

대구지역 CO농도에 미치는 기상효과에 관한 연구

김 해 동 · 박 명 희 · 이 정 영
계명대학교 환경대학 환경학부
(2003년 6월 9일 접수; 2003년 8월 18일 채택)

On the Meteorological Influence on the Automobile Air Pollution in Daegu

Hae-Dong Kim, Myong-Hee Park and Jeong-Young Lee
Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Manuscript received 9 June, 2003; accepted 18 August, 2003)

In this study, we analyzed the relationship between the time-variation trend of air pollution concentration index and the meteorological conditions with CO(carbon monoxide) concentration and meteorological observation data in high-CO episode days. CO is a representative automobile air pollutant. The results are as follows;

1. Most of the high-CO episode days within 30 classes appeared in winter season.
2. Most of them appeared under the surface weather conditions with east-west high-pressure system. The surface winds in this high-pressure area were very light.
3. The high-CO episode days were due to unusual accumulation within urban atmosphere in the morning.
4. The Atmospheric stabilities were more stable, and then the wind-ventilation conditions were worse than yearly mean atmospheric condition in Daegu.

Key words : Air pollution concentration index, Winter season, Wind-ventilation condition

1. 서 론

자동차에 의한 대기오염현상은 인구의 도시집중과 차량대수의 증가로 인하여 대도시 대기오염 원인의 주종을 이루고 있다¹⁾. 따라서 도시의 대기질 보전을 위해서는 선오염원의 관리대책에 초점이 맞추어져야 하며, 아울러 합리적인 대기오염예보를 구현하기 위해서는 기상조건에 따른 이들 선오염원의 농도변화에 대한 이해가 선행되어야 할 것이다. 이러한 배경에서, 본 연구에서는 그 대부분이 자동차 배출에 기인하며 도시의 지표부근의 영향이 나타나기 쉽고 화학적으로도 안정한 CO를 대상으로 하여 도시기상과 대기질간의 관계를 조사하였다. 이 연구에서는 일본 동경을 대상으로 하여 자동차배기가스오염 농도에 영향을 미치는 도시기상의 효과를 분석한 Masuhara²⁾의 방법을 따랐다.

탄소의 가장 간단한 산화물인 CO는 무색, 무미 그리고 무취의 기체로서 공기보다 약간 가볍고 주로 연료의 불완전연소 시에 발생하는 인체에 매우 유해한 기체이다. CO는 공업적으로 중요한 환원체이며, 수성가스의 주성분으로 매우 유독한 기체이다³⁾. CO의 발생원을 지구전체로 보면 공업, 화학발전소, 고형폐기물의 소각 등에 의해 많이 발생하지만, 선진국가의 대도시에서는 주로 자동차에 기인하는 것으로 알려져 있다. 대구에서도 CO의 배출원은 약 95%가 차량에 기인하는 것으로 추정되고 있다^{4,5)}.

CO는 스모그형성에 화학적으로 관련이 있으며, 혈액중의 헤모글로빈과 강하게 결합(COHB)하여 혈액의 산소운반 능력을 감소시킨다. CO농도가 100 ppm이면 대부분의 사람들이 현기증, 두통, 권태 등을 느끼게 된다⁶⁻⁸⁾. 이러한 유해성과 그 대부분이 자동차 배출에 기인하기 때문에 도시 지표부근의 기상학적 영향이 농도분포에 잘 반영된다는 특성이 있어, 도시효과 혹은 도시기상이 대기오염농도에 미치는 효과를 조사함에 있어서 분석대상 물질로 자

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-053-580-5930
E-mail : khd@kmu.ac.kr

주 선정되고 있다. 그 대표적인 것을 소개하면 다음과 같다.

Masuhara²⁾는 일본 동경에서 자동차배기가스 대기오염에 영향을 미치는 도시효과를 분석하였다. 그는 도시와 교외지역간에 발생하는 지상부근의 대기농각량의 차이, 지형적 차이로 인한 국지풍의 차이가 CO농도의 시간변화에 미치는 효과를 분석하였다. Okamoto 등⁹⁾은 교차로 부근의 일산화탄소를 대상으로 한 대기오염모델에 관하여 연구하였다. 이들은 교차로 부근의 인공구조물의 배치가 차량에서 배출된 일산화탄소의 확산에 미치는 효과를 평가할 수 있는 모델을 제안하였다. Ogita¹⁰⁾와 Saito 등¹¹⁾은 일본 동경을 대상으로 열섬에 의해 교외에서 도심지역으로 유입되는 기류로 대기오염물질이 집적하여 도심지역의 대기질이 악화되는 기구에 관하여 연구한 바 있다. 도시효과가 대기오염농도에 미치는 영향과 관련하여, Guedalia 등¹²⁾은 발암물질인 라돈농도의 야간 피크치가 교외지역에 비하여 도심지역에서 오히려 낮은 원인을 연구하였는데, 도시와 교외간에 존재하는 야간안정도의 차이가 반영된 것으로 평가하였다. Bowne 등¹³⁾과 Graham¹⁴⁾은 도시역에서 도시구조와 열섬의 영향으로 난류강도가 커져서 대기오염물질의 확산폭이 증가함을 보였다. 이후, 이를 공기추적자 실험으로 확인하는 조사가 다수 수행되었다^{15~17)}.

한편, 화학적으로 안정한 일산화탄소는 장거리 수송에 의해 발생원에서 멀리 떨어진 지역으로 수송되어 대기질악화에 기여하기도 한다^{18,19)}. 이와 관련하여, 전병일²⁰⁾은 미국 워싱턴주 북서연안에 있는 Cheeka Peak 관측소에서 얻은 2001년 봄철의 일산화탄소와 오존자료를 이용하여 이들 대기오염물질의 고농도발생에 대한 원인을 기상학적으로 규명하고, 해양성 공기에 대한 후향 등온위궤적분리를 통하여 위도에 따른 영향을 조사하였다. Jaffe 등²¹⁾은 Cheeka Peak에서 1997년 봄철에 관측된 고농도의 CO, PAN, NMHCs 등에 대해서, 이들 물질은 많은 배출원을 갖는 동아시아에서 5일 정도면 미국의 워싱턴주로 수송될 수 있다는 사실을 제시한 바 있다.

이처럼, 대기오염물질의 농도분포에 대한 도시의 영향에 관해서는, 도시 특유의 조건과 실험자료의 부족으로 인하여 아직도 불명확한 점이 많다. 실제 대기오염 시뮬레이션에 있어서도, 단순화된 안정도 등의 수정만을 하고 있어, 도시적 효과의 지역적 규모, 시간변화, 계절변화 등은 고려하기가 곤란하다.

