

PC/Monitor 구성 화학부품 및 제품에서 방출되는 휘발성 유기화합물의 분석

崔賴佑 · 白奎元 · 李彰燮*
계명대학교 자연과학대학 화학과
(2000. 4. 26 접수)

Analysis of Volatile Organic Compounds Emitted from Chemical Parts and Monitor Set of PC/Monitor

Jong-Woo Choe, Kyu-Won Baek, and Chang-Seop Ri*
Department of Chemistry, Keimyung University, Daegu 704-701 Korea
(Received April 26, 2000)

요 약. PC/Monitor 제품 및 구성 화학부품들로부터 방출되는 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 종류와 시간에 따른 방출경향을 분석하였다. 잔류가스 분석기(residual gas analyzer, RGA)와 GC-MS를 이용하여 monitor제품 및 화학부품들로부터 방출되는 VOCs를 정성분석 하였으며, 정성 분석된 VOCs 중 toluene, cyclohexanone, benzofuran 및 xylene에 대하여 GC-MS로 정량분석을 수행하였다. 분석결과, 고무제품인 wedge rubber는 60 °C에서 80 °C로 상승할 때 xylene의 발생률(%)이 2.5배 가량 증가하였지만, 나머지 화학부품들은 VOCs의 방출이 온도의 영향을 별로 받지 않는 것으로 평가되었다. RGA와 GC-MS의 화학부품들에 대한 정성분석 결과는 다소 다르게 나타났으나, 정량분석결과는 cabinet의 xylene 농도가 6029.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.3 ppm)으로 최고치를 나타내었고, monitor 제품에서 방출된 toluene, xylene 및 benzofuran의 농도 또한 각각 10.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 건강상의 장애를 일으킬 수 있는 수준인 비교적 높은 수치로 나타났다.

ABSTRACT. Volatile organic compounds(VOCs) emitted from PC/Monitor set and chemical parts comprising of PC/Monitor set were analyzed and emission trends of VOCs on temperature were investigated. Qualitative analyses of VOCs from PC/Monitor set and chemical parts were carried out by residual gas analyzer(RGA) and GC-MS system, and quantitative analysis was achieved for toluene, cyclohexanone, benzofuran, and xylene of VOCs based on qualitative analysis. As a result of these analyses, when the Wedge Rubber of rubber product was heated from 60 °C to 80 °C, the emission rate(%) of xylene was increased about 2.5 times. But it was evaluated that the left of chemical parts were not affected by temperature except Wedge Rubber. The results of qualitative analyses between RGA and GC-MS were a little different respectively. With quantitative analysis, concentration of xylene emitted from cabinet was measured to be maximum as 6029.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.3ppm). The concentrations of toluene, xylene, and benzofuran derived from PC/Monitor set were 10.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and these concentrations were relatively high levels which can bring on the risk to human health.

서 론

현대사회가 선진화가 되어갈수록 현대인들은 실외공간보다 주로 실내공간에서 활동하는 시간이 더욱 증가

하고 있으며, 일상생활의 대부분을 실내공간에서 생활하고 있다 해도 과언이 아니다. 따라서 인간생활은 더욱 더 비중을 차지하고 있는 실내환경에 관심이 모아지고 있으며, 이에 대한 연구도 다방면으로 수행되고

있는 실정이다. 그러나 실내환경의 다양한 오염배출원(sources)에서 수많은 종류의 오염물질들이 배출되고, 인체가 이에 노출될 때 심각한 건강상의 위험을 초래할 수가 있다.^{1,3}

