

## 환기가 불량한 실내공간에서 담배연기에 의한 CO, CO<sub>2</sub>, TVOC 및 에어로졸의 변화

한돈희<sup>†</sup> · 박수진 · 류지혜  
인제대학교 보건안전공학과

### Changes of CO, CO<sub>2</sub>, TVOC and Aerosol of Tobacco Smoke in a Poorly-Ventilated Indoor

Don-Hee Han<sup>†</sup> · Soo Jin Park · Ji Hye Ryu

Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University, Gyeongnam-do, Gimhae, South Korea  
(Received February 15, 2006/Accepted March 21, 2006)

#### ABSTRACT

Number of aerosol, CO, CO<sub>2</sub> and TVOC after one-, two-, three-cigarettes smoking were monitored with time every 10 minute for 180 minutes in the seminar room (volume 51.1 m<sup>3</sup>) when poorly-ventilated. IAQ monitor (IAQRAE, model PGM-5210) and PortCount (TSI, model 8020) were used for monitoring. Aerosol was decreased with exponential decay equation and it was estimated that number of aerosol would be long suspended (one cigarette 75/cc, two cigarettes 66/cc, three cigarettes 141/cc by 8hrs after smoking). While CO was also decreased with exponential or linear decay equation and correlated with number of aerosol strongly, TVOC and CO<sub>2</sub> were increased with linear equation in accordance with time lag. Most of TVOC and CO<sub>2</sub> were above standard levels of Korean Indoor Air Quality (Ministry of Environment) without regarding number of cigarettes. When naturally ventilated, all of CO, CO<sub>2</sub> and TVOC concentrations were dramatically decreased below standard levels of Korean Indoor Air Quality.

**Keywords:** indoor, tobacco smoke, aerosol, CO, CO<sub>2</sub>, TVOC

#### I. 서 론

담배연기에는 수 천 종의 다른 화합물질들이 들어 있는데 대략 400개의 화합물은 정량적으로 측정할 수 있다. 주된 오염물질로는 호흡성부유분진(RSP), 니코틴, PAHs와 니트로사민류(nitrosamines) 같은 강력한 발암성 물질, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 그리고 아크롤레인(acrolein), HCHO와 알데히드 같은 자극성 물질이다.<sup>1)</sup>

담배연기는 흡연자가 흡입한 후 내뿜는 주류담배연기(mainstream smoke: MS)와 흡연자가 연기를 흡입하는 사이사이 흡입하지 않고 타는 비주류연기(sidestream smoke: SS)로 나누며 이들이 환경 중에 나와 시간이 지나면서(aging) 공기 중의 에어로졸과 흡착 등을 과정을 거치는 환경담배연기(environmental tobacco smoke:

ETS)로 구분할 수 있다. 질적으로는 ETS가 MS에서 나온 물질과 동일한 물질들로 구성되지만 양적인 면에서는 SS와 MS는 다르다. 즉, SS는 MS에 비해 저온에서 연소하면서 불완전 연소를 거치기 때문에 시안화수소(Hydrogen cyanide)를 제외한 거의 대부분의 유독 물질이 적게는 수 배, 많게는 수 백 배 더 많이 배출된다.<sup>2,3)</sup>

이미 잘 알려져 있다시피 담배연기는 인체에 매우 유독한 물질들로 구성되어 있고 비흡연자들의 간접흡연에 대한 관심이 고조되면서 정부에서는 1995년 9월 국민건강증진법을<sup>4)</sup> 제정하여 공공이용시설 중 청소년·환자 또는 어린이에게 흡연으로 인한 피해가 발생할 수 있는 공공시설에서는 시설의 전체를 금연구역으로 지정하여야만 한다. 더구나 최근 실내 공기오염물질이 심각한 수준에 이르면서<sup>5,7)</sup> 다중이용시설 등의 실내공기 질관리법<sup>8)</sup> 시행되고 있어 실내 공기오염의 주원인인 담배연기는 보건적으로 더 중요하게 다루어져야 할 것이다.

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University  
Tel: 82-55-320-3285, Fax: 82-55-325-2471  
E-mail : dhan@inje.ac.kr

담배연기로 오염된 실내공기는 환기를 시켜야 하는 것은 당연하지만 건강증진법<sup>4)</sup>과 다중이용시설 등에 대한 실내공기질관리법<sup>8)</sup>의 시행에도 불구하고 아직도 실내에서는 환기가 제대로 시행되지 않는 경우가 있다. 예를 들어, 다중이용시설이지만 아직은 미적용시설인 PC방과 노래방 같은 경우에는 많은 사람들이 이용하여 담배연기로 인한 실내오염이 심각함에도 불구하고 환기는 거의되지 않는 경우가 있다. 일부 PC방은 흡연실과 금연실을 분리해 놓은 곳도 있으나 실제 담배연기가 금연실에도 침투하는 경우가 있다. 또 일반 사무실도 겨울철인 경우 차가운 바깥공기 때문에 환기를 제대로 실시하지 않거나 현대식 에너지 절감 건물에서 HVAC 시스템의 작동이 미흡한 경우 환기가 제대로 되지 않을 수 있다. 이러한 곳에서 담배연기에 의한 오염물질의 잔류는 흡연자뿐만 아니라 비흡자에게 많은 불편감과 건강문제를 야기시킬 것이다.

