

## 왁스 청소에 기인한 실내 공기 중 휘발성 유기화합물의 농도변화 Variations of Concentration Levels of Volatile Organic Compounds in the Indoor Air due to Floor Waxing

김만구 · 박춘옥 · 권영진 · 이용근<sup>1)</sup> · 이대운<sup>1)</sup>  
강원대학교 환경학과, <sup>1)</sup>연세대학교 화학과  
(1996년 12월 28일 접수, 1997년 6월 10일 채택)

Man Goo Kim, Chun Oak Park, Young Jin Kwon, Yong Keun Lee<sup>1)</sup>, Dae Woon Lee<sup>1)</sup>  
*Department of Environmental Science, Kangwon National University*  
<sup>1)</sup> *Department of Chemistry, Yonsei University*  
(Received 28 December 1996; accepted 10 June 1997)

### Abstract

Wax is a protectant for floors that is used widely in Korea and is considered an emission source of volatile organic compounds (VOCs) in the indoor environment. This study examined the concentration change of indoor VOCs due to waxing and also due to wiping the floor with an oiled dustcloth. VOCs were identified using a cryogenic concentration/thermal desorption system with capillary GC that utilized a liquid nitrogen cryostat and induction heating. The major components emitted from the waxing were nonane, decane, undecane, C<sub>2</sub>-benzene, and C<sub>3</sub>-benzene. The concentrations of nonane were 1,276 µg/m<sup>3</sup> an hour after wax applications, 832 µg/m<sup>3</sup> after 3 days, and less than 10 µg/m<sup>3</sup> after 15 days. Another emission source of VOCs in indoor was the oiled dustcloth used for cleaning the floor. The oiled dustcloth gave VOCs concentrations three times higher than the normal undusted floor.

**Key words** : wax, volatile organic compounds, indoor environment, capillary GC

### 1. 서 론

현대 사회에서는 사람들이 직장이나 가정 등 실내에서 지내는 시간이 실외보다 훨씬 더 길어, 실내 환경에 대한 관심 역시 높아지고 있다. 휘발성 유기화합물들(VOCs)은 실외보다 실내 공기 중에서 더 높은 강도를 나타내고 있다(De Bortori *et al.*, 1986, Yocom, 1982). 1980년대초 빌딩증후군(sick building syndrome)이 정의되면서 실내 공기 중 휘발성 물질

에 관한 연구가 활발해 졌으며, 특히 VOCs가 건강에 미치는 영향에 관한 관심이 높아졌다(Kostiainen, 1995, WHO, 1983).

실내 공기 중 VOCs의 주요 배출원은 건축재, 가구, 방향제, 청소용품, 페인트, 접착제, 화장품 등과 요리, 흡연, 냉난방 등과 같은 실내에서 일어나는 인위적인 활동들이다(Sack *et al.*, 1992; Tancrede *et al.*, 1992; Gimán *et al.*, 1987). 이러한 배출원들에서 방출되는 VOCs들은 생활 양식에 따라 실내에서 사용하는 용품들과 활동들이 매우 다르므로 실내 공기 중

VOCs의 종류 및 농도 수준도 각국의 문화와 생활 환경에 따라 많은 차이를 나타내고 있다. 실내 바닥을 카펫으로 덮은 실내에서는 카펫과 접착제나 카펫 청소용품들에서 상당량의 VOCs가 방출되고 있으며(Godish, 1995a), Molhave(1982)는 카펫 직물에서 종류에 따라 28~61종의 VOCs가 1.659~3.15 mg/m<sup>3</sup>의 수준으로 방출되는 것을 보고하였다. 실내를 합성고분자 물질인 비닐계 바닥재로 덮는 경우는 카펫보다는 방출되는 VOCs가 적지만 첨가된 프탈레이트계 가소제가 수분이 있고 알칼리성인 콘크리트 바닥과 접촉하여 2-ethylhexanol, phenol 및 cresol 등 고급 알코올로 분해되어 악취의 원인이 되는 것은 잘 알려져 있다(Godish, 1995b).

우리나라의 공공건물이나 학교 건물들은 바닥을 인조석으로 마무리 한곳이 많고 대부분이 왁스와 기름결레를 사용하여 바닥을 관리하고 있다. 학교 건물의 경우 바닥을 보호할 목적으로 방학 기간을 이용하여 인조석 바닥에 왁스를 입히고 있으며, 평상시에는 기름결레를 사용하여 건물바닥을 관리하고 있는데, 이들이 실내 공기 중 VOCs의 주요 배출원이다.

현재 우리 나라의 실내 오염에 관한 연구는 실내 공기 중 분진과 무기 가스상 오염 물질에 국한되어 있으며(김윤신, 1993), 실내 공기 중 유기 물질에 관한 연구는 방향족 유기물질(김영민 등, 1996; 김만구 등, 1995), 카르보닐 화합물(황윤정 등, 1996), 미생물(김만구와 정영립, 1996)과 차량 탑승시 노출되는 VOCs(조완근, 1996) 등 소수로 매우 미진한 실정이다. 이는 이제까지 다른 오염 물질들에 비해 덜 중요하게 인식되어 왔으며, 대기 중 유기화합물들의 종류가 많은 등 여러 가지 다른 이유들도 있지만, 작업 환경과 같이 특정 휘발성 유기물질의 농도가 높은 특수한 경우를 제외하고는 공기 중 유기물질의 농도가 ppb나 ppt 정도의 수준이다. 그래서 일반 기체크로마토그래프 및 검출기로는 이들 VOCs를 손쉽게 분석할 수 없다.

