

## 청주·제천시지역 대기실태 조사

김재용·김창영  
충북대학교 환경공학과  
충청북도 보건환경연구원

### An investigation of air condition in Cheong Ju & Je Cheon City Area

Jae-Yong Kim · Chang-Young Kim  
*Dept. Environmental Engineering, Chungbuk National University*  
*Chungcheong Buk Do, Institute of Health & Environment Research*

#### Abstract

We concluded to analysis the air condition of city area in the Chungbuk province by pollutant concentration and weather survey data to used from the data of Air Pollution Monitoring System until September in 2002 from 1998.

The results of this study is to prove out the pollutional phenomena and effects in the each area of Cheong-ju & Je-cheon city and to provide the basic data of comfortable environmental condition in the province. Also, we provide environmental statistical data for the inhabitants in the province as the present condition analysis of air pollution. We got the conclusion of having air condition as clear state in Chungbuk Province from our analytical results.

#### I. 서론

대기오염의 정의는 국가, 단체 또는 학자에 따라 정의의 차이가 있으나 대기오염은 인위적으로 배출되어 대기중에 있는 오염 물질의 양, 농도 및 지속시간의 과잉으로 어느 지역의 다수에게 불편감을 주고 혹은 공중위생상 인간, 동물, 식물 및 재산에 유해하고 쾌적한 생활을 방해하는 상태라 할 수 있다. 대기오염은 공장이나 사업장 및 자동차 등에서 배출된 대기 오염물질이 이동, 확산, 반응, 그리고 지표침적의 경로를 통하여 발생하게 되며 생성과정에 따라 공장의 굴뚝이나 자동차등에서

대기 중으로 확산 방출된 1차 오염 물질과 배출된 물질이 대기중에서 광 화학반응을 통해 변화하는 2차 오염물질로 나누어진다.

도내의 대기오염 고정 발생원으로 대기환경보전법상 대상이 되는 대기오염물질배출시설의 변화를 살펴보면 1996년 4.2%, 1997년 4.4%, 1998년 2.3%로 서서히 증가하다가 1999년 6.4%, 2000년 14.1%의 급격한 증가로 2000년말 현재 도내의 대기오염물질배출시설은 2,101개소에 이르고 있다. 또한 대기 오염의 가장 큰 영향을 미치고 있는 자동차 등록대수는 2000년말 현재 393,344대로 1999년과 비교하여 31,205대가 증가하여 8.6%의 증가율을 나

타냈고, 차종별로는 승용차, 용도별로는 자가용의 증가율이 높게 나타나고 있다. 배출원의 증가는 대기환경을 악화시키는 가장 큰 요인이 되므로 적절한 방지시설의 설치와 대기환경 개선을 위한 정책으로 저유황 및 LNG등 청정 연료의 지속적인 공급을 추진하여 쾌적한 대기환경을 유지하는 것이 무엇보다도 필요하다. 또한 자동차의 증가에 따른 이산화질소와 오존오염도는 증가하는 등의 문제를 WTO, OECD등의 국제 기구에서는 환경과 무역을 연계한 국제 환경규제와 자동차 연비기준등 각종 규제 수단을 개발하고 있다.

대기오염측정망은 대기오염 측정법의 일부로서 Camp를 설치하여 3년 동안 5분 간격으로 24시간 계속하여 6개 도시에서 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC, Oxidants, 분진등 6개 항목의 대기오염물질을 측정하였다. 우리나라는 1974년 처음 서울에 4개소를 설치하였으며 현재는 대기 오염실태를 파악하고 대기질 개선대책 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 환경부 및 지방자치단체에서 총 8개 종류(지역대기(162), 도로변(16), 산성강하물(28), 국가배경농도(5), 지역배경농도(6), 대기중금속(40), 시정거리(2), 지구대기(1))의 대기오염측정망을 2002년 1월 기준 전국 67개 시·군에 총 260개소의 측정소를 설치 운영하고 있으며, 우리 도에서는 대기환경의 변화를 실시간 모니터링하기 위하여 대기오염측정소를 5개지점의 대기오염자동측정시스템을 설치하여 24시간 연속 측정 감시하는 체제를 운영하고 있다.

본 연구는 지역별로 특수한 발생원 및 오염 현상과 그 영향 등을 파악하여 도내의 대기오염 방지의 종합적인 대책 수립 및 쾌적한 환경 조건의 개선 기초 자료로 제공함과 도민의 건강 증진 및 쾌적한 대기환경 보전에 기여 하고자 하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사 지역

본 조사 연구에서는 도내 청주시와 제천시에 설치된 대기오염자동측정소를 이용하여 실시하였으며 대기오염자동측정소 위치는 다음의 Table 1과 같다.

Table 1. Location of sampling point

측정소	측정소 위치	용도 지역
내덕동	청주시 상당구 내덕동 청주농고	주거 지역
서부동	제천시 서부동 제천중학교	주거 지역

### 2. 조사 자료 및 방법

청주시 1개소와 제천시 1개소에 설치되어있는 대기오염자동 측정소에서 발생된 자료중 1998년부터 2002년 9월까지의 확정자료를 이용하여 1998년부터 2001년까지는 일 데이터로, 2001년 10월부터 2002년 9월까지의 시간 데이터를 이용하여 조사자료로 활용하였다. 각 측정소별 측정 가능한 항목은 Table 2와 같으며 각 측정소에 설치되어있는 측정기기의 사양은 Table 3과 같이 구성되어 있다. 이들 주요 분석장치들에 대한 측정방법과 측정원리를 살펴보면 다음과 같다.

