

지하대기중의 CO 및 CO₂의 일변화 특성에 관한 연구

이 동 인 · 이 지 연

부산수산대학교 대기과학과
(1994년 11월 21일 접수)

On the Diurnal Variations of CO and CO₂ in the Underground Atmospheric Environments

Dong-In Lee and Ji-Yeon Lee

*Dept. of Atmospheric Sciences, National Fisheries University of Pusan
Pusan 608-737, Korea*

(Manuscript received 21 November 1994)

Abstract

This paper presents the distributions and variations of CO, CO₂, number of people and temperature in underground shopping center and subway of Seomyeon and Jagalchi in Pusan, Korea for two times during October and November in 1993, respectively. NDIR analyzer is used for the analysis of CO and CO₂. The temperature is obtained from a mercury thermometer. The results of observation and analysis show that the variation of CO₂ is strongly related to number of people and temperature. The correlation coefficients between temperature, CO₂ and number of people are higher than 0.85 at both of places. The pollution of CO₂ of Seomyeon is higher than that of Jagalchi in underground shopping center. However, CO is not correlated with the temperature and the number of people. From the results, we found that the indoor air quality monitoring system is needed for the prevention of the underground air pollution.

Key Words : CO, CO₂, Correlation coefficient, Air quality monitoring system, Underground air pollution

1. 서 론

도시의 인구 집중으로 최근 대도시에는 지하철이나 지하도가 건설되어 통근통로 혹은 상가, 주차장 등으로 활용되는 지하공간이 점차 늘어나고 있고, 이로 인한 지하대기 오염현상이 심각히 대두되고 있다. 지하공간에서의 오염은 실내공기오염의 범주에 속하는 분야로써, 우리나라에서는 1970년대 이후 산업구조의 대형화로 에너지 사용

의 증대로 인한 대기오염물질의 발생량에 기인된 것이다. 실내오염에 의한 인체 영향은 실외 오염보다 더욱 심각하며 따라서 실내오염물질의 성분과 농도에 대한 조사는 매우 중요할 것으로 생각된다(김외, 1993).

인간활동에 의해 인위적으로 발생하는 지하공간에서의 오염물질로는 부유분진, SO₂, NO₂, CO₂, 중금속 등이 있으며, 이러한 오염물질이 장기간 지하실내에 존재함으로써 인체에 기관지염, 호흡

Table 1. Observation time and dates at Seomyeon and Jagalchi in Pusan City

Site	Date (1993 year)	Time	Note
Seomyeon	19 October(Tuesday)	08:00 - 23:00	Hourly sampling method
Jagalchi	6 November(Saturday)	08:00 - 23:00	
Seomyeon	7 November(Sunday)	08:00 - 23:00	
Jagalchi	14 November(Sunday)	08:00 - 23:00	

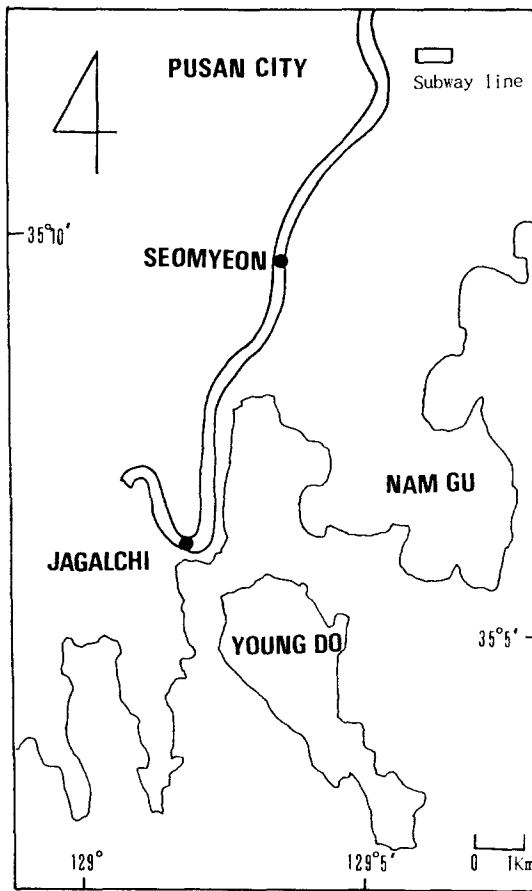


Fig.1. The underground sampling sites of Seomyeon and Jagalchi.

기 질환, 눈, 코, 점막 같은 곳에 만성적 피해를 입히고 있다(윤과 홍, 1991; 김외, 1993; Landberg, 1975). 특히 CO 및 CO₂는 무색, 무취, 무미의 기

체로서 지하공간의 경우 산소의 공급이 부족할 때 그 발생량이 급증하는 특징이 있다. 또한 실내의 이러한 가스는 취사 난방을 위한 연료의 연소과정과 각종 차량 또는 엔진의 배출가스, 흡연 등 우리의 생활과 밀접하게 관계하고 있어, 지하공간에서의 이같은 오염물질들의 예방책이 필요할 것으로 본다. 그러나 최근까지 우리나라 현행 환경법에는 지하공간에 대한 환경기준치가 확정되어 있지 않고 권고기준치만이 설정되어 있다. 그 뿐 아니라 지하상가와 지하철에 대한 관리기준과 주체가 서로 달라 공기오염 기준초과시에는 시설개선 명령등 법적규제가 불가능한 실정이다.

