

## 샘플러를 통한 대기오염노출 평가와 건강영향 조사

이지나\*, 허청송, 임종한, 최예용<sup>1</sup>, 김선태<sup>2</sup>

인하대 산업의학과, <sup>1</sup>환경운동연합 시민환경연구소, <sup>2</sup>대전대 환경공학과

### Investigation of Air Pollution Exposure and Health Effect Using Passive Sampler

Jee Na Lee\*, Quing Song Xu, Jong Han Leem, Ye Yong Choi<sup>1</sup> and Sun Tae Kim<sup>2</sup>

Department of Occupational and Environmental Medicine, Inha University

<sup>1</sup>Citizen's Institute for Environmental Studies

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Tae-jeon University

#### ABSTRACT

In order to evaluate a health effect of air pollution, we designed exposure group (taxi driver, street sweeper, street trader, ) and non-exposure group (office clerk).

We analysed exposure and biologic marker by using personal sampler.

Mean NO<sub>2</sub> and benzene level in each group were statistically significant.

Also, respiratory symptom, chronic cough, sputum, and dyspnea on exertion were statistically significant in each group.

**Key words** : air pollution, NO<sub>2</sub>, benzene, biologic marker, respiratory symptom

#### 서 론

수 십년 동안 대기오염은 인체피해를 입히는 것으로 알려져 왔다. 1차 세계대전 당시, 독가스에 따른 손상과 사망은 대기오염물질에 노출된 후의 해악을 극적으로 보여주는 것이다. 산업화이후 여러 나라에서는 대기오염으로 인한 피해를 경험해오고 있다. 1930년 유럽에서는 뮤즈 계곡의 대기오염으로 초과사망을 경험하였다. 1948년 10월 26일~31일, 펜실바니아, 도노라에서는 대기오염으로 14,000명의 지역주민중 평소 예상되는 2명을 상회하는

19명이 사망하였다; 지역주민 중 43% (5,910명)가 건강 피해를 입었고, 지역주민 중 10%가 심한 피해를 입었다. 이 사건을 통하여 대기오염이 공장을 통해 배출되고 이 배출가스가 기온역전에 의하여 지상 근처에 축적되어 인체 영향이 발생된다는 것을 알게되었다. 1952년 12월 4일, 영국 런던에서, 3일간의 극심한 분진오염과 아황산가스오염이 대기 정체와 함께 발생하여, 4,000명이 초과로 사망하였다.

이러한 극적인 대기오염이 일부 지역에서 발생할 가능성도 있지만, 오늘날에는 호흡기질환 이환률, 사망률 증가의 한 원인으로 대기오염원에 급성 노출이나, 대기오염물질의 만성적 혹은 반복되는 저농도 급성 노출에 관심이 모아지고 있다. (하은

\*To whom correspondence should be addressed.

Tel: +032-890-2839, E-mail: zytologie@medimail.co.kr

회 등, 2001)

호흡기질환은 흔한 질환이고, 대기오염에 잠재적으로 민감한 집단의 규모는 크다. 거의 모든 시민들이 대기오염에 노출되기 때문에, 대기오염에 관련한 인체영향 평가와 생화학적 지표 개발은 시민들의 건강을 지키는 국민건강의 차원에서 매우 중요한 문제이다.

본 연구에서는 대기오염이 시민들에 미치는 건강영향을 파악하기 위하여 대기오염에 지속적으로 노출되는 사람들을 대상으로 개인 샘플러, 노출 및 건강영향 지표를 사용하여 대기오염 노출 수준과 건강영향을 평가하고자 하였다.

## 연구 방법

### 1. 조사대상

대기오염에 장기간 노출되어 건강영향이 우려되는 대기오염 노출군(미화원, 노점상, 택시운전기사)와 대기오염 노출이 적다고 판단된 사무직 근로자를 대상으로 삼아 대기오염 노출 수준과 건강영향을 조사하였다.