SO<sub>2</sub>는 자외선 형광법을 이용하며, 그 원리는 시료가스에 자외선을 흡수시켜 SO<sub>2</sub>분자가 U.V영역에서의 빛을 받을 경우 여기(exciting)되어 SO<sub>2</sub>분자농도에 비례하는 2차 발광(Secondary Emission)이 일어나는데 이때 발생된 빛을 광학 필터를 통해 선택적으로 흡수하여 광전자증배관(P.M tube)으로 검출하게 된다.



NO<sub>2</sub>는 화학발광법을 이용하며, 그 원리는 우선 O<sub>3</sub>에 NO를 반응시키면 화학발광의 결과에 의하여 NO농도에 비례하는 빛이 발생하게된다. 이때 이 빛을 광도계로 검출함으로써 측정할 수 있다 이러한 현상은 NO와 O<sub>3</sub>에 의해서만 발생한다. 이때 NO<sub>2</sub>는 O<sub>3</sub>과 직접 반응하지 않기 때문에 변환기에서 NO로 환원시켜 기존의 NO와 함께 NO<sub>x</sub>로서 측정후 다음에 의하여 NO<sub>2</sub>를 구한다.

$$(NO_2) = (NO_x) - (NO)$$

O<sub>3</sub>은 자외선 광도법을 이용하며, 그 원리는 UV 자외선인 254nm 광원의 O<sub>3</sub>분자에 의한 흡수량을

Table 2. Measured items by sampling point

측정소	CO	SO2	O3	NO	NO2	PM10	기상	비고
내덕동	○	○	○	○	○	○	○	
서부동	○	○	○	○	○	○	○	

분석 측정한다. 광원은 유리관을 통하여 비취지며 시료가스와 O<sub>3</sub>이 없는 가스를 번갈아 통과시켜줌으로서 얻게되는 빛의 강도의 비로서 Lambert-Beer법칙에 기인하여 농도가 산출된다. CO는 비분산적외분광법을 이용하며, 1차 광원에서 방사된 적외선을 chopper를 통하여 시료 셀과 불활성가스로 봉인된 셀로 투과시키고 그 차이로 CO농도를 측정하게된다.

PM-10은 β-ray Absorption Method을 이용하며, 그 원리는 대기중에 부유하고 있는 입자상 물질을 일정시간 여과지 위에 포집하여 베타선을 투과시켜 입자상 물질의 증량농도를 측정하는 방법이다 즉, 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수, 소멸되는 베타선의 차이로서 측정된다.

### 3. 조사지역의 대기질특성

#### 가. 지역의 고정 오염원

대기오염원을 크게 분류해보면 광물, 동식물, 화

Table 3. Measured equipment by sampling point

측정기명	측정소명	장비명	모델명	수량	설치일자	측정방법
SO <sub>2</sub>	내덕동 서부동	TEI	43B	1	1994	UVF
		ML	9850B	1	1999	
PM-10	내덕동 서부동	E&A	WA1186	1	1994	Beta Gauge
		VEREWA	F701	1	1999	
O <sub>3</sub>	내덕동 서부동	TEI	49	1	1994	UVP
		ML	9810B	1	1999	
NO <sub>x</sub>	내덕동 서부동	TEI	42	1	1994	CLD
		ML	9841B	1	1999	
CO	내덕동 서부동	TEI	48	1	1994	NDIR
		ML	9830B	1	1999	

TEI : Thermo Environment Instrument,  
ML : Monitor Labs  
E&A : Wedding & Associates

Table 4. The classification present condition of the smoke discharge building in Cheong Ju (단위:개소)

연도	Air Pollution(gas, dust, smoke and stench)						
	계	1종	2종	3종	4종	5종	산업단지
	Total	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class V	Industrial
1997	304	-	4	15	26	107	152
1998	288	-	3	13	18	98	156
1999	305	-	3	12	16	91	183
2000	313	-	2	6	13	109	183
2001	306	-	1	3	11	103	178

산 등의 자연현상에 의해 발생하는 자연적 오염원과 고정, 이동 오염원을 포함하는 인위적 오염원을 들 수 있다. 고정 오염원중 지역 산업시설의 연소 및 공정에 의해 발생하는 점오염원과 가정난방, 공공건물에서 발생하는 지역오염원을 들 수 있다. 오염원중 고정오염원은 주로 연료 연소등에 의존하고 있는 전형적인 오염 발생원이다.

Table 4는 청주시의 대기 배출업소의 종별 현황을 Table 5는 제천시의 대기 배출업소의 종별 현황을 나타낸 것이며, 대기오염물질의 주요 발생원인인 대기오염물질 배출업소는 2001년 말 현재 청주지역은 306개소, 제천지역은 154개소이며 1998년 고정오염원의 감소는 IMF로 인한 지역산업의 위축 때문이며 1999년 이후부터 서서히 증가하는 것으로 조사되었다. 특히 증가된 고정오염원들은

Table 5. The classification present condition of the smoke discharge building in Je Cheon (단위:개소)

연도	Air Pollution(gas, dust, smoke and stench)					
	계	1종	2종	3종	4종	5종
	Total	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class V
1997	146	-	2	4	22	118
1998	141	-	1	3	18	119
1999	143	-	1	4	18	120
2000	154	-	1	5	16	132
2001	154	-	1	5	16	132

1,2,3종보다는 4,5종 업체가 대부분을 차지한 것으로 나타났다.

