

대조코호트 연구를 위한 충주의 대기오염현황 조사와 산단지역과의 비교

김재훈[†] · 위성승 · 남상훈 · 안정선 · 김대선
국립환경과학원 환경역학과
(2008. 1. 14. 접수/2008. 2. 19. 채택)

The Investigation and Comparison of Characteristics of Air Pollution for Cohort Study in Chungju with Industrial Cities

Jaehoon Kim[†] · Seong seung Wee · Sang hoon Nam · Jung sun An · Dae-sun Kim
*Environment Epidemiology Division, National Institute of Environmental Research, Kyungseo-dong,
Seo-gu, Incheon 404-708, Korea*
(Received January 14, 2008/Accepted February 19, 2008)

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate air quality in Chungju, Korea, using data obtained with a local air quality monitoring system. We have utilised cohort studies to investigate the relations between environmental pollution and the health of residents near large industrial complexes since 2004. This study analyzes the O₃, NO₂, SO₂, CO and PM₁₀ concentration in Chungju from 2002 to 2006. Air pollutants are closely related to the number of manufacturing facilities and cars, energy utilization and weather conditions. Generally, the diurnal concentration of air pollutants in Chungju reached the highest level in the morning (about 08:00~) and early evening (about 19:00~). On the other hand, the diurnal concentration of ozone as recorded gives the highest amount in late afternoon (about 16:00~) and lowest in early morning (about 08:00~). The concentration of air pollutants in Chungju was highest from winter to spring and lowest during the summer season. On the other hand, the monthly variation of ozone concentration was greatest in June and smallest in December. Also the, PM₁₀ concentration posted the highest record in April and the lowest during September. In general, this study analyzed air pollution changes in Chungju as well as in large scale industrial complex regions within Korea such as Ulsan, Pohang, Kwangyang, Sihwa · Panwol and Gangneung in Korea. We compared the air quality of Chungju with those of these cities and found that air pollutants except for CO in Chungju was generally lower than large industrial complex regions.

Keywords: cohort, air pollution, ozone, PM₁₀, Chungju, air quality monitoring system

I. 서 론

최근 들어 울산, 포항과 같이 대규모 국가산업단지가 입지한 지역의 주민들이 천식, 알레르기 등의 건강이상 증세를 호소하는 경우가 증가하고 있어 이들 지역에 대해 환경오염과 지역주민의 건강영향에 대한 조사(코호트 조사)가 수년간 진행되어 왔다.¹⁾ 코호트 조사란 특

정요인을 가진 집단을 선정하고 장기간에 걸친 조사를 통해 해당요인이 어떠한 영향을 미치는지를 확인 · 관찰하는 것이다. 산업단지 지역주민의 건강이상이 환경오염에 의한 영향인지를 정확히 판단하고, 조사결과와 객관성을 높이기 위해서는 환경오염으로 인한 건강영향이 배제된 지역주민들을 대상으로 장기간의 환경변화와 건강영향을 관찰하는 대조코호트 조사가 필요하다. 본 연구에서는 기후 및 지리적 특성, 인구분포, 산업활동 등 사회, 경제, 환경적 요인 등을 다양하게 고려하여 대조코호트 조사지역으로 대규모 환경오염요인이 없는 충주를 선정하였다. 그리고 해당지역에 대한 기초조사로 지역주민의 건강에 직 · 간접적인 영향을 미치는 대기오염물질을 조사하였다.

[†]Corresponding author : Environment Epidemiology Division, National Institute of Environmental Research
Tel: 82-32-560-7273, Fax: 82-32-568-2042
E-mail: clean@me.go.kr

도시지역의 대기오염에 영향을 주는 주요요인은 지역 내 산업체의 생산활동, 석탄, 석유와 같은 화석연료의 사용, 자동차 배기가스, 각종 비산먼지 등을 꼽을 수 있다. 이외에도 일조량, 강우량, 바람 등 기상조건에도 영향을 크게 받는다. 최근 들어 대기환경기준의 강화, 산업체의 자체적인 감축노력, 저유황유 및 천연가스 보급 확대와 비산먼지 발생억제 등 각종 환경정책 강화로 대도시를 중심으로 대기오염물질의 농도는 점차 낮아지는 추세이지만, 이와는 반대로 O₃ 농도는 대기환경기준치가 초과되어 오존경보의 발령횟수가 잦아지고 있으며, 대기오염이 천식, 기관지염, 아토피성피부염과 같은 환경오염과 관련한 질환자의 증가는 물론 사망률과도 밀접한 관련이 있다는 것이 많은 연구에 의해 밝혀지고 있는 실정이다.²⁾

본 연구에서는 대규모 국가공단이 위치한 산단지역 조사결과와 비교를 위한 대조코호트 조사지역으로 충주시를 선정하였고 2004년~2006년간의 충주시 대기환경자동측정망 자료를 바탕으로 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM₁₀) 등 5개 항목에 대해 대기오염현황 및 시간별, 계절별 변화특성을 분석하였다. 그리고 대기환경변화에 영향을 미치는 인구수, 산업체수, 자동차수, 연료사용량 등 사회·경제적 영향요인을 조사하였다. 이를 바탕으로 충주의 대기환경특성을 파악하였고 그 결과를 울산, 포항, 광양 등 우리나라의 대규모 국가산업단지가 입지한 도시들의 대기환경과 비교하였다. 또한 이들 지역간의 상관관계를 통계적으로 분석하였다.

II. 연구방법

1. 대상지역 선정

대조코호트 조사지역의 선정은 ① 인구 15만명 이상 도시 ② 연령 및 성별 인구구성이 산업단지 조사사업

지역과 비슷한 도시 ③ 대기오염자동측정망이 설치된 도시 등의 기준으로 춘천, 원주, 청주, 충주, 천안, 진주, 안동, 진주, 김해, 양산을 후보지역으로 하고 이에 대한 토론과 협의를 통해 충주를 최종적으로 대조코호트 조사지역으로 선정하였다. Table 1에 각 후보도시들간의 인구와 대기환경의 기초자료를 정리하였다.