### 2. 조사 기간

2002년 2월 20일~4월 20일

### 3. 조사 연구 방법

#### 1) 건강영향 평가

연구 대상자들의 기초 임상검사를 위해 신장, 체중, 혈압, Co-Hb, 흉부방사선검사, 폐기능검사, 기왕력, 자각 증상등의 문진에 의한 건강 진단, 대기오염물질 등 유해물질 노출에 따른 산화성 손상 평가(MDA; malonydialdehyde, 8-OHdG; 8-hydroxydeoxyguanosine)를 실시하였다. 또한 연구대상자들의 거주력, 직업력, 흡연력 등의 생활 습관을 조사하기 위해 설문조사 연구를 병행하였고, 호흡기증상에 대해서는 영국의학연구회(British Medical Research Council)의 호흡기증상에 관한 설문조사표를 가지고 조사하였다(BMRC, 1966).

폐기능검사를 통해 호흡할 때의 호기량과 흡기량을 측정하고 환기 기능을 조사하였다. 폐활량(VC)과 1초율(FEV<sub>1.0%</sub>)조사를 통해 폐 환기장애의

종류, 장애정도를 판단하였다. 폐활량(VC)은 공기를 가득 흡입하여, 전부 내쉬는 양이다. 통상 연령과 신장에 따라 계산한 예측정상치와 비교하여 % 폐활량으로 나타내며 폐의 호흡 전체용량이다. 1초율(FEV<sub>1.0%</sub>)은 폐활량을 측정할 때에, 최초의 1초간에 전체의 몇%를 내쉬는지의 수치이다. 폐의 탄력성과, 기도의 폐쇄 정도를 나타낸다. 탄력성은 좋고, 폐쇄가 없으면 %는 커진다(Table 1).

산화성 손상 평가를 위해 뇨중 8-OHdG(8-hydroxydeoxyguanosine)의 분석과 MDA(malonydialdehyde) 분석을 실시하였다.

**Table 1.** Pulmonary function disability

| %VC   | FEV <sub>1.0%</sub> | Severity    | Management                  |
|-------|---------------------|-------------|-----------------------------|
| ≥80   | ≥70                 | Normal      |                             |
| 70~80 | 60~70               | Mild        | Daily life caution          |
| 55~70 | 40~60               | Moderate    | Bed rest                    |
| 30~55 | 25~40               | Severe      | Drug treatment              |
| 30>   | 25>                 | Very severe | Bed rest and Drug treatment |

#### (1) 뇨중 8-OHdG(8-hydroxydeoxyguanosine)의 분석

소변중에 산화성 DNA adduct, 8-OHdG의 정량적인 측정을 위하여 만들어진 in vitro ELISA (JAICA, Fukuroi, Japan)을 이용하여 뇨중 8-OHdG의 양이 측정되었다. 1차적인 monoclonal antibody 50 μl와 50 μl 시료를 8-OHdG로 코우팅되어있는 microtiter plates에 첨가한다. plates를 잘 봉합하여 37°C에서 1시간 배양하고, 250 μl PBS로 씻어낸다. HRP로 결합되어있는 2차 항체 100 μl가 첨가되고, 배양되고, 세척된다. enzyme substrate의 100 μl가 첨가되고, 100 μl 1 N phosphoric acid로 반응이 마무리되었다. Absorbance를 3분후에 Spectrophotometer (ELx808, BioTek, Winooski, VT)로 450 nm에서 측정하였다.

