

## 물질수지를 이용한 실내공기질 개선정도 평가

김영희·김문현\*·양원호  
대구가톨릭대학교 산업보건학과, \*대구대학교 환경공학과  
(2006년 4월 7일 접수; 2006년 9월 6일 채택)

### Evaluation Method for Improvement of Indoor Air Quality Using Mass Balance

Young-Hee Kim, Moon-Hyeon Kim\* and Won-Ho Yang  
Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongbuk 712-702, Korea  
\*Department of Environmental Engineering, Daegu University, Kyongbuk 712-714, Korea  
(Manuscript received 7 April, 2006; accepted 6 September, 2006)

Despite the wide distribution of air pollutants, the concentrations of indoor air pollutants may be the dominant risk factor in personal exposure due to the fact that most people spend an average of 80% of their time in enclosed buildings. Researches for improvement of indoor air quality have been developed such as installation of air cleaning device, ventilation system, titanium dioxide(TiO<sub>2</sub>) coating and so on. However, it is difficult to evaluate the magnitude of improvement of indoor air quality in field study because indoor air quality can be affected by source generation, outdoor air level, ventilation, decay by reaction, temperature, humidity, mixing condition and so on. In this study, evaluation of reduction of formaldehyde and nitrogen dioxide emission rate in indoor environments by TiO<sub>2</sub> coating material was carried out using mass balance model in indoor environment. we proposed the evaluation method of magnitude of improvement in indoor air quality, considering outdoor level and ventilation. Since simple indoor concentration measurements could not properly evaluate the indoor air quality, outdoor level and ventilation should be considered when evaluate the indoor air quality.

Key Words : School, Indoor Air Quality, Evaluation, Formaldehyde(HCHO), Ventilation

#### 1. 서론

대기오염은 바람 등에 의한 자연적인 희석률이 크고 사회적 인식 확대 및 각종 환경규제 등으로 대기오염 수준은 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 오염된 공기가 계속적으로 순환되면서 오염농도가 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있기 때문에 실내환경에 대한 인식이 새롭게 부각되기에 이르렀다<sup>1)</sup>. 인간은 일반적으로 대략 하루에 1.5 kg의 음식물을 섭취하고 2 kg 정도의 물을 마시며, 공기는 이보다 거의 10배에 달하는 약 13 kg 정도를 마셔야 살 수 있고 단 몇 분만 호흡을 멈추더라도 곧 사망하게 될 만큼

중요하다. 인간은 하루 24시간 중 80%이상을 실내(주택, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등)에서 생활하는 것으로 조사보고 되고 있다<sup>2)</sup>. 특히, 실내환경 중에서도 주택은 가장 많이 시간을 보내는 공간으로 대략 하루 중 50% 이상 체류한다.

실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)에 대한 문제의 발생 배경은 각종 산업 분야에서 에너지 절약 및 효율을 높이기 위한 노력으로 건물의 단열을 위한 밀폐화와 에너지 절감 장치를 설치하는 건물의 증가로 인하여 공기의 질이 악화되는 것이다. 실제로 에너지 절약형 건물은 외부로부터의 공기 침투를 막는 것에 초점을 맞추어 건축되었고, 에너지 절약형의 산업용 건물에서는 건물의 유지 관리비를 줄이기 위해 의도적으로 환기량을 감소시키기도 하여 공기의 유입과 환기가 감소되어 자연히 실

Corresponding Author : Won-Ho Yang, Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongbuk 712-702, Korea  
Phone: +82-53-850-3739  
E-mail: whyang@cu.ac.kr