2. 연구방법

충주시의 대기환경에 영향을 주는 주요요인인 산업체수, 자동차수, 석유 및 석탄 등 연료사용량의 변화를 조사하였다. 충주를 비롯하여 각 지역에 설치된 대기오염자동측정망을 통해 2004년 1월부터 2006년 12월까지 측정된 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 5개 항목의 자료를 바탕으로 대기환경 현황과 각 오염물질의 시간대별, 계절별 대기오염물질의 농도변화 특성을 분석하였다. 각 지역의 대기오염자동 측정망은 충주 1개 지역, 강릉 1개 지역, 울산 14개 지역, 포항 4개 지역, 광양만권(여수포함) 6개 지역, 시화반월(시흥) 1개 지역내 설치된 측정망자료를 이용하였다.

그리고 대조지역인 충주, 강릉과 산단지역간의 상관관계를 비교분석하기 위해서 동 기간에 대기오염측정치의 시간대별 평균값을 이용하여 상관관계를 분석하였다. 상관관계분석은 이들 지역들 간의 양의변동과 음의변동의 차이를 볼 수 있으며 지역간의 상관관계를 통해 통계적으로 선형의 관계를 파악할 수 있다. 본 연구에서 이용한 상관계수를 구하는 함수는 다음과 같다.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\cos(X, Y)}{\rho_X \rho_Y}$$

여기서 X, Y는 지역이며 ρ_Xρ_Y은 X 지역과 Y 지역의 상관계수이므로 지역 X와 지역 Y의 공분산과 상관계수 X와 Y의 선형관계를 측정한다. 이렇게 구해진 상관

Table 1. The social index of proposed cities for chort study

Items	City	Gangwon		Chungbuk		Chungnam	Chonbuk	Gyeonbuk	Gyeongnam		Gangwon	
		Chuncheon	Wonju	Cheongju	Chungju	Cheonan	Jeonju	Andong	Jinju	Gimhae	Yangsang	Gangneung
Population	Male	125,914	142,643	312,244	105,273	258,562	308,206	87,218	167,187	219,699	107,821	109,562
	Female	128,409	141,717	314,370	103,284	251,182	316,054	87,378	170,238	213,377	105,874	111,144
	Total	254,323	284,360	626,614	208,557	509,744	624,260	174,596	337,425	433,076	213,695	220,706
Air quality	SO ₂	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	-	-	-	0.005	-	0.005
	CO	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	-	-	-	0.8	-	0.6
	NO ₂	0.014	0.023	0.022	0.012	0.024	-	-	-	0.026	-	0.015
	PM ₁₀	60.0	69.1	61.0	49.8	78.2	-	-	-	85.0	-	52.7
	O ₃	0.025	0.019	0.020	0.021	0.021	-	-	-	0.026	-	0.027

계수를 통하여 지역간의 군집을 위하여 거리의 척도로 $1 - \rho_{X,Y}$ 를 사용하였으며, 군집의 방법은 지역간에 가장 가까운 군집부터 묶기 위하여 최단연결법을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 주요 대기환경 영향요인

충주지역 대기환경에 직간접적인 영향을 주는 오염원들은 고정오염원으로 각종 생산활동을 통해 오염물질을 직접 배출하는 산업체, 난방을 위해 석유, 석탄 등 화석연료의 사용하는 건물 및 주택들이고 이동오염원은 대표적으로 자동차를 꼽을 수 있다. 이들 오염원으로부터 배출되는 각종 오염물질들은 시간적, 계절적으로 생산활동, 난방, 자동차운행 등의 변화에 따라 지역 내 오염물질의 농도변화와 직접적인 관련이 있다. 특히 지역내 주요 오염원인 산업체는 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 등 전통적인 대기오염물질 외에 건강에 직·간접적인 영향을 미치는 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족화합물(PAHs) 각종 화학물질들을 배출한다는 점에서 유의해야 한다. 또한 자동차는 대표적인 이동오염원으로 도시지역에서 배출되는 대기오염물질의 상당량을 담당하고 있으며 도시에서 자주 발생하는 광화학스모그의 주성분이 O₃으로 알려져 있다. 또한 O₃ 생성원인 물질은 자동차배기가스를 통해 배출되는 NO_x, HC,

등이며, 특히 이 중 NO_x는 O₃의 주요 전구물질이기 때문에 자동차운행과 오존농도와의 깊은 관련성이 있다. Table 2에 충주시 대기환경에 직간접적인 영향을 미칠 수 있는 주요 인자들에 대한 조사결과를 정리하였다. 조사결과 충주시에 등록된 산업체수는 2003년 총 258개소에서 2007년 7월 현재까지 총 393개소로 매년 꾸준히 증가하고 있으며, 자동차 등록대수도 2003년 65,724대에서 2007년 현재 73,561 대로 매년 3% 내외씩 증가하고 있다. 또한 가정 및 건물의 난방과 각종 산업활동에 사용되는 석유, 석탄, 가스 등 에너지 사용량도 매년 증가하고 있다. 다만 충주시 거주 인구수는 2004년 209,138명에서 2007년 7월 현재 206,079명으로 조금씩 감소하였다. 충주시 대기환경을 평가함에 있어 대기오염물질의 직접측정치 이외에 이들 영향요인의 변화를 관찰함으로써 충주시 대기환경의 변화원인을 직간접적으로 추정할 수 있을 것이다.

2. 대기오염 특성

2004년 1월부터 2006년 12월까지 충주시 문화동에 설치된 대기환경자동측정망⁴⁾을 통해 측정된 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 5개 항목의 시간단위 측정값을 산술평균한 결과를 Table 3에 나타내었다. 조사 결과, 이들 5개 항목 모두 현행 대기환경기준을 만족하고 있다.