#### (2) MDA(malonydialdehyde) 분석

MDA는 TBA(thiobarbituric acid)로 얻어진 adduct를 이용하여 HPLC로 측정되었다. TBA reagent는 Merck (Darmstadt, Germany)로 구입하여, 물로 23 mmol/l에서 사용되었다. 10 nmol의 MDA stock standard (Aldrich, Milwaukee, WI)는 247 μl 1, 1, 3, 3-tetraethoxypropane (Sigma, St. Louis, MO)을 100

ml ethanol(40%)에 녹여서 만든다. TBA-MDA adducts가 polypropylene stopper로 준비된다. 각 tube에, 300 µl phosphoric acid, 0.5 mmol/l가 소변 50 µl과 150 µl TBA와 혼합된다. 각 tubes에 마개를 하고, 950까지 가열되고 1시간 그 온도가 유지된다. 그리고 각 tubes가 얼음으로 5분간 냉각되어진다. Methanol 500 µl가 첨가되고 각 tubes가 5분에 5,000g으로 원심분리되었다. 시료가 곧 autosampler vials로 옮겨져서, 20 µl가 HPLC로 분석되었다. TBA-MDA adduct가 isocratic HPLC System (DX-500, Dione, Sunnyvale, CA)에서 532 nm에서 측정되었다. column은 potassium buffer 50 mmol/l, ph 6.8, methanol의 mobile phase를 쓴 Nova-Pak C18 column (Waters, Milipore, Milford, Ma)이었다. mobile phase flow는 0.8 ml/min이었다.

2) 대기오염 노출 평가

이산화질소는 환경대기중의 이산화질소를 선택적으로 채취하도록 제작한 tube형의 passive sampler를 이용하여 24시간 시료를 채취하였으며 (Palmes, 1981; 김선태, 1999), 트리에타올아민을 흡수제로 묻힌 여지를 사용하여, Saltzman으로 발색, colorimeter를 이용하여 분석하였다.

휘발성유기물질 (VOC)의 분석대상물질로는 벤젠, 톨루엔, 염화벤젠, 에틸벤젠, m, p-크실렌, o-크실렌, 스틸렌, 1, 2-이염화벤젠, 1, 3-이염화벤젠, 1, 4-이염화벤젠이었으며 환경대기중의 휘발성 유기물질을 선택적으로 채취하도록 제작한 tube형의 passive sampler를 이용 72시간 시료를 채취하여, GC를 이용하여 분석하였다

PAH exposure biomarker로는 노중 2-naphthol을 분석하였다. 노중 2-naphthol 수준은 형광 검출기를 가진 고성능 액체 크로마토그래피 [HPLC (Gilson) with a fluorescence detector (BT9610, Eppendorf)]로 측정된다. 소변 1 ml는 암실에서 100 µl 0.2 M sodium acetate buffer (pH 5.0)로 완충되고, sulfatase 활성을 가진 glucuronidase 10 µl을 이용하여 37°C 흔들리는 수조에서 16시간 효소로 가수분해시킨다. 가수분해 후에 1.5 ml의 acetonitrile이 첨가되고 10 분간 원심분리시킨다. 사용된 컬럼은 250 mm long reverse phase column (Haisil HL C18, Higgs Analytical, Inc) eluted with a mobile phase of 38% acetonitrile at a flow rate of 1 ml/min. 2-nap-

thol 검출에 사용된 방사 파장은 228/356 nm이었다.

3) 통계분석 처리

통계 패키지 sas (ver6.12)를 통해 t-test, anova test,  $\chi^2$ -test, logistic regression 등을 시행하여 통계 분석 처리를 하였다.

결과 및 고찰

1. 조사 대상자의 특성

본 연구에 자발적으로 참여한 사람은 대기오염 노출군으로 택시운전기사 20명, 미화원 (부천) 19명, 광진구 노점상 8명, 송파구 미화원 7명, 송파구 노점상 8명, 사무직 근로자 14명, 사무직 및 병원근로자 21명이었다. 대상자중 남자는 68명, 여자는 29명으로 총 97명이었다 (Table 2). 대기오염 노출군과 대조군사이에 평균 나이는 각각 56.71세, 51.52세로 대기오염 노출군이 대조군보다 평균나이가 많았다 (Table 2). 대기오염 노출군에서 흡연자는 31명 (51.7%), 과거 흡연자는 20명 (33.3%), 흡연자는 9명 (11.48%)이었으며, 대조군에서는 흡연자는 22명 (62.9%), 과거 흡연자는 13명 (37.1%)였으나, 흡연자는 없었다. 대기오염 노출군과 대조군사이에 흡연율에 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $\chi^2 > \chi^2_{2, 0.05}$ ).