이와 같이 담배연기는 실내공기오염의 주원인으로 대두되면서 외국에서는 많은 연구들이 시행되고 있으나<sup>9-12)</sup> 아직까지 국내에서는 그 메카니즘에 대한 연구가 많지 않은 상태이다. 국내에서는 백과 박<sup>13)</sup>이 실내 공기 중 흡연이 부유먼지에 미치는 영향을 중심으로 도시지역 사무실 내 공기 중 ETS에 관한 연구를 실시하였다. 조<sup>14)</sup>는 식당 종업원에게서 환경담배연기에 노출과 머리카락에서 환경담배연기에 대한 생체지표를 연구하였다. 또 Jo와 Oh<sup>15)</sup>는 호흡분석기법을 이용하여 흡연 중 CO의 노출을 평가하는 연구를 실시하였다. 이 같은 연구에도 불구하고 국내에서는 현재까지 환기가 불량한 공간에서 담배연기가 시간에 따라 어떻게 변화하는지에 대한 연구는 미흡한 편이다. 환기가 불량한 실내공간에서 담배연기에 대한 변화현상을 알아보는 것은 장차 환기방법 및 정화 메카니즘에 대한 기초적인 자료제공을 위해서 반드시 필요하다.

본 연구는 환기가 불량한 실내공간에서 담배연기로 인한 실내공기오염의 심각성을 알아보고 담배연기로 인한 실내공기오염의 해결방법에 대한 기초자료를 제공하고자 담배연기로 인한 주요 실내공기오염물질들이 어떻게 변화하는지를 시계열적으로 파악하여 몇 가지 중요한 결과를 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

## II. 연구방법

### 1. 대상 세미나의 크기와 구조

대상 세미나실의 구조는 Fig. 1과 같다. 이 세미나실은 약 20년 된 건물로 1층에 위치하고 있으며 가로·세로·높이가 2.87×6.25×3.0m로 용적은 53.81 m<sup>3</sup>이

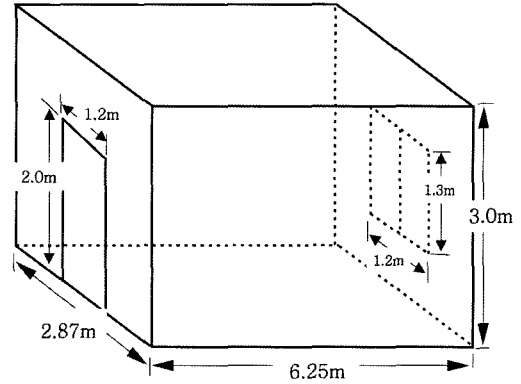


Fig. 1. Schematics of subject seminar room.

다. 연구실의 중앙에는 세미나 용 목재 탁자와 플라스틱 의자 8개가 있을 뿐 다른 집기나 시설은 없다. 대략 집기의 용적은 5% 미만으로 연구실의 실제 용적은 51.1 m<sup>3</sup> 정도이다. 벽은 수용성 페인트로 칠해져 있으며 일반 연구실과 마찬가지로 가로 1.2m, 세로 2.0m의 출입문이 있고 반대편에는 바닥에서 0.9m 높이에 가로 0.6m, 세로 1.3m의 창문이 두 개 있고 밀어 열 수 있게 되어 있다. 출입문의 형태는 칠문이며 표면은 연한 연두색의 페인트가 칠해져 있다. 창문의 형태는 여닫이이며 위아래로 열고 닫을 수 있도록 되어 있다. 창문과 창틀의 재질은 알루미늄이다.

## 2. 실험방법

### 1) 대상 오염물질

다중 이용시설 등에 대한 실내공기질관리법<sup>8)</sup>에 따르면 유지기준이 있는 오염물질은 CO, CO<sub>2</sub>, HCHO, PM<sub>10</sub>, 총부유분진(TSP)이며 권고기준이 있는 오염물질로는 NO<sub>2</sub>, Rn, VOC(휘발성 유기화합물), 석면 및 오존이다. 본 연구에서는 이 중에서 CO, CO<sub>2</sub>, TVOC와 에어로졸을 측정하였다. 에어로졸은 시계열적인 분석을 보기위하여 질량이 아닌 개수로 그 변화를 보았다.

### 2) 흡연방법 및 오염물질의 측정방법

세미나실의 출입문과 창문을 닫은 상태에서 1명이 흡연, 2명이 동시 흡연, 3명이 동시 흡연하게 하고 흡연이 완료되며 흡연자는 흡연완료 즉시 세미나실을 떠났다. 담배는 국산 ESSE 한 종을 사용하였다. 흡연이 완료된 후 담배연기가 세미나실에 어느 정도 퍼지기를 기다려 10분이 경과되면 그때부터 오염물질을 측정하기 시작하였으며 10분 간격으로 연속적으로 세 시간(180분)을 계속하였다. 측정자는 2명이 세미나실 탁자에 앉아 호흡위치에 기기를 설치하고 측정이 끝나는 시간간

지 자리를 비우지 아니하였다.

CO, CO<sub>2</sub> 및 TVOC(총 휘발성 유기화합물)의 측정은 monitoring이 가능한 IAQRAE(모델 PGM-5210)를 사용하였다. TVOC는 ppm 단위로 측정되는데 실내공기 질관리법<sup>8)</sup>의 기준치와 비교하기 위하여 이소부틸렌(isobutylene)을 기준으로 단위를  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환산하였다.