내공기가 오염되고 있다<sup>3)</sup>. 실내공기오염의 주요 원인은 인구의 밀집화, 현대사회의 실내 생활화, 실내공간의 밀폐화 등으로 도시의 집중화가 증가될수록 심화되고 있다. 실내공기오염은 각종 실내공간에서 공기오염, 생활쓰레기, 소음, 악취 등의 각종 환경오염에 이르기까지 다양한 형태로 발생될 수 있으며, 건물병 증후군(Sick Building Syndrome, SBS), 복합화학물질 과민증(Multi-Chemical Sensitivity, MCS), 새집 증후군(Sick House Syndrome, SHS) 등을 유발시켜 인간에게 정신적 고통을 주거나 위해요소로 작용할 수 있다. 그 뿐만 아니라, 개인 및 국가에 의료비용 증가라는 경제적 부담을 안긴다는 점에서 그 심각성을 무시하기 어렵다<sup>4)</sup>. 즉, 실내에서의 공기오염물질 노출이 실외 대기노출보다 실제적 영향 즉 건강장해를 야기할 수 있음을 알 수 있다. 더욱 중요한 것은 실내 공기오염물질의 농도가 낮더라도 노약자, 유아, 환자들은 실내환경에서 장기간 생활하기 때문에 매우 큰 건강영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

실내공기질에 따른 건강위해성을 고려할 때, 실내환경의 연소기구, 가구류, 내장재 등에서 발생하는 공기오염물질의 발생량 또는 실내공기 농도 측정만으로는 지금까지 알려진 오염물질의 종류 및 노출로 인한 건강영향을 명확하게 규명할 수는 없다. 이것은 실내공기질이 공기오염물질 발생량뿐만 아니라 실외공기, 환기량, 실내공간에서 오염물질의 표면반응에 의한 감소, 온도, 습도, 기타 미확인 요인 등에 영향을 받기 때문이다<sup>5)</sup>. 실내공기질의 개선 방법은 실내 오염원의 감소, 실내·외 공기 환기량 증대, 공기오염물질과 실내환경 내 건축자재와 가구 등과의 표면반응에 의한 감소를 통해서 청정한 실내환경을 조성할 수 있다. 더불어 광촉매의 실내환경내 코팅 및 공기청정기의 이용은 실내공기질 개선에 도움을 줄 수 있다. 실내공기의 제어 및 개선의 방법들은 각각 장단점을 가지고 있으나, 실내환경 내 광촉매 코팅은 실내환경 공기질 개선 방법 중 첫 번째인 완벽한 실내오염 배출원 감소의 불가능과 두 번째인 실외 대기오염이 심각한 지역의 환기는 오히려 실내공기를 더욱 악화시킬 수 있는 것으로 고려하면, 표면반응을 증대시키는 것은 매우 유효하게 실내공기질을 개선할 수 있다. 그럼에도 불구하고 실제 주택 현장에서 광촉매 코팅 후 실내공기질 개선 정도를 평가할 수 있는 방법이 현재 부재한 상태이다.

## 2. 연구내용 및 방법

본 연구는 2가지로 구분하여 수행하였다. 첫 번째 연구는 대구시 A 고등학교의 새로 신 책상을 구입

한 도서관에서 포름알데히드(HCHO)을 대상으로 광촉매 코팅 전·후의 실내공기질 개선 정도 평가이고, 두 번째 연구는 주택의 가스렌지(gas range)에서 발생하는 이산화질소(NO<sub>2</sub>)를 대상으로 하였다.

### 2.1. 신 책상구입 도서관

대구시에 위치한 A 고등학교의 신 책상 구입 도서관을 대상으로 TiO<sub>2</sub> 광촉매 코팅에 의한 HCHO 배출량 감소 정도를 현장 실험하였다. 본 연구에서 대상 교실은 신 책상 구입전과 구입후, 그리고 광촉매 코팅 후 각각 도서관에서 2개의 지역시료, 도서관 실외 공기 1 곳에서 HCHO를 측정 후, 즉시 환기량을 측정하였다. A 고등학교 도서관의 체적은 265 m<sup>3</sup>으로 실측되었고, 측정기간은 2005년 2월이었다.

#### 2.1.1. 시료채취방법

포름알데히드(HCHO)의 시료채취는 환경부의 실내공기질 공정시험방법에 준하여 수행하였다. Fig. 1과 같이 실내출입문, 창문 등을 개방하고 이 상태를 30분 이상 지속한 후, 외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)를 5시간 이상 모두 닫아 실내외 공기의 이동을 방지한 후 포집하였다.