**나. 지역의 이동 오염원**

이동오염원은 자동차, 철도, 항공기, 선박·농기계 등 움직이는 오염원에 의하여 배출되는 형태를 말한다. 대기오염원 가운데 이동오염원이 차지하는 비율은 인구 도시 집중 현상과 자동차 대수의 증가로 전체 오염물질 가운데 60%이상을 차지하고 있어 대기오염 관리는 이동오염원의 관리에 따라 달라 질 수 있다. 특히 자동차와 같은 오염원은 산업시설과는 달리 배출하는 오염물질이 2차 대기오염물질과 관련성이 깊다. 또한 자동차는 도시가 발달되고 생활수준이 향상될수록 수적 증가가 불가피하고 따라서 오염도도 증가할 것으로 예상된다.

청주시와 제천시의 자동차등록 현황을 보면, 자동차 수는 IMF 영향을 받았던 1998년을 제외하고는 매년 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 2001년 현재 청주시는 169,518대 제천시는 42,438대의 자동차를 보유하고 있다. 1997년 대비 4년 동안 청주시는 29.0%인 38,101대가 증가하였고 이중 대기오염에 많은 영향을 미치는 디젤차종인 승합차는 92.0%, 화물차는 36.3% 증가한 것으로 나타났으며, 제천시는 25.8%인 8,696대가 증가하였고 이중 대기오염에 많은 영향을 미치는 디젤차종인 승합차는 58.5%, 화물차는 31.9% 증가한 것으로 나타났다.

**다. 지역의 연료 사용량**

대기중 오염물질의 배출량은 연료 사용량과 무관하지 않다. 인위적으로 발생하는 오염물질의 대부분은 연료의 연소과정에서 발생된다. 연료는 크게 고체, 액체, 기체연료로 구분할 수 있으며 밀도가 높을수록 오염물질의 발생량도 많아진다. 대기오염이 심각해지면서 오염물질 배출량이 많은 고체 연료의 사용량은 감소되고있는 반면 가스연료의 사용량이 급격히 증가하고 있는 것이 최근 연료 사용 변화의 추세이다.

Table 6은 청주시의 연료 사용량을 Table 7는 제천시의 연료 사용량을 나타낸 것이며, 액체연료의 경우 청주시와 제천시 모두 IMF 영향을 받은 1998년의 급격한 감소한 이후 전반적인 감소 추세

Table 6. Amount of the used fuel in Cheong Ju

구분	유류 (Barrel)				
	계	증감(%)	휘발유	등유	경유
1997	322,202	-	100,189	78,418	143,595
1998	218,653	▽32.1	88,179	40,913	89,562
1999	205,443	▽ 6.0	81,149	47,403	76,891
2000	231,203	▲ 2.5	91,057	42,623	97,523
2001	218,301	▽ 5.6	86,386	32,804	99,111
구분	도시가스(1000m <sup>3</sup> )				
	계	증감(%)	LNG	LPG	
1997	197,182	-	110,287	86,895	
1998	194,592	▽ 1.3	113,038	81,554	
1999	247,665	▲27.3	158,132	89,533	
2000	301,638	▲21.8	188,393	113,245	
2001	314,571	▲ 4.3	197,452	117,119	

를 보이고 있으나 이동오염원의 증가와 지역경제 활성화에 따라 다소 증가할 것으로 예상된다. 오염물질의 발생이 적은 연료인 LNG, LPG등 가스연료의 사용량은 계속 증가하는 것으로 나타났는데 사회가 변할수록 에너지 이용패턴이 변화하는 것으로 조사되었다.

Table 7. Amount of the used fuel in Je Cheon

구분	유류(Barrel)				
	계	증감	휘발유	등유	경유
1997	1,044,775	-	179,425	256,571	608,779
1998	613,025	▽41.3	148,822	105,997	358,206
1999	532,255	▽13.2	125,950	100,731	305,574
2000	640,622	▲20.4	130,166	124,950	385,506
2001	570,984	▽10.9	115,293	120,741	334,950
구분	도시가스(1000m <sup>3</sup> )				
	계	증감(%)	LNG	LPG	
1997	17,167	-	-	17,167	
1998	16,738	▽ 2.5	-	16,738	
1999	22,486	▲34.3	-	22,486	
2000	26,531	▲18.0	-	26,531	
2001			-		

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 대기오염도 특성

##### 가. 지역의 기상특성

대기오염과 기상은 아주 밀접한 관련성을 가지고 있다. 대기질은 한 도시 내에서도 구역에 따라 큰 차이를 보일 수 있고, 하루중 시간에 따라 큰 변화를 나타내기도 한다. 대기 오염물 배출원이 많은 곳에서 대기질이 좋지 않은 것은 당연하나, 배출원이 많지 않거나 배출원으로부터 상당히 떨어진 곳에서도 대기질이 악화되는 경우가 자주 있다. 이는 오염물질이 기상조건, 즉 바람이나 대기안정도 등에 따라 확산과 이동에 결정적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이번 조사에서는 오염원과 기상현상과의 관계를 알아보기 위해 최근 5년간 지역의 풍향, 풍속, 온도, 강수량 등의 기상요소를 Table 8과 Table 9에 나타내었다.

