

기상인자가 대기오염에 미치는 영향

어수미 · 김광진 · 이규남
서울시보건환경연구원

The Influence of Climatic Conditions on Air Pollution in Seoul

Soo-mi Eo, Kwang-jin Kim and Kyu-nam Lee
Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment

ABSTRACT

This study was carried out to research the influence of climatic conditions including wind direction, wind speed on air pollution in Seoul. The data were obtained from the 4 sites of air pollution monitoring stations in Seoul from '95 to '96, and analyzed statistically by SAS program.

The results were as follows:

1. The prevailing wind directions by season in each site were as follows:

Nangajwa-dong were showed SE in spring, fall, winter and WNW in summer. Ssangmun-dong were showed NW in spring, fall, winter and NNE in summer. Kuro-dong were showed SW in spring, summer, ENE in fall and NW in winter. Bangi-dong were showed WNW in four seasons.

2. The concentrations of 5 kinds(SO₂, Dust, NO_x, CO, THC) of air pollutants were relatively low in west wind. In case of O₃, was opposite.

3. The concentrations of 5 kinds of air pollutants were increase with decreasing wind speeds.

4. The washing effects of air pollution by rain were significant.

The concentrations of 5 kinds of air pollutants were high when the humidity were 61-80%, and low as it were 0-20%. In case of O₃, was opposite.

5. All of air pollutants concentrations but O₃, were high when the UV intensity level and temperature within the range of above zero were low level.

Keywords : Air pollution, Climatic conditions, Wind direction, Wind speed

I. 서 론

도시지역의 대기오염 농도를 지배하는 요인중에서 대기오염물질 배출원을 제외하고 가장 영향을 많이 주는 요소는 기상인자로 알려져 있으며, 기상인자중 특히 풍향 및 풍속등이 대기오염물질 이동에 영향을 주고 있다.

서울의 풍향 및 풍속의 특성을 살펴보면, 서울을 포함한 수도권 지역은 주로 시베리아-중국의 대륙성 기후대와 남태평양의 온습한 해양성 기후대의 상호 작용에 의한 영향을 많이 받고 있으며, 주풍향은 과거 10년간 큰 차이 없이 북동풍과 동북동풍 계열과 서풍 및 서남서풍계열이 각 25-32%와 22-33%의 빈

도를 차지하고 있다. 풍속은 과거 10년간 년평균 2.5 m/sec로 비교적 낮았다.¹⁾ 특히 Beufort의 풍속등급 표에 의해 풍속이 0.2 m/sec이하인 정온(calm)상태가 '92년에 7.2%, '94년에 3.7%, '96년에 8.5%이며²⁾, 풍향계 감지한계이하인 1등급(1.5 m/sec) 이하가 전체의 40%안팎을 차지하고 있어 서울은 풍속면에서 대기오염의 확산에 매우 불리한 지역이다. 더욱이 서울은 북쪽에 북한산과 도봉산, 북동쪽에 수락산과 불암산, 동쪽에 아차산, 남쪽에 관악산, 청계산 등이 자리잡고 있어서 서쪽이 열려있는 역드자형(그) 구조를 갖고 있어서 서쪽 또는 북서쪽에서 운반되어온 오염물질이나 서울에서 발생된 오염물질이 정제되기 쉬운 지형구조를 갖고 있다.³⁾

또한 풍속, 일사량, 운량 및 운고자료를 이용하여 Pasquill의 분류에 따른 대기안정도를 산출한 결과 '88-92년간 약한 안정 및 안정상태가 45.1-46.2%로 서울지역의 대기안정도가 대기오염 측면에서 불리한 특성을 갖고 있다고 하였다.¹⁾

서울의 대기오염 현황은 점차 선진국형화 되어 아황산가스 및 먼지는 '84년에 비해 '93년에 64.8%, 58.1%가 감소한 반면, 이동오염원 급증으로 인해 이산화 질소 및 오존은 10.7%, 62.3%의 증가율을 나타냈다.¹⁾

이렇듯 서울은 지형학적으로, 기상학적으로 대기오염물질 확산에 불리한 조건을 갖고 있으며, 대기오염의 특성도 점차 2차오염물질쪽으로 증가하고 있어 자동차 배기가스의 규제가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 서울시에서 관리 운영중인 10개의 대기오염 자동측정소중 지역별로 4개 측정소를 선정하여 매 시간별로 측정된 기상자료 및 대기오염물질 농도 측정자료를 이용하여 이들 기상인자가 대기오염에 미치는 영향을 규명하고, 향후 서울시 대기오염 저감대책을 수립하는데 활용하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 연구방법

서울시 소재 대기오염측정소중 Table 1과 같이 북서, 북동, 남서, 남동지역에서 대표지점 1곳씩 선정하여 '95, '96년 2년간 측정된 시간별 대기오염물질 농도자료 및 기상자료를 이용하였으며, 각 항목별로 구분하여 SAS program을 이용하여 통계처리 하였다.

기상인자는 풍향, 풍속, 습도, UV, 온도를 이용하였으며, 대기오염물질은 SO₂, Dust, NO_x, CO, THC, O₃

Table 1. The site of air pollution monitoring system in Seoul

| Area | Site | Address |
|-----------|---------------|------------------------------------|
| Northwest | Namgajwa-dong | 250-6, Namgajwa-dong, Seodaemun-gu |
| Northeast | Ssangmun-dong | 156-3, Ssangmun 3-dong, Dobong-gu |
| Southwest | Kuro-dong | 199-2, Kung-dong, Kuro-gu |
| Southeast | Bangi-ding | 88, Bangi-dong, Songpa-gu |

의 자료를 이용하였다. 또한 강수 전후의 대기오염물질 세정효과를 살펴보기 위해 강수일은 기상청의 기상자료를 이용하였다.²⁾

III. 연구결과 및 고찰

각 측정소별 기상인자의 특성과 기상인자별 대기오염물질 농도의 변화 특성을 살펴본 결과 다음과 같았다.

1. 풍향

각 측정소별 '96년 계절별 풍향은 Fig. 1-4의 풍배도와 같이 측정소별로 차이가 있었다. 우선 풍속이 0.2 m/sec 이하인 정온(calms)의 비율은 방이동이 비교적 높아 11.9-22.9%를 나타냈으며, 남가좌동과 쌍문동이 '96년 기상청측정에서 정온비율 8.5% 비해 비교적 낮게 나타났다. 또한 구로동은 계절별로 큰 차이를 나타내 봄, 겨울에는 정온이 없는 반면 가을에 24.3%의 높은 정온비율을 나타냈다.