PC(personal computer) Monitor는 Wedge Rubber, Cap Boss, Cables, Rear Cabinet 및 Shield 등의 다양한 화학부품으로 구성되어 있으며, 전자부품과는 달리 monitor에서 특별한 기능을 가지지 않고 부수적인 역할을 한다. 이 화학부품들에는 충전제, 가소제, 가교제, 난연제 등의 역할을 하는 아주 다양한 화학약품이 포함되어 있으며, 또한 다량의 접착제가 이들 부품에 함유되어 있거나 부품간의 접착을 목적으로 사용되고 있다. 이 접착제는 acrylic acid, BAM(butyl acrylate monomer), MMA(methyl methacrylate), VAM(vinyl acetate monomer) 등과 같은 고분자물질들을 접착성분으로 사용하고 있고, toluene, xylene, ethyl acetate 등의 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)로 구성된 유기용제가 접착제의 주성분을 이루고 있다. 이러한 원료들로 구성된 화학부품에 열을 가하면 여러 가지 인체에 유해한 물질과 냄새가 실내공기 중으로 배출되는데, 이러한 냄새를 내는 기체들의 성분과 발생메카니즘의 규명에 대한 연구가 지금까지 거의 이루어지지 않은 실정이다.

휘발성 유기화합물은 비교적 비등점이 낮은 탄화수소 화합물의 총칭으로서 benzene, toluene, alcohol류, ketone류, ester, ether, trichloroethylene 등 수많은 휘발성 유기물질을 일컫는다. 이러한 VOCs는 페용제, 유류페액, 페인트, 코팅제, 연소부산물, 가구, 접착제 등의 다양한 배출원으로부터 발생되고, 그 농도 또한 상당한 비중을 차지하고 있는 것으로 알려지고 있다.⁵ 그리고 VOCs 중 benzene과 같은 일부 물질들은 매우 강력한 발암성 물질로 분류되고 있으며, 주로 인체에 노출 시 만성 또는 급성의 건강장해를 일으키는 것으로 보고되고 있다.^{6,7} 강한 휘발성으로 인해 실내 공기 중으로 쉽게 방출된 VOCs는 실내의 환기부족으로 잔존하게 되고, 외부에서 들어온 다른 VOCs 물질들과 함께 호흡을 통해 몸 속으로 들어가 다양한 형태로 인체에 영향을 주게 된다.⁸ 그중 잘 알려진 영향으로 benzene, chloroform, PCB, toluene, styrene 등은 인체 속에서 물질대사에 의해 체외로 빠져나가지 않고 그대로 축적되어 암을 유발시키는 매우 유해한 물질들이며, 그 밖의 여러 VOCs 물질들은 눈과 코, 상부기관의 통증을

느끼게 하고 증독증상을 일으켜 신경장해, 위통, 소화기 장애, 각종 호흡기 장애, 간 및 신장장해, 조혈장해 등을 일으킬 수 있다. 그리고 최근 관심이 높아지고 있는 병적 건물증후군(Sick-Building Syndrome)의 주된 원인이 되고 있다.^{8,9}

따라서 본 연구에서는 PC 사용시 monitor 내부의 온도가 상승함으로써 내부의 부품들이 가열되고, 인체에 해로운 다양한 VOCs 물질들이 monitor 외부로 방출되어 나올 때, 이들 휘발성 유기화합물을 대상으로 monitor제품과 화학부품들에 따른 정성 및 정량분석을 수행하였으며, 시간에 따른 VOCs의 방출경향 및 발생 메카니즘을 규명하였다.

실 험

실험장치. Monitor 제품 및 제품을 구성하는 각 화학부품별로 발생하는 VOCs를 정성 및 정량분석하기 위하여 크기가 각각 다른 2개의 stainless chamber를 제작하여 실험하였다. 이 두 개의 chamber내에 monitor제품 및 구성 화학부품들을 설치하고 외부에서 온도조절을 위하여 분석하려는 부품에 thermocouple을 접촉시킨 후, 2개의 halogen lamp로 부품을 가열하였다. Computer 작동 시 monitor가 가열되는 속도는 4°C/min이기 때문에 이와 같은 승온속도로 sample chamber내에 장착된 monitor제품 및 화학부품들을 서서히 가열시킨 후, 80°C에서 8~12시간동안 등온으로 유지하였다. 승온속도는 4°C/min로 하였으며, 이에 따라 sample chamber 내 각 부품에서 방출되는 가스의 경향을 연속적으로 측정하고자 사중극자 질량분석계(quadrupole mass analyzer, QMA)가 장착된 잔류가스 분석기(residual gas analyzer, RGA)로 분석하였다. 그리고 시료를 80°C의 등온으로 유지하여 발생한 가스를 진공으로 sampling cell(30 ml)에 포집한 후, GC-MS를 이용하여 정성 및 정량분석을 하였다.