#### 2.1.2. HCHO 측정 및 분석

실내공기 중에 존재하는 포름알데히드 농도를 측정하기 위한 시험방법으로 측정대상 실내환경인 과학실에서 각각 1000 mL/min의 유량으로 30분 동안 채취하여 2,4-디니트로페닐히드라진(2,4-DNPH; 2,4-Dinitrophenylhydrazine, Supelco, USA)으로 유도체화한 후, 이 2,4-DNPH 유도체를 고성능액체크로마토그래프(HPLC)에 주입하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360 nm에서 검출되는 크로마토그램의 면적으로 포름알데히드의 농도를 구하였다. 시료는 분석 전까지 냉장보관 하였으며, 실내공기질 공정시험법 및 NIOSH 2016 방법을 참조하여 분석하였다. 시료는 3 mL 아세토나이트릴(Acetonitrile)에 이용하여 추출하였다. 추출 용액은 2 mL 바이엘에 옮긴 후, HPLC/UV의 360 nm에서 분석하였다. 컬럼은 C8(150 mm × 3.9 mm × 5 μm) 역상 컬럼을 이용하였다. 이동상은 아세토나이트릴과 증

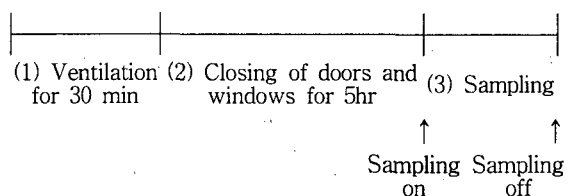


Fig. 1. Sampling process of formaldehyde.

류수를 45:55의 비율로 혼합한 용액을 이용하였으며, 컬럼의 유속은 1.5 ml/min으로 유지하였다. 분석시 시료 주입량은 20 µl이었다. 기기 및 분석조건은 Table 1과 같다. 표준용액은 2,4-DNPH 유도체화 포름알데히드 표준용액(100 ppm, Supelco, USA)을 아세트나이트릴로 희석하여 이용하였다. 0.06~3.85 ppm 범위의 4개 농도수준으로 제조하였으며, 각 피크의 면적과 농도를 이용하여 검량선을 작성하였다.

2.1.3. 환기량 측정

환기량은 추적가스(tracer gas)를 이용하여 직접 측정할 수 있다. 연구 대상인 A 고등학교 도서관의 환기상태는 기계적 환기장치가 없었기 때문에 창문에 의한 자연환기만 존재하는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 HCHO 측정 후 즉시 CO<sub>2</sub> 표준가스를 이용하여 과학실 CO<sub>2</sub> 농도가 약 1000 ppm에 도달했을 때 CO<sub>2</sub> 표준가스를 정지시키고 5분마다 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하여 과학실의 CO<sub>2</sub> 농도가 약 600 ppm 정도에 이르면 측정을 중지하였다<sup>6)</sup>. CO<sub>2</sub> 표준가스 분사 전 및 분사 중에 Fan 6대를 이용하여 A 고등학교의 도서관을 각각 완전혼합(complete mixing) 상태로 하였으며 CO<sub>2</sub> 농도가 약 1000 ppm에 이르면 Fan은 정지시키고 약 10분 후부터 CO<sub>2</sub> 농도를 측정하였고, 측정된 농도 값은 data-logger에 의해 자동으로 저장되도록 하였다. CO<sub>2</sub> 농도 측정은 1 point에서 하였으며 과학실과 도서관 중앙에서 각각 측정하였다. 환기량 측정은 추적가스 농도 감소법으로 회귀방법(regression method)을 이용하여 공기환기횟수(Air Change per Hour; ACH)를 계산하였다.

2.2. 가스레인지 사용 주택

본 연구는 실내공기질 개선의 한 방법인 실내환경용 특히 벽지 코팅용 촉매(TiO<sub>2</sub>)를 주택 실내환경 내에 코팅한 후 실내공기질 개선의 효율성을 평가하는 방법으로, 주택 실내 및 실외의 이산화질소

(NO<sub>2</sub>) 농도를 연속적으로 측정하였다. 측정기간 매일 가스렌지를 이용하여 30분간 작동 시켰으며, 이것은 측정기간 동안 NO<sub>2</sub>의 실내 발생량을 일정하게 할 수 있다.