이 연구에서는 대구지역을 예로 하여, 광역 고농도일의 자료를 이용해서, 이들 도시기능(공업지역, 상업지역, 주거지역)의 효과가 대기오염물질의 농도

에 미치는 실태를 조사하고자 한다. 그리고 이러한 고농도패턴을 형성하는 기상학적 특성을 조사함을 목적으로 한다. 이러한 연구의 축적은 향후 대구지역의 정확도 높은 대기오염포텐셜예보를 정착시켜, 도시의 효율적인 대기오염관리대책 수립을 가능하게 할 것으로 기대된다.

2. 자료 및 연구방법

2.1. 연구자료

이 연구에서 이용된 자료는 1999년도의 대구광역시 보건환경연구원의 정점대기오염관측망에서 얻은 시간별 CO 농도 및 이들 대기오염관측망에 인접한 자동기상관측망 및 대구지방기상대에서 관측된 풍향, 풍속, 기온, 운량 및 일사량이다. 각 관측지점의 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 대구지역에 위치한 6개 정점 대기오염관측지점 중에서 관측빈도가 가장 양호하고, 주거지역(A), 상업지역(B) 및 공업지역(C)을 대표하는 3개 지점을 분석대상으로 선정하였다.

기상자료의 경우에는, 정점대기오염관측소에서 기상자료가 동시에 기록되고 있는 A와 B지점은 현장의 자료를 이용하였다. C지점에는 기상관측이 이루어지고 있지 않아서 이 지점에 인접해 위치한 대구지방기상대의 기상자료를 이용하였다.

2.2. 연구방법

고농도일의 선정은 3개 정점대기오염관측지점에서 관측된 CO농도의 일일평균치와 연평균 치로부터, 각 일별 기준화농도를 아래의 수식으로 구하여,

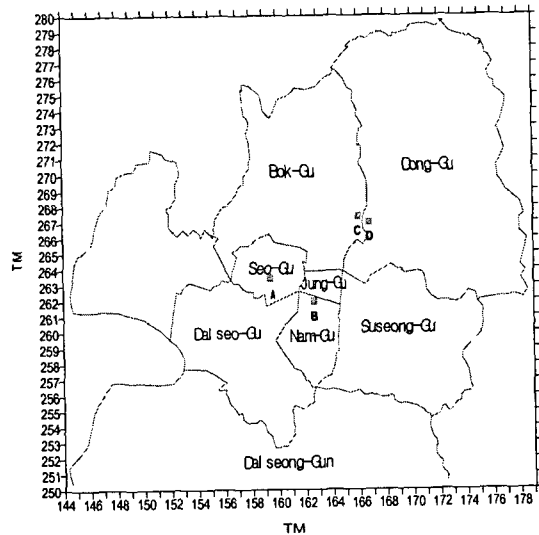


Fig. 1. Location of air pollution and weather observing 3 sites used in this study.

순위지표로 하였다.

$$\overline{U}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (C_{i,j} - \overline{C}_j) / \sigma_j \quad (1)$$

여기서, $C_{i,j}$ 는 i 일의 j 지점의 일일평균 농도, \overline{C}_j 는 j 지점의 연평균 농도, σ_j 는 j 지점의 농도표준편차, n 은 지점의 수, \overline{U}_i 는 i 일의 평균기준화 농도이다. 이 \overline{U}_i 의 상위 30위까지를 선택하여, 그 출현 상황을 월별로 집계하였다.

식(1)로 계산된 CO 기준화농도값을 이용해서 선정된 상위 30위까지의 고농도일에 대해서, 각시각별, 지점별로 농도지수(Concentration Index; CI) CI (=매일의 각 시각별 농도/연간의 각 시각별 평균농도)를 정의해서 분석하였다. 농도지수(CI)를 이용함으로써 얻을 수 있는 장점은, (1) 일주기로 변동하는 배출원의 영향이 경감되고, (2) 평균적 기상일변화의 영향이 제거되기 때문에, 자료처리 대상일의 시간대에서 나타나는 특수한 기상조건이 대기오염에 미치는 영향도를 파악하기 쉽다는 것이다.

고농도출현에 미치는 대기안정도의 영향은 Pasquill-Turner의 방법으로 정의된 대기안정도²²⁾를 이용하였다. 이것은 대기오염의 확산에 미치는 기상상태를 나타낸 것으로 현재 ISC3모델을 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(A 등급)부터 가장 안정한 상태(F 등급)까지 6개의 대기안정도 등급으로 구분하여 대기확산의 평가모델에 이용되고 있다.

3. 결과

3.1. 고농도일의 선정

1999년 1월 1일부터 12월 31일까지 대구지역에 위치하는 대표적 3개 정점대기오염관측소에서 얻은 CO의 시간별자료를 이용하여, 식(1)에서 정의된 각 일별 기준화농도를 구하였다. 그 결과, 한후기에 속하는 10월 말에서 3월에 걸쳐서 1위에서 30위까지의 고농도일의 대부분이 집중해서 나타나, 한후기인

만추기~초봄에 걸쳐서 고농도 대기오염일의 출현 빈도가 압도적으로 많다는 것이 확인되었다. 구체적인 출현일을 Table 1에 제시하였다.

3.2. 고농도일에 대한 농도의 시간변화특성

Fig. 2에 1위부터 30위까지의 순위별 평균기준화 농도를 제시하였다. 값은 대체로 6(30위)에서 11(1위)사이에 분포하였는데, 이는 일산화탄소의 시간변화폭이 대단히 커서 시간별 최고농도치와 연평균치간의 격차가 표준편차의 6배에서 11배에 달함을 의미한다.

고농도일의 지점별(주거, 상업 및 공업지역) 농도의 시간변화 특성을 알아보기 위하여 Fig. 3에 연간 지점별 평균농도의 시간변화(Fig. 3(a))와 고농도일의 지점별 농도의 시간변화(Fig. 3(b))를 나타내었다.