실험시작 전 chamber는 200°C에서 3시간 동안 internal bake out 하였으며, 매 분석마다 blank test를 실시하여 바탕신호를 상쇄한 후 분석하였다.

분석방법. Chamber내 부품의 온도상승에 따라 VOCs의 연속적인 방출경향을 분석하기 위하여 잔류가스 분석기를 이용하였는데, 이 장치는 사중극자 질량분석계를 포함하고 있으며 5×10⁻⁶ torr의 아주 낮은 압력으로 정성 및 반정량분석을 할 수 있는 분석기이기

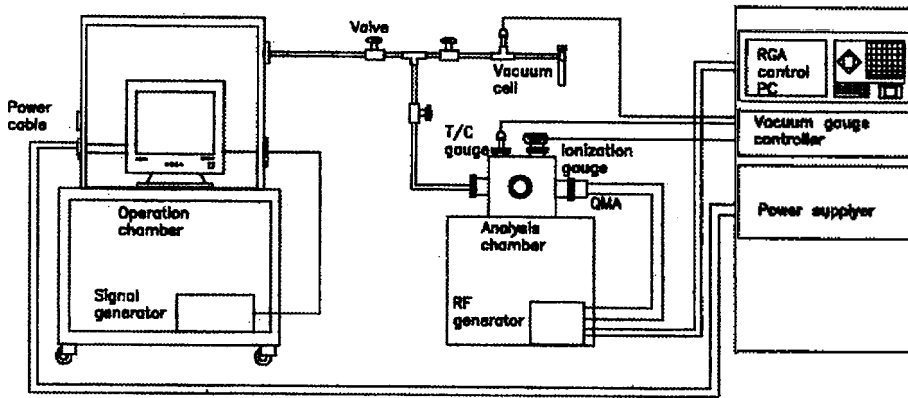


Fig. 1. Schematic diagram of the gas analysis system equipped with RGA and sample chamber.

다. 장시간 등으로 유지되어 발생한 VOCs의 정성 및 정량분석을 위하여 HP-1 methyl siloxane 모세관 컬럼(50 m×0.2 mm×0.50 μm)이 장착된 GC-MSD (HP 6890 gas chromatography & 5973 mass selective detector)로 실험하였다. GC의 분석조건은 포집한 가스에 함유되어 있는 분석대상 물질들이 미량 존재할 것으로 예상되므로 비분할주입법으로 분석하였고, GC의 오븐 온도 프로그래밍은 초기온도 50 °C에서 10분, 온도 상승 속도 10 °C/min으로 승온시켜 최종온도 250 °C에서 10분간 유지하도록 하였고, 이때의 총 분석시간은 40 분이였다. 이전의 분석으로 오염물질이 모세관 컬럼에 남아 그 다음 분석결과에 영향을 줄 가능성을 배제하기 위하여 10분간 300 °C에서 예비가열을 매 분석 시 시행하였다.

분석대상 물질의 정성분석은 분석결과로 나타난 각 봉우리에 대하여 RGA와 GC-MS의 Library를 이용하였고, 정량분석은 정성분석을 바탕으로 monitor제품 및 부품들에서 나타난 분석대상 물질들 중 가스 발생 시 인체에 가장 유해하며, 그 냄새 또한 작은 농도에서도 현저하게 나타나 불쾌감을 유발할 수 있는 물질인 toluene, xylene, cyclohexanone 그리고 benzofuran을 선정하여 외부표준법으로 농도와 봉우리면적과의 관계를 나타내는 검량선을 작성하여 정량하였다. 그리고 분석 시 여러 가지의 요인에 의해서 실험결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 분석기기의 일간 반응변화와 감도를 파악하기 위하여 매 실험일 마다 외부표준물질을 분석하였으며, 이는 미리 작성한 검량선을 확인한 바, 2~5%의 변화를 나타내었다. Fig. 2에는 작성한 4개 물질의 검량선 중 benzofuran과 cyclohexanone의 검