그러므로 환경 시료 중 미량의 휘발성 유기물 분석에는 전 농축 방법을 병행한 크로마토그래피법이 필요하다(Compton and Stout, 1990; Kim *et al.*, 1989; Kobus *et al.*, 1987). 전 농축 방법으로는 미량의 유기물을 고체 흡착제를 이용하여 농축한 후 적당한 유기용매를 이용하여 추출하는 용매추출법과 흡착

관을 가열하는 열탈착법이 널리 사용되고 있다. 그러나 용매추출법은 추출액을 농축하는 과정에서 휘발성 유기물질이 소실되거나, 크로마토그램에서 머무름 시간이 짧은 휘발성 유기물 봉우리가 용매 봉우리에 묻혀 버리거나 끝림 위에 놓여 정량 조사가 어렵게 되는 등의 단점을 가지고 있다. 열탈착법 역시 유기화합물들이 흡착제에 강하게 흡착되어 탈착이 어렵거나, 수분을 제거하는 과정에서 극성 유기화합물이 같이 소실되는 경우도 있다.

본 연구에서는 인조석 건물 바닥에 입힌 왁스와 기름결레 청소가 실내 공기에 미치는 영향을 고찰하기 위해 실내 공기 중 VOCs의 종류와 농도 변화를 조사하였다. 실내 공기 중 VOCs는 고체흡착관을 이용하여 채취한 후 열탈착하여 저온농축관에서 다시 농축하여 유도화 가열 방법으로 신속히 기체 크로마토그래프에 도입하는 2단 농축법을 이용하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시료 채취

실내 공기 시료는 강원대학교 자연과학대학 2호관 3층 복도에서 채취하였다. 이곳은 방학 기간 중을 이용하여 년 2회씩 건물 전체의 바닥에 왁스를 칠하고 평상시에는 기름결레를 이용하여 청소를 하고 있는 곳이다. 인조석 바닥에 왁스를 입히는 작업은 여름 방학 중인 8월 17일 실시되었다. 실내 공기 중 휘발성 유기물질의 채취는 열탈착관으로 사용되는 석영관(길이 120 mm, 내경 12 mm)에 Tenax GC (60/80 mesh, GL Science Ltd., Japan) 0.5 g을 충전시켜 제작한 흡착관을 이용하였다. 흡착관내 흡착제의 위치와 열탈착하는 히터의 높이를 맞추기 위해 석영 흡착관에 석영솜을 15 mm 띄게 넣고, 흡착제를 충전한 다음 그 위에 5 mm의 석영솜을 채워 흡착제의 높이를 조절하였다. 시료 채취 장치는 흡착관 앞에 플라스틱 필터홀더(Swinnex-25, Millipore)와 석영 필터(직경 25 mm, GR100, Advantec)를 이용하여 입자상 물질들을 제거하였다. 흡착관 뒤에는 실리콘 튜브를 이용하여 유량계(KG-2, Kusano)와 미세밸브(B-SS2, Nupro, U.S.A.), 진공 펌프(400-1901, Barnant, U.S.A.)의 순서로 연결하였다. 각 실내 공기 시료는 100 ml/min의 유속으로 10분간 11

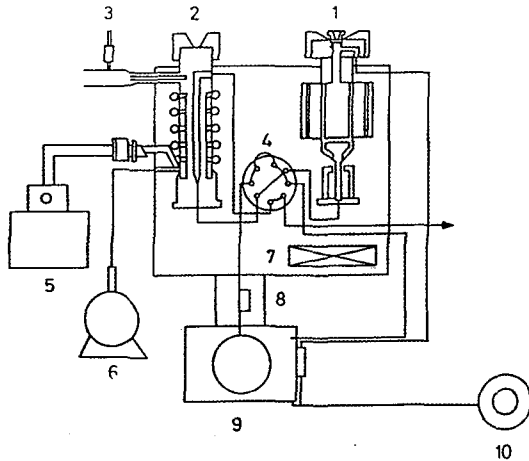


Fig. 1. Schematic of cryogenic concentration/thermal desorption system. 1: adsorption tube, 2: cryogenic concentration tube, 3: thermocouple, 4: 8-port valve, 5: oscillator, 6: liquid nitrogen dewars vessel, 7: oven heater, 8: transfer line heater, 9: GC, 10: carrier gas cylinder.

씩 채취하였다. 그리고 건물 바닥을 왁스로 청소한 지 3일 이내의 시료는 실내 공기 중 유기물질의 농도가 높아 흡착관에 채취하지 않고 100 ml 주사기를 이용하였다. 주사기로 채취한 공기 시료는 그림 1의 가열부(1)에 빈 석영관을 주입구의 septum을 통해 주입하여 저온농축관(2)에 직접 농축하였다. 이상과 같은 방법으로 왁스 청소후 1시간, 3일, 15일, 1달 및 2달이 지난 실내 공기를 채취하여 분석하였다. 그리고 기름걸레로 청소한 후의 실내 공기는 전술한 고체 흡착제를 충전한 흡착관을 이용하여 채취하였다.