Table 8. Weather condition of Cheong Ju

연도	기온(℃) Air temperature			강수량 (mm) Precipitation	바람(m/s) Wind speed	
	Average	High	Lowest		Average	High
2001	12.9	34.3	-18.1	784.1	1.3	9.1
2000	12.3	33.6	-13.5	1357.6	1.5	11.9
1999	13.1	34.9	-12.9	1326.5	1.8	17.3
1998	13.6	34.4	-12.7	1640.2	2.0	13.7
1997	12.7	35.0	-15.0	1456.6	2.2	12.7

Table 9. Weather condition of Je Cheon

연도	기온(℃) Air temperature			강수량 (mm) Precipitation	바람(m/s) Wind speed	
	Average	High	Lowest		Average	High
2001	10.0	34.5	-26.0	849.3	1.4	10.0
2000	9.9	33.6	-17.9	1149.1	1.6	12.3
1999	10.3	34.9	-18.0	1453.4	1.5	12.4
1998	11.2	33.8	-20.4	1581.4	1.3	8.3
1997	9.6	34.8	-18.4	1384.8	1.4	10.7

최근 5년간 청주지역과 제천 지역의 연평균 온도와 최대온도 변화 추이를 보면 두 지역 모두 연평균 온도와 최대온도의 변화가 비례적으로 변화함을 알 수 있다. 연 평균 지상온도는 1998년에 청주지역은 13.6℃와 제천지역은 11.2℃로 가장 높게 나타났으며, 최대온도는 청주지역은 1997년에 35.0℃ 제천지역은 1999년에 34.9℃로 가장 높게 나타났다. 연평균 최대온도는 감소와 증가를 반복하다가 2000년부터 다소 증가 추세를 보이는 것은 대기중 광화학 반응에 있어서 온도가 차지하는 기여율이 크다는 점을 감안할 때 대기오염도의 증가를 예상할 수 있다.

2001년 10월부터 2002년 9월까지 청주시의 풍향 발생 분포를 8,199회의 시간데이터를 16방으로 나누어 측정된 결과는 청주시의 주 풍향은 북서풍 계열과 남동풍 계열인 것으로 조사되었다. 가장 많은 분포를 나타낸 북서풍 계열은 전체 풍향의 1,906회인 23.2%를 차지했으며, 남동풍 계열은 1,643회로 20.1%를 차지하여 두 풍향이 청주시에 미치는 영향은 전체풍향의 43.3%를 차지하였다. 가장 적은 풍향은 남풍으로 190회로 2.3%를 차지하였다. 기상형상은 지역의 대기오염과 상당히 밀접한 관련성을 가지고 있는데, 특히 기상현상에 따라 오염물질의 확산, 희석, 화학반응 등이 일어나며, 이로 인한 새로운 물질의 생성과 기존의 화학물질들이 소멸되기도 하며 장거리 지역까지 오염물질이 수송되는 점을 감안하면 청주시의 대기오염도는 지리적으로 북서, 서북서쪽에 위치한 서울경인지역의 대도시와 공업단지의 장거리 이동에 의한 영향과 청주공단의 영향이 복합적으로 나타났다고 사료된다. 2001년 10월부터 2002년 9월까지 청주시의 풍향 발생 분포를 8,199회의 시간데이터를 16방으로 나누어 계절별로 측정된 하였다. 봄철엔 북서풍(28.2%)과 남동풍 계열(27.6%)이, 가을철에는 동풍(32.5%)과 서풍 계열(32.5%)이 주로 분포되어있으며, 여름철에는 남동풍 계열(48.3%)이, 겨울철에는 북서풍 계열(65.1%)이 뚜렷하게 형성되어 분포되었다. 대기오염물질의 공간적 수평이동과 관련성이 깊은 주 풍향이 청주 지역에서는 북서풍 계열과 남동풍 계열로 조사됨에 따라 고정오염원의 밀집지역인 공업지역이 서북쪽에 위치한

청주지역의 경우 풍향이 대기 오염도에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되며 앞으로 청주지역에 설치될 대기오염자동 측정소의 위치선정에 풍향에 따른 지점의 선정이 필요하다고 사료된다.

**나. 지역의 년도별 대기오염도 특성**

'98년부터 2002년 9월까지의 도내 도시지역의 년도별 오염도 변화를 5개 주요 대기오염물질을 이용하여 살펴보았다. SO<sub>2</sub>는 모든 측정지점에서 년평균 환경기준인 0.020 ppm을 달성하였으며 환경기준 대비 1/2~1/4에 해당되는 낮은 농도를 나타내었다. 청주시의 경우 '98년의 SO<sub>2</sub>의 년평균 농도가 0.010ppm이었던 것이 유류 사용량의 감소와 도시가스 사용량의 증가등 연료 사용의 변화와 함께 점차 개선되어 2002년 현재 0.005ppm으로 '98년 대비 50% 개선된 것으로 나타내었다. 사용연료의 대부분을 유류에 의존하고있는 제천시의 경우 '98년 이후 년도별 오염도의 변화가 나타나지 않고 있다. CO의 경우 청주시의 경우 '98년 1.1ppm으로 나타난 것이 2002년에는 0.8ppm로 27% 감소하였고, 제천시는 '98년 1.1ppm으로 나타난 것이 2002년에는 0.4ppm로 63% 감소하였다.

NO<sub>2</sub>의 경우는 연간 평균 환경기준인(0.050ppm)은 모든 측정지점에서 모두 달성하였지만, SO<sub>2</sub>, CO와는 달리 오염도의 농도가 감소하는 것이 아니라 청주시는 증가와 감소를 반복하고 있고 제천시는 '98년 0.013ppm 이었던 오염도의 농도가 2001년엔 0.027ppm으로 107% 상승한 결과를 나타내었다. 이 결과는 지역의 면적과 기상현상 그리고 사용연료의 전환 및 자동차 사용의 증가 등에 많은 영향을 받은 것으로 사료된다. O<sub>3</sub>의 경우도 NO<sub>2</sub>의 경우와 같이 청주시는 0.020ppm에서 0.022ppm으로, 제천시는 0.018ppm에서 0.023ppm으로 증가하는 것으로 나타내었다. PM-10의 경우엔 SO<sub>2</sub>와 CO와 같이 년평균 오염도가 점차 감소되는 경향을 보이고 있다. 청주시가 '98년 0.073mg/m<sup>3</sup>에서 2002년 0.054mg/m<sup>3</sup>으로 26% 감소하였으며 제천시의 경우 2000년 9월부터 자동측정이 시작되어 안정된 측정 결과를 나타내고 있다. 도내 도시지역의 년도별 오염물질의 평균농도 및 오염도 변화를 Table 10과 같다.