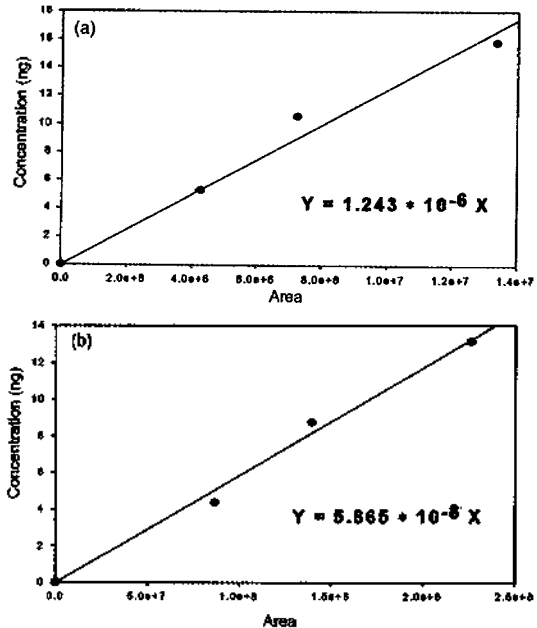


Fig. 2. The calibration curves of benzofuran (a) and cyclohexanone for quantitative analysis.

량선을 나타내었다.

결과 및 고찰

본 실험은 PC 사용 시 color/monitor제품 및 구성 화학부품에서 방출되는 휘발성 유기화합물을 분석하고 그 방출경향을 조사하고자 수행되었다. PC에 전원을 켜면 monitor와 monitor를 구성하는 화학부품이 가열되고, 이로 인하여 monitor와 화학부품의 표면 및 내부 구성재료로부터 휘발성이 강한 VOCs가 발생되어져

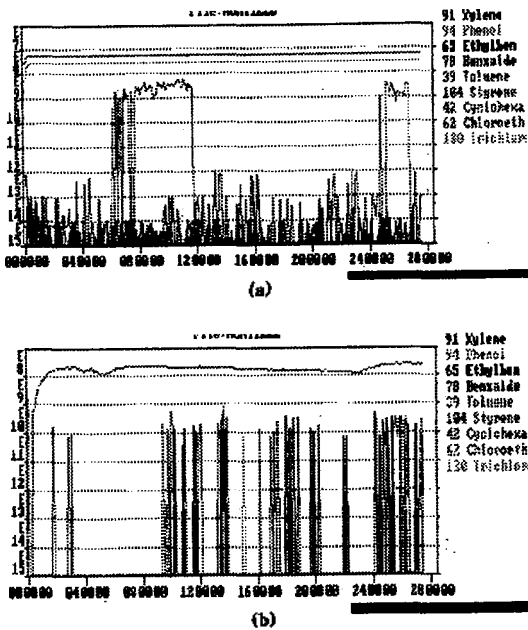


Fig. 3. Emission trends of VOCs emitted from PC/monitor set at (a) 20 °C and (b) 40 °C.

나온다. 이러한 발생경로를 바탕으로 하여 시간의 경과에 따라 monitor제품으로부터 발생하는 VOCs의 추세를 분석하였으며, 온도별로 발생하는 VOCs를 정성분석하였다. 이러한 정성분석을 근거로 하여 VOCs 중 toluene, benzofuran, xylene 그리고 cyclohexanone 등 4개의 물질을 대상으로 부품으로부터 발생되어 나오는 정도를 정량분석 하였다.

Monitor제품에서 VOCs의 방출경향(trends). PC 사용자 monitor는 약 80 °C 정도로 가열되는 데 이 과정

에서 monitor제품으로부터 VOCs가 방출되어 나온다. Fig. 3에 20 °C와 40 °C에서 시간의 경과에 따른 VOCs의 방출추이를 나타내었다. 이 때 초기온도는 20 °C였으며 4 °C/min의 속도로 80 °C까지 승온하였다.

