

휘발성 유기화합물(VOCs)과 관련된 서로 다른 직업종사자들의 VOCs 노출평가

조완근, 송기범*, 남찬우, 백규원, 문경조
이진우, 유창호, 서호준, 김성환
경북대학교 환경공학과

1. 서론

광화학반응의 형성 및 만성 또는 급성의 건강장해를 유발하는 매우 유해한 물질인 VOCs 중 운송수단 즉 자동차 배기가스에 의한 VOCs의 노출은 전체 VOCs 노출의 약 45%를 차지하고 있다. 자동차의 배출가스와 관련된 가솔린의 주요 방향족 화합물 구성요소와 비율은 benzene 11%, toluene 7.8%, ethylbenzen 2.2%, m, p- xylene 6.9%, o-xylene 3.0%로서 총 30.9%이다. 자동차 배출물질로부터의 다양한 노출은 먼저, 차량 운행시 대기로 배출되는 배출물과 차량의 연료 저장실로부터의 증발물질등이다. 이들 물질은 도로상에 높은 농도로 존재하게 되며, 이렇게 VOCs로 오염된 도로상의 공기는 도로가의 가게나 지하상가 등으로 침투가 일어난다. 또한 자동차와 관련된 직업으로서 주차장 근무자와 주유원 등의 경우 업무 수행시 다량의 차량 출입에 따른 자동차의 배출물의 증가로 인한 노출과 주유시 직, 간접적인 휘발유에 대한 노출 등이 있으며, 많은 차량이 통행하는 도로상에서 업무를 수행하는 교통 경찰관의 경우 또한 마찬가지로 차량에 대한 노출 가능성이 크다고 할 수 있다. 그러므로 주유원들의 자동차의 연료 공급으로 인한 노출, 도로가 상점 및 지하상가 점원의 자동차 배출물에 대한 노출, 지상 및 지하주차장 차량관리인의 자동차 배출물에 대한 노출 그리고 교통경찰관의 근무시간 동안의 자동차 배출물에 대한 노출 등 benzene을 비롯한 자동차와 관련된 직업종사자들의 여러 가지 독성 배출물질에 대한 인간의 노출 평가 및 위해성 평가가 필요하다. 따라서 본 연구는 주유원, 교통경찰관, 지상 및 지하주차장, 도로가 상점 점원, 지하상가 점원 등 5가지 서로 다른 직업 종사자들 그리고 비교적 노출이 적은 경북대학교 학생 5명의 VOCs 노출평가를 실시하여 각 직업 종사자들간의 각 화합물들에 대한 노출 농도를 파악함으로써 각 직업종사자들의 작업 전후 breath를 통한 직업별 물질간 농도비교 및 각각의 물질에 대한 직업간 농도비교, 가게와 지하상가등 유사한 작업조건을 갖는 직업간의 농도비교 그리고 VOCs간의 상관관계 등을 수행하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 계획

본 연구는 자동차 및 가솔린 자체의 노출이 예상되는 서로 다른 다섯 종류의 직업 종사자들 즉, 주유원, 도로가 상점 근무자, 지하상가 근무자, 지상 및 지하 주차관리인, 교통경찰관 등을 각각 대상으로 선정하였다. 주차장(흡연자 4명, 비흡연자 4명)을 제외한 나머지 직업에서는 흡연자 5명 비흡연자 5명을 대상으로 선정하였다. 모든 작업자들은 작업전 breath와 작업직후의 breath 그리고 작업동안의 작업장의 indoor와 outdoor를 sampling하였다. 여기서 교통경찰관은 작업동안 personal air sampling을 실시하였다. 본 실험에서는 VOCs와 관련된 직업 종사자들과 비종사자들과의 노출 농도 비교를 위해서 경북대학교 학생 5명을 controller로 정하여 VOCs 관련 직업종사자와 동일한 방법으로 sampling을 실시하였다. controller의 조건으로는 VOCs에 대한 직접노출과, VOCs와 관련된 취미나 아르바이트 등으로 인한 잠재노출이나 노출 가능성이 없는 비흡연자들이다.

2.2 시료채취

VOCs 시료의 채취는 Tenax-TA(0.15g)과 Tenax-TA(0.5g)을 각각 packing한 외경 1/4 inch stainless steel tube의 breath trap 및 air trap을 장착한 개인 시료채취기(personal air sampler; BUCK I.H. pump)를 이용하여 미국 환경보호국(U.S. EPA) 분석방법과 흡착제의 분기점(breakthrough point) 및 분석기기의 감도(sensitivity)에 근거한 건식 흡착법을 이용하여 공기를 흡인하였다.