에어로졸은 호흡기보호구의 밀착도 검사(fit testing)에 사용되는 PortaCount(TSI, 모델 8020)를 사용하였다. PortaCount는 밀착도 검사뿐만 아니라 공기 중에 입자수를 측정할 수 있다. 기기가 정확한 입자수를 셀 수 있도록 측정하기 전에 알코올(이소프로필알코올)을 충분시켰다.

측정하기 전에 공시험을 실시하여 담배연기로 오염되기 전 background 값이 얼마인지를 산출하였다. 담배 한 개비에 대한 실험이 끝나면 환기를 시키고 background 값이 원래의 값으로 되돌아 간 다음 담배 두 개비를 피우게 한 후 측정하였다. 그 다음 담배 세 개비를 피우게 한 경우도 동일한 과정을 거쳤다.

측정기간은 2005년 10월 10일부터 1주일간 측정하였다.

3) 자연환기 후 측정

자연환기를 시킨 후 2)항에서 측정했던 방법대로 오염물질들을 측정하였다. 여기서 자연환기란 정확하게 ACH를 측정하지 않고 흡연 직후 출입문과 창문을 열어 환기를 시킨 것을 말한다.

4) 통계처리

통계처리와 그래프의 작성은 통계 package인 Sigma Plot 8.0<sup>16)</sup>을 이용하였다. 에어로졸 수와 CO 농도의 감쇠곡선 방정식은 이 프로그램을 이용하여 작성하였으며 이 감쇠곡선을 이용하여 시간에 따른 예측치를 산출하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 에어로졸

일반 실내의 공기에는 미세 입자가 무수히 존재한다(직경 0.05  $\mu\text{m}$ 인 입자가 0.5  $\mu\text{m}$ 인 입자보다 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup>배 더 많음).<sup>17)</sup> 이 같은 성질을 이용하여 공기 중의 에어로졸의 수를 셀 수 있는 기기를 개발하였는데 이것이 PortaCount이다. 공기 중에 미세입자는 너무 작아서 광도계가 감지하지 못하기 때문에 이 미세입자에게 알코올을 증발시켜 이것이 미세입자에 응결되어 입자가 점점 커지면 광도계가 이 입자를 감지하는 원리이다(CNC: Continuous-flow Condensation Nuclei Count). 이 기기를 이용하면 미세입자도 정확하게 그 수를 셀

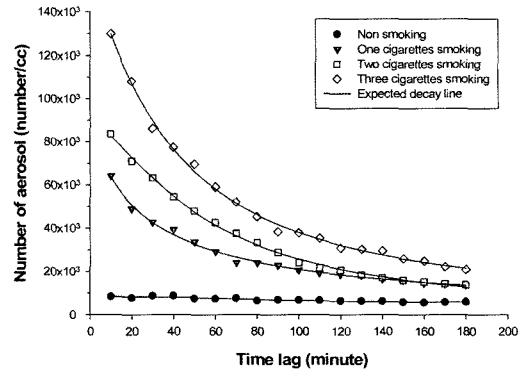


Fig. 2. Decay of aerosol of tobacco smoke in accordance with time lag including background (non smoking) level.

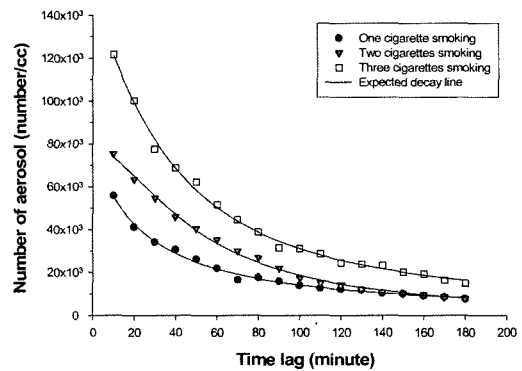


Fig. 3. Decay of aerosol of only tobacco smoke in accordance with time lag excluding background (non smoking) level.

수 있는데 그 크기는 0.02  $\mu\text{m}$ -1  $\mu\text{m}$  이상까지이다.<sup>18)</sup> 이 기기를 가지고 공기 중 미세입자를 셀 때에는 증발하는 알코올 양이 적으면 입자가 커지지 않기 때문에 이를 방지하기 위하여 자주 알코올(isopropyl alcohol)을 보충시켜 주어야 한다.

에어로졸의 시간별 감쇠현상은 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. Fig. 2는 공시험을 포함한 그래프로서 담배연기에 의한 에어로졸 수에 원래 세미나실 공기 중 에어로졸 수가 합쳐진 값이다. Fig. 3은 흡연에 의한 각 에어로졸 수에서 공시험 값을 제외한 즉, 순수하게 담배연기에 의한 에어로졸 수를 그래프화한 것이다.

실내의 에어로졸은 에어로졸의 성질 즉, 벽이나 바닥에 흡착능력, 에어로졸의 입경, 비중 등과 실내 환경의 조건 즉, 기온, 기습, 바닥과 벽면의 흡착 특성 등 그리고 실외 에어로졸의 영향 등에 의해 그 수가 결정되기 때문에 측정할 때 마다 조금씩의 변동이 있을 수 있다. 본 실험에서 담배를 피우지 않은 즉, non smoking 상태에서 background 수준의 에어로졸 수의 범

위는 8,680-5,510개/cc으로 나타났으며 평균 6,866개/cc, 표준편차 1,001개/cc이었다. 측정하기 전 공시험을 실시한 결과 시간에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였으나 Fig. 2에서 보는 바와 같이 담배연기에 의한 에어로졸과 비교했을 때 그 값이 미미하여 그래프 상에는 그다지 큰 변화는 보이지 않았다.