Table 10. Average concentrations of pollutant by year

항목 년도	SO <sub>2</sub> (ppm)		O <sub>3</sub> (ppm)		NO <sub>2</sub> (ppm)		CO (ppm)		PM-10 (μg/m <sup>3</sup> )	
	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천
1998	0.010	0.006	0.020	0.018	0.023	0.013	1.1	1.1	0.073	-
1999	0.008	0.007	0.020	0.018	0.025	0.015	1.2	0.9	0.064	-
2000	0.006	0.007	0.017	0.019	0.025	0.021	1.1	0.5	0.060	0.049
2001	0.006	0.007	0.021	0.017	0.021	0.027	0.9	0.5	0.062	0.064
2002	0.005	0.006	0.022	0.023	0.021	0.020	0.8	0.4	0.054	0.063

**다. 지역의 계절별 대기오염도 특성**

'98년부터 2002년 9월까지의 도내 도시지역의 계절별 오염도 변화를 5개 주요 대기오염물질을 이용하여 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 및 겨울(12~2월)로 구분하여 살펴보았다. 5개 항목에 대한 계절별 경향을 분석한 결과 오존을 제외한 4개 항목은 겨울철 대기오염도가 가장 높고 여름철 대기 오염도가 낮은 동고하저의 변화 경향을 나타내었다. 이는 사계절이 뚜렷한 국내 기상여건을 감안할 때 여름철 장마현상이 오염도 저감에 상당부분 기여한 것으로 사료된다. 또한 기상현상에 의한 영향을 많이 받는 O<sub>3</sub>은 봄철에 오염도가 높게 나타내었고, 장마현상이 지속된 여름부터 감소하기 시작되었다는 점을 감안할 때 기상의 영향을 크게 받았음을 알 수 있다. O<sub>3</sub>농도의 계절평균 농도는 봄에 청주시는 0.027ppm, 제천시는 0.025ppm으로 가장 높게 나타내었다. 연료 사용량과 밀접한 상관관계를 나타내는 SO<sub>2</sub>와 CO의 경우 여름철에 각각 0.005ppm으로 낮게 나타나다가 겨울철에 SO<sub>2</sub>는 0.010ppm, CO는 0.014ppm으로 가장 높은 오염도를 나타내었다. 자동차 배출가스 및 가정난방과 관련된 NO<sub>2</sub>는 강수량이 많은 여름철에 0.015ppm으로 낮게 나타내었고 봄(0.022ppm), 가을(0.027ppm), 겨울(0.029 ppm) 순으로 농도가 높게 나타내었다. PM-10은 황사현상이 발생하는 봄철의 오염도가 청주 0.080mg/m<sup>3</sup>, 제천 0.092mg/m<sup>3</sup>으로 높게 나타났으며, 비가 많은 여름철에 급격히 감소하다가 가을 겨울로 가면서 서서히 증가하는 변화를 나타내었다. 도내 도시지역의 계절별 오염물질의 평균농도 및 오염도 변화를 Table 11과 같다.

Table 11. Average concentrations of pollutant by season

계절	SO <sub>2</sub> (ppm)		O <sub>3</sub> (ppm)		NO <sub>2</sub> (ppm)		CO (ppm)		PM-10 (μg/m <sup>3</sup> )	
	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천
봄	0.008	0.006	0.027	0.025	0.022	0.021	1.0	0.6	0.080	0.082
여름	0.006	0.005	0.021	0.019	0.017	0.015	0.7	0.5	0.047	0.043
가을	0.006	0.006	0.015	0.015	0.027	0.020	1.0	0.6	0.062	0.050
겨울	0.008	0.010	0.015	0.015	0.029	0.021	1.4	0.9	0.063	0.064

라. 지역의 월별 대기오염도 특성

'98년부터 2002년 9월까지의 도내 도시지역의 월별 오염도 변화를 5개 주요 대기오염물질로 구분하여 살펴보았다. SO<sub>2</sub>와 CO의 월 평균 오염도는 11월에서 2월 사이가 가장 높았고 6월에서 8월까지의 낮게 나타났다. 월 평균 최고치와 최저치의 비는 SO<sub>2</sub>, CO가 청주시는 1.80, 2.29 제천시는 2.75, 2.50으로 청주시 보다 제천시의 변화폭이 크게 나타났다. 이와 같이 월별 변화폭이 다르게 나타나는 이유는 겨울철 난방으로 인한 연료 소비량 및 사용연료의 종류에 따른 도시지역에 미치는 대기오염도의 영향이 크게 나타남을 알 수 있다. NO<sub>2</sub>의 경우 월 평균 오염도는 7월에 청주 0.016ppm, 제천 0.013ppm으로 가장 낮게 나타났으며 청주는 12월에 0.033ppm, 제천은 10월에 0.023ppm으로 높게 나타났다. 월 평균 최고치와 최저치의 비는 청주시는 2.06, 제천시는 1.78로 나타나 5개 항목중 가장 낮게 나타났으며, NO<sub>2</sub>는 SO<sub>2</sub>와 같이 공장등 사업장이 많은 공업도시나 차량 통행이 많은 도시에서 높은 오염도를 나타났는데, 도내 도시지역의 NO<sub>2</sub>의 오염도 변화를 다른 항목의 월 평균 최고치와 최저치의 비가 가장 낮고 도시간의 월 평균 최고치와 최저치의 비의 차이가 가장 적게 나타난 것은 연료 사용에 따른 인과 아울러 자동차 증가에 따른 차량운행량 증가에도 많은 영향을 받은 것으로 판단된다.