연간지점별 평균농도의 시간변화를 살펴보면, 아침 출근이 시작되기 전인 오전 5시경과 낮에 교통량이 가장 적은 시간대인 오후 3~4시경에 최저농도를 나타낸다. 오후 3~4시경에 최저농도가 출현하는 것에는 활발한 대류활동에 의한 오염물질의 연직 확산 효과도 부가된다. 반면에 최고농도는 아침출근이 끝날 무렵인 오전 9시경과 저녁퇴근이 거의 마감되

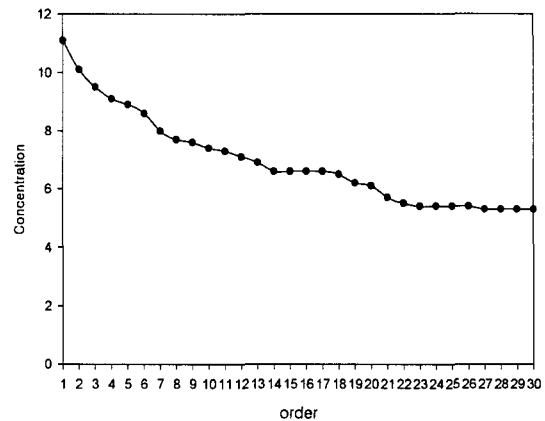


Fig. 2. The mean standardized concentration value of the high-CO episode days within 30 classes.

Table 1. The high-CO episode days within 30 classes induced with concentration index(CI)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5 Jan.	4 Mar.	6 Jan.	4 Jan.	3 Dec.	24 Nov.	23 Nov.	17 Apr.	8 Feb.	3 Mar.
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
23 Jan.	24 Mar.	9 Feb.	10 Feb.	23 Feb.	3 Jan.	9 Apr.	4 Dec.	26 Oct.	25 Mar.
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
26 Feb.	1 Feb.	19 Jan.	22 Jan.	28 Oct.	16 Jan.	14 Jan.	2 Jan.	31 Mar.	25 Oct.

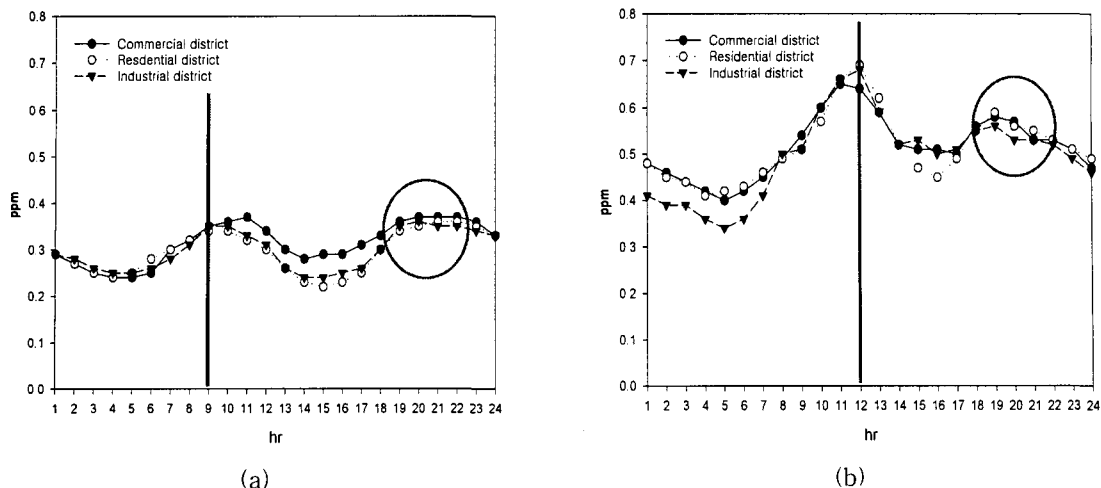


Fig. 3. Time variation of air pollutant(CO) concentration at each point. (a)Yearly mean value, (b)Concentration of the high-CO episode days within 30 classes.

는 오후 9~10시경에 나타난다. 다만 오전 10시경에 영업을 시작되는 상업지역의 오전 최고농도는 11~12시경에 나타남을 볼 수 있다. 농도는 0.2(최저)에서 0.35ppm(최고)의 분포를 보였다.

고농도일의 지점별 농도의 시간변화를 살펴보면, 오전과 오후에 나타나는 최저농도 출현시간대와 오후에 최고농도가 나타나는 시간대는 평균농도의 그것과 같았다. 그러나 최대농도가 나타나는 오전시간대가 낮 12시경이어서 평균농도의 그것과 큰 차이를 보였다. 그리고 하루중의 농도변화는 0.35(최저)~0.7ppm(최고)에 이르러 대단히 높은 값을 나타내었다. 이는 낮은 지상풍속에 의한 확산효과의 저하에 기인한 것으로 보인다. 아울러, 이러한 오전 중의 고농도지수 출현이 한후기의 쾌청일에 집중되어 나타난 사실로부터 연기침강현상(fumigation)의 효과가 중첩되어 나타났을 가능성이 있다.

3.3. 고농도일의 농도지수(CI)

일산화탄소에 대한 기준화농도값(식(1)로 계산)을 이용해서 선정된 상위 30위까지의 고농도일에 대해서, 각시각별, 지점별로 농도지수(Concentration Index; CI) CI를 정의하였다.

농도지수라는 것은 매일에 대해서 각 지점에서 각 시각별로 관측된 농도와 1년간에 해당지점에서 관측된 각 시각별 평균농도간의 비를 나타내기 때문에, 일주기로 변동하는 배출원의 영향이 경감될 뿐만 아니라, 평균적 기상일변화의 영향도 제거할 수 있다. 따라서 이를 이용하면 자료처리 대상일의 시간대에서 나타나는 특수한 기상조건이 대기오염에 미치는 영향을 파악하기 쉽다.

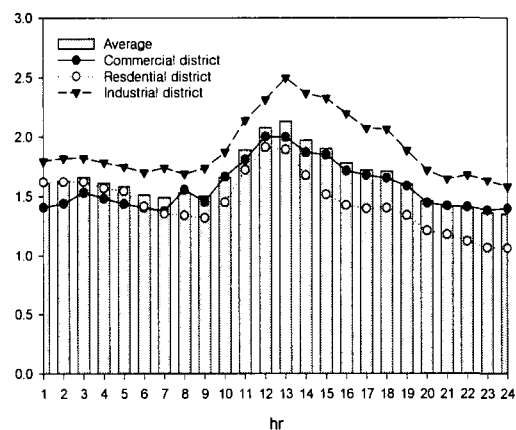


Fig. 4. Time-variation of concentration index for the high-CO episode days within 30 classes.

30위 이내의 고농도일에 대한 지점별 평균농도지수(CI)의 시간변화를 Fig. 4에 제시하였다. 농도지수가 오전 9시경부터 증가하여 주거와 상업지역에서는 정오경, 공업지역은 오후 1시경에 피크치에 이른 후에 지속적으로 감소하였다. 그리고, 공업지역에서 농도지수 값이 높게 나타나고 주거지역에서 상대적으로 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이는 대기오염농도의 변동폭이 공업지역(약 2.5)에서 크고, 주거지역(약 1.8)에서 상대적으로 작게 나타남을 의미한다.