2.2.1. 표본크기 및 시간

본 연구에서 수행될 표본은 거주자가 없는 주택(아파트)을 섭외하여 TiO<sub>2</sub> 광촉매 코팅 전·후의 NO<sub>2</sub> 농도를 실내의 침실, 거실, 부엌과 실외를 각각 5일(코팅 전 2일, 코팅 후 3일)씩 연속적으로 매일 2005년 7월에 측정하였다. 그리고 환기량도 매일 NO<sub>2</sub> 측정과 동시에 연속적으로 측정하였다.

2.2.2. 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 측정 및 분석

본 연구에서는 가스렌지를 매일 NO<sub>2</sub> 측정 전에 30분씩 작동시켜 주택 실내에서 발생하는 NO<sub>2</sub> 발생량을 고정시켰다. NO<sub>2</sub> 측정에는 수동식 시료채취기(passive sampler)를 이용하였고, NO<sub>2</sub>를 채취한 후 실험실에서 UV-VIS Spectrophotometer를 이용하여 정량분석을 하였다<sup>7)</sup>. 샘플링 위치는 연소장치(가스렌지) 발생원에서 3m 이상 그리고 창문 또는 문으로부터 2m 이상, 실외에 설치될 수동식 시료채취기는 지면으로부터 1m 이상이 되도록 하였고, 실외 측정에는 비나 눈으로부터 보호될 수 있도록 하였다.

2.2.3. 환기량 측정

환기율의 측정은 환기에 의한 CO<sub>2</sub> decay method를 적용하여 NO<sub>2</sub> 농도 측정동안 동시에 광촉매 코팅 전·후 각각 21일씩 연속적으로 측정하였다. CO<sub>2</sub>의 발생량도 NO<sub>2</sub> 마찬가지로 가스렌지에서 발생되며, 가스렌지 30분 작동 후 10분 동안 팬(fan)을 작동시켜 실내환경 내에서 완전혼합 후 10분 후에 바로 CO<sub>2</sub> monitor와 일차반응식(first-order reaction)을 이용하였다.

2.3. 실내환경의 물질수지

물질수지를 이용한 One-Compartment Model은 완전 혼합된 하나의 공간으로 공기의 유입 및 유출 사이의 관계를 기술하며 실내공기질을 설명하기 위해 자주 이용된다<sup>8)</sup>. 물질수지에 의한 실내공기질 모델은 실내공기오염물질 농도와 관련 변수들 사이의 관계를 나타낼 수 있는 유용한 방법이며, 공기오염물질의 확산과 이동, 공기오염물질 발생강도, 환기율, 제거율 등의 요인들을 기술한다. 일반 주택을 하나의 공간으로 가정하면, 실내 공기오염물질의 농도변화는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$VdC_i = mQC_o dt + Sdt - mQC_i dt - Rdt \quad (1)$$

여기서, C<sub>i</sub> = indoor concentration (ug/m<sup>3</sup>), C<sub>o</sub> =

Table 1. Analysis condition for formaldehyde concentration

Instrument	HPLC (Waters 2690) UV Detector (Waters 2487), 360 nm
Column	C <sub>8</sub> (Symmetry HPLC column), Reversed-phase
Effluent	Acetonitrile:DW = 45:55
Flow rate	1.5 ml/min
Injection Volume	20 µl

outdoor concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $Q$ = air exchange rate ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )  $S$ = source emission rate ( $\mu\text{g}/\text{hr}$ ),  $R$ = removal rate ( $\mu\text{g}/\text{h}$ ),  $V$ = volume of the space ( $\text{m}^3$ ),  $t$ = time (hr) and  $m$ = mixing factor ( $0 \leq m \leq 1$ ).

식 (1)에서 실내공간의 완전혼합(completely mixed condition,  $m=1$ )을 가정하고 재배열 시키면 식 (2) 나타낼 수 있다.

$$dC_i = IC_o dt + \frac{S}{V} dt - IC_i dt - \frac{R}{V} dt \quad (2)$$

여기서,  $I$ = air exchange per hour ( $\text{hr}^{-1}$ ).