지점별 계절별 주풍향은 남가좌동이 봄에 ESE,

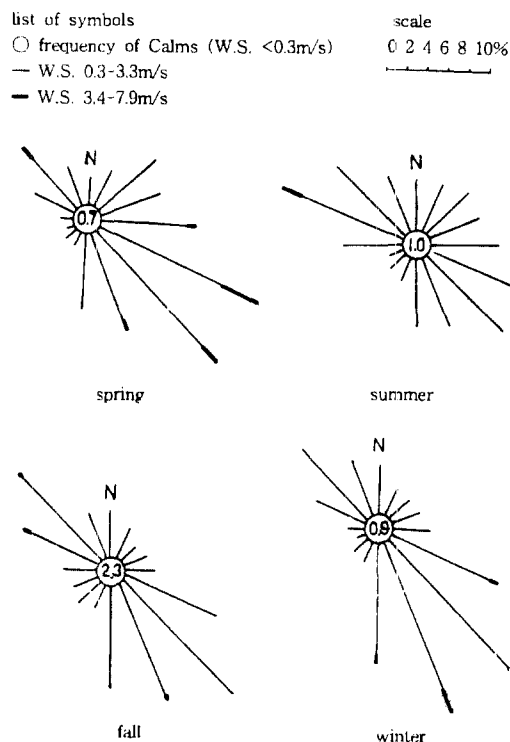


Fig. 1. The seasonal wind rose at Namgajwa-dong in '96

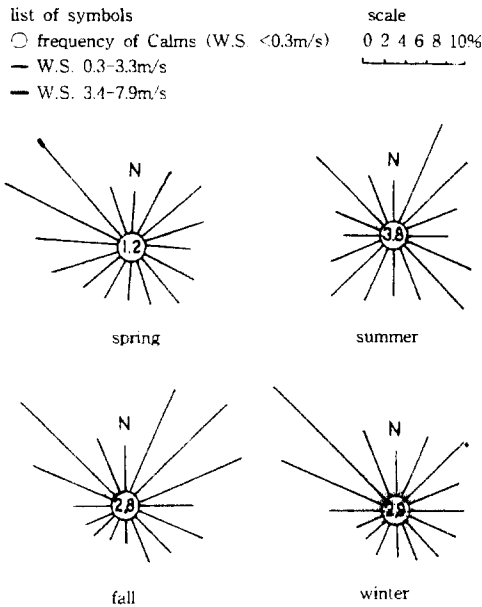


Fig. 2. The seasonal wind rose at Ssangmun-dong in '96

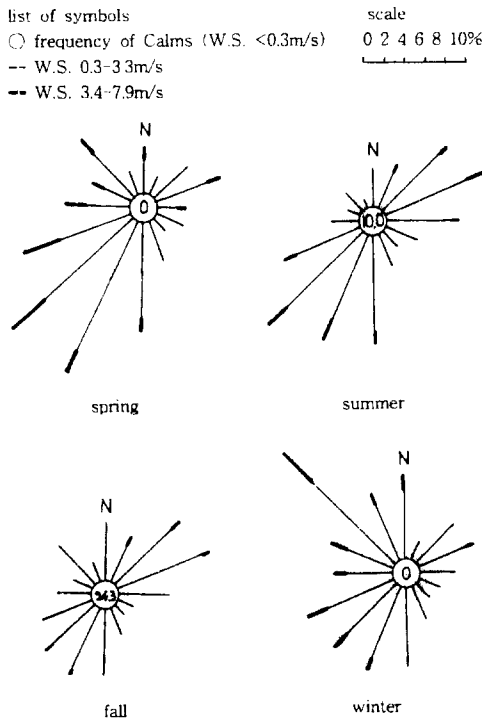


Fig. 3. The seasonal wind rose at Kuro-dong in '96

가을에 SE, 겨울에 SSE로 주로 남동풍이 불았으며, 여름에는 WNW의 주풍향을 나타냈다. 쌍분동은 봄

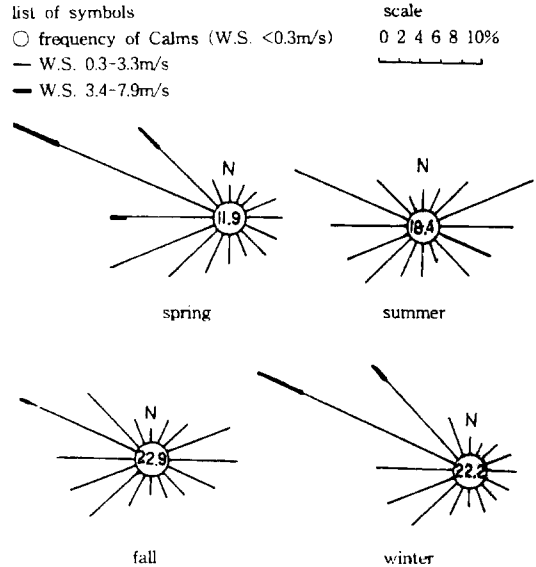


Fig. 4. The seasonal wind rose at Bangi-dong in '96

에 WNW, 가을, 겨울에 NW로 북서풍의 주풍향을 나타냈으며, 여름에는 NNE의 주풍향을 나타냈다. 구로동은 봄에는 SSW, 여름에는 SW로 남서풍의 주풍향을 나타내다가 가을에는 ENE, 겨울에는 NW의 주풍향을 나타냈다. 방이동은 사계절 모두 WNW의 주풍향을 나타내 계절별 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

또한 풍향별 대기오염물질의 농도변화를 살펴보기 위해 16가지 풍향을 편의상 4가지 즉 동, 서, 남, 북으로 분류하였는데 NNW, N, NNE, NE는 N으로, ENE, E, ESE, SE는 E로, SSE, S, SSW, SW는 S로, WSW, W, WNW, NW는 W로 묶었으며, 풍속 0.2 m/sec이하의 정온은 따로 분류하였다. 각 측정소별 풍향에 따른 대기오염물질 6가지 즉, SO₂, Dust, NO_x, CO, THC, O₃의 농도 차이는 Table 2-5와 같이 대부분 지점에서 오존을 제외한 5가지 오염물질의 농도가 풍속이 낮은 정온일 때 가장 높았으며, 오존은 오히려 바람이 다소 존재하는 편이 농도가 높았는데 이는 반응물질의 혼합작용의 촉진 또는 기류이동 등의 원인으로 추측되며 이는 전동²⁾, 이동³⁾의 결과와도 일치하는 것이다. 지점별로 풍향별 대기오염물질 농도변화는 정온일때를 제외하고는 다음과 같았다.