2.2 2단 농축법 및 분석 조건

그림 1에 분석에 사용한 저온농축/열탈착 장치의 모식도를 나타냈다. 저온농축/열탈착장치는 purge & trap용 분석 기기의 일종인 일본 분석공업사의 JHS-100형 headspace sampler를 개량하여 이용하였다. 분석 장치는 대기 중 VOCs를 채취한 흡착관을 열탈착하는 부분과 운반기체 및 purge기체의 유로를 조절하는 팔방 밸브 부분과 흡착관에서 열탈착된 VOCs를 좁은 밴드로 다시 농축하는 저온 농축 부분으로 구성되었다. 열탈착부에서 흡착관은 니크롬선을 이용하는 저항 가열 방법을 사용하였고, 저온

농축관에는 저온농축된 시료를 신속하게 가열하여 좁은 밴드로 주입하기 위해 큐리포인트 유도화 가열 (Curie-point induction heating) 방법을 이용하였다. 분석 과정은 먼저 1단계로 실내 공기 중의 VOCs를 흡착관에 채취한 후, 열탈착부에서 흡착관에 채취된 VOCs를 200°C에서 질소를 50 ml/min의 유속으로 10분간 purge시켜 열탈착하였다. 열탈착된 VOCs는 purge gas와 함께 액체질소를 이용해 -40°C로 냉각시킨 저온농축관(석영, 길이 120mm, 내경 2mm, Tenax TA (60/80 mesh, GL Science Ltd., Japan) 40mg 충전)에 다시 저온 농축하였다. 그리고 유도화 가열하기 전에 저온농축부의 액체질소 공급을 중단하고 저온농축관의 앞뒤를 막은 후 20°C까지 해빙하였다. 이러한 해빙 단계를 거치는 것이 액체질소의 공급이 중단된 직후 바로 유도화 가열하는 것보다 재현성 있고, 좁은 폭의 봉우리를 갖는 크로마토그램을 얻을 수 있다. 저온농축관안에는 강자성체 튜브가 들어있어 255°C로 20초동안 저온농축된 VOCs를 신속히 유도화 가열 (Curie-point heating) 하여 10 ml/min의 He의 carrier gas와 함께 기체크로마토그래프에 주입하였다.

기체크로마토그래프(163, Hitachi)에는 유도화 가열되어 도입되는 시료의 유속을 맞추기 위하여 wide bore capillary (0.53 mm i.d., 25 m long, OV-1)을 사용하였고 불꽃이온화 검출기를 사용하여 각 성분들을 검출하였다. 그리고 GC/MS (Trio-1000, VG Instrument)를 이용하여 청소용 왁스 및 청소용 기름걸레

Table 1. Operating conditions of the gas chromatography for the cryogenic concentration/thermal desorption system.

Thermal Desorption	Heating	200°C, Nichrom Wire Heater
	Purge	N <sub>2</sub> , 50 ml/min during 10 min
Cryogenic Trap	Coolant	Liquid N <sub>2</sub>
	Cryogenic trap	Quartz tube (127 mm long, 2.3 mm i.d.) Packed with Tenax TA (60/80 mesh)
	Heating	Curie-point, 225°C during 20 seconds
	Purge	He, 10 ml/min
GC	Instrument	Hitachi 163
	Column	25 m long, 0.53 mm i.d. capillary column
	Liquid phase	OV-1, 2.0 µm film thickness
200°C	Oven	50°C for 5 min and then up to
	Temperature	at 10°C/min
	Carrier gas	He, 10 ml/min

에서 방출되는 휘발성 유기 성분의 주요 봉우리를 확인하였다. 표 1에 본 연구에서 사용한 기기 및 분석 조건을 나타냈다.

**2.3 표준 기체 제조 및 검량곡선의 작성**

본 연구에서 사용한 표준 기체 제조 장치의 모식도를 그림 2에 나타냈다. 먼저 4 ml의 유리병에 nonane을 0.5 ml 정도 넣고 1 ml용 Gastight 주사기 (Hamilton Co., U.S.A.)와 주사기 주입 펌프(Pump 22, Harvard Apparatus U.S.A)를 이용하여 headspace 기체를 0.5 μl/min 씩 석영 모세관을 통해 테프론 혼합관(길이 1 m, 내경 12 mm)으로 주입하였다. 그리고 희석용 공기는 실리카겔 트랩 (GL Science Ltd.)과 활성탄 트랩 (GL Science Ltd.)을 사용하여 수분과 탄화수소를 제거한 공기를 600 ml/min의 유속으로 혼합관에 주입하여 희석하였으며, 리본 히터로 가열하여 응축되는 것을 방지하였다. Nonane의 증기압이 25°C에서 0.570 Kpa (4.28 mmHg)이므로 (David ed., 1995) 이상의 방법으로 제조한 nonane의 농도는 제조하는 날의 실내 온도와 기압에 따라 조금씩 달라지지만 약 4 ppb 정도이다. 이상의 방법으로 제조된 표준 기체를 100 ml/min의 유속으로 2.5 분, 5분, 10분, 15분, 20분 동안 채취하면, 채취된 기