식 (2)에서 시간  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지 적분시키면 다음과 같다.

$$\int_{t_1}^{t_2} dC_i = \int_{t_1}^{t_2} I(C_o - C_i) dt + \int_{t_1}^{t_2} \frac{S-R}{V} dt \quad (3)$$

여기서,  $t_1$ 는 측정시작 시간  $t_2$ 는 측정끝 시간.

$$C_i(t_2) - C_i(t_1) = I \left[ \int_{t_1}^{t_2} C_o dt - \int_{t_1}^{t_2} C_i dt \right] + \int_{t_1}^{t_2} \frac{S-R}{V} dt \quad (4)$$

식 (4)는 식 (5)로 계산될 수 있다.

$$C_i(t_2) - C_i(t_1) = I[C_o - C_i]T + \left[ \frac{S-R}{V} \right]T \quad (5)$$

여기서,  $C_i$ 는 실내공기오염물질의 평균농도,  $C_o$ 는 실외공기오염물질의 평균농도,  $T$ 는 측정기간.

식 (5)에서 대상 공기오염물질 측정에서 직독기(direct-reading instrument)가 아니고 일정기간 동안의 포집(소형펌프로 흡착하여 포집, 수동식 시료 채취기 이용 등)으로 평균농도라면,  $C_i(t_2)$ 와  $C_i(t_1)$ 은 근사하게 같다고 할 수 있다. 따라서, 식 (5)가 성립하기 위해서는

$$I[C_i - C_o]T = \left[ \frac{S-R}{V} \right]T \quad (6)$$

식 (6)을 재배열 하면 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$C_i = C_o + \left[ \frac{S-R}{VI} \right] \quad (7)$$

식 (7)에서  $(S-R)$ 은 + 값을 나타낼 수 있으며, - 값을 나타낼 수도 있다. 즉, 식 (7)은 대상 공기물질에 대해 실내 및 실외농도, 그리고 실내체적과 환기율을 측정된다면  $(S-R)$ 을 계산할 수 있음을 알 수 있다 식 (8).

$$(S-R) = [C_i - C_o]VI \quad (8)$$

### 3. 연구결과

#### 3.1. 신 책상구입 도서관

대상 A 고등학교 도서관에 새롭게 설치된 책상 및 걸상은 접착제의 사용으로 HCHO의 발생되고 있는 것으로 생각할 수 있으며, 식 (8)에서 실내 및 실외의 HCHO 농도를 측정하고 도서관의 체적과 환기량을 측정하여  $(S-R)$  값을 계산하였다. 또한 고려하여야 할 것이 도서관의 새로 구입한 책상에서는 발생하는 HCHO의 발생량은 온도 및 습도에 영향을 받을 수 있다. Sekine와 Nishimura (2001)은 일반 실내환경에서 HCHO의 발생량에 실내농도는 온도에 의해 크게 의존하기 때문에 식 (6)와 같이 회귀곡선을 이용한 온도에 따른 보정을 제시하였다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 Sekine와 Nishimura의 경험식을 이용하여 온도보정을 하였고, 습도는 보정 경험식에 대한 문헌 및 연구 자료가 없기 때문에 하지 못했다. 측정기간 동안 A 고등학교의 도서관의 온도 범위는 8~12°C 및 상대습도 범위는 33~50%를 보였다.

$$C_{20} = \frac{\exp(0.1066 \times 20)}{\exp(0.1066 \times T_r)} C_T \quad (9)$$

여기서,  $C_{20}$ : Indoor HCHO concentration at 20°C,  $T_r$ : mean room temperature(°C),  $C_T$ : measured indoor HCHO concentration