또한 측정값을 각 년도별로 산술평균하여 최근 3년간의 년도별 변화를 Table 4에 나타내었다. PM₁₀은 년도

Table 2. Present situation of social indices in Chungju³⁾

Items	Year				
	2003	2004	2005	2006	2007. 7
Population	209,138	207,534	207,173	206,236	206,079
Numbers of car	65,724	67,217	69,575	71,543	73,561
Numbers of manufacturer	258	265	272	-	393
Use of energy					
Petroleum (kl)	153,747	154,300	159,864	178,115	-
Coals (Anthracite, ton)	23,500	23,303	37,856	43,021	-
Gas (LPG, ton)	52,409	53,955	63,752	40,814	-

Table 3. Average concentration of air pollutants in Chungju from 2004 to 2006⁴⁾

Pollutants	Air quality standards	Mean ± SD	Percentiles							IQR [*]
			Min.	10	25	50	75	90	Max.	
SO ₂ (ppb)	50 ppb/24 hr	5.69±6.02	0	1	2	4	7	13	87	5.0
NO ₂ (ppb)	80 ppb/24 hr	13.81±7.57	0	6	8	12	18	24	53	10.0
O ₃ (ppb)	60 ppb/8 hr	23.91±19.21	0	4	8	19	35	51	125	27.0
CO (ppm)	9 ppm/8 hr	0.74±0.55	0	0.2	0.44	0.66	0.9	0.15	0.5	0.5
PM ₁₀ (µg/m ³)	100 µg/m ³ /24 hr	45.22±32.18	0	16	24	37	58	84	470	34.0

*IQR=Interquartile Range.

Table 4. Annual average concentration of air pollutants in Chungju⁴⁾

Pollutants	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	PM ₁₀ (mg/m ³)
Year					
2004	3.62	12.28	23.69	0.66	51.85
2005	5.72	14.22	24.30	0.67	41.19
2006	7.65	14.89	23.75	0.88	43.26

별로 점차 농도가 낮아지고 있고 O₃은 거의 변화가 없는 반면, SO₂, NO₂, CO는 매년 조금씩 농도가 증가하고 있다. 이러한 대기오염물질의 농도증가는 Table 3에 나타낸 바와 같이 충주시 소재 산업체수, 에너지사용량 및 자동차대수 등 대기환경에 직간접적인 영향을 미치는 요인들이 매년 점차 증가하고 있는 것과 관련이 있을 것으로 여겨진다. 그러나 대기오염물질의 농도변화에 영향을 미치는 요인은 그 외에도 많은 만큼, 이에 대한 정확한 조사와 분석이 요구된다.

1) 시간대별 농도변화

충주시에서 측정된 대기중 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 5개 항목의 하루 중 시간대별 농도변화를 Fig. 1에 나타내었으며 5개의 오염물질중 하루 중 가장 큰 폭의 농도변화가 있는 것은 O₃로서 하루중 최저값은 0.019 ppb, 최고값은 0.0435 ppb이다. O₃는 하루중 오후 4시를 전후해서 최고치를 나타내고, 이후 계속해서 낮아지다가 일출 직전과 직후인 오전 7시를 전후해서 최저치를 나타내는 변화경향을 보이고 있다. 이러한 충주 지역 대기중 O₃의 농도변화는 하루 중 기온이 높고, 일조량이 많은 오후 중에 가장 높고 새벽에 가장 낮은 기존 연구결과와도 일치한다.⁵⁾

도시지역의 대기중 O₃ 농도는 NO₂, SO₂, CO와 같은 1차 오염물질들의 농도와 역상관관계를 가진다고 보고

되고 있는데,⁶⁾ 본 연구에서 NO₂ 농도는 하루중 오전 7시 전후와 오후 6시 전후 하루 두번의 오르내림을 반복하다 오후 9시경에 최고치를 나타낸다. 대형 산업체와 같이 대규모 오염물질 배출원이 없는 대도시지역의 대기 중 NO₂ 농도변화는 일반적으로 난방을 위한 석탄, 석유 등 화석연료의 사용과 자동차운행에 기인한다. 이때 대기중으로 같이 배출된 NO는 거의 전부 NO₂로 전환되며 특히 O₃와 반응하여 NO₂의 농도를 증가시킨다. O₃의 전구물질로 알려진 NO₂은 오전 중에 농도가 높아지고 있고, 일정시간 경과 후 O₃의 농도가 가파르게 증가하고 있는데, 이러한 O₃ 농도 증가는 일출 이후 기온과 일조량이 상승하는 기상조건과 함께 NO₂의 농도증가가 일정부분 기여하는 것으로 여겨진다. 기존연구에 따르면⁷⁾ NO₂는 하루 중 10시에 최고농도를 나타내고, O₃는 하루중 오후 1시 이후에 최고농도가 나타나고 있으며 다른 복잡한 요인들이 있겠지만 단순평가시 질소산화물과 오존의 반응시간은 통상 3~5시간 소요된다고 하였다. CO와 SO₂는 하루 중 농도값의 큰 변동은 없으나 오후 4시를 전후해서 가장 낮고 오후 8시 전후에 높아지는 경향을 나타냈다. PM₁₀은 오전 11시를 전후에 최고치를 보이고 계속 낮아지다가 오후 7시를 전후해서 최저치를 나타내고 이후 다시 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이들 역시 하루 중 난방, 자동차, 운행 등 각종 생산활동 및 지역주민들의 생활경향과 관련이 있는 것으로 여겨진다.

2) 계절별 농도변화

충주시에서 측정된 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 5개 대기오염물질의 월별 농도변화를 Fig. 2에 나타냈다. 먼저 PM₁₀은 황사가 자주 발생하는 봄철인 3월부터 5월까지 가장 높았고 강우량이 많아지는 여름철인 6월부터 9월까지 급격히 낮아진다. 또한 가을철 들어 다

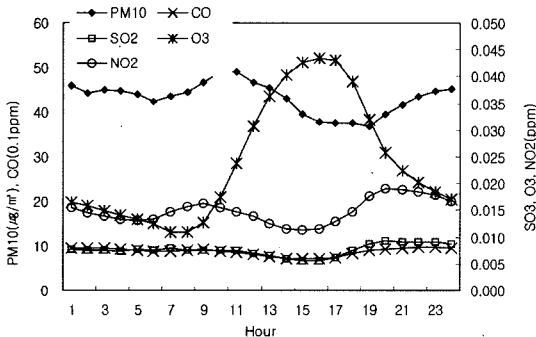


Fig. 1. Hourly variation of annual average concentration of SO₂ in Chungju and other cities.