Fig. 3에 근거하여 볼 때, 20 °C에서는 고분자의 잔존단량체인 styrene과 세척제로 많이 사용되는 trichloroethylene이 분석 초기부터 꾸준히 방출되는 것으로 나타났으며, cyclohexanone이 단속적으로 방출되었으나 가열시간과 관계없이 일정한 수준으로 방출되는 경향을 나타내었다. 반면에 40 °C의 monitor제품으로부터 발생하는 VOCs의 추이는 toluene이 약 1시간까지 급속히 증가하는 경향을 보이면서 이후에는 3단계에 걸친 방출변화를 나타내었는데, 이는 monitor내에 toluene을 용제로 사용하는 구성부품들이 연합하여 나타나는 toluene 고유의 방출특성으로 보여지며, 부품의 특성상 시간에 따른 부품의 방출기여도는 PCB, Trans 및 DY인 것으로 사료된다. Toluene이외에 xylene, phenol, ethylbenzene 등의 물질들 또한 단속적으로 방출되었다.

RGA에 의한 VOCs의 정성분석. Monitor를 구성하는 각종 화학부품들이 가열될 때 발생하는 VOCs를 RGA로 측정하였으며, 그 결과를 Table 1에 정리하였다. Table 1에서 알 수 있듯이 monitor의 화학부품인 Rubber Holder, Cap. Boss 및 Wedge Rubber에 대하여 40 °C, 60 °C 그리고 80 °C에서 각각 발생하는 VOCs를 정성분석하였는데, 각 온도에 따라서 여러 가지 종류의 VOCs가 분석되었다. 먼저 Cap Boss의 경우 발생하는 VOCs의 종류가 온도별로 약간 다르게 나타났으나 80 °C에 도달했을 때 가장 많은 종류의 VOCs가 관찰되었다. 그와 반면에 Rubber Holder와

Table 1. The results of qualitative analysis for chemical parts by RGA on temperature

Chemical Parts	Temperature		
	40 °C	60 °C	80 °C
Rubber Holder	Acetaldehyde (5%)	Acetaldehyde (5.7%)	Acetaldehyde (4%)
Cap Boss(rubber)	-	-	Fluoroethylene (12.4%)
	Cyclobutane (12.7%)	-	Cyclobutane (6.7%)
	-	-	Propane (6.24%)
	-	Heneicosane (3.77%)	Heneicosane (4.24%)
	-	Hydrazine (16.91%)	-
Wedge Rubber	-	Heptanal (7.16%)	-
	Chloroethylene (41%)	Chloroethylene (35%)	Chloroethylene (28%)
	Xylene (30%)	Xylene (31%)	Xylene (71%)
	Ethylbenzene (27%)	Ethylbenzene (33%)	-