2차 오염물질인 O<sub>3</sub>의 경우 다른 오염물질과 달리 태양광선의 영향을 받기 때문에 3월부터 점차 증가하다가 5월부터 6월 중순경에 최고치를 보이는 특징을 가지고 있다. O<sub>3</sub>의 월 평균 최고치와 최저치의 비는 청주시는 2.82, 제천시는 2.08로 나타

났다. 청주시가 제천시보다 오염도의 변동폭이 크다는 것은 오존을 발생시킬 수 있는 인위적인 오염물질 배출이 많다는 것을 의미하며 오염원의 감소와 최선의 개선 방법에 대한 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

대기중의 미세먼지는 토양의 비산, 해염입자 등 자연현상에 의한 것과 연료의 연소, 산업공정, 자동차 배출가스 등 주행에 따른 도로 먼지의 비산 등 인위적인 요인에 의해 발생한다. 도내 도시지역의 PM-10의 월별 오염도 변화는 다른 1차 오염물질과 비슷하게 강수량이 많은 7~9월엔 낮게 나타나고 황사 영향이 많은 3~4월에 높게 나타났다. PM-10의 월 평균 최고치와 최저치의 비는 청주시는 2.46, 제천시는 3.09로 나타났다. 도내의 PM-10의 농도는 3월에 제천시가 0.108mg/m<sup>3</sup>으로 가장 높게 나타났으며 8월에 0.035mg/m<sup>3</sup>으로 가장 낮게 나타났다. 도내 도시지역의 월별 오염물질의 평균 농도 및 오염도 변화를 Table 12와 같다.

2. 최근 대기오염도 분석

가. 오존의 영향

광화학 옥시단트는 오존(O<sub>3</sub>), PAN등 산화성물질

Table 12. Average concentrations of pollutant by month

계절	SO <sub>2</sub> (ppm)		O <sub>3</sub> (ppm)		NO <sub>2</sub> (ppm)		CO (ppm)		PM-10 (μg/m <sup>3</sup> )	
	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천	청주	제천
1월	0.009	0.010	0.015	0.015	0.026	0.022	1.5	1.0	0.080	0.080
2월	0.008	0.010	0.018	0.018	0.027	0.021	1.1	0.8	0.088	0.071
3월	0.009	0.008	0.023	0.023	0.027	0.019	1.2	0.8	0.096	0.108
4월	0.008	0.006	0.028	0.027	0.022	0.022	1.1	0.7	0.082	0.101
5월	0.009	0.005	0.031	0.027	0.019	0.021	0.9	0.4	0.062	0.066
6월	0.007	0.005	0.026	0.024	0.019	0.019	0.7	0.5	0.062	0.057
7월	0.006	0.004	0.020	0.016	0.016	0.013	0.7	0.4	0.069	0.069
8월	0.005	0.005	0.017	0.017	0.017	0.014	0.7	0.6	0.039	0.036
9월	0.006	0.004	0.020	0.017	0.021	0.018	0.8	0.5	0.052	0.066
10월	0.006	0.005	0.015	0.014	0.029	0.023	1.0	0.6	0.065	0.049
11월	0.007	0.009	0.011	0.014	0.030	0.020	1.3	0.8	0.069	0.064
12월	0.009	0.011	0.011	0.013	0.033	0.021	1.6	0.9	0.060	0.060

의 총칭이다. 대기중의 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 탄화수소(HC)가 태양광선을 받아 광 화학 반응하여 생성된다. 광화학 생성물로는 Formaldehyde (HCHO), Acrolein (CH<sub>2</sub>CHCHO)등의 환원성물질과 무수황산(SO<sub>3</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>)등이 있지만 이것들은 포함하지 않는다. 도내 측정소에서는 광화학옥시던트 중에서 O<sub>3</sub>만을 측정하고 있다.

Table 13은 최근 2년간 오존의 단기, 장기 초과횟수와 최고농도를 나타내었다. 1시간 평균 환경기준을 청주시는 2001년에 11번 2002년에 1번 초과하였고 최고 농도는 2001년의 0.108ppm으로 나타났다. 장기 기준인 8시간 평균 환경기준엔 청주시는 137회 제천시는 87회 초과한 것으로 나타났다. 청주시는 0.092, 제천시는 0.085ppm의 최고농도를 나타내었다.

O<sub>3</sub>와 NO<sub>2</sub>의 상관관계를 2001년과 2002년의 시간 자료를 수집하여 시간대별로 분석하여 Fig 1에 나타내었다. 광화학 반응을 일으키기 위한 기본요소로 질소화합물(NO<sub>x</sub>), 탄화수소(주로 olefin계) 그리고 380nm~400nm의 자외선이나 가시광선이 필요하다. 또한 발생 조건으로는 일사량이 크고, 대기오염배출원이 많고 공기 환기량이 적을 때 그리고 안정한 역전이 생겨 대기의 수직 혼합이 없거나 바람이 없어서 수평 방향의 확산이 이루어 지지 않을 때 광화학 반응은 잘 일어난다고 한다. Fig 1에 나타난 하루 중 오존의 농도 변화를 자세히 살펴보면 새벽엔 기상조건의 영향으로 O<sub>3</sub>와 NO<sub>2</sub> 모두 감소하는 것을 볼 수 있다. 06시 이후 교통량의 증가로 인하여 NO<sub>2</sub>의 농도가 서서히 증가하는 반면 O<sub>3</sub>의 농도는 변화하지 않는다. 09시 이후 태