지점별 오염농도의 시간변동폭을 보다 자세히 알아보기 위하여 Fig. 5에 1위부터 30위까지 1일 중의 농도지수의 최대값과 최소값을 순위별로 동시에 나

타내었다. 막대의 윗쪽에 위치한 2개의 검은 원이 최대농도 1, 2위, 아랫쪽의 2개의 검은 원이 최소농도 1, 2위를 나타낸다. 그리고 막대는 중간의 굵은 막대가 중간 60%의 구간과 평균치(굵은 막대 내에 표시된 선)를 나타내고 굵은 막대의 윗쪽은 상위 20%의 구간을 나타내며, 그것의 평균치가 선의 최상단값이다. 그리고 굵은 막대의 아랫쪽 선은 하위 20%의 분포를 나타내며, 그것의 평균값이 선의 최하단값이다. 대체로 농도지수의 값은 공업지역, 상업지역, 주거지역의 순서로 컸는데, 공업지역에서는 최대 농도지수가 5 내외이었고, 주거지역은 3.5 내외 이었다. 이로부터 대기오염농도의 변동폭이 공업지역에서 크고, 주거지역에서 상대적으로 작은 것으로 평가된다.

3.4. 고농도일의 기상특성

고농도일의 기상특성을 알아보기 위하여 기온, 풍향, 풍속, 대기안정도 및 종관일기도 유형을 조사하였다. Fig. 6에 대구지방기상대에서 관측된 1999년도 1년 간에 대한 기온의 시간변화(Fig. 6(a))와 고농도일의 지점별 기온의 시간변화(Fig. 6(b))를 나타

내었다. 평균적인 기온의 시간변화는 아침 7시경에 최저온도(약 10℃)가 나타나고, 오후 3시경에 최고온도(약 18.5℃)가 나타났다. 반면에 고농도일의 기온 시간변화는, 아침 8시경에 최저기온(약 2℃, 상업지역에서는 오전 7시에 약 4℃), 오후 4시경에 최고기온(약 12(주거지역)~14℃(공업지역))이 나타나서, 평균온도에 비하여 최저기온의 출현시간이 늦고 온도분포가 낮는데, 이는 고농도일이 대부분 한후기(11~4월)에 출현하였기 때문이다. 그리고 3개 지역간의 온도차이가 평균온도에 비하여 고농도일에 크게 나타난 것은, 고농도일의 기상특성(낮은 풍속, 높은 대기안정도, 고농도출현일이 한후기라는 사실(도시효과에 따른 승온화가 큰 계절) 등)에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 7에 지점별로 연중 바람분포와 고농도일의 바람분포를 나타내었다. 좌측은 연중 바람분포, 우측은 고농도일의 바람분포를 나타낸다. 공업지역(Fig. 7(a))에서는 연중 북서풍이 탁월하였으나, 고농도일에는 서풍과 북동풍이 탁월하였다. 그러나 북동풍의 경우는 발생빈도는 높지만, 풍속이 약한 특

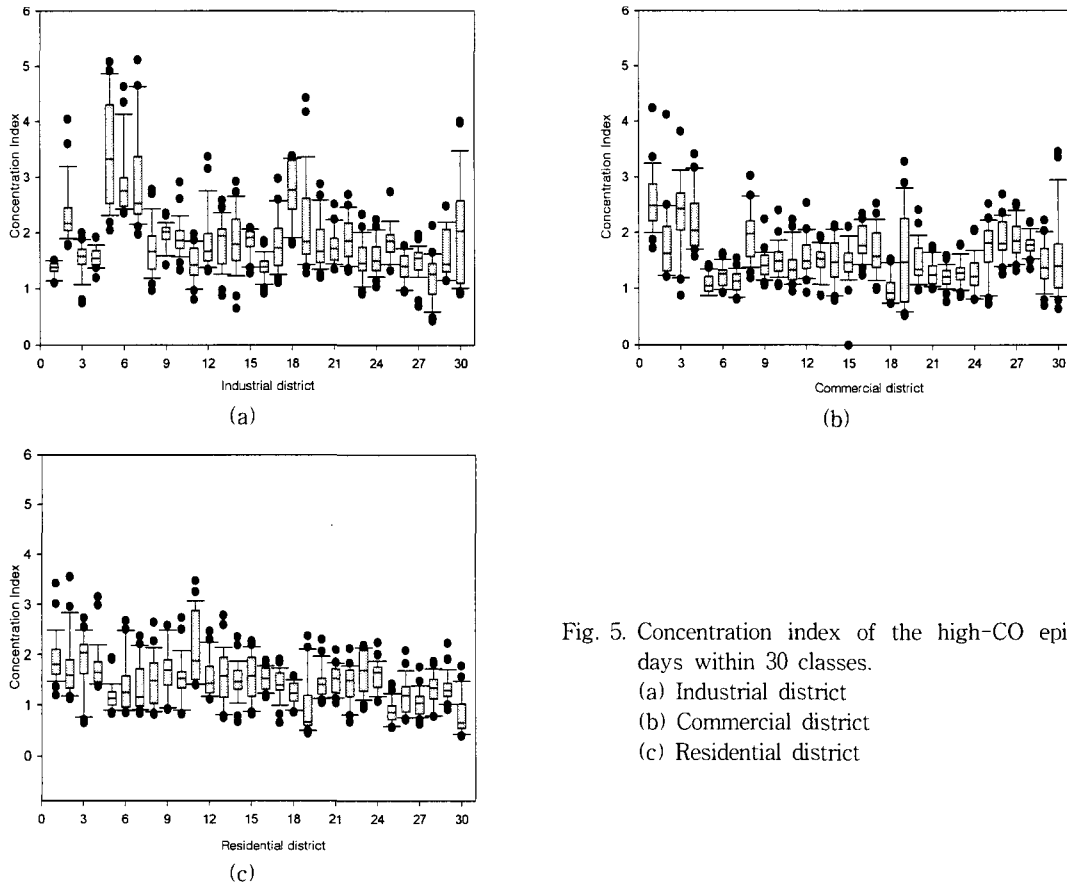


Fig. 5. Concentration index of the high-CO episode days within 30 classes.
 (a) Industrial district
 (b) Commercial district
 (c) Residential district