담배연기에 의한 에어로졸의 발생정도는 담배 개수에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 이들은 시간이 지남에 따라 지수함수곡선을 그리며 감소하였는데 실내 환경에서 어떤 오염물질의 발생이 정지하면 그 물질의 감소는 지수함수를 따른다는 기존 지식과 잘 일치하였다.<sup>19)</sup>

Fig. 3은 background 값을 제외한 순수하게 담배연기만으로 발생한 에어로졸의 수를 나타낸 것이다. 즉, background의 값을 제외시키고 그래프로 그린 것이다. 흡연완료 10분 후 담배 1개비에서는 55,810개/cc, 2개비에서는 75,310개/cc, 3개비에서는 121,710개/cc로 나타났다. 담배 개비에 따라 그 수가 배(倍)가 되지 않은 것은 입자 간 인력(引力)에 의해 흡착이 이루어져 그렸을 것으로 추정된다. 한 개비와 두 개비에 의한 에어로졸의 수는 대략 3시간이 지남에 따라 거의 비슷하게 나타났다. 그러나 세 개비에서는 3시간이 지나도 한 개비나 두 개비의 곡선과 만나지 않았다.

감쇠곡선을 방정식으로 나타내 보았다. 환기를 하고 있을 때 실내 오염물질의 감소현상은 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>10,20)</sup>

$$C = C_0 e^{-m(Q_a + Q_v + EQ_r)t/V} + \frac{mC_v Q_v + G}{m(Q_a + Q_v + EQ_r)} [1 - e^{-m(Q_a + Q_v + EQ_r)t/V}]$$

여기서, V=공간의 용적, t=시간, C=어느 시간에 오염물질의 농도, Q<sub>a</sub>=반응, 표면에 흡착 혹은 흡수에 의한 오염물질의 제거율, Q<sub>v</sub>=환기율, Q<sub>r</sub>=재순환율, E=공기청정장치의 효율, G=오염물질의 발생율, m=혼합계수

그러나 본 연구에서는 환기를 시키지 않고 오염물질이 한번 발생하면 더 이상 발생하지 않으며 또 오염물질의 반응 및 흡착에 대한 값을 알 수 없어서 단순히 수학적인 감쇠곡선을 적용하여 보았다. Table 1은 에어로졸의 감소현상을 시간에 따른 함수로 단순화시킨 방정식이다. 실내에서 오염물질은 지수 함수적으로 감쇠(exponential decay)하기 때문에 지수함수를 적용한 결과 비선형회귀(nonlinear regression) 방정식이 데이터 값에 잘 맞았다(R-square 참조).

**Table 1.** Equations to fit aerosol decay data

	Equation model	Coefficients		R-square
		a	b	
One cigarette	$y = ae^{-bx}$	56,050	0.01376	0.9500
Two cigarettes	$y = ae^{-bx}$	85,870	0.01493	0.9969
Three cigarettes	$y = ae^{-bx}$	130,000	0.01421	0.9765

Table 1의 방정식을 이용하여 담배연기로 오염된 실내에서 8시간(480분) 머문다고 가정하였을 때 에어로졸의 수를 계산해본 결과 한 개비에서는 75개/cc, 두 개비에서는 66/cc, 세 개비에서는 141개/cc로 나타났다. 두 개비가 한 개비보다 적게 나타난 것은 수학적인 모델을 쓰는 과정에 생긴 실험오차로 풀이된다. 비록 이들 값들은 단순히 시간에 따른 감쇠 방정식으로만 계산한 것이지만 실내가 담배연기로 오염된 후 환기를 시키지 않을 경우 에어로졸이 상당히 오랫동안 머문다는 것을 예측할 수 있는 값들이다.

실내공기오염을 측정할 때 지금까지 거의 모든 연구들은 공기 중 부유분진의 측정단위로 질량단위인 µg/m<sup>3</sup>를 사용하였다. 본 연구에서는 담배연기의 입자상물질을 질량단위로 측정하지 않고 에어로졸 수로 측정하였다는 점에 또 다른 의미를 부여할 수 있다. 그러나 본 연구에서 측정된 에어로졸의 수가 질량단위로 환산하였을 때 얼마인지에 대한 연구를 수행하지 못한 것은 본 연구의 제한점이다.

## 2. CO

CO는 불완전연소에 의해 발생하는 것이기 때문에 실내에 내연기관이나 화석연료의 연소가 없으면 발생할 가능성은 매우 희박하다. CO의 주요 발생원은 가솔린 엔진이며<sup>21)</sup> 실내에서는 담배가 주 발생원이다. 따라서 이들 발생원이 실내에 존재하지 않으면 CO의 농도는 매우 낮을 수밖에 없다. 이러한 발생원이 존재하지 않음에도 불구하고 실내에서 CO 농도가 높다면 이는 외부 즉, 자동차 배기가스 등에서 유입되었을 것이다.

CO의 시간에 따른 감소현상은 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 background의 농도범위가 0.1-0.2 ppm(평균 0.13 ppm)에 불과하였으며 담배 3개비를 피우고 10분 후의 농도도 실내공기질관리법상 유지기준인 10 ppm에는<sup>8)</sup> 훨씬 미치지 못하는 4 ppm에 불과하였다.