Table 2. Distribution of subject

| Occupation               | M  | F |
|--------------------------|----|---|
| Taxi driver              | 20 | - |
| Street sweeper (Bucheon) | 19 | - |
| Street trader (Kwangjin) | -  | 8 |
| Street sweeper (Songpa)  | 7  | - |
| Street trader (Songpa)   | -  | 8 |
| Office clerk 1           | 8  | 7 |
| Office clerk 2           | 14 | 7 |

2. 대기오염 노출군과 대조군에서의 대기오염 노출의 특성

택시운전기사, 미화원, 노점상등의 대기오염 노출군과 사무직근로자대상의 대조군사이에 대기오염 노출 특성을 살펴보면, 실외 대기오염에 지속적인

**Table 3.** Age of subjects

|                   |       | Exposure         | Control           |
|-------------------|-------|------------------|-------------------|
| Mean age $\pm$ SD |       | 56.71 $\pm$ 5.51 | 51.52 $\pm$ 7.46* |
| Age               | 30~39 | 5 (8.2)          | 2 (5.56)          |
|                   | 40~49 | 21 (34.43)       | 26 (72.22)        |
|                   | 50~59 | 28 (45.90)       | 6 (16.67)**       |
|                   | 60~70 | 7 (11.48)        | 2 (5.56)          |
|                   |       | 61 (100)         | 36 (100)          |

\*P<0.05 by t-test \*\* $\chi^2 > \chi^2_{3.095} (= 7.815)$

로 노출되는 대기오염 노출군은 대기오염의 배출 원중 도로변에서 특별히 자동차 배기가스에 지속적으로 노출됨으로 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO) 등 자동차 배기가스와 관련된 대기오염물질에 많이 노출되어짐을 알 수 있다(임중환 등, 1994). 대기오염 노출군에 있어 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 평균 노출 농도는 48.98 ppb인 반면 대조군의 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 노출 평균 농도는 38.37 ppb로 p-value 0.05 경계 수준에서 유의한 차이를 보였다. 대기오염 노출군에서의 일산화탄소(CO) 평균 노출 농도는 1.36%, 대조군에서의 평균 노출 농도는 1.14%로 역시 p-value 0.05 경계 수준에서 유의한 차이를 보였다. 휘발성유기물질(VOC)중 특이하게 벤젠이 대기오염 노출군에서는 평균 노출 농도가 2.54 ppb이고 대조군에서는 평균 노출 농도가 1.83 ppb로 역시 p-value 0.05 경계 수준에서 유의한 차이를 보였다. 자동차배기가스에 지속적으로 노출되는 대기오염 노출군에게서 벤젠 평균 노출 농도가 높은 것으로 보아 자동차배기가스가 벤젠의 배출 원으로 작용할 가능성이 높음을 나타내고 있다(Table 4).

톨루엔, 스티렌, 염화 벤젠, 에틸 벤젠, 0-자일렌, x, p-자일렌은 대기오염 노출군에서의 평균 노출 농도는 각각 26.00 ppb, 1.79 ppb, 1.44 ppb, 2.09 ppb, 0.87 ppb, 1.96 ppb이고 대조군에서의 평균 노출 농도는 46.34 ppb, 2.29 ppb, 2.79 ppb, 0.86 ppb, 2.40 ppb로 톨루엔만 유의한 차이를 보이고 그 외 휘발성 유기물질(VOC)은 대조군에서 약간 높은 노출 수준을 보이나 통계적으로 유의하지 않았다. 대조군에서 이들 VOC에 대해 높은 노출 농도를 보이는 것은 인쇄, 병원에서의 분석 작업 등으로 직업적인 노출에 의해 높아진 것으로 추정된다. 1,2-이