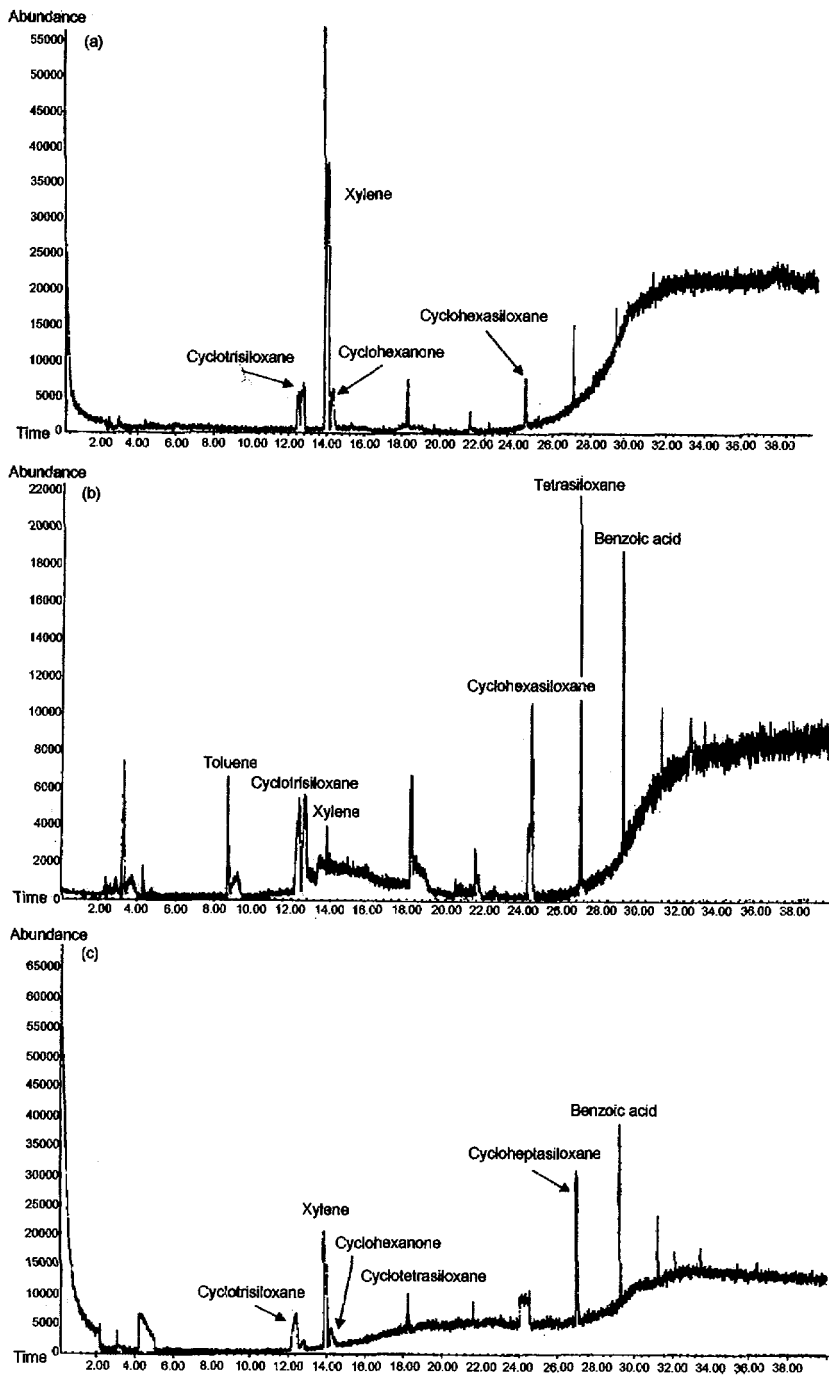


Fig. 4. GC chromatograms of VOCs emitted from chemical parts and monitor set (a) Cap Boss, (b) Wedge Rubber, (c) Monitor set.

Wedge Rubber의 경우는 온도의 변화에 무관하게 배출되는 VOCs의 성분이 일정한 것으로 나타났다.

Rubber holder의 경우에는 Acetaldehyde 단일종이

검출되었는데, 이는 접착제의 성분에서 온 것으로 보이며, 온도가 상승함에 따라 방출량이 증가하다가 80℃에 이르러서는 자연감소하였다. Wedge Rubber의 경우

Table 2. The concentrations of VOCs emitted from chemical parts(Cable, Cap Boss, Wedge Rubber, Cabinet and Monitor)

Compound	Concentration($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Threshold Limit (ppm) ¹	MAK (ppm) ²
	Cable	Cap Boss	Wedge Rubber	Cabinet	Monitor		
Toluene	-	-	†	-	10.25~2.5 ppb	10~15	100
Xylene	5.6~12 ppb	2100~0.44 ppm	†	6029.3~1.3 ppm	690~0.15 ppm	1	100
Benzofuran	-	-	-	-	180~0.3 ppb	-	-
Cyclohexanone	-	†	-	119.5~0.03 ppm	†	0.88	50

Note ¹: 검출되었으나 정량 불가능, ²: 냄새의 서한도로서 노출이 경제되는 농도, 2: 독일에서 규제하는 작업장에서 노출 최고 허용농도. (Maximal Allowable Concentrations)

는 Chloroethylene, Xylene 및 Ethylbenzene 3가지 성분들이 검출되었는데, 이 중 Chloroethylene은 Wedge Rubber의 기본구성재료인 Chloroprene의 잔존단량체인 것으로 판단되며 온도증가에 따라 그 발생량이 감소하였다. 이 성분은 건강상의 위해 및 서한도 기준과는 별도로 실험환경에서 실험자의 연구에 곤란을 줄 정도로 악취에 가장 많이 기여하는 물질이었다. Xylene은 Wedge Rubber 제조시 사용한 유기용제로서 RGA 특성상 ethylbenzene으로도 관찰되었다. 온도별 VOCs 발생율(%)을 보면 Wedge Rubber의 xylene이 60°C에서 80°C로 상승할 때 약 2.5배 증가하였으며, 이는 chloroethylene과 함께 Wedge Rubber의 냄새의 주성분으로 기여하고있음을 보여주고 있다.