지금까지 지하공간에 대한 연구는 1975년 일본의 吉川友章이 “지하통로의 공기오염 현황에 대한 연구”를 통하여 일본의 동경을 비롯한 대표적인 지하철역의 오염도를 연구한바 있고, 西田耕之助 등(1992)이 “지하철 구내에서의 공기오염과 환기탑에서의 방출에 관한 조사(II)”에서 지하철 내부의 환기통, 배기구등을 중심으로 지하철 내부의 오염도를 상세히 설명한 바 있다. 국내에서는 1979년 임정명, 김순일이 “지하 주차장의 환기에 관한 연구”를 하였고, 최근 93년 부산시와 부산보건환경연구원에서 지하철과 지하상가에서의 부유분진과 여러 오염물질의 농도를 측정 한 바 있다. 그러나 이러한 연구는 하루중의 일부 시간대의 오염정도를 측정하거나 혹은 몇일, 몇달 주기 등 장기간의 변동에만 집중되어 하루중의 지하공간에서의 오염물질 변동특성을 자세히 밝히기 어려운 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 부산시의 대표적인 지하철과 지하상가를 설정하여 CO 및 CO₂의 하루동안의 농도변동특성을 살펴보고, 그것들의 변동과

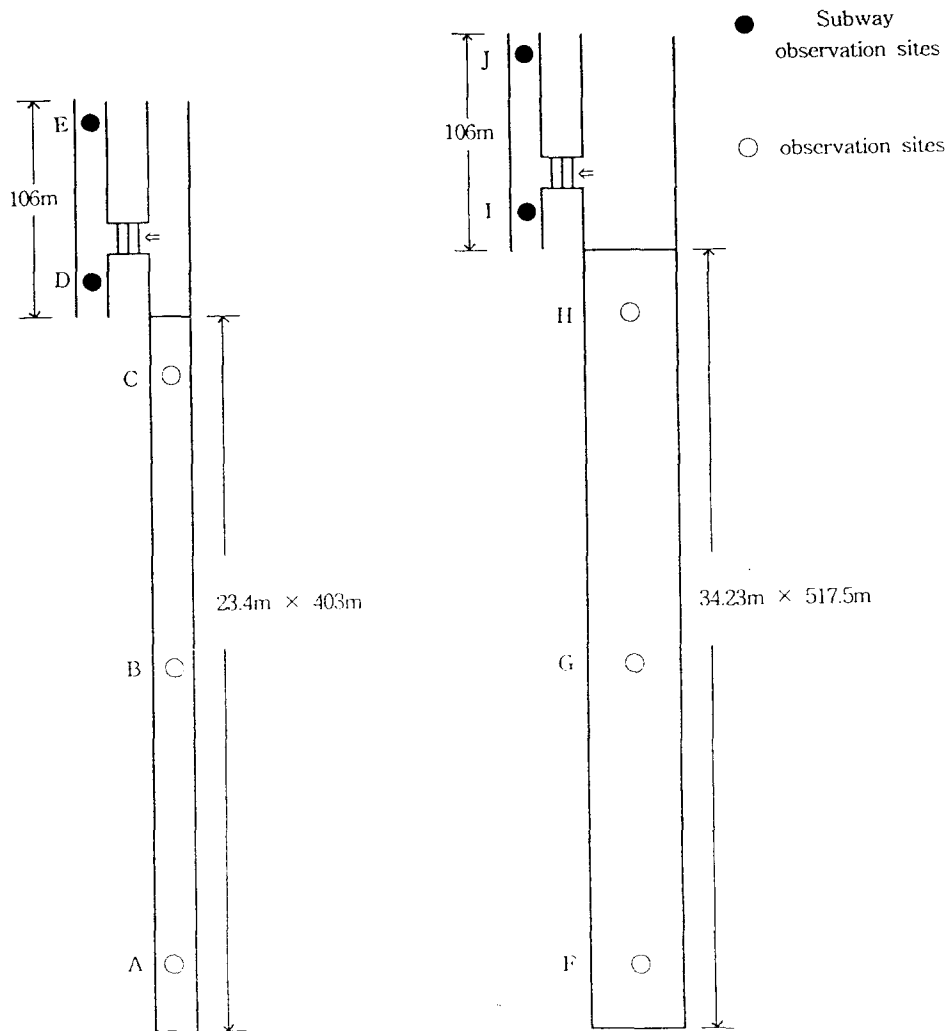
지하공간의 유동인구 및 온도와의 상관관계등을 연구하여 지하대기오염 예방과 예측을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1 관측기간 및 관측장소

관측기간과 관측지점은 Table 1과 Fig. 1에서

와 같으며, 부산의 서면지역과 자갈치지역의 지하상가 및 지하철역을 선택하여 1993년 10월 19일(화요일), 11월 6일(토요일), 11월 7일(일요일), 11월 14일(일요일)의 08시부터 23시까지 매일 16시간에 걸쳐 시간별로 CO, CO₂, 유동인구 및 온도를 측정하였다. 측정위치는 유동인구가 많고 지하실내 규모가 비교적 작은 서면의 지하상가(A,B,C)의 세 지점과 지하철역(D,F)의 두지점 그리고 지하실내규모가 서면에 비하여 비교적 큰 자갈치의 지하상가(G,H,I)의 세지점과 지하철역



(a) Seomyeon Undersopping : 570 shops

(b) Jagalchi Undersopping : 228 shops

Fig.2. The underground observation sites of Seomyeon and Jagalchi.