체 중에 포함된 nonane의 headspace의 양은 각각 0.2 μl, 0.4 μl, 0.8 μl, 1.25 μl, 1.67 μl에 해당한다. 이상과 같이 표준 기체를 채취하여 2.2절의 분석 방법과 동일하게 분석하여 각 봉우리의 면적(μV · Sec)과 nonane의 headspace 양(μl)의 관계를 나타내는 검량선을 작성하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1 검량곡선 및 회수율**

환경중 유기 물질의 정량에는 시판되고 있는 표준 물질이 이용되고 있지만, 휘발성 기체 성분인 경우 대기 농도의 표준 기체를 시료와 동일한 방법으로 채취하여 분석하는 데는 실린더로 판매되는 표준 기체가 매우 고가이며, 대기 중 농도로 희석하는 데는 별도의 장비를 필요로 하는 등 여러 가지 제약점이 있다. 그래서 본 연구에서는 실린더로 판매되는 표준 기체보다는 정도가 떨어지지만, headspace의 평형 농도를 이용한 표준 기체 제조 방법을 이용하여 실내 공기 중 nonane을 정량하였다. 본 표준 기체 제조 장치를 이용하여 실온이 20°C, 기압이 757.17 mmHg인 조건에서 제조한 3.4 ppb의 nonane 표준 기체를 100 ml/min의 유속으로 20분간

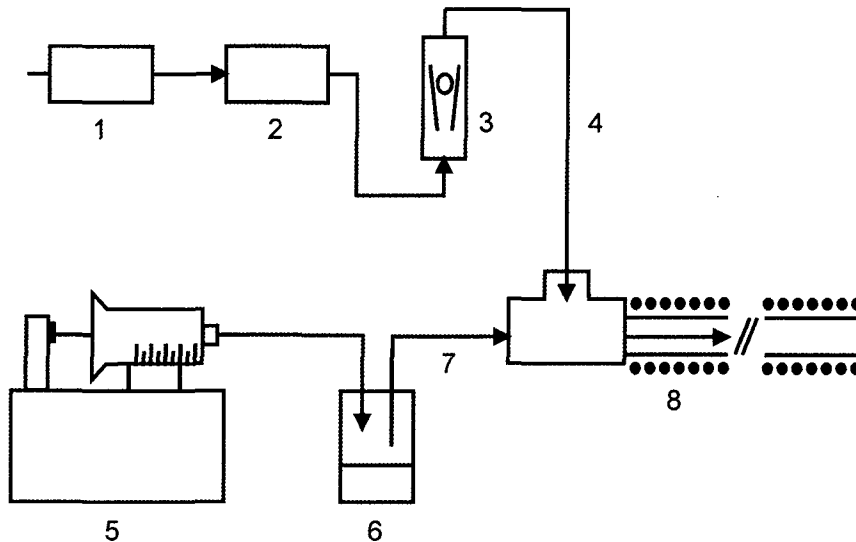


Fig. 2. A schematic diagram of standard vapor manufacturing apparatus.  
 1: silicagel trap, 2: active carbon trap, 3: flow meter, 4: dilution gas inlet, 5: syringe infusion pump, 6: vial, 7: capillary transfer line, 8: heated tefflon mixing tube.

채취하여 5회 정량하여 얻은 농도는  $3.4 \pm 0.51$  ppb로 나타났으며, 정량값의 상대 표준편차는 12%를 나타냈다. 표준기체의 정량과정은 흡착관에 채취한 후 열탈착하여 다시 저온농축하여 기체크로마토그래프에 주입하여 얻은 결과이므로, 표준 기체 제조 장치뿐만 아니라 채취 단계, 농축 단계, 열탈착 단계, 분리 및 검출 단계의 오차들이 모두 포함된 것이다. 그리고 nonane을 HPLC용 메탄올에 희석하여 열탈착부의 빈 흡착관에 nonane용액을 주입하는 방법과 nonane 표준기체를 흡착관에 채취하여 2.2절의 분석방법으로 얻은 nonane의 회수율은 95% 이상을 나타냈다. 표준기체 제조장치로 제조된 nonane을 이용하여 얻은 GC크로마토그램의 봉우리 면적으로부터 구한 검량곡선 ( $R^2=0.989$ )은 좋은 직선성을 나타냈다.

### 3.2 실내 공기 중 휘발성 유기 물질

청소용 왁스의 headspace 기체를 기체크로마토그래피/질량분석기로 분석한 결과 왁스에서 방출되는 주요 휘발성 유기물질들은 nonane, decane, undecane 등 가지없는 사슬형 포화 화합물이었으며,  $C_2$ -benzene,  $C_3$ -benzene류도 존재하는 것이 확인되었다. Tichenor *et al.*(1988)이 바닥 청소용 왁스에서 방출되는 휘발성 유기물질들로 보고한 성분들과 큰 차이점은 없었고,  $C_2$ -benzene류는 xylene의 이성체들과 ethylbenzene이고,  $C_3$ -benzene으로는 ethylmethylbenzene, cumene 등이 있으나 봉우리들이 겹쳐서 나타났다. 이와같이 headspace 성분들은 건강에 비교적 유해하지 않은 지방족 탄화수소가 주종을 이루지만 방향족 화합물들도 포함되어있는 것이 확인되었다. 그림 3에 청소용 왁스를 바닥에 바른 직후 채취한 공기 중에 포함된 휘발성 유기 성분을 분석한 크로마토그램을 나타냈다. 청소 직후의 크로마토그램은 왁스의 headspace를 취한 크로마토그램에 비해 각 성분의 세기는 작지만 각 봉우리의 패턴은 거의 동일했다. 머무름 시간 8.6분에 m, p-xylene, 9.1분에 o-xylene, 9.3분에 nonane, 11.2분에 decane, 12.9분에 undecane의 봉우리를 확인 할 수 있었고 머무름 시간 8분대와 10분대의 봉우리들은 각각  $C_2$ -benzene과  $C_3$ -benzene으로 확인되었다. 이들 봉우리들은 각각 기체 크로마토그래프의 머무름 시간과 질량 스펙트럼으로 확인하였다. 그림 4는 저