CO의 감소현상은 에어로졸의 감소현상과 유사한 양상을 보였다. 세 개비에서는 에어로졸의 감소현상과 같이 거의 지수 함수적으로 감소하였으나 에어로졸에 비해 약하였다. 이 같이 에어로졸과 CO의 지수함수적인

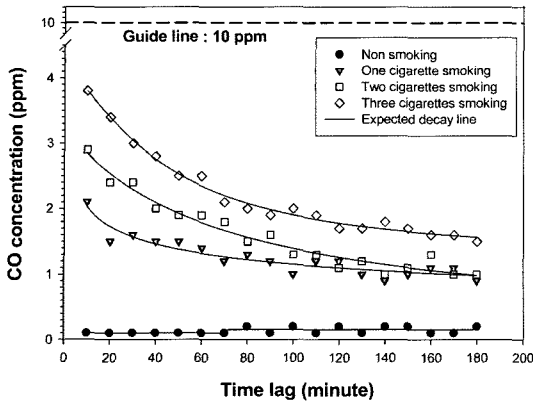


Fig. 4. Decay of CO concentrations of tobacco smoke in accordance with time lag including background (non smoking) level.

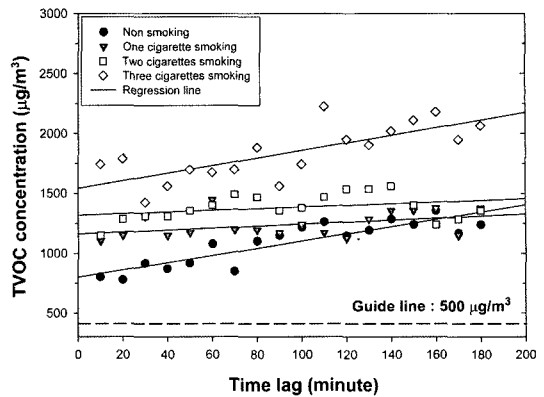


Fig. 6. Increases of TVOC concentrations of tobacco smoke in accordance with time lag including background (non smoking) level.

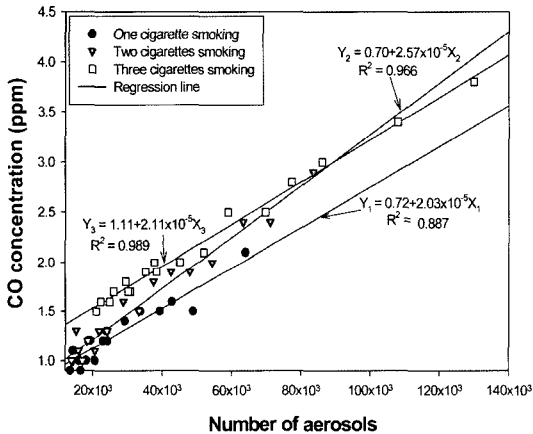


Fig. 5. Correlations of numbers of aerosols and CO concentrations.

감쇠 양상은 앞의 연구자들에 의한 연구결과<sup>10)</sup>와 동일하였다. 한 개비와 두 개비에서의 감쇠는 지수함수 혹은 거의 직선적으로 감쇠하는 양상을 보였다. 그러나 CO의 감쇠는 초기 발생 때에만 빠른 감쇠가 일어나다가 시간이 지나면 그 정도가 매우 무디어졌다. 이는 CO의 초기 감쇠현상은 CO가 비반응성으로 쉽게 다른 물질과 반응하여 없어지는 것이 아니라 주로 확산에 의해 측정지점에서 농도가 줄어든 것으로 판단된다.

한편, 에어로졸과 CO의 감쇠현상이 매우 흡사하여 이들 간의 상관관계를 알아 본 결과 Fig. 5와 같다. 3개 실험치 모두에서 에어로졸 수와 CO 농도는 매우 높은 상관성을 보여 주었다. 따라서 에어로졸의 수를 잘 알지 못하는 경우에는 CO의 농도를 가지고 개략적인 에어로졸의 수를 예측할 수 있다.

### 3. TVOC

실내에서 TVOC의 발생원은 다양하다. 건축재료, 가구 설비, 접착제, 페인트 등 다양하기 때문에 오래된 건물보다는 신축건물에서 TVOC의 농도가 높다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다.<sup>23)</sup>

Fig. 6과 Fig. 7은 TVOC의 변화 양상을 그림으로 나타낸 것이다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 담배를 피우지 않은 상태에서도 TVOC는 실내공기질관리법상 권고기준인 500 µg/m³<sup>5)</sup> 넘고 있다. 실험에 사용된 세미나실은 지은 지 거의 20년에 가까운 건물임에도 불구하고 공시험을 실시하기 위해서 적어도 24시간을 환기를 시키지 않고 TVOC를 측정할 결과 권고기준을 넘고 있어 TVOC에 대한 실내오염도가 심각하다는 것을 알 수 있었다. Fig. 6에서 흥미로운 것은 시간이 지남에 따라 담배연기와 관계없이 모든 경우에서 서서히 TVOC가 증가하였다. 앞선 에어로졸과 CO와 달리 시간이 지남에 따라 이같이 TVOC가 서서히 증가한 것은 환기가 부족한 공간에 인체의 생체 발산물(bioeffluent)(예를 들어, 아세톤, 에탄올 등),<sup>23,24)</sup> 집기와 접착물, 페인트류, 인체 화장품, 기타 발생원으로부터 TVOC가 계속하여 발생한 것으로 풀이된다.