북서지역인 남가좌동은 Table 2와 같이 오존을 제외한 5항목에서 '95, '96년 모두 북풍일 때 비교적 높

고, '95년에는 동풍일 때, '96년에는 남풍일 때 비교적 낮게 나타났으며, 오존은 이와 반대로 '95, '95년 모두 동풍일 때 높고 북풍일 때 낮게 나타났다. 북동

지역인 쌍문동은 Table 3과 같이 동풍일 때 비교적 높고 서풍일 때 비교적 낮게 나타났으며, 오존은 서풍일 때 높게 나타났다.

Table 2. The result from significance(ANOVA)test between wind direction and air pollutant concentrations in Namgajwa-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (the average concentrations of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|--|------------|------------|-------------|-------|---------|------------|
| SO _x | '95 | CA(0.025) >>N(0.018) | >W(0.018) | >S(0.018) | >>E(0.013) | 41.42 | 0.0001 | |
| | n(%) | 113(1.4) | 2523(31.5) | 1633(20.4) | 1525(19.0) | | | 2216(27.7) |
| | '96 | CA(0.015) >N(0.015) | >>E(0.013) | >>W(0.011) | >>S(0.010) | 57.63 | 0.0001 | |
| | n(%) | 99(1.2) | 1412(17.1) | 2973(36.0) | 1807(21.9) | | | 1962(23.8) |
| Dust (TSP) | '95 | CA(119.5) >>N(88.2) | >W(86.0) | >S(85.4) | >E(84.6) | 8.34 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(113.8) >>N(83.7) | >E(83.6) | >>W(67.4) | >S(66.2) | | | 73.69 |
| NO _x | '95 | CA(0.042) >>N(0.035) | >S(0.033) | >W(0.033) | >E(0.032) | 13.02 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(0.040) >>N(0.035) | >E(0.034) | >>W(0.029) | >S(0.029) | | | 85.87 |
| CO | '95 | CA(2.449) >>W(1.541) | >>S(1.397) | >>N(1.273) | >>E(1.075) | 81.40 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(2.296) >>N(1.365) | >W(1.290) | >>E(1.069) | >>S(0.969) | | | 123.09 |
| THC | '95 | CA(3.829) >>N(3.237) | >>E(3.016) | >W(2.984) | >>S(2.817) | 41.31 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(3.629) >>E(2.889) | >>N(2.614) | >S(2.568) | >W(2.539) | | | 84.19 |
| O ₃ | '95 | E(0.012) >>S(0.009) | >W(0.009) | >>N(0.007) | >>CA(0.005) | 90.29 | 0.0001 | |
| | '96 | E(0.013) >S(0.012) | >W(0.012) | >>N(0.010) | >>CA(0.007) | | | 28.55 |

Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)
 Abb. : CA; calm E; east W; west S; south N; north
 >> : Showed significance statistically

Table 3. The result from significance(ANOVA)test between wind direction and air pollutant concentrations in Ssangmun-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentrations of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|--|------------|------------|-------------|--------|---------|------------|
| SO _x | '95 | E(0.035) >>CA(0.029) | >>N(0.026) | >>S(0.017) | >>W(0.013) | 382.21 | 0.0001 | |
| | n(%) | 1870(21.5) | 288(3.3) | 2231(25.7) | 1534(17.7) | | | 2763(31.8) |
| | '96 | E(0.022) >>CA(0.021) | >>N(0.019) | >>S(0.014) | >>W(0.010) | 227.18 | 0.0001 | |
| | n(%) | 2009(23.2) | 245(2.8) | 2352(27.2) | 1354(15.6) | | | 2698(31.2) |
| Dust (PM-10) | '95 | E(123.0) >>CA(112.5) | >>S(89.7) | >N(89.6) | >>W(70.4) | 169.66 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(100.1) >E(98.8) | >>S(90.8) | >>N(77.7) | >>W(69.4) | | | 86.79 |
| NO ₂ | '95 | CA(0.043) >E(0.043) | >>S(0.036) | >N(0.035) | >>W(0.030) | 158.88 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(0.050) >>E(0.048) | >>S(0.046) | >>N(0.041) | >>W(0.037) | | | 129.94 |
| CO | '95 | CA(1.724) >>E(1.406) | >>N(0.982) | >>S(0.764) | >>W(0.677) | 311.30 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(1.716) >>E(1.309) | >>S(1.076) | >N(1.047) | >>W(0.861) | | | 158.95 |
| THC | '95 | CA(3.052) >E(3.030) | >>N(2.833) | >>S(2.733) | >>W(2.656) | 218.22 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(2.789) >>E(2.589) | >>N(2.479) | >S(2.454) | >>W(2.318) | | | 161.58 |
| O ₃ | '95 | W(0.028) >>S(0.019) | >>N(0.016) | >>E(0.013) | >>CA(0.009) | 336.77 | 0.0001 | |
| | '96 | W(0.030) >>S(0.021) | >>E(0.017) | >N(0.016) | >>CA(0.008) | | | 263.85 |

- Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)
 - Abb. : CA; calm E; east W; west S; south N; north
 >> : Showed significance statistically

남서지역인 구로동은 Table 4와 같이 북동지역과 남풍일 때 비교적 낮게 나타났으며, 오존은 서풍일 때 유사한 형태를 나타내 동풍일 때 비교적 높고, 서풍과 높게 나타났는데 이는 수도 서울의 서쪽에 위치한 인