GC-MS에 의한 VOCs의 질량 및 질량분석, RGA에 의한 분석결과와 비교검토하기 위하여 monitor 제품 및 구성화학부품을 대상으로 GC-MS 분석을 수행하였으며, Fig. 4에 Cap Boss, Wedge Rubber 및 monitor 제품으로부터 발생되는 VOCs의 chromatogram들을 나타내었다. GC-MS에 의한 정성분석에서는, Mass quality가 가장 높게 검출되는 여러 가지 물질들에 대하여 GC용 표준시약을 미리 주입하여 1차로 retention time을 확인하고, 2차로 parent ion peak를 확인함으로써 정성분석을 하였다. 분석결과 monitor 제품 및 구성화학부품으로부터 발생한 VOCs는 toluene, xylene, benzoic acid, cyclohexanone 및 silicon compounds들이 주로 검출되었는데, 이는 Table 1의 RGA 분석결과와는 약간 다른 경향을 나타내었다. Table 1에 나타낸 RGA 분석결과에서 다소 높은 비율로 나타난 xylene과 ethylbenzene을 제외하고 나머지 성분들은 GC-MS 분석 결과에서는 나타나지 않았으며, 반면에 RGA에서 분석되지 않았던 toluene, benzofuran, cyclohexanone 및 silicon compounds들이 GC-MS로 분석되었다. 이는

첫째로 제품 또는 부품에서 배출되는 기체성분을 on-line system으로 직접분석하는 RGA chamber system과 이미 배출된 시료기체를 sampling cell에 포집하여 별도로 설치된 GC-MS system에 옮겨 간접적으로 분석하는 과정에서 미량성분이 cell 벽면에 흡착되어 검출이 되지 않을 수도 있는 데서 원인을 찾을 수 있으며, 둘째로 실제제품이 가열되는 방식과 부품분석을 위해 할로겐 램프로 특정부품만을 외부가열하는 방식의 차이에서 비롯되었을 것이라 생각된다.

Table 2은 GC-MS 방법으로 수행한 정성분석 결과로 검출된 몇 가지 VOCs에 대한 정량분석 결과를 정리한 것이다. 화학부품의 대부분이 고무나 플라스틱으로 구성되어 있고, xylene이 이러한 부품들에 주요한 유기용제로 사용되기 때문에 각 화학부품별로 xylene이 다양한 농도로 방출되는 것이 관찰되었다. 특히 플라스틱으로 만들어진 cabinet의 xylene 농도는 냄새의 서한도로 규정하고 있는 농도(1 ppm) 보다 30% 정도 높게 나타났으며, 정량분석된 cyclohexanone의 농도 또한 다소 높은 수치를 나타내었다. Monitor제품으로부터 방출된 VOCs의 구성을 보면, 화학부품에서 거의 발생하지 않은 toluene과 benzofuran이 검출되었는데, 이는 monitor를 구성하고 있는 부품 중 화학부품이 아닌 Trans와 PCB 등의 전자부품에서 toluene과 benzofuran이 발생되어 monitor 제품의 분석시 검출된 것으로 판단된다. 이전의 실험에서 Trans와 PCB로부터 방출된 toluene과 benzofuran의 농도는 각각 $1430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.35 ppm) 및 $540 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.1 ppm)였다.¹²

결 론

Personal computer 사용 시 monitor 제품 및 구성 화학부품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물을 잔류

가스 분석기와 GC-MS system으로 정성분석하였다. 이를 바탕으로 monitor제품 및 화학부품에서 발생하는 VOCs 중에서 건강상의 위해를 야기할 수 있으며 불쾌한 냄새를 유발하는 toluene, xylene, cyclohexanone 및 benzofuran 등이 발생하는 정도를 정량분석하였으며, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. monitor 제품에서 20 °C에서는 고분자의 잔존단량체인 styrene과 세척제로 많이 사용되는 trichloroethylene이 분석 초기부터 꾸준히 방출되는 것으로 나타났으며, cyclohexanone이 단속적으로 방출되었으나 가열시간과 관계없이 일정한 수준으로 방출되는 경향을 나타내었다.