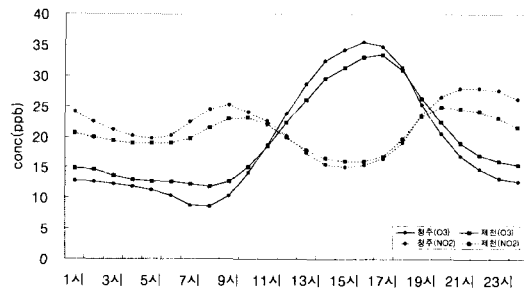


Fig 1. Correlation of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> by time

양광선을 받으면서 이미 증가된 NO<sub>2</sub>는 광화학반응을 일으켜 NO와 O로 분리된다. 이때 생성된 반응성이 강한 산소 원자가 공기중의 O<sub>2</sub>와 결합하여 2차 오염물질인 O<sub>3</sub>를 생성하며 NO농도 또한 증가하게 된다. 일사량이 많은 낮 시간대엔 16시~17시까지 O<sub>3</sub>의 농도는 계속 증가하면서 대기중의 NO<sub>2</sub>의 농도를 감소시킨다. 17시 이후부터 O<sub>3</sub>의 농도의 증가와 함께 증가된 NO와 O<sub>3</sub>이 반응하여 NO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>의 반응이 형성되고 O<sub>3</sub>의 농도는 감소하게 된다.

나. 황사의 영향

우리나라에서는 PM-10에 대하여 2001년 1월부터 연간기준치 70 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 24시간 기준치 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup>을 행정목표치로 설정하고 규제하고 있으며 미국에서는 PM-10에 대해서 년평균 50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 일평균 150 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 규제하고 있다. 최근 2년간 PM-10의 24시간 평균농도 초과횟수는 2001년에 청주시는 24회, 최고농도는 371 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 제천시는 11회이며 최고농도는 349 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 나타내었다. 2002년은 2001년도에 비하여 24시간 평균농도 초과횟수는 감소한 것으로 타

Table13. Comparison with an environmental quality standard of O<sub>3</sub>

지역	기준	초과횟수	최고 농도	초과횟수	최고 농도
		1시간 (0.1ppm 이하)		8시간 (0.06ppm 이하)	
2001년	청주시	11	0.108	94	0.090
	제천시	-	-	9	0.072
2002년	청주시	1	0.101	43	0.092
	제천시	-	-	78	0.085

Table 14. Comparison with an environmental quality standard of PM-10

지역	기준	초과횟수	최고 농도 ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )
		24시간 (150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하)	
2001년	청주시	24	371
	제천시	11	349
2002년	청주시	10	766
	제천시	5	865



나 났으나 최고농도는 청주시가 766 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 제천시  
가 866 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2001년에 비하여 1.1~1.5배 증가된  
것으로 나타내었다. 최근의 PM-10의 발생현황은  
Table 14와 같다.

중국 황하유역과 티클라마칸 사막, 몽골의 고비  
사막 등 황사 발원지에서 강한 상승기류와 함께  
배출된 다량의 먼지가 편서풍을 타고 우리나라로  
유입되는 황사현상의 2002년도 발생현황은 Table  
15와 같다. 도내의 황사 현상은 청주시 6회, 제천  
시 7회 발생하였으며, 24시간 평균 최고 농도는 청  
주시는 4월 8일에 766 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 제천시는 866 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로  
나타나 24시간 기준치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 4.1~4.8배의 높  
은 결과를 나타내었다. 또한 시간당 미세먼지의 최  
고농도는 3월은 청주시 내덕동에서 1,405 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로  
24시간 기준치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 8.4배, 년간기준치 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
으로 비교해볼 때 19.1배, 4월은 청주시 내덕동  
의 1,513 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 기준치와 년간 기준치로  
비교해볼 때 각각 9.1, 20.6배이며 제천시 서부동은  
1,615 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 24시간 기준치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 9.8배, 년  
간기준치 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비교해볼 때 22.1배로 가장  
높은 결과를 나타내었다. 1971년 이후 2001년까지  
우리나라에 황사가 발생한날은 모두 169일이며 이  
가운데 105일이 91년 이후 발생하는 등 중국의 사  
막화가 가속되면서 90년 이후에 황사 발생일수가  
계속 증가하는 경향을 나타내고 있다.

다. 대기환경지수

시간별 대기환경지수 HAEI(Hourly Air Envi-

Table 15. Present condition of Yellow sand occurrence (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

		청 주 시	제천시
		내덕동	서부동
2월	6 일		150
	18일		
3월	21일	698	527
	22일	714	804
4월	8일	766	866
	9일	372	532
	10일		156
	17일		157

ronment Index)는 대기오염물질을 0~100까지 지  
수화하여 제시한 것으로 대기오염물질중 탄화수소  
를 제외한 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PM-10의 시간별 농  
도로 구해지며 지수의 등급은 6개의 오염인자로  
분류하고 각 인자별 지수를 산정한 후 최저치를  
대기환경지수로 사용하기 때문에 미국의 대기오염  
지수 또는 대기질 지수와 유사하다고 할 수 있다.  
대기환경지수의 등급별 분류는 Table 16과 같다.

대기환경기준 개정 및 변별력 향상을 위하여 오  
염물질별 대기환경지수를 다음의 식을 이용하여  
산정하였다.