온 농축/열탈착 장치의 바탕 크로마토그램으로, 머무름 시간 0.97분, 1.2분, 10.5분, 10.7분, 12.3분, 20.2분, 20.3분에서 봉우리가 나타났다. 그 중에서 머무름 시간 1분대의 봉우리는 분석 대상이 아니고, 머무름 시간 10분대의 바탕 봉우리는  $C_3$ -benzene 봉우리와 서로 겹쳐서 나타났다. 그리고 머무름 시간 12.3분의 봉우리 성분은 확인되지 않았으나 undecane 앞에 나타나, 청소용 왁스의 주성분과는 다른 머무름 시간을 나타내 분석 결과에는 큰 영향을 미치지 않았다. 왁스 headspace 기체의 성분중 가장 큰 강도를 나타낸 봉우리는 nonane과 decane이었다. 두 성분 중에서 주위의 봉우리들과의 분리 상태가 양호하고 휘발성이 더 큰 nonane을 왁스 성분의 지표 물질로 택하여 왁스 청소 후 시간에 따른 농도의 변화를 조사하였다. Nonane 이외에 주된 다른 봉우리들도 정량 하면 더욱 유용한 정보를 얻을 수 있겠지만 검량용 표준기체 제조장치의 제한이 있었다.

실외 공기가 실내 공기 질에 미치는 영향은 환기 상태 및 건물의 구조에 따라 매우 다르게 나타나겠지만, 복도를 중심으로 양쪽에 사무실 및 실험실이 위치한 일자 형태인 강원대학교 자연과학 2호관의 경우, 실내 복도에 왁스를 칠한 지 3일 후까지도 실내 공기에 왁스에서 방출된 nonane과 decane의 봉우리가 크게 나타났다. 이는 3층에 이어 다음날 1, 2층에 왁스를 칠한 영향도 있어, 3층 복도 공기 중 n-nonane의 농도는 156 ppb로 청소 당일의 65% 정도의 농도를 나타냈다. 왁스 청소 후 2주일 정도 경과되면 실내 공기 중에는 왁스에서 방출되는 휘발성 유기물질들 보다는 외부 공기나 기름걸레에서 방출되는 휘발성 유기 물질이 실내 공기 중의 유기 물질에 미치는 영향이 더욱 지배적으로 실외 대기 중에서 농도가 높은 toluene 봉우리의 세기가 증가하였으며 기름걸레에서 방출되는 decane, dodecane 봉우리가 현저하게 증가하였다. 이는 왁스 청소로 인한 영향이 강하게 나타난 그림 3의 크로마토그램과는 매우 다른 패턴을 나타냈다. 그림 5에 왁스를 칠한지 2달 후의 실내 공기 휘발성 유기물의 크로마토그램을 나타냈는데, nonane, decane, undecane,  $C_2$ -benzene,  $C_3$ -benzene이 주요 봉우리들이었으며, 특히 toluene이 다른 조사일의 평균 농도보다 2.1배 높았다.

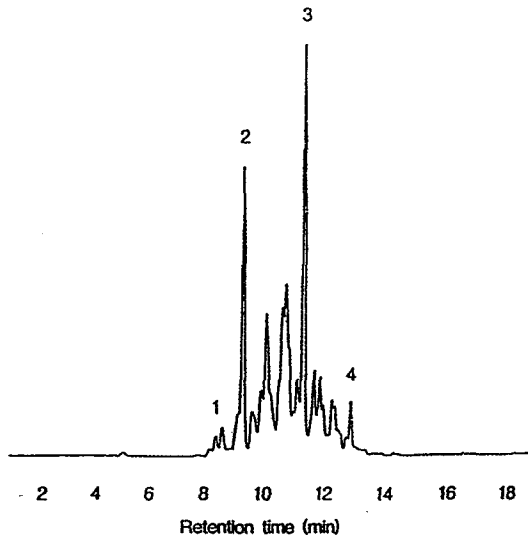


Fig. 3. Chromatogram of indoor air sample collected 1 hour after floor waxing. 1: C<sub>2</sub>-benzene, 2: nonane, 3: decane, 4: undecane.