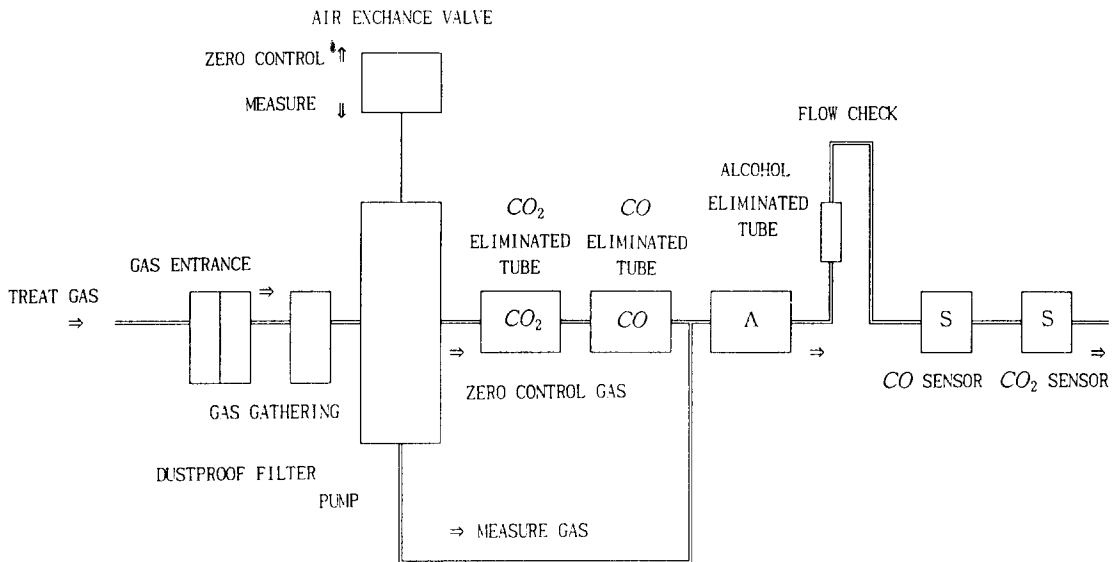


Fig.3. Measure processing chart of CO and CO₂.

(J,K)의 두지점을 선택하였다(Fig. 2).

2.2 지하공간 오염(CO, CO₂) 및 유동인구, 온도

각 측정시기는 매 시간마다 지하상가와 지하철의 관측지점에서 순간 유동인구, 온도, CO와 CO₂를 하루동안(08:00~23:00시)에 측정하였다. CO와 CO₂의 가스측정은 CO, CO₂의 자동 측정기를 사용하였다. 이 자동연속측정기의 제원은 Table 2와 같고 CO의 측정원리는 정전위분해법이며 CO₂의 측정원리는 비분산적외선분석법이다. CO와 CO₂의 측정과정은 Fig. 3의 flow chart에서와 같이 시료 gas가 기기내에 유입되어 CO와 CO₂ 소거관을 거쳐 CO 및 CO₂ sensor에 감지되어 그 농도가 프린터에 자동 기록된다.

CO와 CO₂ 측정값은 서면의 관측지점과 자갈치의 관측지점에서의 CO와 CO₂ 값을 1분 간격으로 3회씩 측정하여 평균하였다. 실내 온도측정은 수은 온도계를 사용하여 측정하였고, 각 지점별로 3분간 측정하여 평균하였다. 순간 유동인구는 각 관측지점에서 10분(지하상가), 5분(지하철)간의 유동인구를 파악하여 1분당 유동인구수로 하였다.

Table 2. CO and CO₂ gas instruments (Model : CMCD 10-p)

Item \ Gas	CO	CO ₂
Principle	Electric potential analysis	NDIR
Range	0~50 ppm	0~5000 ppm
Minimum scale	0.1ppm	10ppm
Temperature range	-5~40 °C	
Absorpted form	Automatic absorpted form	
Indicator	Simultaneous digital indicator	

3. 결과 및 고찰

3.1 일별 농도비교

서면에서의 지하상가와 지하철의 CO, CO₂, 사람수와 온도에 대한 일별 농도관측을 실시한 시기는 각각 1993년 10월 19일(화요일)과 11월 7일(일