2.3 분석 방법

VOCs 분석을 위해 채취한 시료는 EPA Method TO-1을 응용하여 분석하였다. 분석은 가스크로마토그래피(Gas Chromatography: GC; Varian 3400CX)와 열탈착장치(Thermal Desorbing System: TDS; Tekmer 6000)로 이루어졌으며 GC에는 모세관 칼럼(capillary column 50m x 0.32mm; J&W Scientific in U.S.A)과 불꽃이온화 검출기(Flame Ionization Detector: FID; Varian Company)가 장착되어있다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 작업전후 Breath를 통한 직업별 물질간 농도비교

3-1-1. 주차장의 작업전후의 물질간 농도비교

지하 및 지상주차장 모두 작업전의 VOCs 농도보다 작업후의 VOCs의 농도가 모든 측정대상물질에서 높게 나타났으며, Total VOCs에서는 작업전(110.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후의 VOCs농도(157.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 42%나 높게 나타났다.

3-1-2. 도로와 인접한 가게의 작업전후의 물질간 농도비교

작업후의 농도가 모든 물질에서 작업전보다 높게 나타났으며, 분산분석결과에서 Ethylbenzene은 작업전의 평균농도와 작업후의 VOCs 평균농도가 차이가 있는 것으로 나타났다. 도로와 인접한 가게에서 특이한 점은 대상 가게인 2곳의 복사가게에서 실내의 경우 톨루엔이 다른 일반 가게보다 약 7-10배 가량 높게 나타났으며, 작업후 VOCs의 농도 또한 약 2배정도 높게 나타났다.

3-1-3. 지하상가의 작업전후의 물질간 농도비교

작업전후 VOCs 농도를 비교한 결과 측정대상물질 모두가 작업전보다 작업후가 높게 나타났다.

3-1-4. 경찰관의 작업전후의 물질간 농도비교

작업전의 VOCs의 농도보다 작업후의 VOCs의 농도가 다소 높게 나타났다.

3-1-5. 주유원의 작업전후의 물질간 농도비교

주유원들의 작업전후의 VOCs에 대한 노출농도는 작업전($65.2\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($111.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 약 1.7-2배 가량 높게 나타났다.

3-1-6. Controller의 작업전후의 물질간 농도비교

측정된 VOCs의 농도는 작업전보다 작업후가 다소 높았지만, 他 VOCs 관련 직업종사자들과 비교해볼 때 그 농도가 낮게 나타났다.

3-2. 작업전후 Breath를 통한 각각의 물질에 대한 직업간 농도 비교

3-2-1. Benzene에 대한 각 직업간의 농도비교

각 직업간의 Benzene농도는 모든 직업에서 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($125.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($188.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 50% 증가하였다. 직업간 Benzene의 농도는 주차장이 작업전과 작업후에서 모두 최대로 나타났으며, Controller를 제외한 직업간에서 교통경찰관의 Benzene농도가 최소로 나타났다.

3-2-2. Toluene에 대한 각 직업간의 농도비교

모든 직업에서 Toluene은 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($249.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($368.1\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 47% 증가하였다.

3-2-3. Ethylbenzene에 대한 각 직업간의 농도비교

모든 직업에서 Ethylbenzene의 경우 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($32.4\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($44.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 38% 증가하였다. 직업간 Ethylbenzene의 농도는 주차장에서 가장 높게 나타났으며 반대로 교통경찰관이 가장 낮게 나타났다.

3-2-4. M-xylene에 대한 각 직업간의 농도비교

모든 직업에서 M-xylene의 경우 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($18.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($24.1\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 29% 증가

하였다. 직업간 M-xylene의 농도는 주차장에서 가장 높게 나타났으며 반대로 교통경찰관과 주유원이 가장 낮게 나타났다.

3-2-5. P-xylene에 대한 각 직업간의 농도비교

모든 직업에서 P-xylene의 경우 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($46.8\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($62.8\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 34% 증가하였다. 직업간 P-xylene의 농도는 주차장에서 가장 높게 나타났으며 반대로 주유원이 가장 낮게 나타났다.