그림 6에 복도 청소에 사용하고 있는 기름걸레 조각 2g 정도를 부피 20ml의 유리병에 넣은후 밀폐시켜 실온으로 3시간 방치하여 발생한 headspace 기체를 분석한 크로마토그램을 나타냈다. 복도 청소용 기름걸레에서 방출되는 특징적인 유기 물질은 C<sub>9</sub>부터 C<sub>14</sub>의 가지없는 사슬형 포화 화합물이었으며, 이들 사이에 방향족 화합물들도 나타났으나 충분히 분리되지 못했다. 특히 undecane, dodecane, tridecane 및 tetradecane 봉우리는 청소용 왁스의 headspace(그림 3)에 비하여 nonane에 대한 각 봉우리들의 상대적인 강도가 매우 높았다. 실험 대상 건물의 경우 건물 바닥을 왁스로 칠한 후 경유를 묻힌 기름걸레를 이용하여 건물 바닥을 관리하고 있었다. 그러므로 왁스를 칠한 후 시간이 경과하면, 실내중 공기에 존재하는 휘발성 유기화합물은 왁스보다는 기름걸레에서 방출되는 것이 주요 화합물들일 것이 예상된다. 이는 왁스 청소후 2달이 경과한 후의 실내 공기의 크로마토그램인 그림 5의 패턴이 왁스의 headspace의 크로마토그램과 다른 것으로

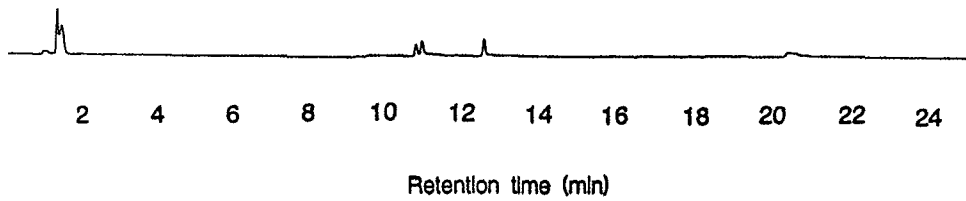


Fig. 4. Background chromatogram of cryogenic concentration/thermal desorption system.

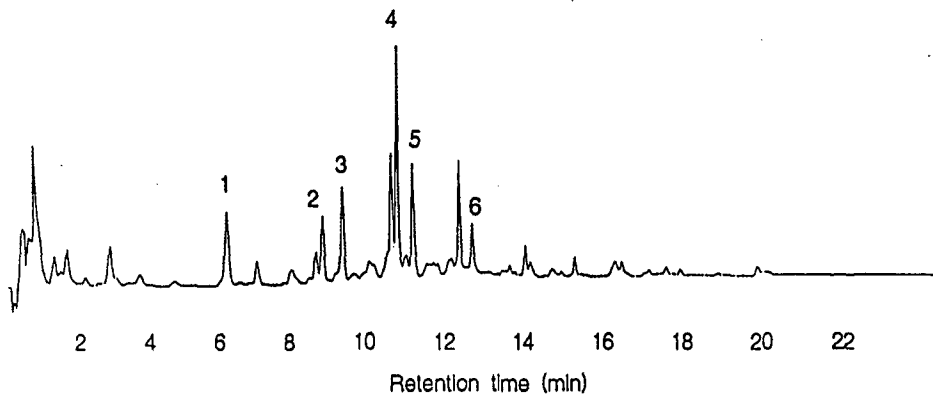


Fig. 5. Chromatogram of indoor air sample collected 2 months after floor waxing. 1: toluene, 2: C<sub>2</sub>-benzene, 3: nonane, 4: C<sub>3</sub>-benzene, 5: decane, 6: undecane.

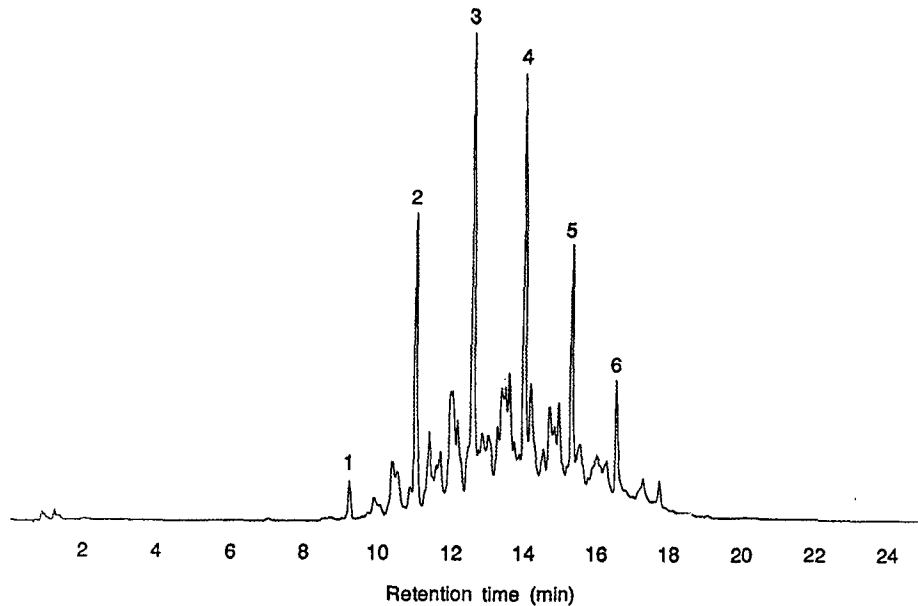


Fig. 6. Chromatogram of headspace gas of an oiled dustcloth.  
1: nonane, 2: decane, 3: undecane, 4: dodecane, 5: tridecane, 6: tetradecane.