**Table 4.** Exposed air pollutants

|                            | Exposure           | Control            |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| NO <sub>2</sub> (ppb)      | 48.98 $\pm$ 1.79** | 38.37 $\pm$ 1.97   |
| Benzene (ppb)              | 2.54 $\pm$ 1.23**  | 1.83 $\pm$ 1.82    |
| Toluene (ppb)              | 26.00 $\pm$ 3.06   | 46.34 $\pm$ 3.91** |
| Styrene (ppb)              | 1.79 $\pm$ 1.77    | 2.29 $\pm$ 2.14    |
| C-Benzene (ppb)            | 1.44 $\pm$ 2.84    | 2.79 $\pm$ 5.45    |
| E-Benzene (ppb)            | 2.09 $\pm$ 1.82    | 2.96 $\pm$ 2.39    |
| o-Xylene (ppb)             | 0.87 $\pm$ 1.26    | 0.86 $\pm$ 1.41    |
| m, p-Xylen (ppb)           | 1.96 $\pm$ 3.40    | 1.60 $\pm$ 2.79    |
| 2-Naphthol ( $\mu$ g/g/cr) | 1.89 $\pm$ 3.40    | 1.60 $\pm$ 2.79    |
| 8-OHdG ( $\mu$ g/g/cr)     | 8.67 $\pm$ 1.56    | 8.24 $\pm$ 1.54    |
| MDA ( $\mu$ mol/g/cr)      | 1.21 $\pm$ 1.22    | 0.96 $\pm$ 0.51    |
| CoHb (%)                   | 1.36 $\pm$ 0.81**  | 1.14 $\pm$ 0.32    |

\*P<0.05 \*\*marginally significant by t-test

염화 벤젠, 1,3-이염화 벤젠, 1,4-이염화 벤젠은 대기오염 노출군이나 대조군에서 모두 검출되지 않았다.

### 3. 그룹별 대기오염물질 노출의 특성

그룹별로 이산화질소 평균 노출 농도를 살펴보면 음식을 취급하는 광진노점상의 경우는 이산화질소를 발생시키는 가스레인즈등의 오염원을 가지고 있기에 가장 높은 이산화질소 평균노출농도 79.05 ppb를 보이고 있다. 자동차 배기가스에 노출될 가능성이 높은 택시운전기사, 미화원(부천),미화원(송파) 그룹들은 상대적으로 높은 이산화질소 평균 노출농도 57.77 ppb, 60.85 ppb, 58.48 ppb를 각각 보이고 있다. 옷을 취급하는 노점상인 송파노점상은 대로 노출군중에서 가장 낮은 평균노출농도인 35.65 ppb를 보이고 있다. 교통량이 비교적 적은 지역의 사무직 근로자 그룹은 가장 낮은 평균노출농도인 23.83 ppb를 보이고 있으나, 고속도로에 인접한 대로변에 위치한 건물의 사무직 근로자 그룹은 실내 그룹이면서도 높은 평균 노출농도 61.93 ppb를 보이고 있다. 각 그룹간의 평균 이산화질소 농도는 유의한 차이를 보였다(P<0.05).

그룹별로 벤젠 평균 노출 농도를 살펴보면 자동차 배기가스에 지속적으로 노출될 가능성이 있는 택시운전기사는 2.82 ppb로 가장 높은 노출 평균 농도를 보이고 노출 범위에서도 9.68 ppb로 가장 높은 최고치를 보여주고 있다(Table 5). 다른 그룹