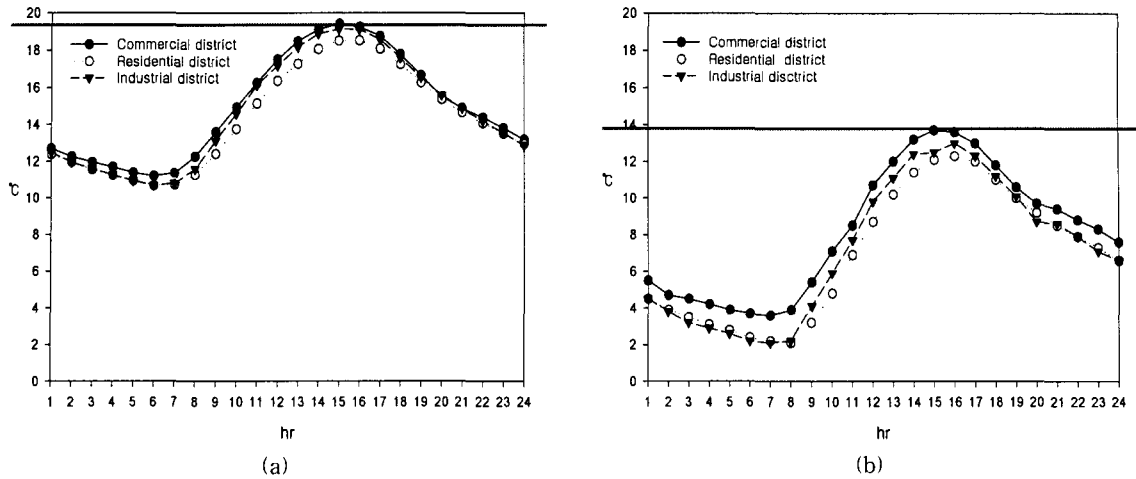


Fig. 6. Time-variation of air temperature. (a)Yearly mean temperature of 1999, (b)The high-CO episode days within 30 classes.

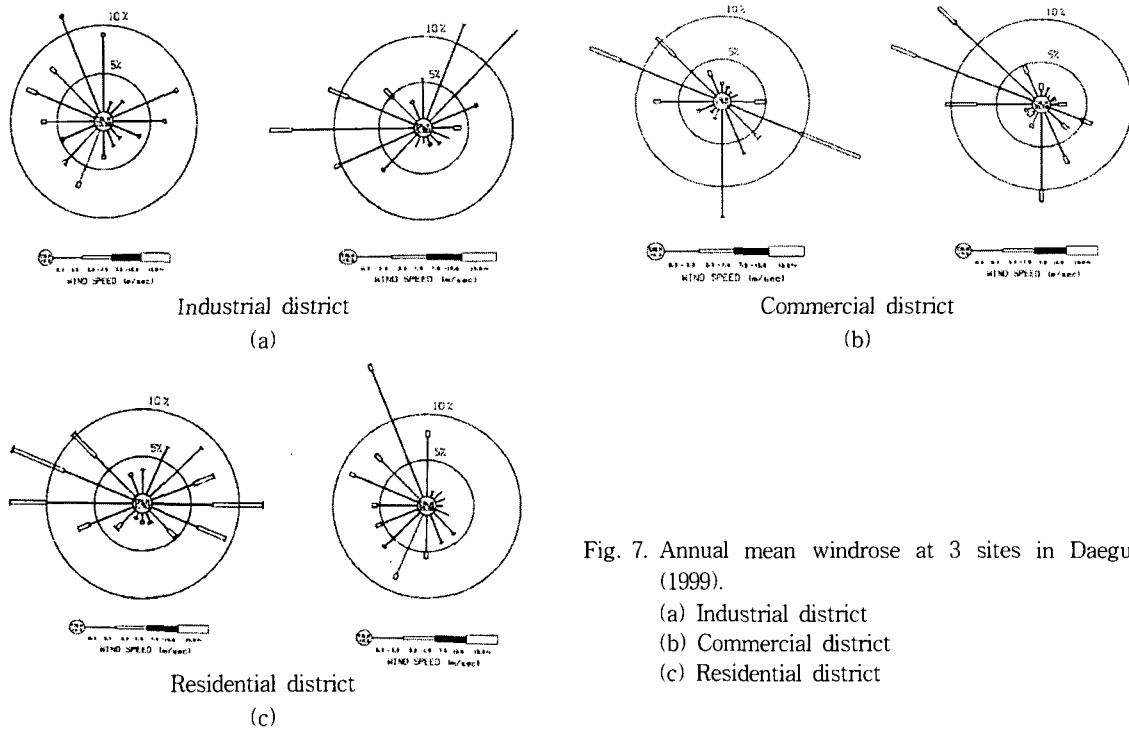


Fig. 7. Annual mean windrose at 3 sites in Daegu (1999).

- (a) Industrial district
- (b) Commercial district
- (c) Residential district

성을 보였다. 상업지역(Fig. 7(b))에서는 연중 북서풍과 남동풍이 탁월하였으나 고농도일에는 주로 북서풍이 탁월하였다. 주거지역(Fig. 7(c))도 연중에는 서~북서 및 동풍계열이 탁월하였으나, 고농도일에는 북서풍이 상대적으로 탁월하였고 풍속은 약하게 나타났다.

풍속은 대기환경조건을 결정하는 가장 중요한 인자이다²³⁾. 그래서 3개 지점에서 관측된 연평균풍속

의 시간변화와 고농도일 풍속의 시간변화를 Fig. 8에 제시하였다. 3개 지점은 산지와 충분히 떨어져 분지지역의 내륙부에 위치하고 있다(Fig. 1). 연간 지점별 평균풍속을 살펴보면, 낮 시간대에 강하고, 야간에 약한 분포를 보여주고 있는데, 이는 내륙지역에서 바람을 일으키는 구동력이 주로 지면의 부등가열에 의존하기 때문에 낮에 풍속이 강하다는 사실과 일치한다²⁴⁾. 연평균풍속은 주거, 상업, 공업