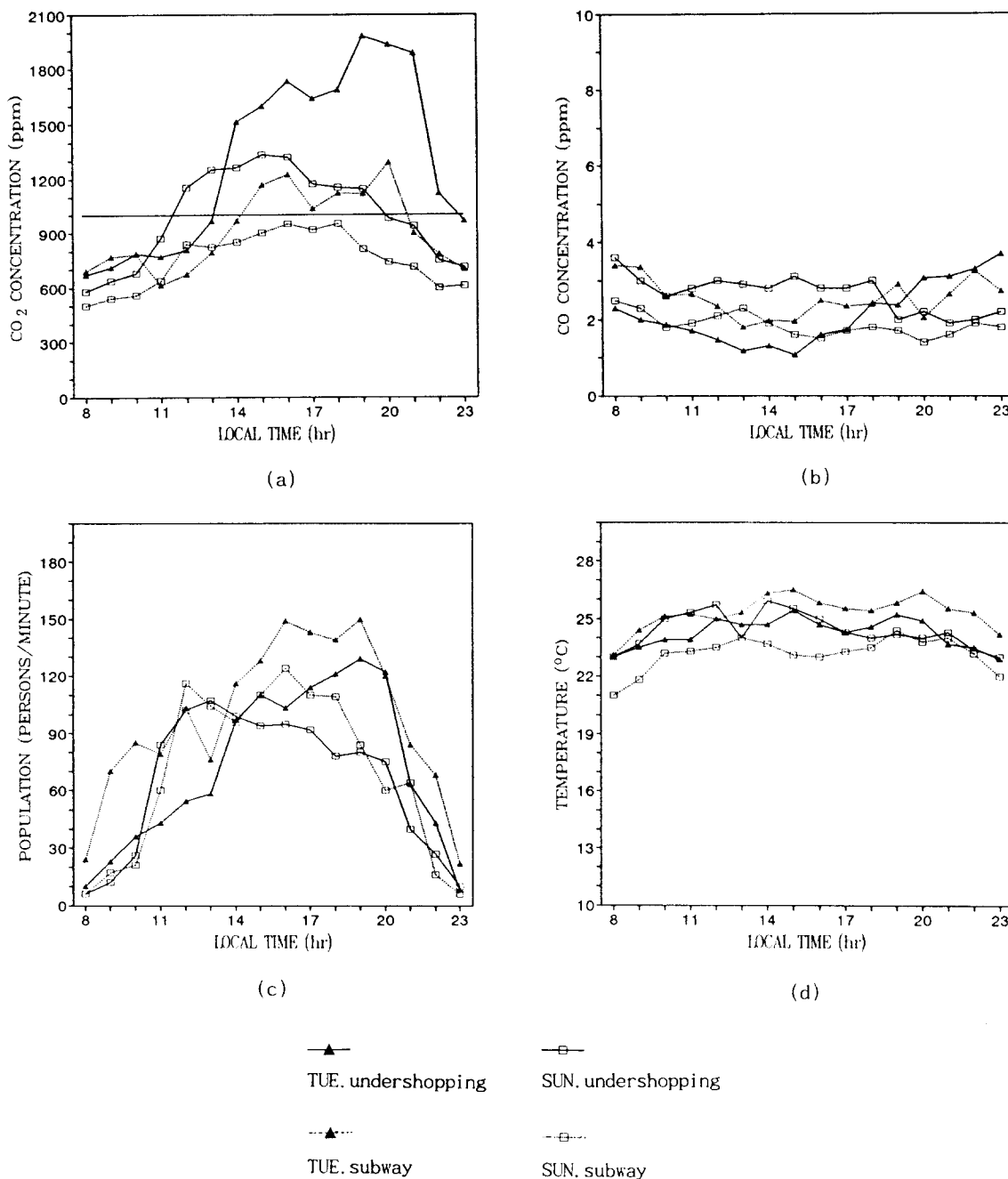


Fig.4. Diurnal variation of (a) CO₂, (b) CO, (c) population, (d) temperature in 19 October (Tuesday) and 7 November (Sunday) in 1993 at undershopping and subway of Seomyeon.

요일)이었다. 10월 19일의 날씨는 대체로 맑았고, 11월 7일은 흐리고 수은주가 13 °C까지 떨어졌다.

Fig. 4는 10월 19일과 11월 7일의 서면 지하상가와 지하철에서 하루동안의 CO₂, CO, 유동인구

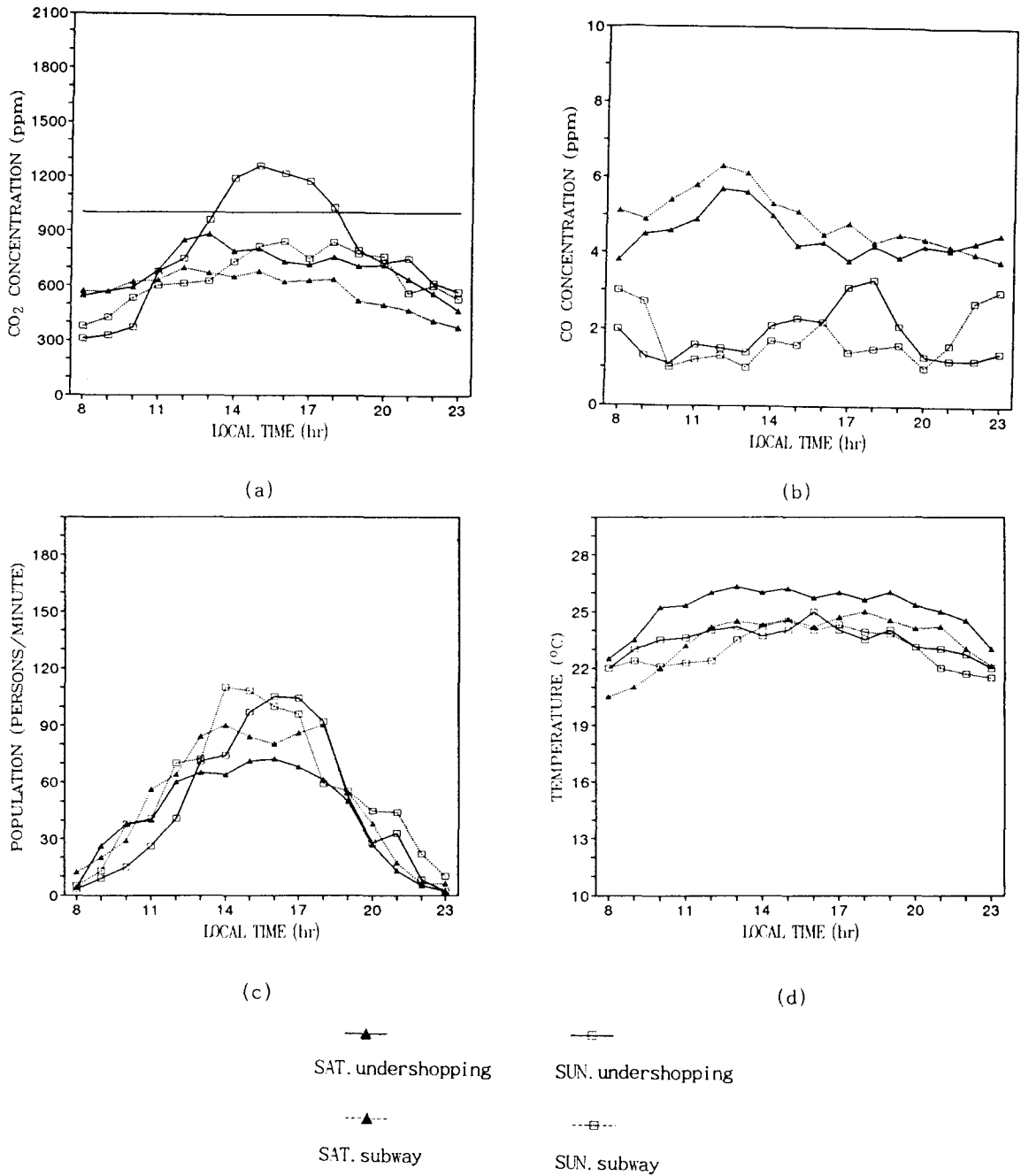


Fig.5. Diurnal variation of (a) CO₂, (b) CO, (c) population, (d) temperature in 6 November (Saturday) and 14 November (Sunday) in 1993 Jagalchi.