A 고등학교의 결과는 Table 2에 나타내었다. 실내공기질 모델을 이용한 식 (5)에 의한 결과를 살펴보면 도서관에서 신 책상 구입 전의 HCHO의 발생률-감소율( $S-R$ )은 94.61  $\mu\text{g}/\text{hr}$  이었으나 구입 설치후의  $(S-R)$ 은 3830.58  $\mu\text{g}/\text{hr}$ 으로 40배 증가하였다. 광촉매 코팅 1일 후의  $(S-R)$ 은 3341.39  $\mu\text{g}/\text{hr}$ 로 감소하였고, 2일, 3일 후에는 각각 2811.12  $\mu\text{g}/\text{hr}$ , 2130.20  $\mu\text{g}/\text{hr}$ 으로 계속적으로 감소 상태를 나타내었다. 이는 각각 12.8%, 26.6%, 44.4%의 효율성을 나타내었다. 반면 실내환경에서 측정된 실내 HCHO 농도는 코팅전에 36.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면, 코팅 후는 51.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 51.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 42.45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 오히려 평균 0.33%의 증가율을 보였다. 이 결과는 실내공기질 평가 방법시 실외공기와 환기량을 반드시 고려하여 발생량(또는 발생량-감소량)의 증감으로 표현하는 것이 더 정확함을 나타내고 있다.

#### 3.2. 가스렌지 사용 주택

3.1.에서는 발생률에 관한 것이지만, 가스렌지 사용 주택의 경우는 실내환경의 연소도구에서 발생하는  $\text{NO}_2$ 가 벽지 등에 코팅된 광촉매의 표면반응으로 감소율로 평가해야 한다. 식 (8)에서 실내 및

물질수지를 이용한 실내공기질 개선정도 평가

실외의 NO<sub>2</sub> 농도를 측정하고 아파트의 체적과 환기량을 측정하여 (S-R) 값을 계산하였다. (S-R) 값에 의하면 광촉매 코팅후 감소율이 증가함을 알 수 있다. 또한 식 (1)에서 실내 공기오염물질(NO<sub>2</sub>)

Table 2. Source emission rate and removal rate of formaldehyde in library installed new table and chair

Sampling	Sample site	Conc. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ACH ( $\text{hr}^{-1}$ )	S-R ( $\text{ug}/\text{hr}$ )	S* ( $\text{ug}/\text{hr}$ )
Before new desk installation	Outdoor	5.6			
	Indoor		0.21	94.61	} +2716.51
	Indoor	7.3	( $R^2= 0.94$ )		
After new desk installation	Outdoor	7.0			
	Indoor		0.49	3830.58	}
	Indoor	36.5	( $R^2= 0.99$ )		
1 day after coating	Outdoor	5.2			
	Indoor		0.27	3341.39	
	Indoor	51.9	( $R^2= 0.89$ )		
2 days after coating	Outdoor	7.5			} -530.27
	Indoor		0.24	2811.12	
	Indoor	51.7	( $R^2= 0.95$ )		
3 days after coating	Outdoor	7.5			} -680.92
	Indoor		0.23	2130.20	
	Indoor	42.45	( $R^2= 0.97$ )		

\* Assuming R= constant.

+ Volume: 265 m<sup>3</sup>

+ Standard: 122.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  @20 °C, 1atm (Korea), 98.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ @20 °C, 1atm (Japan)

Table 3. Source emission rate and removal rate of nitrogen dioxide in house

Sampling	Sample site	Conc. ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ACH ( $\text{hr}^{-1}$ )	S-R ( $\text{ug}/\text{hr}$ )	R* ( $\text{ug}/\text{hr}$ )	K ( $\text{hr}^{-1}$ )		
2 day before coating	Outdoor	70.1						
	Indoor	Kitchen	58.3		-2249.3	9401.3	1.16	
		Bedroom	44.2	50.3				0.71
		Livingroom	48.4					( $R^2= 0.95$ )
1 day before coating	Outdoor	79.2						
	Indoor (60.6)	Kitchen	62.4		-2412.0	9564.0	1.05	
		Bedroom	53.2	56.7				0.67
		Livingroom	54.5					( $R^2= 0.99$ )
1 day after coating	Outdoor	88.1						
	Indoor	Kitchen	62.8		-4292.5	11444.5	1.35	
		Bedroom	49.8	52.8				0.76
		Livingroom	45.8					( $R^2= 0.93$ )
2 days after coating	Outdoor	77.8						
	Indoor	Kitchen	59.8		-4032.1	11184.1	1.46	
		Bedroom	40.5	47.8				0.84
		Livingroom	43.1					( $R^2= 0.95$ )
3 days after coating	Outdoor	83.6						
	Indoor	Kitchen	65.3		-3831.1	10983.1	1.35	
		Bedroom	40.8	50.8				0.73
		Livingroom	46.3					( $R^2= 0.96$ )