Table 4. The result from significance(ANOVA)test between wind direction and air pollutant concentrations in Kuro-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentrations of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value | |
|-------------------------|------|--|------------|------------|-------------|-------------|------------|---------|--|
| SO ₂ n(%) | '95 | CA(0.037) | >>N(0.021) | >E(0.019) | >W(0.019) | >S(0.019) | 9.08 | 0.0001 | |
| | '96 | N(0.013) | >>W(0.012) | >S(0.012) | >>CA(0.010) | >E(0.010) | | | |
| | | n(%) | 17(0.3) | 845(12.7) | 1056(15.9) | 1941(29.2) | 2781(41.9) | | |
| Dust (PM-10) | '95 | CA(79.2) | >>E(65.5) | >S(63.9) | >W(59.4) | >N(59.4) | 8.53 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(82.2) | >>S(63.5) | >E(63.3) | >N(61.2) | >W(59.8) | | | |
| | | n(%) | 1124(17.6) | 1506(23.6) | 2265(35.4) | 435(6.8) | 1060(16.6) | | |
| NO _x | '95 | E(0.038) | >>S(0.029) | >N(0.028) | >CA(0.028) | >W(0.023) | 134.48 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(0.039) | >>E(0.036) | >>N(0.034) | >S(0.033) | >>W(0.030) | | | |
| | | n(%) | 1124(17.6) | 1506(23.6) | 2265(35.4) | 435(6.8) | 1060(16.6) | | |
| CO | '95 | CA(1.789) | >>E(1.285) | >>N(0.882) | >S(0.849) | >W(0.750) | 129.74 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(1.202) | >>E(1.117) | >>N(0.905) | >>S(0.791) | >>W(0.696) | | | |
| | | n(%) | 1124(17.6) | 1506(23.6) | 2265(35.4) | 435(6.8) | 1060(16.6) | | |
| THC | '95 | CA(4.572) | >>E(3.167) | >N(2.901) | >W(2.854) | >S(2.689) | 42.30 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(3.306) | >>E(3.010) | >>S(2.695) | >N(2.688) | >>W(2.576) | | | |
| | | n(%) | 1124(17.6) | 1506(23.6) | 2265(35.4) | 435(6.8) | 1060(16.6) | | |
| O ₃ | '95 | W(0.016) | >>S(0.012) | >N(0.010) | >E(0.006) | >CA(0.005) | 93.11 | 0.0001 | |
| | '96 | W(0.015) | >>S(0.013) | >>E(0.009) | >>N(0.008) | >>CA(0.004) | | | |
| | | n(%) | 1124(17.6) | 1506(23.6) | 2265(35.4) | 435(6.8) | 1060(16.6) | | |

Unit of concentration : ppm (Dust : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Abb. : CA: calm E: east W: west S: south N: north
 >> : Showed significance statistically

Table 5. The result from significance(ANOVA)test between wind direction and air pollutant concentrations in Bangi-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentrations of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value | |
|-------------------------|------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|---------|--|
| SO ₂ n(%) | '95 | CA(0.012) | >>N(0.011) | >>E(0.010) | >S(0.010) | >>W(0.009) | 23.76 | 0.0001 | |
| | '96 | S(0.009) | >N(0.009) | >>CA(0.008) | >>E(0.007) | >W(0.007) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |
| Dust (PM-10) | '95 | CA(78.4) | >>E(62.7) | >S(62.3) | >N(59.9) | >>W(51.8) | 117.99 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(73.4) | >>S(66.6) | >>E(55.6) | >W(53.8) | >N(52.9) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |
| NO _x | '95 | CA(0.039) | >>W(0.034) | >N(0.034) | >S(0.033) | >>E(0.031) | 34.83 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(0.043) | >>S(0.040) | >>W(0.038) | >>N(0.036) | >>E(0.033) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |
| CO | '95 | CA(1.535) | >>E(1.031) | >N(1.026) | >S(1.016) | >>W(0.824) | 245.24 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(1.412) | >>S(1.066) | >>N(0.889) | >>E(0.846) | >>W(0.801) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |
| THC | '95 | CA(3.079) | >>S(2.766) | >>E(2.659) | >>N(2.584) | >W(2.544) | 90.11 | 0.0001 | |
| | '96 | CA(2.816) | >>S(2.605) | >>W(2.547) | >E(2.530) | >>N(2.496) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |
| O ₃ | '95 | W(0.019) | >>E(0.018) | >>N(0.015) | >>S(0.013) | >>CA(0.006) | 151.08 | 0.0001 | |
| | '96 | W(0.023) | >>E(0.021) | >>N(0.017) | >>S(0.014) | >>CA(0.006) | | | |
| | | n(%) | 1162(13.5) | 949(11.0) | 1504(17.5) | 1538(17.8) | 3465(40.2) | | |

Unit of concentration : ppm (Dust : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 Abb. : CA: calm E: east W: west S: south N: north
 >> : Showed significance statistically

천, 부천 공단등에서 배출되는 오염물질등이 오존의 전구물질로써 서울지역으로 이동되어 유입되기 때문으로 김⁽⁶⁾과 이 등⁽⁷⁾에 의하여 지적되고 있다. 남동지역인 방이동은 Table 5와 같이 '95년에는 풍향별 오염도의 특성을 보이지 않다가 '96년에는 남풍에서 비교적 높고 서풍에서 비교적 낮게 나타났다. 오존은 이와 반대로 서풍에서 높고, 남풍에서 낮게 나타났다.

이렇듯 지역별로 풍향별 대기오염물질 농도를 살펴본 결과 오존을 제외한 5가지 오염물질의 농도는 북서지역을 제외하고는 서풍에서 비교적 낮게 나타났는데, 이는 풍향별 풍속과도 관련이 있는 것으로 사료되어 각 풍향별 풍속을 살펴본 결과 Table 6과 같이 서풍일 때 비교적 풍속이 높아 이와 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한 오존은 이와 반대로 풍속이 비교적 낮은 동풍에서 낮고, 풍속이 비교적 높은 서풍에서 가장 높게 나타났다.

2. 풍속

각 측정소별 풍속은 Table 6과 같이 모두 기상청

에서 측정된 풍속('95년평균 2.3 m/sec, '96년평균 2.2 m/sec)에 비해 낮았다. 특히 방이동이 낮게 나타났는데 이는 기상청과 측정소의 고도차와 측정소의 주변환경 및 풍속에 영향을 미치는 주변건물 및 수목 등의 영향에서 기인하는 것으로 사료된다.

풍속에 따른 대기오염물질 농도변화를 살펴보기 위해 풍속을 5가지로 분류하였는데 우선 0.2 m/sec 이하의 정온을 group 0, 0.3-1.0 m/sec를 group 1, 1.1-2.0 m/sec를 group 2, 2.1-3.0 m/sec를 group 3, 3.1 m/sec 이상을 group 4로 하여 이들 풍속별 대기오염물질 농도를 살펴본 결과 Table 7과 같이 남가좌동에서 오존을 제외한 5가지 항목 모두 풍속이 낮을수록 높고 풍속이 높아지면서 낮아졌다. 오존은 이와 반대로 풍속이 높을수록 높게 나타났으며, 다른 지역도 모두 이와 같은 경향을 나타내 본 논문에는 게재하지 않았다.