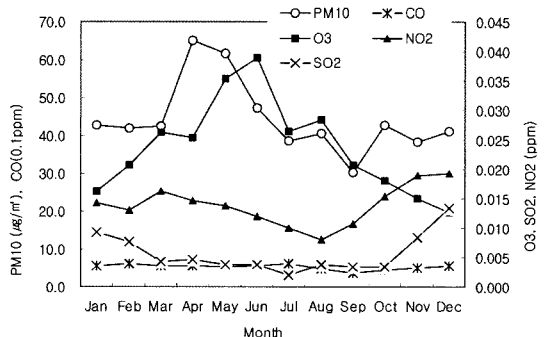


Fig. 2. Monthly variation of annual average concentration of air pollutants in Chungju.

시 높아지는데, 가을철에 PM₁₀의 농도가 다시 높아지는 현상은 기온저하에 따른 난방에 의한 미세먼지의 배출 증가, 대기확산 효과 저하와 함께 최근 들어 보고되고 있는 가을철 황사발생 등 계절적요인과 관련이 있다. 온도, 일조량 등 기상조건과 밀접한 관련이 있는 O₃은 늦봄과 초여름인 5월~6월에 최고치를 보이고 이후 계속해서 낮아지다가 겨울철인 12월~1월에 최저치를 보인다. 이처럼 O₃ 농도가 봄철에 증가하고 여름철에 감소하는 조사결과는 국내의 기존연구결과와 일치한다.^{8,10)}

NO₂, SO₂의 경우 난방이 시작되는 가을철부터 겨울철에 상대적으로 높은 값을 유지하다 이후 점차 낮아지고, 강우량이 많은 여름철인 8월에 최저치를 나타낸다. 도시지역에서 NO₂, SO₂ 농도의 계절적 변화는 겨울철 난방 등에 의한 오염물질의 배출 증가와 여름철 집중호우, 겨울철의 대기확산 약화 등 계절적 조건과 관련이 있다. 특히 연료중에 포함된 황(S) 성분에 의해 난방을 위한 석탄, 석유 등 화석연료의 사용량변화와 직접적인 관련이 있는 SO₂는 난방을 시작하는 10월 이후부터 상승하고 연료사용량이 적어지는 3월 이후 낮아져 1년중 7월이 가장 낮아지는 등 농도변화가 계절별로 확실하게 구분된다. CO의 경우, 다른 오염물질에 비해 대체로 큰 값의 변화는 없으나 역시 강우량이 많은 여름철인 8~9월에 상대적으로 낮은 값을 유지한다.

3. 지역간 대기오염물질특성 비교

대조코호트 조사지역인 충주와 산업단지 지역인 울산, 포항, 광양만권(여수), 시화반월(시흥)간의 대기오염 특성을 비교하였다. 또한 해안지역 중 청정지역으로 평가된 강릉과도 비교하였다. 지역간 대기오염물질 농도를 비교하기 위해 본 연구에서는 각 지역내 대기환경 자동측정망의 자료를 이용하였는데 충주는 2006년까지 문화동에 1개소(2007년 2개소)만이 운영되고 있어 이것만으로 충주의 대기환경을 대표하는 데는 한계가 있

다. 그러나 해당 자료는 지역별 대기오염현황을 평가할 수 있는 가장 객관적인 자료라는 점에서 대조코호트 조사를 위한 기초자료로 활용하였다.

Table 5에 나타낸 바와 같이 CO를 제외하고 SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀ 항목은 충주시가 다른 산업단지 지역 비해 대체로 낮은 값을 보이고 있다. 또한 울산과 시화반월지역의 O₃ 농도가 비교적 청정지역인 강릉과 충주에 비해 오히려 낮게 나타났는데, 기존 연구에서 오염된 대도시의 O₃ 농도는 대기중 광화학반응에 의해 최고 농도는 전원지역에 비해 높지만 평균농도는 오히려 낮을 수 있다고 하였다.⁹⁾

1) 시간대별 농도 변화

충주와 울산, 포항 등 산업지역간의 대기오염물질의 하루중 시간대별 농도변화특성을 Fig. 3~7에 비교하였다. 연구결과, CO, NO₂, O₃의 하루중 농도변화는 충주와 다른 산업지역간에 서로 유사한 경향을 보이고 있는 반면 SO₂와 PM₁₀은 지역간 확연한 차이를 있다. SO₂의 경우, 여수와 시화반월은 하루중 오전시간(9-11시)에 최고치를 보이는 반면, 울산은 오후 2시를 전후에 최고치를 나타냈고, 충주는 오후 8시전후에 최고치

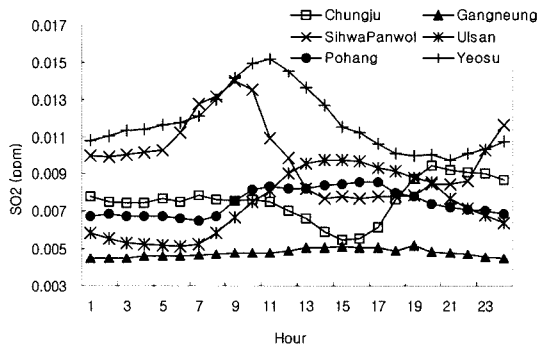


Fig. 3. Hourly variation of annual average concentration of SO₂ in Chungju and other cities.

Table 5. Comparison of annual average concentration of air pollutants in Chungju with Industrial complex regions

Districts	Pollutants	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Chungju		5.69±6.02	13.81±7.57	23.91±19.21	0.74±0.55	45.22±32.18
Gangneung		4.86±3.68	16.48±10.96	27.20±15.45	0.55±0.28	54.73±39.63
Ulsan		8.39±13.95	22.75±14.81	21.52±15.61	0.48±0.43	50.73±40.75
Pohang		8.50±6.41	25.06±15.61	26.68±14.73	0.75±0.58	62.79±45.77
Yeosu		10.49±12.15	17.99±11.76	28.08±17.45	0.58±0.49	45.57±32.87
Sihwa · Panwol (Siheung)		9.89±12.77	31.74±18.62	20.44±15.73	0.71±0.47	67.20±61.54

※Period : 2004.1~2006.12

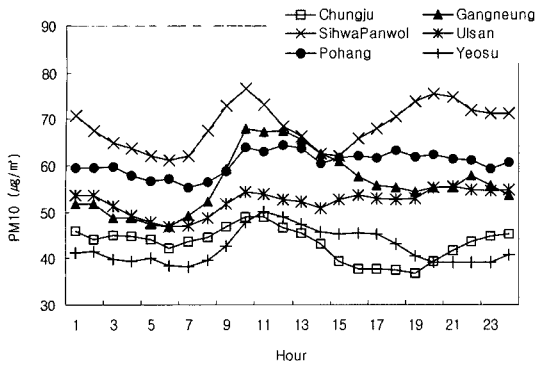


Fig. 4. Hourly variation of annual average concentration of PM₁₀ in Chungju and other cities.