\* NO<sub>2</sub> source emission rate is 7152 ug/hr in house volume of 160 m<sup>3</sup>

의 감소율(R)은 감소상수(K, hr<sup>-1</sup>)와 실내에 존재하는 질량(VC<sub>i</sub>)으로 나타낼 수 있다 식(10).

$$R = KVC_i \quad (10)$$

Yang 등(2004)이 가스렌지에서 발생하는 NO<sub>2</sub> 발생률을 다중측정에 의해 추정된 44.7 ug/m<sup>3</sup>/hr을 이용하면 감소상수(decay constant, hr<sup>-1</sup>)을 Table 3과 같이 대략 추정할 수 있다<sup>10)</sup>.

#### 4. 결 론

본 연구는 신 책상을 구입한 고등학교 도서관을 대상으로 HCHO 제어용 TiO<sub>2</sub> 광촉매 코팅물질을 이용하여 HCHO 발생율의 감소 정도, 그리고 아파트에서 5일 동안 매일 다중측정으로 TiO<sub>2</sub> 광촉매 코팅물질 표면반응에 의한 NO<sub>2</sub> 제거율의 감소상수를 실내환경 물질수지에 적용하여 평가하였다. 실제 현장에서 실내공기질 개선을 위한 노력이 다양한 방법으로 연구되고 있으나, 그 개선 정도를 평가하는 것에 현장 실무자들은 어려움을 갖고 있다. 실내공기질은 실외공기 농도, 환기, 반응을 통한 감소, 실내 발생량, 실내기류, 온도, 습도와 그리고 확인되지 못한 요인 등 다양한 인자에 영향을 받는다. 그 동안 실내공기질 개선 정도를 단순히 실내 농도 측정만으로는 명확하게 평가할 수 없었다. 본 연구는 물질수지를 이용한 실내공기질 모델에 적용하여 개선 정도를 평가하였다. 결과에 의하면, 단순히 실내공기 농도 측정으로는 개선 정도를 파악할 수 없었으며 실외공기질 및 환기를 고려한 실내환경 물질수지에 의해 유해공기물질의 발생률과 감소율(또는 감소상수)로 개선 정도를 나타낼 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1) Hoddinott, K. B. and A. P. Lee, 2000, The use of environmental risk assessment meth-

odologies for an indoor air quality investigation, Chemosphere, 41, 77-84.

2) 통계청, 1999, 생활시간조사보고서, 생활시간량 편, 통계청, 1, 29-50.

3) Skillas, G., C. H. Huglin and H. C. Siegmann, 1999, Determination of air exchange rates of rooms and deposition factors for fine particles by means of photoelectric aerosol sensors, Indoor Built Environment, 8, 246-254.

4) Jones, A. P., 1999, Indoor air quality and health, Atmospheric Environment, 33, 4536-4564.

5) Cyrus, J., J. Heinrich, K. Richter, G. Wolke and H. E. Wichmann, 2000, Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Hamburg and Erfurt, The Science of the Total Environment, 250, 51-62.

6) 양원호, 배현주, 이기영, 정문호, 2000, 측정시간에 따른 거주지역 환기량 계산 오류에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26(3), 50-54.

7) Yanagisawa, Y. and H. Nishimura, 1982, A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO<sub>2</sub> and NO in ambient air, Environment International, 8, 235-242.

8) Kraenzmer, M., 1999, Modeling and continuous monitoring of indoor air pollutants for identification of sources and sinks, Environment International, 25(5), 541-551.

9) Sekine, Y. and A. Nishimura, 2001, Removal of formaldehyde from indoor air by passive type air-cleaning materials, Atmospheric Environment, 35, 2001-2007.

10) Yang, W., K. Lee and M. Chung, 2004, Characterization of Indoor Air Quality Using Multiple Measurements of Nitrogen Dioxide, Indoor Air, 14, 105-111.