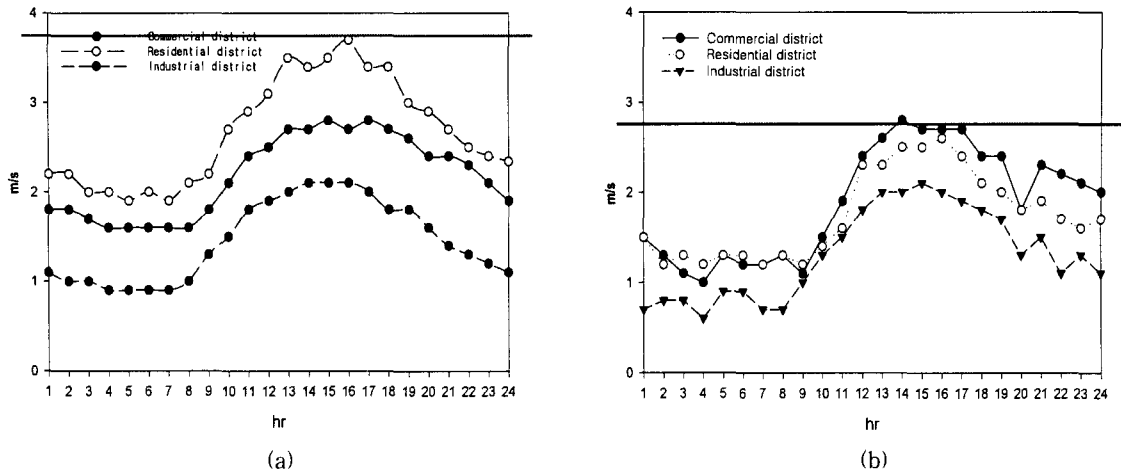


Fig. 8. Time variation of wind speed(m/s). (a)Yearly mean(1999), (b)The high-CO episode days within 30 classes.

지역의 순서로 강하였고, 최소값은 약 1(공업)~2m/s(주거), 최대값은 2(공업)~3.8m/s(주거)의 분포를 보였다. 고농도일의 경우에는(Fig. 8(b)), 풍속의 최소값은 약 0.8(공업)~1.2m/s(주거), 최대값은 약 2(공업)~2.8m/s(주거)의 분포를 나타내었다. 특히 고농도일에는 오전 중의 풍속이 연중평균값에 비하여 거의 반밖에 되지 않을 만큼 약하였다. 대기오염농도의 지점별 시간분포(Fig. 3)에서 확인된, 오염물질농도의 오전 중 급증현상이 이러한 약풍에 의한 대기환기조건의 약화와 관련이 깊은 것으로 평가된다.

풍속과 대기오염농도간의 관계를 알아보기 위하여 3개 지점별로 풍속과 농도지수간의 산포도를 구하였다(Fig. 9). 3개 지점 모두 풍속이 1m/s 내외로 약풍일 때에 높은 농도지수가 나타남을 알 수 있다. 풍속이 2m/s만 초과하여도 농도지수 2이상의 높은 값이 나타나지 않았다. 이로부터 고농도오염의 출현은 약풍과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

일반적으로 도시규모 내에서 대기안정도와 대기오염농도간의 관계를 조사함에 있어서, 대기안정도 파라메타인 Monin-Obkov length, Richardson number, Bulk Richardson number, 연직온위구배 등을 주로 사용한다. 이 가운데 Monin-Obkov length는, 플릭스의 직접 관측이 없는 경우는 Richardson number와 Bulk Richardson number의 함수로 구하는 것이 일반적이다^{2,24)}. 그런데 각 시각별 Richardson number 혹은 Bulk Richardson number를 사용한 대기안정도와 일산화탄소농도와와의 관계는 그다지 좋은 상관을 보이지 않는 것으로 알려져 있다^{9,25)}. 그래서 Masuhara²⁾는 동경타워에서 관측한 연직온위구배를 이용하여 대기안정도와 일산화탄소농도간의 관계를 조사하기도 하였다. 그는 이러한 방법으로 동경에서 일산화탄소농도와 대기안정도간에 약 0.69라는 높은

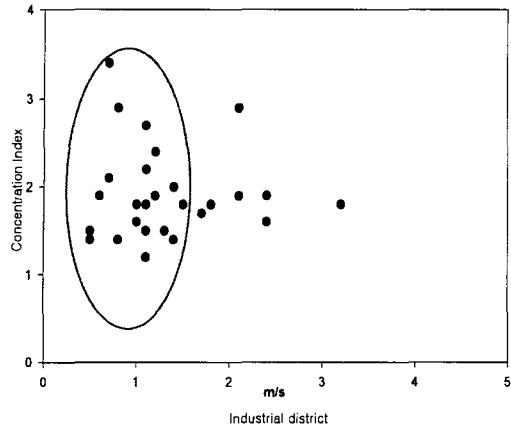
상관을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 현실적으로 연직온위구배에 대한 자료를 얻을 수 없었기 때문에, 대기확산모델에 널리 이용되고 있는 Pasquill-Turner의 방법을 따라서 1999년도의 전체 일수에 대한 안정도 등급과 고농도일의 안정도 등급을 구하여 Table. 2에 제시하였다. 지점별 연중 대기안정도의 빈도와 고농도일의 대기안정도 간에 뚜렷하게 대조적인 차이를 볼 수는 없었다. 다만, 고농도일에 대체적으로 매우 안정한 등급(F등급)의 빈도가 높았는데, 특히 주거 지역에서 고농도일에 매우 높은 빈도가 나타났다.

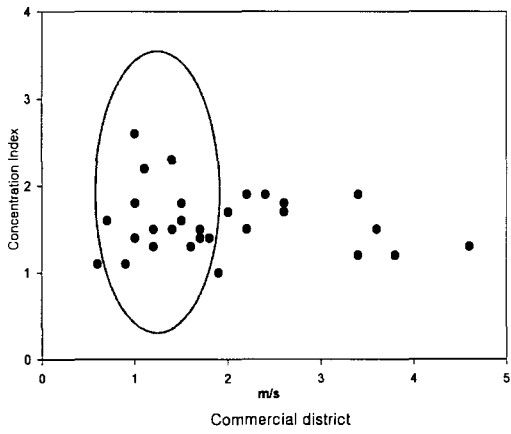
고농도 출현일에 대해서, 풍속과 대기안정도간의 관계를 조사하기 위하여 3개 지점별로 풍속과 대기안정도 등급간의 산포도를 구하였다(Fig. 10). 3개

