변화를 비교해 보기 위해서 1990년 7월부터 1992년 12월까지 군산, 대구 및 포항 지방 환경청에서 관측한 대기질 자료를 비교 분석하였다.

세 도시 각각의 종관 바람장은 한반도를 중심으로 850hPa면의 지균풍을 계산하고 이 지균풍의 풍향(4방위), 풍속(2등급), 운량(2등급)에 따라 종관 기상 상태를 구분하였다. 각 종관 기상 상태에 따라 SO₂, O₃ 및 NO₂ 등의 대기질 자료의 일변화 특성을 비교·분석한 결과 중 주요한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

SO₂농도의 일변화는 종관 기상 상태별로 세 도시가 다른 특징을 나타내었다.

군산이 봄, 가을 그리고 지균풍이 서풍 계열이고 바람이 강하게 부는 맑은 날의 겨울에는 최대값이 0900 LST에 나타났고, 두 번째의 극대값이 1700 LST경에 나타났지만 그 외는 1700 LST경에 최대값이 나타났다. 대구는 일출 후 약 2-3시간 뒤에 최대값이 나타나며 일몰 3-4시간 후에 두 번째의 극대값이 나타나는 일변동을 보였다. 포항은 1900 LST에서 2000 LST사이에서 최대값이 나타났다.

O₃ 농도의 일변화는 사계절 모두 뚜렷하며, 특히 군산은 봄과 여름에 가장 높은 오염 농도를 나타내고, 대구와 포항은 여름에 오염 농도가 높게 나타났다. 봄에 군산과 대구는 O₃농도가 1600 LST에서 1700 LST사이에 최고 농도를 나타내고 2200 LST를 지나면서 농도가 낮아졌다. 포항은 1400 LST경에 최고 농도를 나타내고 2100 LST를 지나면서 농도가 낮아졌다. 여름에는 바람이 약하고 맑은 날에 세지역 모두가 1400 LST에서 1500 LST사이에 최고 농도를 나타내며 바람이 강하고 맑은 날은 세지역이 1500 LST에서 1700 LST 사이에 농도가 높게 나타났다.

NO₂농도의 경우에 군산의 일변화 경향을 살펴보면 0800 LST에서 1000 LST사이와 일몰 후 2-3시간 뒤에 2개의 극대값이 나타나고 있다. 반면에 극소값은 0400 LST에서 0500 LST와 1500 LST 전후에 나타난다. 이 변화 양상은 군산의 O₃농도의 일변화 양상과 거의 반대 경향을 보이고 있다.

감사의 글

대기오염자료를 제공해주신 서울대학교의 박순웅교수님께 감사드립니다. 이 연구는 1996년도 한국학술진흥재단 기초과학연구소 학술연구조성비 지원(BSRI-96-5401)으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 김지영, 민경덕, 김경익, 윤일회, 이광복, 1995, 보현산 정상상의 바람 특성, 한국지구과학회지, 16(2), 104-116.
- 민경덕, 김경익, 윤일회, 이인숙, 1994, 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발 : I, 도시 기온 및 상대 습도의 수평 분포, 한국기상학회지, 30(2), 289-301.
- 박순웅, 1994, 라그랑지 입자 확산 모델을 이용한 오염 물질의 농도 추정, 한국 기상학회지, 30(1), 1-20.
- 박순웅, 윤일회, 1991, 한반도의 국지 기상 특성, 한국 기상 학회지, 27(20), 88-92.
- 박영연, 1990, 서울에서의 겨울철 도시 기후에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사 학위 논문, 85pp.
- 박영산, 박순웅, 1991, 한반도 해안 지역의 봄철 국지 기상 특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 27(2), 67-86.
- 박일수, 1990, 서울 지역 겨울철 SO₂농도의 지배인자에 관한 연구, 연세대학교 대학원 박사 학위 논문, 77pp.
- 송은영·윤일회, 1995, 종관 바람장에 따른 대구시의 계절별 대기질의 일변화, 한국환경과학회지, 5(2), 113-130.
- 윤일회, 1991, 지상 관측 자료를 이용한 한반도의 대기질 추정, 서울대학교 대학원 박사 학위 논문, 110.
- 윤일회, 민경덕, 김경익, 1994 : 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 개발 : II. 도시 열섬 현상에 관한 사례 연구, 한국 기상 학회지, 30(2), 303-313.
- 윤일회, 이해경, 1994 : 대구 지역의 기상 특성 연구 및 대기 확산 모델의 적용 : III. 종관 바람장을 이용한 국지 기상 특성, 한국 지구 과학회지, 15(4), 259-271.
- 일본기상청, 1989.1-1992.12, 850hPa 2100 LST 인체일기도.
- 장근일, 1991, 서울시의 3차원 바람 구조의 특징, 서울대학교 대기과학과 석사학위논문, 66pp.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산 지역의 SO₂농도 변화 특성에 관한 고찰, 한국 대기 보전 학회지, 10(4), 245-251.
- 전병일, 김유근, 이화운, 1995, 부산 지역의 O₃농도 특성과 기상 인자에 관한 연구, 한국 대기 보전 학회지, 11(1), 45-55.
- Chung, Y. S., 1977, Ground-level ozone and regional transport of air pollution, J. Appl. Meteor., 16, 1127-1135.
- Edmonds, R. L., and Basabe, F. A., 1989, Ozone concentrations above a douglas-fir forest canopy in Western Washington, U.S.A., Atmos. Env., 23, 625-631.
- Gifford, F. A., 1972, The Simple ATDL Urban Diffusion Model, Proceedings of the Fourth Meeting of the NATO/CCMS Expert Panel on Air Pollution Modeling, Paris.
- Hanna, S. R., 1973, Urban Air Pollution Models-Why?, Proceedings of Nordic Symposium on Air Pollution Modeling, Vedbeck, Denmark.
- Ku, J. Y., S. T. Rao and K. S. Rao, 1987, Numerical simulation of our pollution in urban areas : Model development, Atmos. Env., 21, 201-212.
- Niccum, E. M., D. E. Lehrman and W. R. Knuth., 1995, The influence of meteorology on the air quality in the San Luis Obispo Country-Southwestern San Joaquin Valley region for 3-6 August 1990, J. Appl. Meteor., 34, 1834-1847.
- Ragland, K. W., 1973, Multiple box model for dispersion of air pollutants from area sources, J. Atmos. Environ., 7, 1017-1032.
- Shreffler, J.M., and R.B. Evans., 1982, The surface ozone record from regional air pollution study 1975-1976, Atmos. Env., 16, 1311-1321.