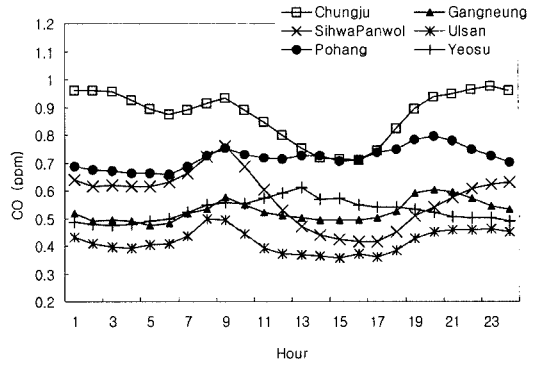


Fig. 7. Hourly variation of annual average concentration of CO in Chungju and other cities.

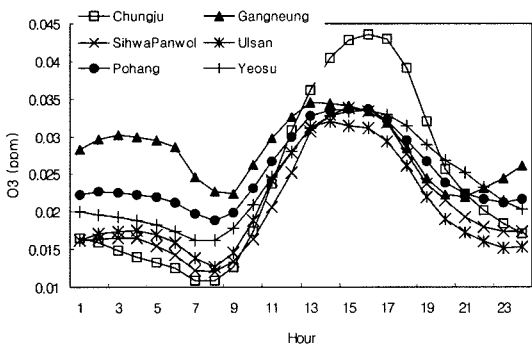


Fig. 5. Hourly variation of annual average concentration of O₃ in Chungju and others cities.

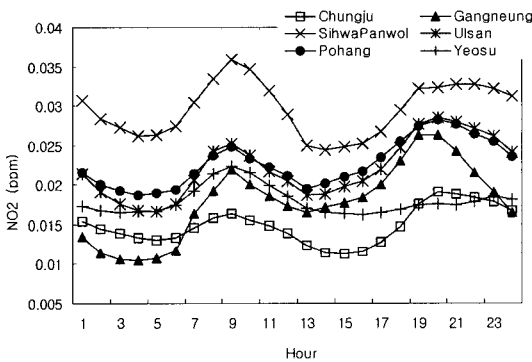


Fig. 6. Hourly variation of annual average concentration of NO₂ in Chungju and other cities.

를 보였다. 이에 반해 강릉은 하루중 SO₂의 농도에 큰 변화가 없었다. PM₁₀은 일반적으로 도시지역에서는 자동차 등의 운행이 가장 적은 새벽시간대에 하루중 가장 낮은 농도를 보인다고 보고되고 있는 것에 반해, 충주는 오히려 오후 6시 전후에 하루 중 가장 낮았다가 저녁부터 상승하여 새벽시간대까지 일정 농도를 유지

하고 있다.

원주와 강릉의 오존농도를 조사한 기존 연구결과에서 상대적으로 청정지역인 강릉이 야간의 높은 농도로 인해 월평균 오존농도가 원주에 비해 오히려 높게 나타났다 하었는데,¹⁰⁾ 충주는 전반적인 일일 평균농도가 낮은 반면 하루 중 가장 급격하게 최저농도(오전 7시)와 최고농도(오후 4시)의 변화를 보이고 있다. 이처럼 하루중 오염물질의 변화경향이 다른 것은 해당지역별로 산업활동, 자동차운행, 난방연료의 사용, 기상조건 등의 차이에 따라 오염물질배출 특성이 다르기 때문으로 여겨진다.

2) 계절적 농도 변화

충주와 울산, 포항 등 산단지역 등과 대기오염물질 농도의 계절별변화 특성을 Fig. 8~12에 비교하였다. 대기오염물질농도의 월별변화는 대체적으로 1년 중 난방, 황사 등에 의해 오염물질 배출이 많은 겨울과 봄철에 가장 높고, 바람과 강수에 의한 씻김효과(Washout) 등이 많이 일어나는 여름철에 가장 낮아지는 등 지역 간 서로 유사한 계절적 변화 경향을 보이고 있다. 특히 석탄, 석유등 화석연료의 사용과 직접적인 관련이 있는 SO₂는 대조코호트 지역인 강릉과 충주와 산업단지 지역인 울산, 포항, 여수, 시화만일간에 상호 다른 농도변화를 보이고 있다. 산업활동이 상대적으로 적은 강릉과 충주는 겨울철(12월)에 SO₂의 농도가 높고 여름철(7월)에 낮아지는 반면, 산업활동이 활발한 울산과 여수는 봄철(6월)에 가장 높다. 이는 충주와 강릉은 대기중 SO₂의 주요 배출원이 가정이나 건물의 난방연료사용인 반면, 산업단지 지역은 산업체의 생산활동때문으로 추측된다. 높은 기온, 일조량 등 기상조건과 관련이 있는 O₃는 1년중 건조하고 일조량이 많은 늦봄부터 초여름까지(5-6월)에 가장 높은 농도를 보이다가 강수량이 많

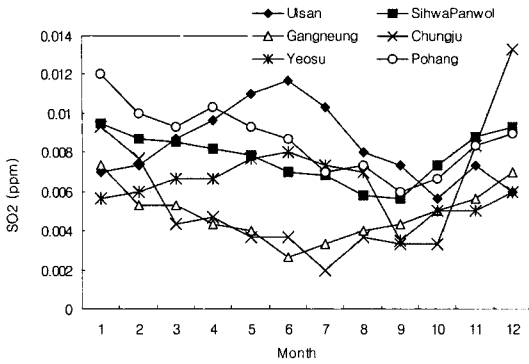


Fig. 8. Monthly variation of annual average concentration of SO₂ in Chungju and other cities.