Table 2. Atmospheric stability induced with Pasquill-Turner method

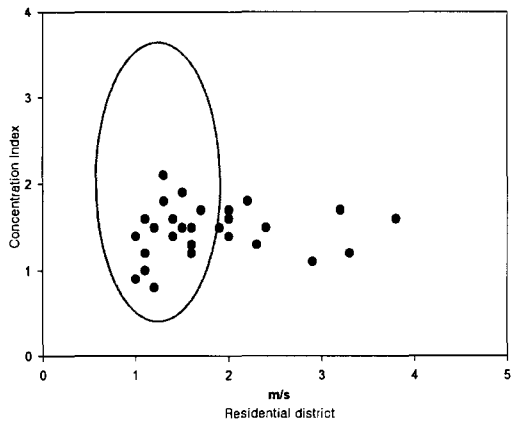
Section	Yearly mean			The high-CO episode days		
	Commercial district	Residential district	Industrial district	Commercial district	Residential district	Industrial district
A	3.1	1.1	3.9	0.8	0.8	0.6
A-B	6.9	4.1	9.0	7.1	5.6	7.5
B	6.7	5.5	7.4	8.3	8.9	10
B-C	1.6	2.1	1.1	0.7	1.9	1.8
C	2.6	4.7	1.8	2.2	2.6	2.5
C-D	1.6	2.8	0.5	2.5	1.4	0.6
DD	14.9	17.2	13.7	15.8	16.3	14.5
DN	8.7	14.4	1.9	7.4	5.3	3.2
E	8.3	11.7	5.2	6.7	6.9	3.6
F	45.6	36.4	55.6	48.5	50.8	55.7
SUM	100	100	100	100	100	100



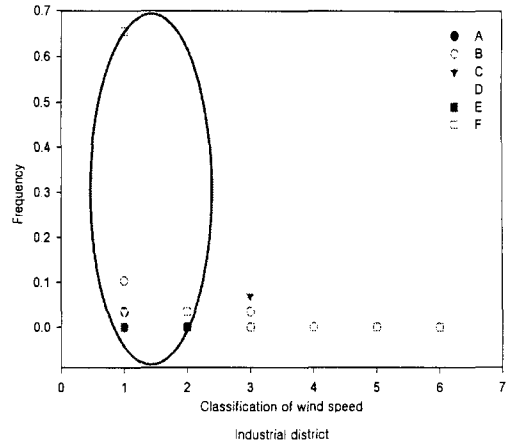
(a)



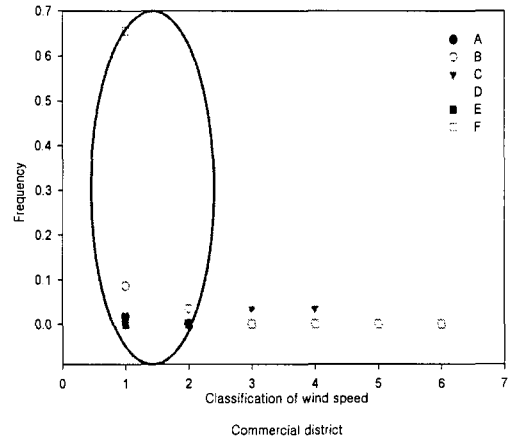
(b)



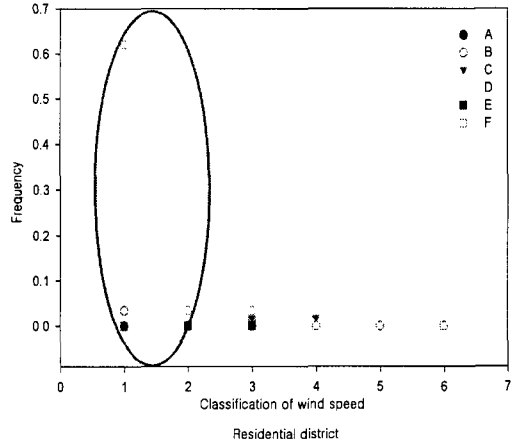
(c)



(a)



(b)



(c)

Fig. 9. Relationship between the concentration index (CI) and wind speed for the high-CO episode days within 30 classes at 3 sites. (a) Industrial district, (b) Commercial district, (c) Residential district.

Fig. 10. Relationship between the atmospheric stability and wind speed for the high-CO episode days within 30 classes at 3 sites. (a) Industrial district, (b) Commercial district, (c) Residential district.

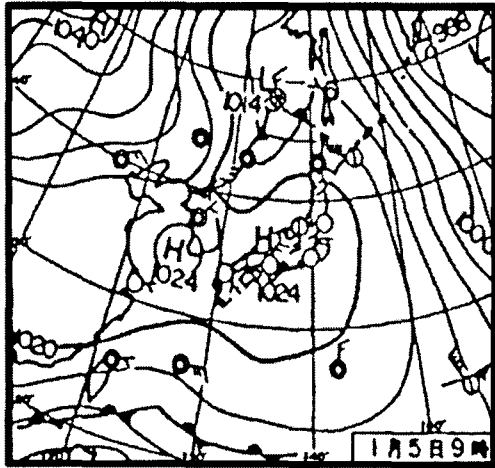


Fig. 11. Surface synoptic map on 09LST 1 January, 1999.

지점 모두 풍속이 1~2m/s 내외로 약풍일 때에 매우 안정한 등급의 빈도가 높게 나타났다. 풍속이 2m/s를 초과하면 안정등급의 출현빈도가 매우 낮게 나타났다. 본 연구에서도 고농도일의 기상학적 특성으로 약풍과 매우 안정한 대기안정도 등급의 높은 출현빈도가 확인되었다. 이는 대기확산실험을 통하여, 약풍 안정시에는 오염물질의 확산폭이 제한되기 때문에 높은 대기오염농도가 유발된다고 설명한 Adachi⁽²⁵⁾의 결과와 일치한다.

고농도일의 중관일기도를 조사한 결과, 대부분의 경우에 기압경도가 약한 동서고압대의 영향을 받고 있음이 확인되었다. Fig. 11에 대기오염농도가 가장 높았던 1999년 1월 5일의 지상일기도를 제시하였다. 우리나라와 일본열도 및 중국대륙에 걸쳐 동서로 넓게 분포한 동서고압대를 볼 수가 있다. 이러한 일기유형에서 약풍에 의한 대기환기조건이 악화되고 일몰 시간대의 강한 대기안정도 출현으로 대기질이 악화되는 경우가 많다.