Fig. 7은 흡연 후 TVOC 값에서 공시험 즉, 비흡연 상태의 TVOC의 시간별 background 값을 뺀 것을 그래프화한 것이다. 다시 말해, 순수하게 담배만의 TVOC를 시간별로 본 것이라고 할 수 있다. 한 개비와 두 개비를 피웠을 때는 시간이 지남에 따라 줄어드는 양상을 보였으나 세 개비에서는 시간별로 쉽게 줄어들지 않고 거의 일정한 값을 유지하고 있었다. 시간별로 줄어드는 것은 설명할 수 있겠으나 세 개비를 피웠을 때 거의 평행한 수준을 보인 것은 이해하기 어렵다. 이는

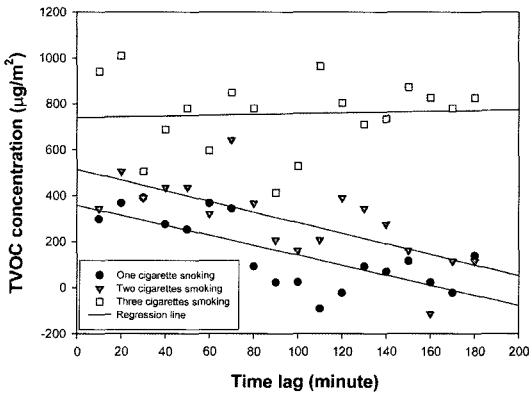


Fig. 7. Changes of TVOC concentrations of only tobacco smoke in accordance with time lag excluding background (non smoking) level.

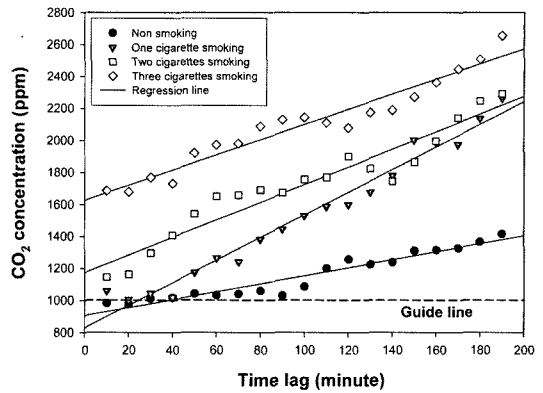


Fig. 8. Increases of CO<sub>2</sub> concentrations of tobacco smoke in accordance with time lag including background (non smoking) level.

실험의 오차로 설명할 수 있다. 즉, background를 측정하는 시간대와 흡연 후 측정하는 시간대가 물리적으로 동일할 수 없기 때문에 생긴 오차로 사료되나 충분하지는 않다. 회귀곡선으로 분석했을 때 한 개비나 두 개비 흡연시에는 처음부터 실내공기질관리법상 권고기준인 500 µg/m<sup>3</sup> 이하임을 예측할 수 있었고 시간이 지남에 따라 점차 감소하는 양상을 보였으나 세 개비부터는 처음부터 권고기준 이상이면서 시간이 지나도 감소하는 경향을 보이지 않아 시간에 따른 예측이 어려웠다.

4. CO<sub>2</sub>

실내에서 CO<sub>2</sub>의 주 발생원은 완전연소에 의한 것이거나 사람에게 의한 것으로 설명할 수 있다. 일반적으로 실내에서 CO<sub>2</sub>의 주원인은 사람에서 만들어진 것이며 (성인 1인당 시간당 약 18-21L) 이는 실내공기오염의 지표로 널리 사용되고 있고 아울러 환기율을 평가하는데 사용된다.<sup>25)</sup>

Fig. 8과 Fig. 9는 CO<sub>2</sub>에 대한 변화를 그래프화한 것이다. Fig. 9는 background 값을 제외한 것이다.

Fig. 8은 보면 흡연을 하지 않아도 대략 40분이 지나면서 CO<sub>2</sub>의 값이 실내 유지기준인 1,000 ppm을 넘기 시작한 것을 알 수 있다. 또 background를 포함한 흡연시 모든 그래프에서 CO<sub>2</sub>의 양의 시계열적인 변화는 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 흡연시에는 담배 개수와는 관계없이 모든 측정치가 흡연 후 10분후부터 유지기준을 넘어서었다.

Fig. 9를 보면 background 값을 제외하고도 시간이 지남에 따라 담배 개수에 비례하여 직선적으로 증가하고 있는데 이는 시간이 지남에 따라 CO<sub>2</sub>의 확산이 이

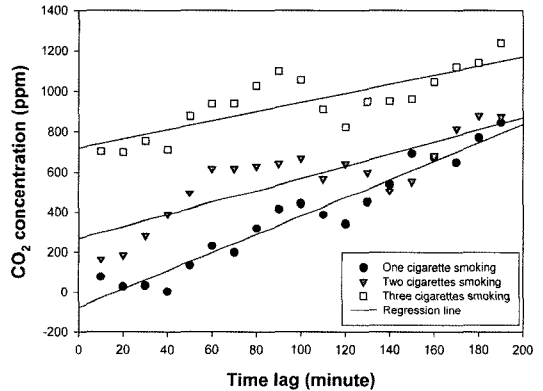


Fig. 9. Increase of CO<sub>2</sub> concentrations of only tobacco smoke in accordance with time lag excluding background (non smoking) level.