및 온도변화를 나타낸 것이다. CO₂의 경우, 지하철에서보다 지하상가(화요일)에서 전반적으로 높

은 농도로 나타났고, 이 값은 지하공간 권고기준치인 1000ppm을 대부분 넘으며, 그 주된 시간대는

대략 12~22시간대임을 알 수 있다. 그러나 지하철의 경우 주말인 일요일에는 권고치 이하로 나타났다. 그리고 지하상가와 지하철의 CO₂ 농도가 평일인 화요일과 주말인 일요일에 뚜렷한 차이가 나타났으며 이는 출퇴근시간이 있는 화요일과 출퇴근이 없는 일요일의 사람수의 변동과 관계된 것으로 사료된다. 즉 화요일의 경우, 출근시간대인 08~11시까지 지하상가와 지하철에서 소폭상승이 점차 나타나며, CO₂의 최대치는 거의 퇴근시간대인 20시 전후에 나타났다. 22시 이후에 가장 크게 감소하였음을 볼 때 지하공간에서의 CO₂ 농도 변화는 출퇴근시간의 인구유동과 관련이 있는 것으로 사료된다.

CO의 경우, 평일과 주말 모두 시간별 농도가 2~4ppm의 농도로 지하공간 권고치인 20ppm에 훨씬 못미치고 있으며, 변동폭은 ±1ppm 정도이다. 화요일의 지하상가와 지하철에서의 CO농도는 08시부터 떨어지다가 13~15시에 최저로 되고, 그 이후 약간씩 상승하고 있다. 일요일에도 두 지점 모두 부분적으로 평일보다 높은 농도치를 나타내지만, 전반적으로 낮은 농도 추세를 나타내었다. 이러한 변동은 앞에서 나타난 CO₂의 농도변동과는 다소 차이가 있으며, 출퇴근시간의 인구변동과는 큰 상관이 없는 것으로 나타났다.

일요일의 경우, 사람수의 변화를 보면 지하상가에서 08시~12시에 대폭상승이 나타나는 반면 16시 이후에는 대폭하강이 나타남을 알 수 있다. 이는 평일날, 쇼핑객들의 점진적인 증대로 인해 아침부터 20시까지 지속적인 유동인구가 많은 반면 주말인 일요일에는 11~20시 사이에 큰 변동없이 전반적으로 높은 분포를 하고 있었으며 그 전후 시간대에는 인구유동이 매우 적은 특성을 나타내었다.

지하공간의 온도변동을 보면, 그 변화폭이 약 20~26℃로써, 일 변동차가 약 6℃정도로 나타났다. 이러한 변동치는 지상의 온도변동치(기상월보, 1993)와 매우 유사하여 주목된다. 일요일은 지하상가의 온도가 지하철의 온도보다 전반적으로 높는데 이는 주말인 11월 7일 수은주의 급강하로 지하상가에서의 난방으로 인한 온도상승 때문인 것으로 생각된다. 그러나 평일인 화요일의 경우 지하

상가 보다 지하철에서 전반적으로 온도가 높았으며 이는 평일의 차량운행 횟수 증대와 많은 인구유동에 의한 영향으로 사료된다. 온도최고치도 화요일에는 15시로 나타난 반면 일요일에는 13시로 나타나고 있다.

자갈치에서는 11월 6일(토요일)과 11월 14일(일요일)에 지하상가와 지하철에서 오전 08시부터 오후 11시까지 실험관측을 하였다. 11월 6일의 날씨는 하루종일 비가 내렸고 11월 14일은 대체로 맑았다.

Fig.5는 자갈치의 지하상가와 지하철에서 각각 토요일, 일요일 하루 동안 CO, CO₂, 사람수, 온도의 시간별 변화값을 나타낸 것이다. CO₂의 경우 자갈치의 지하상가에서 토요일과 일요일의 농도값은 13시에서 18시 사이에 큰 차이를 보였으며, 권고치인 1000ppm을 넘은 것은 5회에 달하였다. 토요일 12시와 일요일 15시에 자갈치 지하상가에서 각각 높은 농도로 나타났고 그후 지속적인 하강추세를 보였다.

CO의 경우 자갈치의 지하공간에서는 토요일과 일요일이 현저한 대조를 이루며 변동하는 양상으로 나타났고 토요일의 CO 농도가 크게 증가하였는데 이는 지하공간의 상층인 지상에서의 강수영향으로 인구의 지하철 이용증대를 들 수 있으며, 온도의 시간별 변화 그래프(d)에서 보는 바와 같이 토요일 지하상가에서의 온도 상승이 뚜렷하며 이는 지하상가에서의 난방에 의한 영향등으로 인한 농도 증대로 생각된다. 토요일 지하상가에서의 평균 온도는 일요일과 지하철에서의 온도에 비해 약 2~3℃의 증대를 볼 수 있었다.

자갈치에서의 토요일, 일요일의 사람수는 서면에 비해 평균 약 10~20명 정도 낮은 값을 보이며 지하상가에서는 최고치가 16시경이었으며 지하철에서는 토요일 18시와 일요일 13시로 나타났고 전반적으로 18시 이후에 감소되는 경향을 나타내었다.