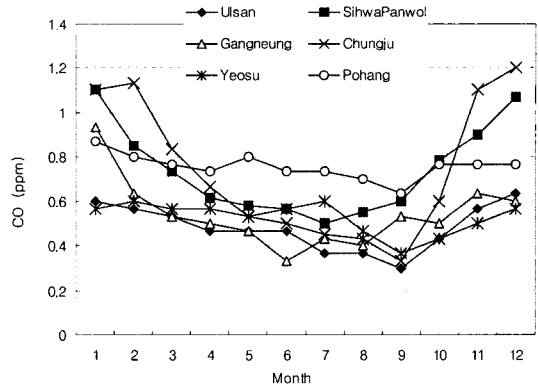


Fig. 11. Monthly variation of annual average concentration of CO in Chungju and other cities.

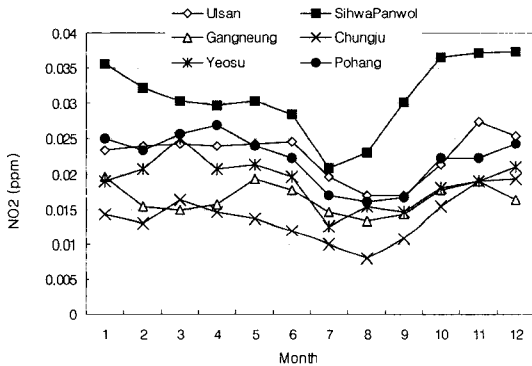


Fig. 9. Monthly variation of annual average concentration of NO₂ in Chungju and other cities.

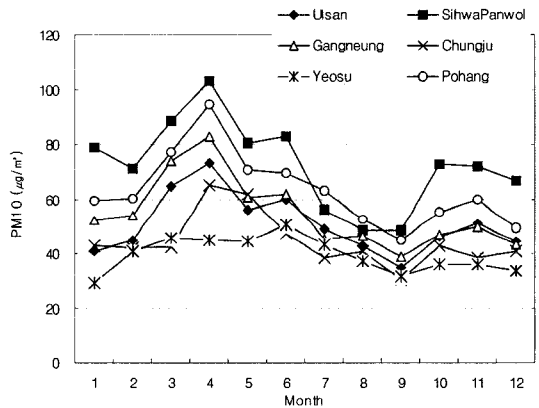


Fig. 12. Monthly variation of annual average concentration of PM₁₀ in Chungju and other cities.

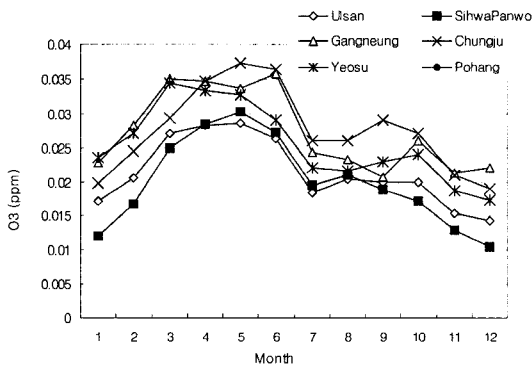


Fig. 10. Monthly variation of annual average concentration of O₃ in Chungju and other cities.

아지는 여름철에 급격히 낮아진다.

봄철 중국황사의 직접적인 영향을 받는 PM₁₀의 경우, 충주를 비롯하여 비교대상 지역중 여수를 제외하고 모든 지역에서 1년중 황사가 집중 발생하는 봄철(3월~5월)에 다른 계절에 비해 상대적으로 높은 농도를 보이고 있으며, 1년중 여름철에 최하로 낮아졌다가 겨울

철에 다시 상승한다. 이러한 계절별 변화는 봄철 황사에 의한 대기중 미세먼지의 증가, 여름철 잦은 강우에 의한 씻김현상(Washout), 겨울철 확산저하와 난방에 의한 미세먼지 배출증가 등과 관련이 있다. 우리나라의 전국평균 황사발생일을 분석한 기존 연구에서 충주가 2.3일로 가장 낮고 남해안 지역의 발생빈도가 타지역에 비해 낮았다고 하였는데,¹¹⁾ Fig. 12에서 충주와 여수의 PM₁₀이 비교대상 지역중 상대적으로 가장 낮은 농도를 보이고 있는 것과 일치한다. 남해안 지역인 여수는 봄철 황산영향이 다른 지역에 비해 상대적으로 약한 것으로 추정된다. 본 연구가 대규모 국가공단지역의 환경오염에 따른 지역주민 건강영향을 평가하기 위한 사업과의 비교를 위해 충주를 대상으로 한 대조코호트 연구를 위한 기초조사로 제한된 범위에서 진행된 것으로 기상요건을 고려하여 대기오염물질특성과 영향요인에 대해 보다 구체적인 조사와 평가가 이루어지지 못한 한계가 있다. 각 지역 대기환경의 특성을 구체적으

로 평가하기 위해서는 기상여건, 지리적 특성, 배출원 조사 및 오염물질측정 등 보다 광범위한 조사연구가 요구된다.

3) 지역과 오염농도간 상관관계 분석

충주가 산단지역과 얼마나 비슷한 선형성을 보이는지 알아보기 위한 평가 방안의 하나로 대기오염물질의 시간대별 농도와 지역간의 상관성을 분석하였다. Table 5-9에서 충주를 중심으로 한 분석에서 지역간 상관관계가 양의 상관관계를 가지면 대기오염물질인 SO₂ 농도변화

가 서로 동일한 경향을 보이는 지역으로 판단할 수 있으며, 부호가 (-)인 경우는 지역간의 음의 상관성이나 선형성을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 이와 더불어 1-상관계수를 거리의 척도로 이용하여 지역들간의 근접을 함으로써 충주가 어느 지역과 유사한 근접을 하고 있는지에 대해서 분석하였다. 거리의 척도는 0에서 2까지의 값이 나오며 2로 갈수록 거리가 멀어진다.