3. 강수 및 습도

강수에 의한 대기오염물질의 세정효과를 살펴보

Table 6. The wind speed(m/sec) by wind direction in each site of air pollution monitoring stations in Seoul

| W.D. | Nangjwa-dong | | Ssangmun-dong | | Kuro-dong | | Bangi-dong | |
|------|--------------|------|---------------|------|-----------|------|------------|------|
| | '95 | '96 | '95 | '96 | '95 | '96 | '95 | '96 |
| Calm | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.11 | 0.14 | 0.13 |
| NNW | 1.51 | 1.50 | 1.11 | 1.05 | 2.35 | 2.22 | 0.66 | 0.93 |
| N | 1.74 | 1.37 | 0.93 | 0.85 | 1.20 | 1.91 | 0.53 | 0.68 |
| NNE | 1.73 | 1.35 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 2.12 | 0.67 | 0.74 |
| NE | 1.80 | 1.43 | 0.97 | 1.02 | 0.82 | 2.06 | 0.81 | 0.91 |
| mean | 1.69 | 1.41 | 1.15 | 0.98 | 1.35 | 2.08 | 0.67 | 0.81 |
| ENE | 1.80 | 1.51 | 0.95 | 1.03 | 1.15 | 2.15 | 0.95 | 1.14 |
| E | 1.72 | 1.55 | 0.89 | 1.04 | 1.21 | 1.95 | 0.92 | 1.15 |
| ESE | 1.68 | 1.73 | 0.99 | 1.01 | 1.36 | 1.73 | 0.84 | 1.12 |
| SE | 1.67 | 1.75 | 0.97 | 1.04 | 1.60 | 1.71 | 0.75 | 1.04 |
| mean | 1.72 | 1.63 | 0.95 | 1.03 | 1.33 | 1.88 | 0.86 | 1.11 |
| SSE | 1.73 | 1.83 | 1.05 | 1.01 | 1.40 | 1.67 | 0.67 | 0.79 |
| S | 1.61 | 1.78 | 1.10 | 1.03 | 1.06 | 1.91 | 0.66 | 0.72 |
| SSW | 1.45 | 1.06 | 1.33 | 1.23 | 1.12 | 2.04 | 0.65 | 0.70 |
| SW | 1.33 | 1.01 | 1.62 | 1.41 | 1.62 | 2.35 | 0.65 | 0.70 |
| mean | 1.53 | 1.42 | 1.27 | 1.71 | 1.30 | 1.99 | 0.66 | 0.73 |
| WSW | 1.29 | 1.31 | 1.67 | 1.36 | 1.86 | 2.42 | 0.75 | 0.92 |
| W | 1.45 | 1.61 | 1.32 | 1.28 | 1.58 | 2.37 | 0.91 | 1.23 |
| WNW | 1.67 | 1.90 | 1.50 | 1.54 | 1.32 | 2.16 | 1.42 | 1.98 |
| NW | 1.58 | 1.77 | 1.50 | 1.48 | 1.77 | 2.24 | 1.46 | 1.73 |
| mean | 1.50 | 1.65 | 1.50 | 1.41 | 1.63 | 2.30 | 1.13 | 1.46 |

Table 7. The result from significance(ANOVA)test between wind speed and air pollutant concentrations in Nam-gajwa-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentration of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|---|------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| SO ₂ | '95 | 0(0.025) | >>1(0.024) | >>2(0.016) | >>3(0.011) | >>4(0.008) | 269.71 | 0.0001 |
| | n | 113 | 2366 | 3197 | 1705 | 629 | | |
| | '96 | 0(0.015) | >>1(0.015) | >>2(0.012) | >>3(0.009) | >>4(0.007) | 143.04 | 0.0001 |
| | n | 99 | 2439 | 3424 | 1610 | 681 | | |
| Dust (TSP) | '95 | 0(119.5) | >>1(110.6) | >>2(87.8) | >>3(62.9) | >>4(49.4) | 217.85 | 0.0001 |
| | '96 | 0(113.8) | >>1(94.8) | >>2(76.4) | >>3(57.2) | >>4(48.8) | 224.97 | 0.0001 |
| NO _x | '95 | 0(0.042) | >>1(0.041) | >>2(0.034) | >>3(0.026) | >>4(0.021) | 319.21 | 0.0001 |
| | '96 | 0(0.040) | >>1(0.039) | >>2(0.033) | >>3(0.025) | >>4(0.019) | 476.82 | 0.0000 |
| CO | '95 | 0(2.447) | >>1(2.016) | >>2(1.186) | >>3(0.763) | >>4(0.582) | 613.96 | 0.0000 |
| | '96 | 0(2.296) | >>1(1.651) | >>2(1.093) | >>3(0.748) | >>4(0.575) | 567.44 | 0.0000 |
| THC | '95 | 0(3.829) | >>1(3.529) | >>2(2.976) | >>3(2.616) | >>4(2.441) | 210.53 | 0.0001 |
| | '96 | 0(3.629) | >>1(3.162) | >>2(2.622) | >>3(2.328) | >>4(2.224) | 329.54 | 0.0001 |
| O ₃ | '95 | 4(0.014) | >>3(0.013) | >>2(0.009) | >>1(0.006) | >>0(0.005) | 283.73 | 0.0001 |
| | '96 | 4(0.015) | >>3(0.015) | >>2(0.012) | >>1(0.009) | >>0(0.007) | 131.41 | 0.0001 |

Unit of concentration : ppm (Dust : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

· Group of wind speed(m/sec) : 0(0-0.2), 1(0.3-1.0), 2(1.1-2.0), 3(2.1-3.0), 4(over 3.1)

>> : Showed significance statistically

기 위해 강수량에 따라 세가지로 구분하여 강수전 이틀과 강수일, 강수후 이틀간의 대기오염물질의 농도 차이를 통계처리하였으며, 강수일은 대기오염 세정능력에 영향을 주지않는 범위, 즉, 강수 전후에 적어도 3일간 다른 강수로 인한 세정효과가 없는날을 선택하였다. 강수일은 강수량에 따라 1.1-5.0 mm, 5.1-10.0 mm, 10.1 mm 이상의 3가지로 구분하였으며, '95, '96년 2년간 다른 강수의 영향이 없는날을 선택하였으며, 자료는 기상청의 기상월보²⁾를 이용하였고, 대기오염물질 농도자료는 10개 측정소의 자료를 평균하여 통계처리하였다.