알 수 있다. 즉 undecane 봉우리의 강도가 매우 증가하였으며, 왁스의 headspace 에서는 매우 약한 강도를 나타냈던 머무름 시간 14.2분의 dodecane, 15.4분의 undecane 봉우리가 nonane에 대해 각각 33%, 23%의 세기를 나타내 청소용 기름결레의 headspace와 유사한 화합물의 패턴을 나타냈다.

### 3.3 실내 공기 휘발성 유기물질의 농도 변화

표 2에 왁스 청소 후 실내 공기 중 nonane 농도의 변화를 나타냈다. 바닥에 왁스를 칠한지 1시간 뒤의 실내공기중 nonane의 농도는 1,276.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 빌딩증후군이 있는 핀란드의 건물 실내공기중 총 휘발성유기화합물들의 농도(40~235  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 훨씬 상회하는 수준이었다. 왁스를 칠한 후 3일 정도 경과하면, 실내 공기 nonane의 농도가 156 ppb(832  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 청소 당일의 65% 정도로 줄어들었으며, 15일 후에는 0.3%로 감소되었다. 그리고 1달, 2달 후 실내 공기 중 nonane의 농도는  $\text{m}^3$ 당 수  $\mu\text{g}$ 의 수준을 유지하였다. 왁스 청소 후 2주일 정도가 경과하면 청소용 왁스에서 방출되는 유기 물질의 실내 공기 질에 미치는 영향은 매우 줄어들었다. Nonane은 수

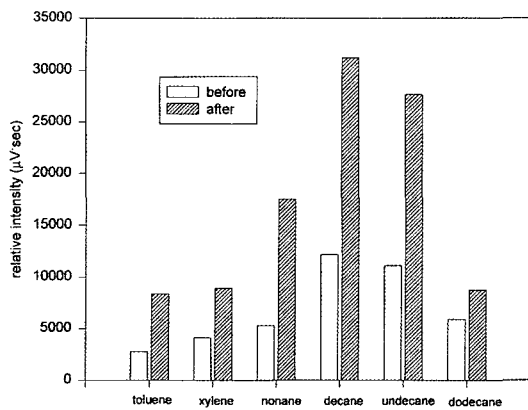
천 ppm으로 존재할 경우 마취 작용이 일어나지만 (池田正之, 1987), 이에 비해 왁스 청소후 실내 중에 존재하는 nonane의 양은 수 ppm으로 매우 미량이어서 급성독작용으로 인체에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 생각된다. 그러나 실내 공기 중 nonane의 농도만을 비교해 보면 왁스 청소 당일은 핀란드의 50가정의 평균 농도인 3.01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Kostiainen, 1995)의 수백배를 상회하는 수준이고 청소후 2달 후에도 2배 이상 높은 농도를 나타냈다. 그리고 nonane에 의한 만성적인 독작용에 관해서는 아직 확실하게 밝혀진 바는 없다. 한편 2주일이 경과한 후에도 nonane을 기준으로 환산한 총 VOCs의 농도는 수백  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 캐나다의 가정 (Fellin and Otson, 1994)에 비하여 높은 농도를 나타냈고 타이페이의 공공건물과 사무실들내의 총 VOCs의 평균의 농도 (Chan *et al.*, 1994)와 비슷한 수준으로 나타났다.

그리고 청소용 기름 결레가 학교 건물 실내 공기 중 휘발성 유기물질들의 주요 방출원으로 나타났다. 그림 7에 기름결레로 청소하기 전후 실내 공기 중 주요 휘발성 유기 물질들의 상대 농도를 나타냈

**Table 2. Variation of nonane in indoor air after floor waxing.**

Sampling Time	Concentration, ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
After 1 hour	1276.3
After 3 days*	832.9
After 15 days	3.8
After 1 month	4.8
After 2 months	7.4

\* the sample was collected at the 1st and 2nd floor waxing.



**Fig. 7. Comparison of relative concentration of volatile organics in indoor air before and after the wiping the oiled dustcloth on the floor.**

다. 가장 큰 세기를 나타내는 decane의 농도는 청소 후 2.6배 증가하였으며, nonane 농도의 증가율은 3.3으로 나타났고, 가장 주요 봉우리들 중에서 휘발성이 적은 dodecane의 농도는 1.5배 정도 증가하였다. 즉 기름걸레로 청소하기 전후 유기물질들의 공기 중 농도 증가율은 그 물질의 휘발성에 비례하여 나타났다.

#### 4. 결 론

청소용 왁스에서 실내 공기 중 방출되는 휘발성 유기물질은 nonane, decane, undecane과 같은 지방족 탄화수소가 주종을 이루었으나 C<sub>2</sub>-benzene, C<sub>3</sub>-benzene 등 발암성이 있는 것으로 알려진 방향족 탄화수소 화합물들도 확인 되었다.