2. 반면에 40 °C의 monitor제품으로부터 발생하는 VOCs의 추이는 toluene이 약 1시간까지 급속히 증가하는 경향을 보이면서, 이후에는 3단계에 걸친 방출변화를 나타내었다. 시간에 따른 부품의 방출기여도는 PCB, Trans 및 DY인 것으로 사료된다. xylene, phenol 및 ethylbenzene 또한 단속적으로 방출되었다.

3. RGA에 의한 부품의 정성분석 결과, Cap boss는 발생하는 VOCs의 종류에 따라 조금 다르게 나타났으나, 반면에 Rubber Holder와 Wedge Rubber의 경우는 온도의 변화에 무관하게 배출되는 VOCs의 성분이 일정한 것으로 나타났다.

4. Rubber holder는 acetaldehyde 단일종이 검출되었으며, Wedge Rubber의 경우 잔존단량체인 chloroethylene과 용매성분인 xylene 및 ethylbenzene이 다량 검출되었다.

5. Cabinet에서 방출된 xylene의 농도는 6029.3 mg/m³ (1.3 ppm)으로 냄새 제한도의 규정치(1 ppm)보다 30% 높게 나타났고, 이러한 결과는 플라스틱 및 고무에 다량의 xylene이 포함된 유기용제가 cabinet의 표면 및

내부에 흡착되어있기 때문인 것으로 보인다.

본 연구는 S전자의 지원으로 이루어졌으며, 실험에 사용한 부품 및 제품을 지원하고 회사측 업무를 담당한 이재익, 여경식, 이성수, 정강모 씨들에게 감사드립니다.

인용 문헌

1. Becker, J.; Wensing, M. *TUV Product Library*; CTA: Germany, 1998; p 1.
2. Thomas, K. W.; Pellizzari, E. D.; Clayton, C. A.; Peritt, R. L.; Dietz, R. N.; Goodrich, R. W.; Nelson, W. C.; Wallace, L. A. *J. Expos. Anal. Envi. Epi.* 1993, 3(1), 49.
3. Sisovic, A.; Fugas, M.; Sega, K. *J. Expos. Anal. Envi. Epi.* 1996, 6(4), p 439.
4. Müller, A. B. *The International Symposium on Cofactor Interaction and Cancer Prevention*; Dept. of Preventive Medicine: Nice, France, 1996; p 17.
5. Yu, R.; Weisel, C. P. *J. Expos. Anal. Envi. Epi.* 1996, 6(3), 261.
6. Hodgson, A. T.; Garbesi, K.; Sextro, R. G.; Daisey, J. M. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 1992, 277.
7. Weisel, C. P.; Nicholas, N. J.; Liroy, P. J. *J. Expos. Anal. Envi. Epi.* 1992, 2(1), 79.
8. Goldish, T. *Indoor Air Pollution Control*; Lewis publisher: Chelsea, MI, U.S.A. 1991; pp 307~334.
9. Goldish, T. *Indoor Air Pollution Control*; Lewis publisher: Chelsea, MI, U.S.A. 1991; pp 1~73.
10. Wellace, L. A.; Pellizzari, E. D.; Hartwell, T. D.; Davis, V.; Michael, L. C.; Whitmore, R. W. *Envi. Resear.* 1989, 50, 37.
11. Raymer, J. H.; Pellizzari, E. D.; Thomas, K. W.; Cooper, Stephen D. *J. Expos. Anal. Envi. Epi.* 1991, 1(4), 439.
12. Ri, C. S.; Choe, J. W.; Baek, K. W. *J. Korean Chem. Soc.* 2000(in press).