(단위 : 가스상 물질은 ppm, 입자상 물질은  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$$\text{SO}_2 : \text{HAEI}(\text{SO}_2) = 100 - \frac{50}{0.15} \times \text{1시간 평균 SO}_2(\text{ppm})$$

$$\text{NO}_2 : \text{HAEI}(\text{NO}_2) = 100 - \frac{50}{0.15} \times \text{1시간 평균 NO}_2(\text{ppm})$$

$$\text{O}_3 : \text{HAEI}(\text{O}_3) = 100 - \frac{50}{0.10} \times \text{1시간 평균 O}_3(\text{ppm})$$

$$\text{CO} : \text{HAEI}(\text{CO}) = 100 - \frac{50}{25} \times \text{1시간 평균 CO(ppm)}$$

$$\text{PM-10} : \text{HAEI}(\text{PM-10}) = 100 - \frac{50}{200} \times \text{1시간 평균 PM-10}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

2001년 10월부터 2002년 9월까지 청주시와 제천  
시의 대기오염상태를 대기환경지수로 전환하여 각  
지역별 상태는 Fig 2와 같다. SO<sub>2</sub>와 CO의 경우  
유류 사용량의 감소와 도시가스 사용량의 증가등  
연료 사용의 변화와 함께 점차 개선되어 두 지역  
모두 100%가 좋음 이상으로 나타났으며 앞으로도

Table 16. Classification of atmosphere environmental index by grade

지수	20 이하	20~50	50~80	80~90	90~97	97 초과
구분	매우 나쁨	나쁨	약간 나쁨	보통	좋음	매우 좋음

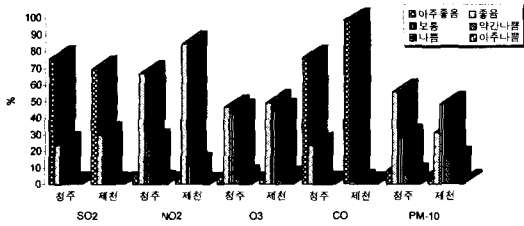


Fig 2. Local state of the atmosphere environment index

좋은 상태를 유지할 것으로 사료된다. 한편 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>은 자동차 증가에 따른 차량 운행량 증가 등에 영향을 많이 받는 것으로 대기환경지수의 6단계 중 최고 깨끗한 아주 좋음보다는 좋음과 보통 단계에 각각 90%이상으로 나타났다. 이는 앞으로도 교통량과 차량의 증가로 인하여 대기환경지수는 보다 낮아질 것으로 사료된다. 전체적으로 대기환경지수의 6단계 중 최고 깨끗한 아주 좋음이 35.0%, 좋음이 41.5%, 보통이 20.4%, 약간 나쁨이 2.9%, 나쁨이 0%, 아주 나쁨이 0.2%로 나타났으며 PM-10을 제외한 전항목이 청주시보다는 제천시의 대기환경지수가 높은 단계로 나타났다.

### III. 결 론

1998년부터 2002년 9월까지 도내 대기오염자동차 측정소에서 발생된 측정자료를 활용하여 대기오염 물질 농도 및 기상관측자료를 이용하여 도내 도시 지역의 대기실태를 조사 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도내 도시지역의 년 평균 농도는 SO<sub>2</sub>, CO, PM-10은 감소하는 경향을 나타냈고 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>은 다소 증가하였다.
2. 도시지역의 계절별 오염도는 전체적으로는 여름이 가장 낮게 나타났고 항목별로 O<sub>3</sub>은 일사량이 많은 봄철, PM-10은 황사 현상이 발생하는 봄철, SO<sub>2</sub>와 CO는 겨울철에 높게 나타났으며, NO<sub>2</sub>는 가장 낮은 여름철을 제외하면 년중 비슷

한 농도로 나타났다.

3. 도시 지역의 월별 오염도는 전체적으로는 7월, 8월이 낮게 나타났고 12월과 1월이 높게 나타났다. SO<sub>2</sub>, CO 및 NO<sub>2</sub>는 12월, O<sub>3</sub>은 5월, PM-10은 3월에 높게 나타났다.
4. 최근 대기오염도 분석에서 대기환경 기준 초과 횟수는 O<sub>3</sub>의 1시간기준 12회, 8시간기준 초과횟수는 2001년 103회, 2002년 121회로 전년 대비 증가하였으며, PM-10은 24시간 기준을 2001년 35회, 2002년 15회로 감소하였으나 최대농도는 2001년 371 $\mu$ g/m<sup>3</sup>에서 2002년 865 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 높아진 것으로 나타났다.
5. 대기환경지수는 아주 좋음 35.0%, 좋음 41.5%, 보통 20.4% 약간 나쁨 2.9%, 나쁨 0%, 아주 나쁨 0.2%로 전체적으로 도내 지역의 대기 상태는 청정상태를 나타냄을 알 수 있으며 청주시보다는 제천시의 대기환경지수가 높은 단계로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 윤오섭, 홍성길, 대기오염과 미기상학, 동화기술, 1992
2. 충청북도, 충북통계연보, 2001
3. 청주시, 청주시통계연보, 2001
4. 제천시, 제천시통계연보, 2001
5. 환경부, 대기오염측정망설치·운영지침, 2002
6. 환경부, 환경관계법규대기편, 1998
7. 경기도보건환경연구원, 보건환경연구원보, 2001
8. 경기도보건환경연구원, 2000년 경기도 대기오염평가보고서, 2001
9. 대구광역시보건환경연구원, 대구 지역대기질 현황 및 관리방안, 2001
10. 부산광역시 보건환경연구원, 보건환경연구원보, 2001