우선 1.1-5.0 mm의 강수효과는 Table 8과 같이 강수전일에 오존을 제외한 5항목의 농도가 가장 높았고, 그 다음이 강수일>강수 2일전>강수 2일후>강수 다음날로 강수 다음날이 가장 적게 나타났고, 강수일이 강수 2일전보다 높게 나타나 약간의 세정효과를 나타냈다. 또한 오존은 강수일에 가장 적었으며, 강수 다음날에 가장 높게 나타났다. 강수 5.1-10.0 mm 일때의 세정효과는 1.1-5.0 mm 일때보다 세정효과가 더 좋아져 강수 전후의 차이가 확실하게 나타났다. 즉 강수 2일전>강수전일>강수일>강수 2일후>강수 다음날로 강수일이 강수 2일전보다 낮았으며, 오존은 강수후에 더 높아졌다. 강수 10.1

mm 이상일때는 강수당일의 세정효과가 더 높아 강수전일 또는 강수 2일전>강수 2일후>강수일>강수 다음날로 강수일이 강수 2일후보다 더 낮게 나타났다. 또한 오존은 10.0 mm 이하일때와 약간의 차이를 나타내 강수후보다 강수전에 더 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었으며, 강수당일에 유의하게 낮게 나타났다.

습도에 따른 대기오염물질의 농도차이를 살펴보기 위해 습도를 5가지로 분류하여 통계처리하였다. 즉, 습도가 0-20%일 때 group 1, 21-40%일 때 group 2, 41-60%일 때 group 3, 61-80%일 때 group 4, 81% 이상일 때 group 5로 분류하여 각 습도별 농도차이를 살펴보았으며, 4개 지역의 결과를 모두 게재할 수 없어 구로동 결과만 수록한 결과 Table 9와 같다. 여기서 습도별로 구로동은 group 4일 때 가장 높게 나타났으며, group 1일 때 가장 낮았다. 그외 대부분 지역에서 오존을 제외한 5항목에서 group 3와 4에서 높게 나타나고, group 1에서 낮게 나타났다. 그러나 지역마다 약간의 차이가 있었으며 뚜렷한 특성을 찾아보기 어려웠다. 하지만 오존은 모든지역에서 group 1>2>3>4>5의 매우 유의한 차이를 나타내 습도가 낮을수록 즉, 건조할수록 오존농도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

Table 8. The result from significance(ANOVA)test between the amount of rain and air pollutant concentrations in Seoul from '95 to '96

| Amount (mm) of rain per day | Air pollutant | The result from ANOVA test (The average concentration of air pollutant) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------------------|-----------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|
| | | B1 | R | B2 | A2 | A1 | | |
| 1.1-5.0 (n=11) | SO ₂ | B1(0.020) | >>R(0.019) | >>B2(0.016) | >>A2(0.014) | >>A1(0.011) | 178.31 | 0.0001 |
| | Dust | B1(93.2) | >>R(88.3) | >>B2(82.4) | >>A2(69.4) | >>A1(56.2) | 183.17 | 0.0001 |
| | NO ₂ | B1(0.040) | >>R(0.037) | >>B2(0.035) | >A2(0.034) | >>A1(0.027) | 220.68 | 0.0001 |
| | CO | B1(1.392) | >>R(1.265) | >>B2(1.117) | >>A2(0.981) | >>A1(0.765) | 246.94 | 0.0001 |
| | THC | B1(2.981) | >>B2(2.870) | >R(2.841) | >>A2(2.801) | >>A1(2.610) | 55.80 | 0.0001 |
| | O ₃ | A1(0.016) | >>A2(0.014) | >>B2(0.013) | >>B1(0.010) | >>R(0.008) | 146.94 | 0.0001 |
| 5.1-10.0 (n=11) | SO ₂ | B1(0.019) | >B2(0.019) | >>R(0.014) | >>A2(0.012) | >A1(0.008) | 392.71 | 0.0000 |
| | Dust | B2(106.5) | >B1(106.4) | >>R(80.7) | >>A2(63.1) | >>A1(51.6) | 470.48 | 0.0000 |
| | NO ₂ | B2(0.049) | >>B1(0.047) | >>R(0.038) | >>A2(0.034) | >>A1(0.027) | 578.06 | 0.0000 |
| | CO | B2(1.614) | >>B1(1.555) | >>R(1.190) | >>A2(0.951) | >>A1(0.683) | 438.38 | 0.0000 |
| | THC | B2(3.096) | >>B1(2.954) | >>A2(2.773) | >>R(2.708) | >>A1(2.500) | 156.92 | 0.0001 |
| | O ₃ | A1(0.017) | >>A2(0.014) | >>B1(0.013) | >R(0.012) | >>B2(0.011) | 50.09 | 0.0001 |
| Over 10.1 (n=15) | SO ₂ | B1(0.013) | >>B2(0.013) | >>A2(0.010) | >>R(0.008) | >>A1(0.007) | 326.85 | 0.0001 |
| | Dust | B2(101.7) | >>B1(97.2) | >>A2(73.9) | >>R(66.1) | >>A1(53.1) | 442.87 | 0.0000 |
| | NO ₂ | B1(0.038) | >>B2(0.037) | >>A2(0.032) | >>R(0.031) | >>A1(0.025) | 353.64 | 0.0001 |
| | CO | B2(1.091) | >>B1(1.025) | >>R(0.911) | >A2(0.898) | >>A1(0.702) | 181.38 | 0.0001 |
| | THC | B2(2.827) | >>B1(2.786) | >>A2(2.689) | >>R(2.619) | >>A1(2.505) | 84.36 | 0.0001 |
| | O ₃ | B1(0.019) | >B1(0.018) | >A1(0.017) | >A2(0.017) | >>R(0.013) | 68.04 | 0.0001 |

Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)

Abb. : R: rainy day B1: 1day before rainy day B2: 2days before rainy day

A1: next day of rainy day A2: 2days after rainy day

>> : Showed significance statistically

Table 9. The result from significance(ANOVA)test between humidity and air pollutant concentration in Kuro-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentration of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|---|------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| SO ₂ | '95 | 4(0.020) | >3(0.019) | >2(0.018) | >>5(0.014) | >1(0.011) | 33.19 | 0.0001 |
| | n | 2147 | 2385 | 971 | 1216 | 29 | | |
| | '96 | 1(0.014) | >2(0.014) | >>3(0.012) | >>4(0.011) | >>5(0.008) | 113.09 | 0.0001 |
| | n | 82 | 1446 | 1885 | 1624 | 1164 | | |
| Dust (PM-10) | '95 | 4(68.4) | >5(62.5) | >3(61.8) | >2(55.2) | >>1(42.6) | 26.22 | 0.0001 |
| | '96 | 4(70.2) | >>5(64.0) | >3(63.4) | >2(58.4) | >>1(44.1) | | |
| NO ₂ | '95 | 4(0.030) | >3(0.028) | >>5(0.024) | >1(0.023) | >>2(0.012) | 53.59 | 0.0001 |
| | '96 | 4(0.037) | >3(0.035) | >>2(0.032) | >5(0.030) | >>1(0.024) | | |
| CO | '95 | 4(0.999) | >>3(0.857) | >5(0.765) | >2(0.643) | >>1(0.341) | 61.93 | 0.0001 |
| | '96 | 4(1.001) | >>5(0.910) | >3(0.861) | >>2(0.724) | >>1(0.474) | | |
| THC | '95 | 3(2.791) | >4(2.790) | >2(2.766) | >5(2.640) | >>1(2.343) | 6.96 | 0.0001 |
| | '96 | 4(3.093) | >5(3.036) | >>3(2.691) | >2(2.418) | >1(2.254) | | |
| O ₃ | '95 | 1(0.035) | >>2(0.020) | >>3(0.015) | >>5(0.008) | >4(0.008) | 208.39 | 0.0001 |
| | '96 | 1(0.022) | >>3(0.015) | >2(0.013) | >>2(0.007) | >5(0.006) | | |

Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)

Group of humidity(%) : 1(0-20), 2(21-40), 3(41-60), 4(61-80), 5(81-100)

>> : Showed significance statistically

Table 10. The result from significance(ANOVA)test between U.V. and air pollutant concentrations in Namgajwa-dong from '95 to '96

| Air pollutant | Year | The result from ANOVA test (The average concentration of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|---|------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| SO _x | '95 | 2(0.020) | >1(0.018) | >>3(0.016) | >>4(0.011) | >>5(0.008) | 83.29 | 0.0001 |
| | n | 954 | 5038 | 732 | 699 | 581 | | |
| | '96 | 1(0.013) | >2(0.013) | >>3(0.012) | >>4(0.009) | >>5(0.008) | 44.76 | 0.0001 |
| | n | 5184 | 925 | 772 | 754 | 615 | | |
| Dust (TSP) | '95 | 2(102.0) | >1(87.8) | >3(84.5) | >>4(77.3) | >>5(64.3) | 33.95 | 0.0001 |
| | '96 | 2(84.3) | >>1(77.0) | >3(73.0) | >5(71.3) | >4(69.7) | 11.49 | 0.0001 |
| NO ₂ | '95 | 1(0.035) | >2(0.034) | >>3(0.032) | >>4(0.030) | >>5(0.026) | 44.24 | 0.0001 |
| | '96 | 1(0.033) | >2(0.033) | >>3(0.030) | >>4(0.029) | >>5(0.026) | 59.16 | 0.0001 |
| CO | '95 | 1(1.519) | >>2(1.290) | >>3(0.981) | >>4(0.785) | >>5(0.593) | 181.28 | 0.0001 |
| | '96 | 1(1.317) | >>2(1.142) | >>3(0.911) | >>4(0.763) | >>5(0.638) | 178.37 | 0.0001 |
| THC | '95 | 1(3.190) | >>2(3.020) | >>3(2.884) | >>4(2.559) | >>5(2.311) | 73.09 | 0.0001 |
| | '96 | 1(2.839) | >>2(2.557) | >>4(2.454) | >3(2.444) | >5(2.392) | 80.23 | 0.0001 |
| O ₃ | '95 | 5(0.020) | >>4(0.015) | >>3(0.012) | >>2(0.010) | >1(0.006) | 696.11 | 0.0000 |
| | '96 | 5(0.025) | >>4(0.019) | >>3(0.015) | >>2(0.012) | >1(0.009) | 601.16 | 0.0000 |

Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)

Group of U.V.(mW·cm⁻²) : 1(0-0.20), 2(0.21-0.40), 3(0.41-0.60), 4(0.61-1.00), 5(over 1.01)

>> : Showed significance statistically

Table 11. The result from significance(ANOVA)test between temperature and air pollutant concentrations in Namgajwa-dong from '95 to '96

| Air Pollutant | year | The result from ANOVA test (The average concentration of air pollutants) | | | | | F-value | p-Value |
|-----------------|------|---|------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| SO _x | '95 | 2(0.027) | >1(0.026) | >>3(0.019) | >>4(0.009) | >>5(0.005) | 683.77 | 0.0000 |
| | n | 1681 | 1029 | 1897 | 2952 | 441 | | |
| | '96 | 1(0.018) | >>2(0.017) | >>3(0.011) | >>5(0.008) | >>4(0.007) | 411.48 | 0.0000 |
| | n | 1300 | 2046 | 1889 | 323 | 2680 | | |
| Dust (TSP) | '95 | 1(105.4) | >2(100.9) | >>3(87.8) | >>5(74.0) | >4(71.6) | 89.20 | 0.0001 |
| | '96 | 2(87.0) | >>5(78.1) | >4(74.9) | >3(74.2) | >>1(65.9) | 41.36 | 0.0001 |
| NO ₂ | '95 | 2(0.038) | >>3(0.036) | >>1(0.034) | >>4(0.031) | >>5(0.022) | 114.05 | 0.0001 |
| | '96 | 2(0.036) | >>3(0.032) | >1(0.031) | >>4(0.030) | >>5(0.028) | 55.83 | 0.0001 |
| CO | '95 | 2(1.874) | >>1(1.710) | >>3(1.368) | >>4(0.879) | >>5(0.715) | 355.22 | 0.0001 |
| | '96 | 2(1.484) | >>1(1.401) | >>3(1.071) | >>5(0.907) | >4(0.865) | 224.68 | 0.0001 |
| THC | '95 | 2(3.437) | >>1(3.066) | >3(2.924) | >>4(2.657) | >>5(2.223) | 111.13 | 0.0001 |
| | '96 | 2(2.827) | >>3(2.750) | >4(2.710) | >>1(2.496) | >5(2.465) | 31.64 | 0.0001 |
| O ₃ | '95 | 5(0.018) | >>4(0.011) | >>1(0.009) | >>3(0.008) | >>2(0.006) | 256.64 | 0.0001 |
| | '96 | 5(0.032) | >>4(0.016) | >>3(0.013) | >>1(0.007) | >2(0.007) | 893.85 | 0.0000 |

Unit of concentration : ppm (Dust : µg/m³)

Group of temperature(°C) : 1(below 0°C), 2(0.1-10.0), 3(10.1-20.0), 4(20.1-30.0), 5(over 30.1°C)

>> : Showed significance statistically

4. 자외선량(U.V.)

자외선량에 따라 대기오염물질 농도의 차이를 살펴보기 위해 자외선량은 5가지로 분류하여 0-0.20

mW/cm²를 group 1, 0.21-0.40 mW/cm²를 group 2, 0.41-0.60 mW/cm²를 group 3, 0.61-1.00 mW/cm²를 group 4, 1.01 mW/cm² 이상을 group 5로 하였다.