루어졌음을 짐작할 수 있다. 또 실험의 오차로 평가할 수 있는데 background를 측정하는 시간대와 흡연시 측정하는 시간대가 동일할 수가 없기 때문에 생긴 오차로 평가할 수 있으나 충분하지는 않다.

5. 자연 환기시 오염물질의 변화

세미나실을 자연환기하고 지금까지의 실험을 동일하게 실시하였다. 오염물질의 측정시간이 background 수준을 측정할 때와 흡연 후 측정하는 때가 물리적으로 같을 수가 없기 때문에 자연화기율도 background 수준을 측정할 때와 흡연 후 측정할 때가 같을 수는 없다. 그러나 본 실험의 목적은 환기효율에 따른 정확한 오염물질의 양상을 측정하려는 것은 아니며 단지 자연환기시 오염물질의 양상이 실내공기질관리법상 기준과 얼마만큼의 차이가 있는지를 보고자 한 것이다.

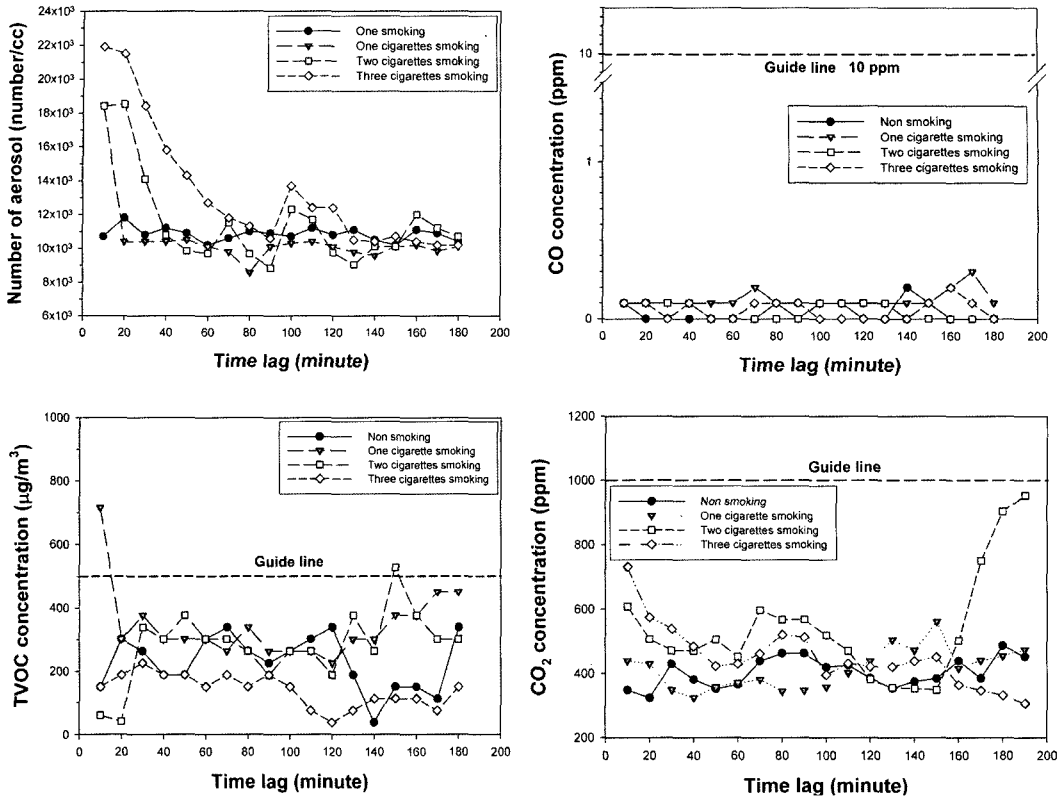


Fig. 10. Changes of aerosol, CO, TVOC and CO<sub>2</sub> concentrations in the seminar room when ventilated.

Fig. 10은 자연환기시 각 오염물질의 시계열적인 변화를 그래프로 그린 것이다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 CO, TVOC and CO<sub>2</sub>의 농도는 모든 측정치에서 대부분 유지기준 혹은 권고기준 이하였다. 에어로졸의 경우 유지기준이 에어로졸의 개수로 제정된 것이 아니기 때문에 비교할 수는 없으나 담배 한 개비는 20분, 두 개비는 40분 그리고 세 개비는 60-70분 뒤에 background 수준으로 떨어진 것을 알 수 있다. CO<sub>2</sub>의 경우 두 개비를 피웠을 때 마지막 3개 샘플에서 갑자기 높은 값으로 경증 된 것은 정확한 설명은 어려우나 세미나실 밖이 주차장이므로 자동차 배기가스가 갑자기 많이 들어왔을 가능성이 가장 높다고 판단된다. 이상과 같이 자연환기시 이들 4개 오염물질의 실내공기오염 수준은 매우 낮았으며 실내공기질관리법상 유지기준 혹은 권고기준을 밑도는 것으로 밝혀졌다.

#### IV. 결 론

환기가 불량한 실내공간에서 흡연시 오염물질의 양상

이 어떻게 변하고 환기의 필요성을 규명하기 위하여 환기가 불량한 세미나실(용적 51.1 m<sup>3</sup>)에서 담배를 한 개비, 두 개비, 세 개비 피우게 한 다음 주요 오염물질인 에어로졸의 수, CO, CO<sub>2</sub> 및 TVOC를 측정 한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

에어로졸은 시간이 지남에 따라 지수함수적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 단순히 시계열적인 감소 방정식으로만 계산한 것이지만 담배연기로 인한 에어로졸은 상당히 오랫동안 머문다는 것을 예측할 수 있었다. 즉, 8시간이 지났어도 에어로졸의 수는 담배 한 개비는 75개/cc, 두 개비에서는 66개/cc, 세 개비에서는 141개/cc가 남는 것으로 예측되었다.