Fig. 3의 지역별 SO₂ 시간대별 농도변화를 통해 시화반월(시흥)과 여수가 비교적 유사한 농도변화특성을 나타내고 있는 것으로 추정할 수 있는 반면, 상관분석결

Table 6. Correlation coefficient between region and SO₂ concentration

SO ₂	Gangneung	Ulsan	Pohang	Sihwa · Panwol (Siheung)	Yeosu
Chungju	-0.62806* (0.0010)	-0.48597* (0.0161)	-0.62324* (0.0011)	0.26044 (0.2190)	-0.39622* (0.0553)
Gangneung	-	0.80673* (0.0000)	0.73662* (0.0000)	-0.56506* (0.0040)	0.17647 (0.4094)
Ulsan	-	-	0.91020* (0.0000)	-0.68206* (0.0002)	0.26630 (0.2085)
Pohang	-	-	-	-0.42378* (0.0390)	0.56344* (0.0041)
Sihwa · Panwol (Siheung)	-	-	-	-	0.42041* (0.0408)

Table 7. Result of cluster analysis for SO₂

Number of Clusters	Area
5	Ulsan, Pohang
4	Ulsan, Pohang, Gangneung
3	Ulsan, Pohang, Gangneung, Yeosu
2	Ulsan, Pohang, Gangneung, Yeosu, Sihwa · Panwol
1	Ulsan, Pohang, Gangneung, Yeosu, Sihwa · Panwol, Chungju

Table 9. Result of cluster analysis for PM₁₀

Number of Clusters	Area
5	Gangneung, Pohang
4	Gangneung, Pohang, Yeosu
3	Ulsan, Sihwa · Panwol
2	Gangneung, Pohang, Yeosu, Ulsan, Sihwa · Panwol
1	Gangneung, Pohang, Yeosu, Ulsan, Sihwa · Panwol, Chungju

Table 8. Correlation coefficient between region and PM₁₀ concentration

PM ₁₀	Gangneung	Ulsan	Pohang	Sihwa · Panwol (Siheung)	Yeosu
Chungju	0.49576* (0.0138)	0.40197* (0.0515)	0.24913 (0.2404)	0.47491* (0.0190)	0.55842* (0.0046)
Gangneung	-	0.44734 (0.0284)	0.86436* (0.0000)	0.62915* (0.0010)	0.77230* (0.0000)
Ulsan	-	-	0.65931* (0.0005)	0.75844* (0.0000)	-0.04517 (0.8340)
Pohang	-	-	-	0.68434* (0.0002)	0.43886* (0.0319)
Sihwa · Panwol (Siheung)	-	-	-	-	0.38923 (0.0601)

과 SO₂는 충주를 중심으로 크게 2가지 경향으로 상관 계수 부호가 다르게 나타났다. 1그룹은 충주와 시화반월(시흥)으로 이 두 지역은 대기오염물질의 시간대별 변화가 서로 유사한 경향을 가지고 있는 반면, 강릉, 울산, 포항, 여수는 2그룹으로 그룹내에서는 서로 유사한 반면 1그룹과는 그 반대의 경향이 보였다. 그렇지만 군집분석의 결과 해안가를 중심으로 울산, 포항, 강릉, 여수, 시화반월 4지역을 한 군집으로 내륙인 충주를 한 군집으로 하여 크게 2집단으로 군집으로 분류됨을 알 수 있다. 이는 대기중 SO₂의 시간대별 농도변화는 배

출원으로부터의 직접적인 영향보다는 지리적인 영향 등 다른 요인을 강하게 받고 있음을 추측할 수 있다. 한편 상관분석 결과 PM₁₀과 O₃, NO₂는 충주를 중심으로 모든 지역에서 비슷한 상관성을 가지고 있었으나 군집분석 결과 PM₁₀은 충주지역이 다른 지역에 비해 가장 유사하지 않은 지역으로 보이며, O₃와 CO는 충주지역과 시화반월이 한 군집을 이루며, 특히 O₃에서는 강릉이 다른 지역에 비해 가장 유사하지 않은 지역으로 보인다. NO₂의 경우 공단과 대조지역간에 특이한 군집은 보이지 않았다.

Table 10. Correlation coefficient between region and O₃ concentration

O ₃	Gangneung	Ulsan	Pohang	Sihwa · Panwol (Siheung)	Yeosu
Chungju	0.50099* (0.0126)	0.95434* (0.0000)	0.95890* (0.0000)	0.99151* (0.0000)	0.98434* (0.0000)
Gangneung	-	0.68736* (0.0002)	0.70961* (0.0001)	0.56454* (0.0041)	0.39257 (0.0578)
Ulsan	-	-	0.99545* (0.0001)	0.96426* (0.0001)	0.91689* (0.0000)
Pohang	-	-	-	0.96900* (0.0001)	0.91422* (0.0001)
Sihwa · Panwol (Siheung)	-	-	-	-	0.97788* (0.0001)

Table 11. Result of cluster analysis for O₃

Number of Clusters	Area
5	Chungju, Sihwa · Panwol
4	Ulsan, Pohang
3	Chungju, Sihwa · Panwol, Yeosu
2	Ulsan, Pohang, Chungju, Sihwa · Panwol, Yeosu
1	Ulsan, Pohang, Chungju, Sihwa · Panwol, Yeosu, Gangneung

Table 13. Result of cluster analysis for NO₂

Number of Clusters	Area
5	Ulsan, Pohang
4	Ulsan, Pohang, Chungju
3	Ulsan, Pohang, Chungju, Gangneung
2	Ulsan, Pohang, Chungju, Gangneung, Sihwa · Panwol
1	Ulsan, Pohang, Chungju, Gangneung, Sihwa · Panwol, Yeosu

Table 12. Correlation coefficient between region and NO₂ concentration

NO ₂	Gangneung	Ulsan	Pohang	Sihwa · Panwol (Siheung)	Yeosu
Chungju	0.51994* (0.0092)	0.90268* (0.0000)	0.85460* (0.0000)	0.85282* (0.0000)	0.34038 (0.1036)
Gangneung	-	0.79796* (0.0000)	0.85721* (0.0000)	0.39381* (0.0569)	0.20453 (0.3377)
Ulsan	-	-	0.98362* (0.0000)	0.76744* (0.0000)	0.35706 (0.0867)
Pohang	-	-	-	0.67019* (0.0003)	0.24092 (0.2568)
Sihwa · Panwol (Siheung)	-	-	-	-	0.75359* (0.0000)