우선 남가좌동에서 자외선량에 따른 대기오염물질의 농도변화를 살펴본 결과 Table 10과 같이 오존을 제외한 5가지 물질에서 group 1과 2에서 가장 높았고, group 5에서 가장 낮아 자외선량이 적을수록 오염물질 농도가 높은 것을 알 수 있으며, 오존은 group 5에서 가장 높고 group 1에서 가장 낮아 자외선량이 많을수록 오존오염도가 높다는 것을 알 수 있다. 다른지역도 모두 이와 유사한 형태를 나타내 이 본 논문에는 수록하지 않았다.

5. 온도

온도에 따른 대기오염물질 농도차이를 살펴보기 위해 온도를 5가지로 분류하여 0°C이하를 group 1, 0.1-10.0°C를 group 2, 10.1-20.0°C를 group 3, 20.1-30.0°C를 group 4, 30.1°C이상을 group 5로 하였다.

우선 남가좌동에서 온도변화에 따른 대기오염물질의 농도변화는 Table 11과 같이 오존을 제외한 5가지 물질에서 group 2에서 가장 높았으며, group 4,5에서 가장 낮게 나타나 온도가 영상의 범위에서 온도가 낮을수록 높고, 높을수록 농도가 낮게 나타났다. 또한 오존은 group 5에서 가장 높았으며, group 2에서 가장 낮아 영상의 범위에서는 온도가 높을수록 높고, 낮을수록 낮게 나타났으며, 영하 일때는 오히려 지온의 영상일때보다 약간 높게 나타났다. 다른지역도 이와 유사한 형태를 나타냈으나 지역마다 약간씩 차이가 있었다.

IV. 결 론

풍향, 풍속 및 기상인자가 서울시 대기오염에 미치는 영향을 살펴보기 위해 '95, '96년 2년간 서울시 대기오염 자동 측정소중 지역별로 북동, 북서, 남동, 남서지역에서 대표적인 지점 한곳씩 선정하여 매시간별로 측정된 기상자료 및 대기오염물질 농도자료를 이용하여 이들 기상인자와 대기오염물질 농도간의 관계를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 지점별 계절별 주풍향은 남가좌동이 여름의 WNW를 제외하고는 모두 남동풍이 높았으며, 쌍문동은 여름의 NNE를 제외하고는 북서풍의 주풍향을 나타냈다. 방이동은 사계절 모두 WNW의 주풍향을 나타냈으며, 구로동은 봄, 여름에는 남서풍, 가을에는 ENE, 겨울에는 북서풍의 주풍향을 나타냈다.
2. 풍향별 대기오염 농도차이는 오존을 제외한 5항목(SO₂, Dust, NO_x, CO, THC)의 농도는 서풍일

때 비교적 낮았으며, 오존은 이와 반대로 서풍일 때 높게 나타났다.

3. 풍속에 따른 대기오염 농도 차이는 오존을 제외한 5항목은 풍속이 낮을수록 농도가 높고, 풍속이 높아지면서 낮아졌으며, 오존은 이와 반대로 풍속이 높을수록 높게 나타났다.

4. 강수에 따른 대기오염 세정효과를 살펴보기 위해 강수별로 3 group으로 나누어 살펴본 결과 일강수량 1.1-5.0 mm일 경우 강수전일>강수일>강수 2일전>강수 2일후>강수다음날로 강수일이 강수 2일전보다 높게 나타나 강수일에 약간의 세정효과를 나타냈으며, 강수후가 강수전보다 낮게 나타났다. 일강수량 5.1-10.0 mm일 경우에는 강수 2일전>강수전일>강수일>강수 2일후>강수다음날로 강수전보다 높은 세정효과를 나타냈다. 또한 습도에 따른 대기오염물질 농도는 대체로 습도 61-80%일 때 비교적 높게 나타났고, 0-20%일 때 낮게 나타났으며, 오존은 이와 반대로 습도가 낮을수록 높게 나타났다.

5. 자외선량에 따른 대기오염물질 농도차이는 자외선량이 적을수록 높게 나타났으며, 오존은 자외선량이 많을수록 높게 나타났다. 또한 온도에 따른 대기오염물질 농도차이는 영상의 범위에서 온도가 낮을수록 높게 나타났으며, 오존은 온도가 높을수록 높게 나타났다.

6. 이상의 결론에서 서울시 대기오염도는 오존을 제외한 대기오염물질은 풍향이 서풍이고, 풍속이 높고, 습도가 낮고, 온도가 높으며, 자외선량이 많을수록 낮게 나타났으며, 오존은 이와 반대로 풍향이 동풍이고, 풍속이 낮고, 습도가 높고, 온도가 낮고, 자외선량이 적을수록 낮게 나타났다. 또한 강수의 대기오염물질 세정효과도 무시할 수 없을 정도로 강수 전후의 유의한 차이를 나타냈다.

참고문헌

- 1) 서울시정개발연구원: 대기질 측정방법의 효율화 방안에 관한 연구, 1994.
- 2) 기상청: 기상일보, 1992-1994.
- 3) 기상청: 기상월보, 1995년 1월-1996년 12월
- 4) 진병일, 김유근, 이화우: 부산지역의 오존농도 특성과 기상인자에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(1), 45-56, 1995.
- 5) 이기원, 권숙표, 정용: 서울시 대기중 오존오염도의 연도별 변화와 그 영향인자 분석, 한국대기보전학회지, 9(1), 107-113, 1993.
- 6) 김영성: 1991-1993년 사이 우리나라의 오존농도 변

- 화, 한국대기보전학회지, 12(1), 55-66, 1996.
- 7) 이선기, 이종범: 서울지역의 광화학 오염도 추정을 위한 중회귀모델 개발, 기상연구논문집, 8(1), 71-85, 1991.
 - 8) 장영기: 서울지역 먼오염원에 의한 대기오염 단기에 측보형 개발, 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문, 1992.
 - 9) 신찬기: 서울시 일부지역의 대기오염농도와 기상인자의 관련성에 관한 연구, 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문, 1992.
 - 10) 조봉구: 도시기상이 대기오염에 미치는 영향에 관한 연구, 연세대행정대학원석사학위논문, 1980.
 - 11) 장홍숙: 서울지역의 기상 및 오염인자가 옥시단트 생성에 미치는 영향에 관한 연구, 연세대산업대학원 석사학위논문, 1984.
 - 12) Yoshihiro Tsunoda, Taisuke Satsutani: Correlation among Ozone concentration, atmospheric ions and meteorological factors in the area of Kobe, Memoirs of the faculty of engineering Kobe University, 31, 201-210, 1984.