CO 농도는 일부는 지수함수적으로 감소하였으나 초기에만 감소가 컸고 시간이 지남에 따라 감소는 약하였고 직선적으로 변화하였다. 흡연 개수와 관계없이 모든 측정치가 실내공기질관리법상 유지기준인 10 ppm보다 훨씬 낮았고 에어로졸의 수와 밀접한 상관관계를 유지하였다.

TVOC 농도는 시간이 지남에 따라 직선적으로 증가하는 양상을 보였으며 background 수준부터 실내공기

질관리상 권고기준인 500 µg/m<sup>3</sup>를 넘었다. CO<sub>2</sub> 농도 역시 background 수준부터 거의 대부분이 실내공기질 관리상 유지기준인 1,000 ppm을 넘어 섰으며 시간에 따라 직선적으로 증가하였다.

자연환기시 모든 오염물질의 농도는 급격히 저하되어 실내공기질관리법상 기준치를 밑돌았다.

## 참고문헌

- Godish, T. : Indoor Environmental Quality, Lewis Publisher, pp.77-79, 2001.
- USEPA : Respiratory Health Effects of Passive Smoking Lung Cancer and Other Disorder, EPA 600/690/006B, 1992.
- NRC : Environmental Tobacco Smoke Measuring Exposures and Assessing Health Effects, National Academy Press, Washington DC, pp.337, 1986.
- 보건복지부 : 국민건강증진법 시행규칙[일부개정 2004.7.29 보건복지부령 제00290호], 2004.
- 박동욱, 윤경섭, 박수택, 하권철 : 서울 일부 지하철 객차와 승강장에서 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도의 특성. 한국환경보건학회지, **31**(1), 39-46, 2005.
- 곽현석, 진구원, 김 원, 양원수, 최상준, 박동욱 : 서울 일부 지하철 승무원석의 PM, 이산화탄소, 일산화탄소 모니터링에 의한 실내공기질 특성 평가. 한국환경보건학회지, **31**(5), 379-386, 2005.
- 문경환, 변상훈, 최달웅, 이은일, 오은하, 김영환 : 실내 공기 중 일부 알데히드류에 대한 위해도 평가-일부 주택 및 아파트 환자 주택을 대상으로. 한국환경보건학회지, **32**(1), 19-26, 2006.
- 환경부 : 다중이용시설 등에 대한 실내공기질관리법, 실내공기질관리 업무편람, 2004.
- Junker, M. H., Danuser, B., Monn, C. and Koller, T. : Acute sensory responses of nonsmokers at very low environmental tobacco smoke concentrations in controlled laboratory settings. *Environmental Health Perspectives*, **109**(10), 1045-1052, 2001.
- Leaderer, B. P., Cain, W. S., Isseroff, R. and Berglund, L.G. : Ventilation requirements - II. Particulate matter and carbon monoxide from cigarette smoking. *Atmospheric Environment*, **18**(1), 99-106, 1984.
- Ott, W. R. : Mathematical models for predicting indoor air quality from smoking activity. *Environmental Health Perspectives*, **107**(S2), 375-381, 1999.
- Spengler, J. D. : Buildings operations and ETS Exposure. *Environmental Health Perspectives*, **107**(S2), 313-317, 1999.
- 백성욱, 박상곤 : 도시지역 사무실내 공기 중 환경담배연기의 측정-흡연이 부유먼지 농도에 미치는 영향을 중심으로-. 한국대기환경학회지, **20**(6), 715-727, 2004.
- 조성준 : 식당 종업원의 환경 담배 연기(ETS)의 노출과 머리카락 중 생체지표 연구. 한국환경독성학회지, **19**(2), 169-176, 2004.
- Jo W-K, Oh J-W: Evaluation of CO exposure in active smokers while smoking using breath analysis technique, *Chemosphere*, **53**, 207-216, 2003.
- SPSS Inc. : SigmaPlot<sup>®</sup> 8.0.2, SPSS Inc., Chicago, IL, 2002.
- Willeke, K., Ayer, H. E. and Blanchard, J. D.: New method for quantitative respirator fit testing with aerosols. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **42**, 121-125, 1981.
- TSI : Manual of Portacount Respirator Fit Test and N95 Companion, TSI incorporated, 2005.
- ACGIH : Industrial Ventilation -A Manual of Recommended Practice-, 25th ed., Cincinnati, OH, 2.6-2.7, 2004.
- Repace, J. and Lowery, A. H. : Tobacco smoke, Ventilation and Indoor Air Quality, Science, Wash, **208**, 464-472, 1980.
- Lynn, D. A. : Air Pollutant -Threat and Response, Addison-Wesley Publishing Co., 52-55, 1975.
- 김운신 : 실내환경과학, 민음사. 서울, 39-41, 1994.
- Wang, T. C. : A study of bioeffluents in a college classroom. *ASHRAE Trans*, **81**, 32-44, 1975.
- Johannson, I. : Determination of organic compounds indoor with potential reference to air quality. *Atmospheric Environment*, **12**, 1371-1377, 1978.
- Godish, T. : Indoor Air Pollution Control, Lewis Publishers, 208-213, 1990.