3.2 지점별 농도비교

각 지점에서 비슷한 시기의 지하환경의 대기질 특성을 알아보기 위하여 서면의 11월 7일(일요일)과 자갈치의 11월 14일(일요일)에 지하상가와 지

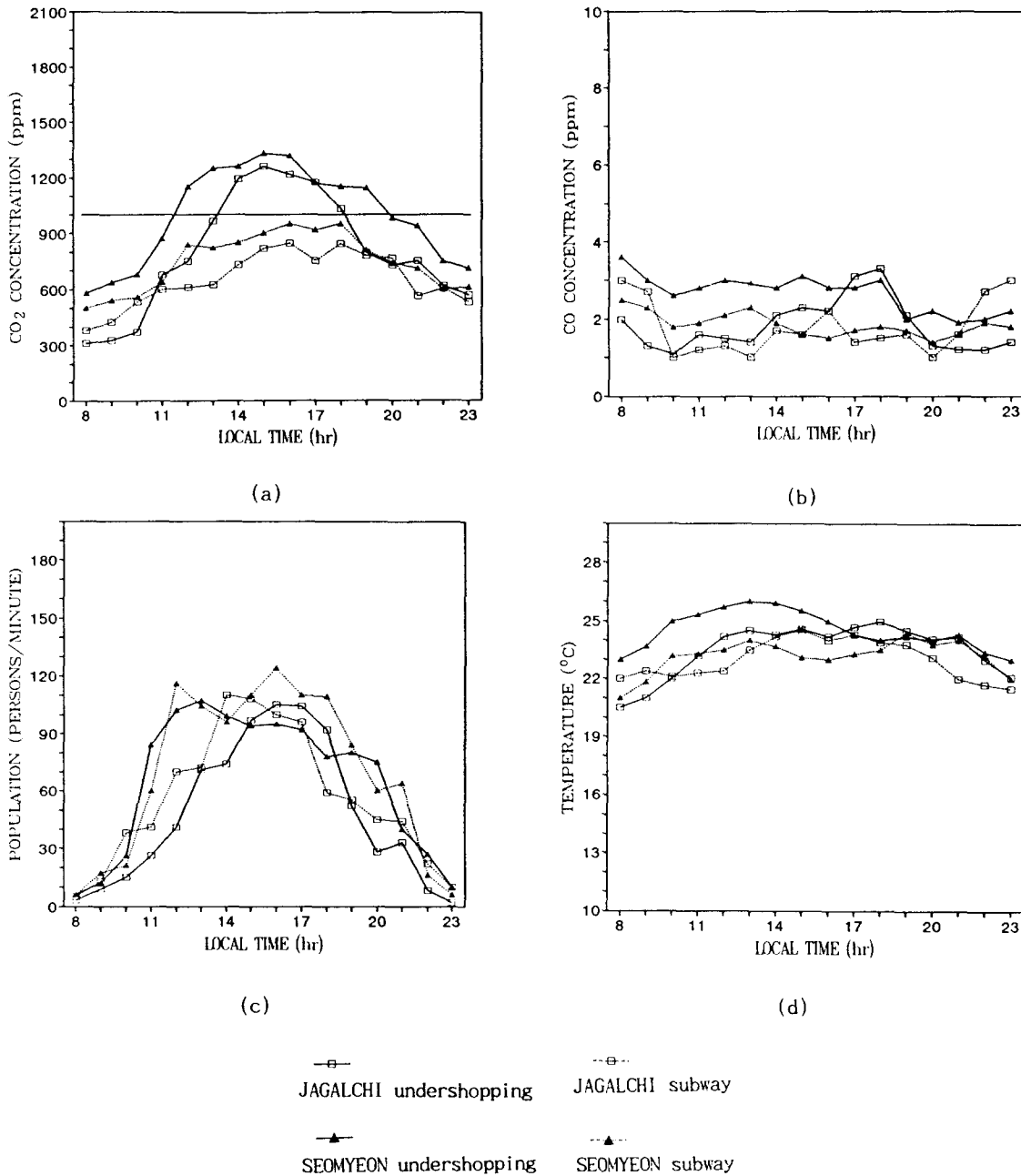


Fig.6. Diurnal variation of (a) CO₂, (b) CO, (c) population, (d) temperature in 7 November (Sunday) at Seomyeon and 14 November (Sunday) at Jagalchi in 1993.

하철의 CO₂, CO, 사람수와 온도에 대한 지점별 농도결과를 Fig.6에 시간별로 비교하여 나타내었다.