3-2-6. O-xylene에 대한 각 직업간의 농도비교

모든 직업에서 O-xylene의 경우 작업전보다 작업후의 농도가 높게 나타났으며 Total VOCs 농도는 작업전($31.3\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($41.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 33% 증가하였다. 직업간 O-xylene의 농도는 주차장에서 가장 높게 나타났으며 반대로 교통경찰관이 가장 낮게 나타났다.

3-3. 비교분석

3-3-1. 가게와 지하상가의 실내 농도 비교

실내 농도는 지하상가가 도로와 인접한 가게보다 Toluene을 제외한 모든 물질에서 높게 나타났다.

3-3-2. 지상과 지하주차장의 작업전후 Breath 및 실내 농도 비교

3-3-2-1. 작업전후 Breath 농도 비교

지상 및 지하주차장의 VOCs 농도는 작업전보다 작업후가 모두 높게 나타났으며 지상주차장의 VOCs 농도보다 지하주차장의 VOCs 농도가 모두 높게 나타났다. Benzene의 경우 지상주차장의 작업전후 농도차가 27%인데 반해 지하주차장의 경우 작업전보다 작업후농도가 94%나 증가하였다.

3-3-2-2. 실내 농도 비교

실내 VOCs 농도가 지상주차장보다 지하주차장에서 모두 높게 나타났다.

지상주차장에 비해 지하주차장의 Benzene 농도는 58%가 높다.

3-3-3. 지하상가의 입구와 중앙의 작업전후 Breath 및 실내 농도 비교

3-3-3-1. 작업전후 Breath 농도 비교

지하상가 입구와 중앙의 비교에서 중앙이 입구쪽보다 Total VOCs가 높게 나타났다. 하지만 증가율은 입구가 29%이며 중앙이 22%로서 중앙보다 입구가 높게 나타났다.

3-3-3-2. 실내 농도 비교

지하상가의 입구와 중앙의 Total VOCs는 입구보다 중앙이 92%나 높게 나타났으며, Benzene을 제외한 나머지 물질들도 입구보다 중앙이 훨씬 높게 나타났다.

3-3-4. 흡연자와 비흡연자의 작업전후 Breath 농도 비교

흡연자와 비흡연자 모두는 작업전보다 작업후의 VOCs 평균농도가 높게 나

타났고 흡연자의 Total VOCs 증가율(52%)이 비흡연자의 증가율(36%) 보다 높게 나타났으며 각각의 측정대상물질들 또한 흡연자가 비흡연자보다 작업전후 증가율이 모두 높게 나타났다.

3-3-5. 주유원과 Controller의 작업전후 Breath 농도 비교

주유원과 Controller 모두 작업전보다 작업후의 화합물 평균농도가 높게 나타났으며 Total VOCs의 작업전후 증가율은 주유원(66%)이 Controller(47%) 보다 높게 나타났다.

3-3-6. 교통경찰관과 Controller의 Breath 및 Personal air 농도 비교

3-3-6-1. 작업전후 Breath 농도 비교

두 직업 모두는 작업전보다 작업후의 VOCs 농도가 높게 나타났으나 두 직업의 Total VOCs는 작업전과 작업후가 거의 유사하게 나타났다.

3-3-6-2. Personal air 농도 비교

교통경찰관은 Controller 보다 Total VOCs가 약 2.1배 정도 높게 나타났으며 Ethylbenzene을 제외한 나머지 화합물들의 personal air 또한 모두 높게 나타났다. 특히 Toluene의 경우 교통경찰관($193.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 Controller($93.8\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 약 3.4배 정도 높게 나타났다.

4. 결론

모든 작업장에서의 작업후 VOCs의 농도가 작업전의 VOCs 농도보다 증가하였으며, 자동차와 관련된 직업종사자들의 VOCs 농도는 비관련자들보다 높게 나타났다. 특히 total VOCs에서 대상직업중 가장 높은 노출 증가율을 나타내는 직업은 주유원으로서 작업전($65.2\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($111.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 VOCs가 71%나 증가하였으며, 대상물질중 가장 높은 증가율을 나타내는 물질은 benzene으로서 작업전($125.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 작업후($188.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 50% 증가하였다. 따라서 자동차와 관련된 직업종사자들의 작업동안의 VOCs에 대한 노출가능성을 배제할 수 없으며 이에 따른 노출 감소 방안의 모색이 앞으로의 주요 과제이다.