4. 요약 및 결론

대기오염농도는 해당지역의 오염배출 상황, 지형적 조건 및 국지적 기상특성에 의해서 결정된다. 특히 단기적 대기오염물질 농도변화는 발생원에 단기적 변화효과가 매우 미약하기 때문에 기상조건에 의해서 거의 전적으로 결정된다고 말할 수 있다. 그래서 특정 지역의 대기오염농도를 예측하기 위해서는 기상조건에 따른 대기오염농도의 반응에 주의할 필요가 있다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 대구 지역에서 관측되고 있는 6개 정점대기오염관측지점 중에서 상대적으로 결측이 적은 3개 지역(상업, 주

거, 공업지역)을 선정하여, 대표적인 자동차배기가스 기원의 대기오염물질인 일산화탄소의 시공간적 변동특성과 기상간의 관련성을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분석 대상이었던 1999년도 일평균 일산화탄소농도의 상위 30위까지의 고농도일은 대부분 한후기(11월~4월)에 출현하였다.
- 2) 연평균 대기오염농도의 시간변동은 오전 9~10시경(상업지역은 오전 11시경)과 오후 7~10시경에 나타나서, 최대농도 출현시간이 출퇴근 시간대와 일치하였다.
- 3) 고농도일의 대기오염농도 시간변동은, 오전 11~12시경에 오전 중의 피크치가 나타나서 연평균에 비하여 1~2시간정도 늦게 나타났다. 반면에 오후의 피크치가 출현하는 시간대는 연평균치와 거의 같았다. 또 고농도일의 오전 피크치(약 0.7 ppm)는 연평균치의 오전 피크치(약 0.35ppm)의 2배에 달하였고, 오후 피크치(약 0.6ppm)는 연평균치 값(약 0.4ppm)의 약 1.5배에 해당하였다.
- 4) 고농도일의 지상일기도는 대부분 기압구배력이 약하여 약풍이 예상되는 동서고압대의 영향을 받고 있었다. 그래서 풍속은 연평균치의 약 50%에 지나지 않았는데, 특히 오전에 풍속이 매우 약하였다. 그리고 이러한 날에는 높은 등급의 대기안정도의 출현빈도가 높게 나타났다.

이러한 사실로부터, 고농도일의 높은 일산화탄소농도는 오전 중에 약풍과 높은 대기안정도출현의 영향으로 대기확산이 제한되어 대기중에 비정상적으로 많이 적체되었기 때문으로 평가되었다. 따라서 도시의 합리적인 대기환경관리를 위해서는 대기환기에 불리한 기상조건이 예상되는 날에는 대기오염발생원관리를 철저히 할 필요성이 있는데, 특히 오전 출근시간대의 차량운행 제한이 매우 필요하다는 결론을 얻었다. 본 연구에 있어서의 한계는 기온의 연직분포자료를 얻지 못하여, 대기안정도와 대기오염농도변동간의 관계를 충분히 평가할 수 없었다는 것이다. 향후 도시의 대기환경연구 뿐만 아니라, 도시의 합리적인 대기환경관리를 위하여 도입이 절실한 대기오염포텐셜예보의 정착을 위해서 기온의 연직관측체제가 구축되어져야 할 것이다.

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) 김유근, 이화운, 1999, 대기오염개론, 시그마프레스, 279pp.
- 2) Masuhara, T., 1990, Urban influence on the automobile air pollution in Tokyo, *Tenki*, 37(2), 41-49.
- 3) 임계규, 김영해, 1995, 대기화학, 동화기술, 334pp.
- 4) 박명희, 김해동, 홍정혜, 2003, 대구시 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 12(1), 23-34.
- 5) 대구광역시, 2003, 환경백서, 39-175pp.
- 6) 原田郎, 1985, 大氣の汚染と氣候の變化, 東京堂出版, 223pp.
- 7) 이화운, 박종길, 장난심, 이희령, 김희만, 2003, 부산광역시 지하공간의 CO 대기질 평가, *한국환경과학회지*, 12(1), 35-40.
- 8) 정문식, 정문호, 이진현, 김영규, 1997, 환경화학, 신광문화사, 716pp.
- 9) 岡本眞一, 鹽澤清茂, 1977, 交叉點附近の一酸化炭素を對象とした大氣汚染 モデルに関する研究, *大氣汚染研究*, 12, 189-206.
- 10) 大喜多敏一, 1959, 旭川市における大氣汚染の實態, *旭川市役所*, 85pp.
- 11) 齊藤武雄, 千葉秀樹, 1987, 都市大氣における汚染物質および鐵道粉じんの3次元舉動とヒートアイランド, *天氣*, 34, 195-204.
- 12) Guedalia, D., A. Ntsila, A. Druilhet and J. Fontan, 1980, Monitoring of the atmospheric stability above an urban and suburban site using sodar and radon measurement, *J. Appl. Meteor.*, 19, 839-848.
- 13) Bowne, N. E. and J. T. Ball, 1970, Observational comparison of rural and urban boundary layer turbulence, *J. Appl. Meteor.*, 19, 862-873.
- 14) Graham, I. R., 1968, An analysis of turbulence statics at Fort Wane, Indiana, *J. Appl. Meteor.*, 7, 697-701.
- 15) Csanady, G. T., G. R. Hilst and N. E. Bowne, 1968, Turbulent diffusion from a cross-wind line source in shear flow at Fort Wayne, Indiana, *Atmos. Environ.*, 2, 273-294.
- 16) Mcelroy, J. L., 1969, A comparative study of urban and rural dispersion, *J. Appl. Meteor.*, 8, 19-31.
- 17) 佐藤純次, 1973, 都市域における擴散, *大氣汚染研究*, 8, 395.
- 18) Parrish, D. D., 1993, Carbon monoxide and light alkanes as tropospheric tracers of anthropogenic ozone in the tropospheric chemistry of ozone in the polar regions, edited by H. Niki and K. H. Becker, Springer-Verlag, Newyork, 155-169pp.
- 19) Parrish, D. D., J. S. Holloway, M. Trainer, P. C. Murphy, G. L. Florbes and F. C. Fehsenfeld, 1993, Export of North American ozone pollution to the North Atlantic Ocean, *Science*, 259, 1436-1439.
- 20) 전병일, 2002, 미국 서북부 Cheeka Peak에서의 수송에 따른 봄철 CO와 O₃의 특성, *한국환경과학회지*, 11(6), 507-518.
- 21) Jaffe, D. A., R. E. Honrath, L. Zhang, H. Akimoto, A. Shimizu, H. Mukai, K. Murano, S. Hatakeyama and J. Merrill, 1996, Measurement of NO, NO_x, CO and O₃ and estimation of the ozone production rate at Oki Island, Japan, during PEM-West, *J. Geophys. Res.*, 101, 2037-2048.
- 22) Pasquill, F., 1974, Atmospheric diffusion, 2nd ed. Halstead Press, Newyork, 315pp.
- 23) 윤일희, 2002, 대기오염기상학, 시그마프레스, 236pp.
- 24) Eagleman, J. R., 1980, Meteorology, D. Van Nostrand Company, 384pp.
- 25) 安達降史, 1985, 大氣汚染濃度豫測のための上層風と擴散パラメーター 推定法の研究, 東北大學大學院博士論文, 165pp.