CO₂의 경우, 서면과 자갈치의 지하상가에서의 농도가 지하철에서의 농도보다 전반적으로 높음을

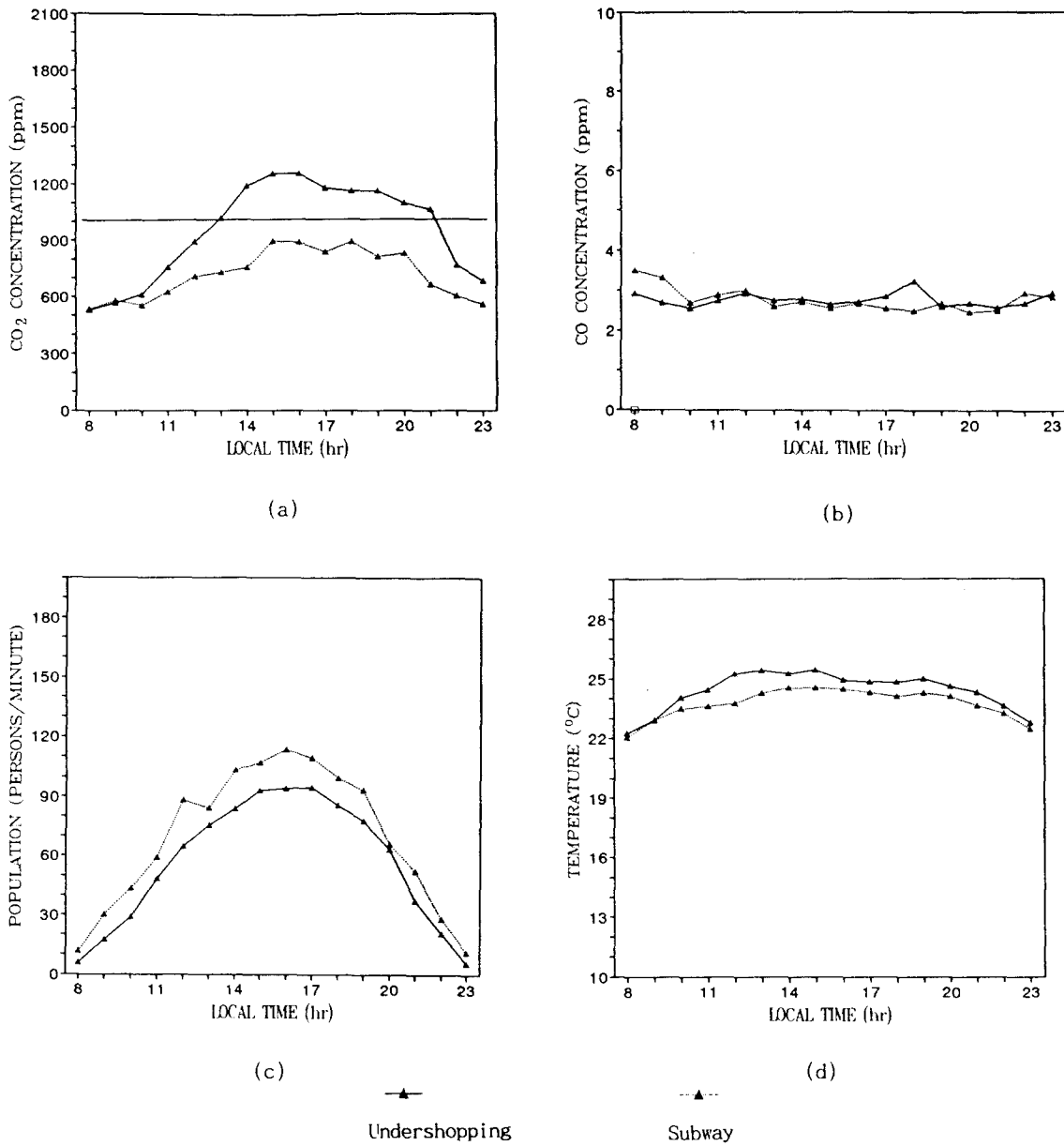


Fig.7. Diurnal variation of average (a) CO₂, (b) CO, (c) population, (d) temperature values at undershopping and subway.

알 수 있다. 그리고 15시에 서면과 자갈치 모두 지하상가에서 1200 ppm 이상의 최고치를 나타내고, 이를 중심으로 종 분포의 농도를 나타내고 있다. 권고치 1000ppm을 넘는 시간은 자갈치(5회)보

다 서면(8회)의 지하상가에서 많았고, 서면과 자갈치의 지하철에서의 CO₂농도는 권고치를 넘지 않았다.

CO의 경우, 서면에서는 부분적으로 낮은 농도

변화를 보였으며, 점차 하강곡선을 나타내고 있다. 전체적으로 지하 실내의 권고치 20 ppm에 훨씬 미치지 못하고 있다. 자갈치의 지하상가에서는 08~09시, 22~23시에, 지하철에서는 17~18시에 CO 농도의 변화가 크게 나타났다. 이는 측정시에 사람수에 따른 영향보다 다른 여러 요인에 의한 영향 때문인 것으로 사료된다.

사람수에 있어서는 서면과 자갈치의 지하상가와 지하철의 지점별 구분없이 비슷한 수준으로(분당 120명선 안팎) 나타났으며, 두지점 모두 그 변동형태가 비슷하였다.서면에서는 사람수가 시간이 지남에 따라 급격한 증가를 보였지만 자갈치에서는 단계적으로 서서히 증가되었다. 온도는 전반적으로 비슷하지만, 서면의 지하상가에서 08~16시에 지하철에 비해 높은 온도로 나타났다.

3.3 지하상가와 지하철에서의 농도 비교

10월 19일과 11월 7일(서면), 11월 6일과 11월 14일(자갈치)에 실시한 지하철과 지하상가별 전평균 CO₂, CO, 사람수, 온도의 시간별 변화값을 Fig.7에 나타내었다.

CO₂의 경우, 전체적으로 지하철에서 보다 지하상가에서 높게 나타났다. 08~10시까지는 농도 분포가 비슷하게 나타나나 11시 이후 뚜렷한 차이를 보였으며 최고치가 나타나는 시간대가 대개 15~16시경이었다. 지하철에서의 CO₂ 값은 전 시간대에 걸쳐 지하공간의 권고치에는 미달하였지만 13시에서 22시 사이에 지하상가에서의 CO₂ 값은 권고치 보다 높은값으로 나타났다.

CO의 경우 지하상가와 지하철의 측정치가 전체적으로 거의 일정한 값으로 나타났으며 시간에 따른 변동양상이 CO₂의 경우와는 서로 반대되는 형태를 띠었다.

사람수는 지하상가와 지하철 모두 전반적으로 비슷하나, 지하철이 약간 높게 나타났다. 사람들의 지하공간의 최대 이용시간은 지하상가와 지하철 모두 15~17시로 나타났으며 사람수와 CO₂를 비교해 볼 때, 거의 비슷한 시간대에서 CO₂농도와 사람수가 최대치를 나타내고 있다.