Table 14. Correlation coefficient between region and CO concentration

CO	Gangneung	Ulsan	Pohang	Sihwa · Panwol (Siheung)	Yeosu
Chungju	0.34059 (0.1034)	0.83535* (0.0000)	0.12789 (0.5515)	0.86418* (0.0000)	-0.62555* (0.0011)
Gangneung		0.59399* (0.0022)	0.96304* (0.0000)	0.12568 (0.5584)	-0.00573 (0.9788)
Ulsan			0.45267* (0.0263)	0.84421* (0.0000)	-0.26147 (0.2171)
Pohang				-0.06819 (0.7516)	0.11365 (0.5970)
Sihwa · Panwol (Siheung)					-0.29665 (0.1592)

Table 15. Result of cluster analysis for CO

Number of Clusters	Area
5	Chungju, Sihwa · Panwol
4	Chungju, Sihwa · Panwol, Ulsan,
3	Gangneung, Pohang
2	Chungju, Sihwa · Panwol, Ulsan, Gangneung, Pohang
1	Chungju, Sihwa · Panwol, Ulsan, Gangneung, Pohang, Yeosu

IV. 결 론

본 연구는 환경오염과 지역주민의 건강영향을 장기간 관찰, 조사하기 위한 대조코호트 조사지역으로 충주를 선정하였고 기초조사를 위해 SO₂, NO₂, O₃, CO, PM₁₀ 5개 대기오염물질을 대상으로 2004년부터 2006년까지의 특성을 평가한 결론은 다음과 같다.

1. 충주시의 대기환경은 조사대상 5개 항목 모두 현행 대기환경기준치 이내를 유지하고 있지만 CO, NO₂와 SO₂의 농도는 매년 점차 증가하는 추세이다. 이들 대기오염물질농도에 영향을 주는 주요 영향요인인 산업활동, 자동차운행, 석유, 석탄과 같은 화석연료 사용량이 매년 증가하고 있는 것과 관련이 있을 것으로 추정된다.

2. 대기오염물질 농도는 대체적으로 1년중 바람. 강우 등 기상조건 영향으로 여름철(7-8월)에 가장 낮았고 난방연료의 사용이 증가하는 가을(10월)부터 높아져 겨울철(11-1월)에 가장 높은 변화경향을 보이고 있다. 다만 PM₁₀은 중국황사의 영향으로 봄철(3-4월)이 1년중 가장 높게 나타났으며 O₃는 기온이 높고 일사량이 많은 5-6월에 가장 높았다. 또한 하루 중 시간대별로는 출퇴근에 따른 자동차운행 영향으로 오전과 오후에 오염물질

들의 농도가 증가하였으며, O₃는 늦은 오후(4시전후)에 가장 높은 농도를 보였다. 충주시 대기오염물질의 농도 변화는 대체로 우리나라 도시지역 대기오염물질 변화경과 유사하나 비교대상 지역간에 산업활동, 생활환경 및 기상조건의 차이에 따라 시간대별, 계절별 오염물질의 농도변화 경향이 다름을 확인하였다.

3. 조사지역과 대기오염물질 중 SO₂, PM₁₀ 변화간의 상관계수를 이용하여 군집분석을 실시한 결과, 충주는 다른 지역과 유사성이 없었으며, 반대로 O₃, CO는 충주와 시화반월(시흥)이 유사성이 있는 것으로 나타났다.

이상 충주를 대상으로 본격적인 대조코호트 연구를 위한 기초조사로 대기오염물질특성을 조사하였다. 대기오염은 천식, 기관지염, 알레르기 등과 같은 환경성질 환과 관련하여 지역주민의 건강영향에 직간접적인 영향을 주는 만큼, 대기오염의 현황과 향후 변화를 관찰하는 것이 필수적이다. 아울러 향후 계속적으로 충주의 대기환경변화와 다양한 직·간접적 영향요인에 대해 보다 폭넓은 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Monitoring of Exposure Levels and Biomarker Exposed Environment Pollutants for Residents (Pohang, Ulsan, Gwangyang, Sihwa · Panwol, Gangneung), NIER, 2003-2006.
2. Seo, W. H., Chang, S. S. and Kwon, H. J. : Concentration of air pollutants and asthma in Taejon city, *Korean Journal of Environmental Health*, **26**(2), 80-90, 2000.
3. Annual Statistical Report, Korea National Statistical Office, 2002-2006.
4. Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, Ministry of Environment, 2004-2006.

5. Oltmans, S. J., Levy, H. I., Harris, J. K., Moody, J. L., Lathrop, J. A., Cuevas, E., Trainer, M., O'Neill, M. S., Prospero, J. M., Vomel, H. and Johnson, B. J. : Summer and spring ozone profiles over the North Atlantic from ozonesonde measurements. *Journal of Geophysical Research*, **101**(29), 179-200, 1996.
6. Kim, K. B. and Kwon, W. T. : A study on ozone formation factors in rural and urban region. *Journal of Korea Society of Environmental Administration*, **10**(3), 143-149, 2004.
7. Seo, G. Y., Paik, K. J. and Shin, D. Y. : An assessment of air quality using statistical analysis in Gwangju area. *Korean Journal of Environmental Health*, **30**(5), 417-426, 2004.
8. Sunwoo, Y., Carmichael, G. R. and Ueda, H. : Characteristics of background surface ozone in Japan. *Atmospheric Environment*, **28**, 25-37, 1994.
9. Fuentes, J. D. and Dann, T. F. : Ground-level ozone in eastern Canada: seasonal variations, trends, and occurrences of high concentration. *Journal of the Air and Waste Management Association*, **44**, 1019-1026, 1994.
10. Kim, H. S., Kim, J. H. and Lee, H. J. : The analysis of the nocturnal ozone variation over Kangreung and Wonju. *Journal of Korean Earth Science Society*, **25**(6), 474-483, 2004.
11. Kim, S. Y. and Lee, S. H. : The spatial distribution and change of frequency of the yellow sand days in Korea, Environmental. *Impact Assessment*, **15**(3), 207-215, 2006.