왁스 청소시 실내공기 중 nonane의 농도는 1,276.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 핀란드 일반 가정집의 nonane 농도에 비

해 400배 정도 높은 농도를 나타냈다. 왁스 청소 후 휘발성 유기물질들의 농도는 급격히 감소하여, 왁스 청소 후 2주일 정도 경과하면 실내 공기 중 nonane의 농도는 청소 당일의 0.3% 정도로 줄어들지만, 왁스를 사용하지 않는 일반 가정집 보다 높은 농도가 2달 이상 지속되었다.

그리고 왁스 청소 후에는 기름걸레를 이용한 바닥 청소가 C<sub>9</sub>~C<sub>12</sub>의 많은 휘발성 유기물질을 실내 공기 중으로 유입시켜 실내 공기질을 저하시킨다는 사실이 확인되었다.

#### 사 사

저은 농축 장치 제작에 많은 도움을 주신 일본 분석 공업 주식회사의 Dr. Naoki Oguri에게 감사드립니다. 본 연구는 1994년도 교육부 기초과학육성 지원비(과제 번호 SBRI 94-3425)의 지원을 받아서 이루어졌습니다.

#### 참 고 문 헌

김만구, 박춘옥, 권영진, 이용래 (1995) 2단 농축법에 의한 실내 공기 중 휘발성 유기물 분석, 1995년도 한국대기보전학회 추계학술대회 요지집, 110-111.

김만구, 정영림 (1996) 수액제에 유입되는 실내 유기 오염 물질의 거동, 한국대기보전학회지, 12(3), 315-322.

김영민, 황윤정, 황승만, 박상곤, 백성옥 (1996) 대구지역 공중이용시설의 실내공기질 특성(II): 방향족 유기 화합물, 1996년도 한국대기보전학회 춘계학술대회 요지집, 185-186.

김윤신 (1993) 실내공기오염에 관한 소고, 한국대기보전학회지, 9(1), 33-43.

조완근 (1996) 휘발성 유기물질에 대한 차량 탑승시 노출, 한국대기보전학회지, 12(2), 151-157.

황윤정, 박상곤, 백성옥 (1996) DNPH 카트리지와 HPLC를 이용한 대기 중 카르보닐화합물의 농도측정, 한국대기보전학회지, 12(2), 199-209.

池田正之 (1978) 氣狀有氣汚染物質, 東京化學同人, 178 pp.

Chuan, C.C., S.H. Lin, and G.R. Her (1994) Office worker's exposure to volatile organic compounds while commuting and working in Taipei city, *Atmo. Environ.*, 28 (14), 2351-2359.

Compton, S. and P. Stout (1990) Headspace gas chromatography



- graphy-fourier transform infrared spectrometry for monitoring volatiles in commercial brand coffee, LC.GC, 8, 12, 920-926.
- De Bortoli, M., H. Knöppel, E. Pecchio, A. Peil, L. Rogora, H. Schauenburg, H. Schlitt, and H. Vissers (1986) Concentrations of selected organic pollutants in indoor and outdoor air in northern Italy, Environ. Int., 12, 343.
- Fellin, P. and R. Otson (1994) Assessment of the influence of climatic factor on concentration levels of volatile organic compounds (VOCs) in Canadian homes, Atmo. Environ., 28(22), 3581-3586.
- Girman, J.R., A.T. Hodgson, and R. Wilson (1987) Considerations in evaluation emissions from consumer products, Atmo. Environ., 21(2), 315-325.
- Godish, T.(1995a) *Sick Buildings: Dfinition, Diagnosis and Mitigation*, Lewis Publishers, 120pp.
- Godish, T.(1995b) *Sick Buildings: Dfinition, Diagnosis and Mitigation*, Lewis Publishers, 125pp.
- Kim, M.G., H. Inoue, and T. Shirai (1989) Development of a Curie-point thermal desorption system and its application to the analysis of atmospheric dusts, J. Anal. Appl. Pyro., 15, 217-226.
- Kobus, H.J., K.P. Kirbride, and A. Maehly (1987) An adsorption sampling method combined with capillary gas chromatography and cryogenic focussing for trace analysis of volatile organic compounds, J. Forensic Sci. Soc., 27, 307-314.
- Kostiainen, R.(1995) Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick house, Atmo. Environ., 29(6), 693-702.
- Lide, D.R. and H.P.R. Fredrikse (1995) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 75th Ed., CRC press, 6-103pp.
- Molhave, L.(1982) Indoor air pollution due to organic gases and vapors of solvents in building materials, Environ. Int., 8, 117-127.
- Sack, T.M., K.H. Steele, K. Hammerstrom, and J. Remmers (1992) A survey of household products for volatile organics, Atmo. Environ., 26A(6), 1063-1069.
- Tichenor, B.A. and M.A. Mason (1988) Organic emissions from consumer products and building materials to the indoor environment, JAPCA, 38(3), 264-268.
- Trancrede, M., Y. Yanagisawa, and R. Wilson (1992) Volatilization of volatile organic compounds from showers: 1. Aanlytical methods and quantitative assessment, Atmo. Environ., 26A(6), 1103-1111.
- WHO(1983) *Indoor air pollutants, exposure and health effects assssment*, Euro-reports and studies No.78. WHO Regional office for Europe, Copenhagen.
- Yocom, J.(1982) Indoor-outdoor air quality relationships, J. Air Pollut. Control Assoc., 32, 500.