온도의 경우, 지하상가가 지하철보다 전체적으

로 약간 높지만 전반적으로 비슷한 변동양상을 보여주고 있다. 이러한 온도변동은 지하공간의 사람수 및 CO₂와 관계가 있을 것으로 사료된다.

3.4 사람수와 온도 및 CO, CO₂의 상관관계

Table 3은 자갈치와 서면에서의 지하공간에 대한 전체 평균 상관계수를 나타낸 것이다. 이 Table을 보면 지하상가의 경우 사람수와 CO₂는 0.90, 온도와 사람수는 0.92, 온도와 CO₂는 0.92로 각각 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있다. 따라서 CO₂의 경우 온도와 사람수와 밀접한 관계가 있으며 실내의 온도와 사람수와도 직접관계가 있음을 알 수 있다. 그러나 지하상가에서의 CO의 경우 모두 CO₂에 비해 낮은 상관관계를 가지며 또한 음의 상관관계가 있음이 주목된다.

지하철의 경우도 CO₂는 각각의 상관계수가 0.88, 0.91, 0.81로 높은 상관관계를 나타내고 있다. 따라서 지하철에서도 CO₂와 사람수와는 밀접한 관계가 있음을 잘 알 수 있다. 그러나 CO의 경우 사람수 및 온도와 상관계수가 모두 0.1이하로, 사람수와 온도와는 거의 상관이 없는 것으로 나타났다.

Table 3. Total mean correlation coefficients of CO, CO₂, person and temperature in underground of Seomyeon and Jagalchi

	CO	CO ₂	P	T	
UNDERGROUND	CO				SUBWAY
	CO ₂	-0.74			
	P	-0.63	0.90		
	T	-0.79	0.92	0.92	
TOTAL MEAN					
-0.04 0.07 -0.10 0.88 0.81 0.91					
P = person T = Temperature					

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 서면과 자갈치 지하공간에서 1992년 10월과 11월의 평일과 휴일을 택하여 CO, CO₂, 사람수, 온도를 오전 08시부터 오후 11시까지

지 연속측정하여 지하공간 즉 지하상가와 지하철에서의 이들의 상관관계를 파악하여 실내오염도와 그 원인을 분석하였다. 그 결과

1) 서면의 지하상가의 경우 일요일에 비해 화요일에 CO₂의 상승률이 높게 나타났으며 화요일과 일요일 모두 CO₂의 권고기준치 1000ppm을 넘었다.

2) 토요일의 자갈치의 지하상가의 CO₂의 농도 값만 권고기준치보다 높게 나타났고, 일요일의 지하상가와 토요일, 일요일의 지하철은 낮게 나타났다.

3) CO는 서면과 자갈치의 전 측정지점에서 권고기준치인 20ppm을 넘지 않았으나 토요일의 자갈치에서는 측정치가 가장 높았다.

4) 평균적으로 지하상가와 지하철에서의 CO₂는 CO와 온도 및 사람수와의 상관계수가 모두 0.8이상의 높은 값으로 나타나 강한 정상관성을 보였다. 그러나 CO의 경우, 지하상가에서는 CO₂와 온도 및 사람수간의 상관계수가 -0.74, -0.63, -0.79로 나타나 상호 역상관성을 보였으나 지하철에서의 CO 상관성은 낮거나 거의 없는 것으로 나타났다.

5) 지하공간의 온도는 대체적으로 20~26℃로 변동하며, 사람수의 변동과 매우 유사함을 알 수 있었다. 그리고 이러한 온도 변동차는 지상의 변동차와 매우 유사한 것으로 밝혀졌다.

이상의 결과로부터 서면과 자갈치의 지하공간에서의 CO₂는 거의 권고 기준치인 1000ppm이상으로 나타났고, CO는 권고기준치인 20ppm에 훨씬 못미치는 것으로 나타나, 지하공간에서의 CO₂오염 제거 및 방지에 관한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

또한 현재 우리나라 환경법상에는 대기오염 물질을 환경대기와 배출업소에서 배출농도에 대한 기준치만으로 설정하고 있으며 지하대기에서의 오

염물질에 대해서는 법적 규제를 하지 않고 있는 실정이다. 따라서 국토면적상 지하공간의 이용률이 증가하는 이때 지하공간에 대한 오염물질의 증대에 따른 제도적 예방책과 제어 대책이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 기상월보, 1993: 10월, 11월의 부산의 기온.
 김희강, 김동술, 김신도, 김윤신, 나진균, 이종범, 정일래, 홍민선, 1993: 대기오염개론, 동화기술, 45~50.
 윤오섭, 홍성길, 1991: 대기오염과 미기상학, 동화기술, 28~95.2.
 이외숙, 임용빈, 성내경, 소병수, 1992: 통계학, 경문사, 73~74.
 임정명, 김순일, 1979: 지하주차장의 환기에 관한 연구. 부산대학교 논문집 27 자연과학편, 67-71.
 西田耕之助, 大迫政浩, 新居敬幸, 齊内正俊, 奥澤將行, 松田佳憲, 1992: 地下鐵構内の空氣汚染と換氣搭からの放出に關する調査(II). 公害の對策, 28(3), 221-230.
 吉川友章, 1975: 地下街通路の空氣汚染の現況. 公害の對策, 13(9), 18-40.
 Andrew, K.P., 1989: Ventilation, carbon dioxide and ASHRAE standard 62, 32~35.
 Landberg, H. E., 1975: Atmospheric changes in a growing community. Inst. Fluid Dynamics Appl. Math. Tech. Note, No. BN 823, 54 pp.