**Table 5.** Exposure assessment of benzene

| Occupation               | Mean* | SD   | Peak |
|--------------------------|-------|------|------|
| Taxi driver              | 2.82  | 1.81 | 9.68 |
| Street sweeper (Bucheon) | 2.58  | 0.84 | 4.97 |
| Street trader (Kwangjin) | 2.52  | 0.41 | 3.12 |
| Street sweeper (Songpa)  | 2.00  | 0.58 | 2.94 |
| Street trader (Kwangjin) | 2.28  | 0.70 | 3.61 |
| Office clerk 1           | 2.14  | 0.49 | 3.06 |
| Office clerk 2           | 1.10  | 1.25 | 3.68 |

\*statistically significant: P>.05

보다 높은 노출 평균농도와 최고치를 보임은 택시 운전기사가 다른 그룹보다도 특별히 자동차 배기가스가 배출원이 되는 벤젠에 그만큼 노출이 많다는 것을 나타낸다. 다른 그룹의 벤젠 평균 농도는 미화원(부천), 광진노점상, 송파미화원, 송파 노점상은 2.58 ppb, 2.52 ppb, 2.00 ppb, 2.28 ppb를 각각 보이고 있다. 미화원과 노점상과 같은 직종이더라도 비교적 교통량이 많은 지역에서의 노출군에서 상대적으로 높은 벤젠 평균 농도를 보임도 흥미롭다. 반면 사무직 1, 사무직 2(병원근로자) 대조군에서는 노출군보다 상대적으로 낮은 평균노출 농도인 35.65 ppb를 보이고 있다. 각 그룹간의 평균 벤젠 농도는 유의한 차이를 보였다(P<0.05).

그룹별로 톨루엔 평균 노출 농도를 살펴보면 미화원(송파), 광진 노점상에서 120.8 ppb, 84.31 ppb로 높고, 그 외 택시 운전기사, 미화원(부천), 송파 노점상은 40.57 ppb, 59.67 ppb, 91.16 ppb의 평균 노출 농도를 보이고 있다. 대조군 그룹으로 사무직근로자 1, 사무직 근로자 2(병원근로자)에게서 31.56 ppb, 73.98 ppb의 평균농도를 보이고 있다. 노출군과 대조군을 보면 톨루엔 평균노출농도가 노출군이 26.00 ppb, 대조군이 46.34 ppb로 대조군이 대기오염 노출군에 비해 상대적으로 높은 노출 평균농도를 보여주고 있다. 대조군에서 톨루엔에 대해 높은 노출 농도를 보이는 것은 인쇄, 병원에서의 분석 작업 등으로 직업적인 노출에 의해 높아진 것으로 추정된다.

그룹별로 스틸렌의 평균 노출 농도를 살펴보면 택시운전기사가, 부천 미화원, 광진노점상, 송파 미화원, 송파 노점상의 스틸렌 노출 평균 농도는 1.94 ppb, 2.29 ppb, 3.50 ppb, 1.47 ppb, 1.51 ppb이었다. 반면 사무직 근로자 1, 사무직 근로자 2의 스틸렌 노

출 평균 농도는 2.33 ppb, 2.52 ppb이었다. 염화 벤젠, 에틸 벤젠, o-자일렌, x, p-자일렌 등의 휘발성 유기물질은 톨루엔과 같이 노출군보다는 대조군에서 오히려 높은 노출 평균농도를 보였다. 대조군에서의 이들 물질의 직업적인 노출을 의심하게 한다. 1,2-이염화 벤젠, 1,3-이염화 벤젠, 1,4-이염화 벤젠은 대기오염 노출군이나 대조군에서 모두 검출되지 않았다.

그룹별로 2-나프톨의 노출 평균 농도를 살펴보면 택시운전기사가, 부천 미화원, 광진노점상, 송파 미화원, 송파 노점상의 2-나프톨 노출 평균 농도는 1.94 µg/g/cr, 5.57 µg/g/cr, 3.58 µg/g/cr, 5.26 µg/g/cr, 4.99 µg/g/cr이었다. 반면 사무직 근로자 1, 사무직 근로자 2의 2-나프톨 평균 노출 농도는 1.90 µg/g/cr, 3.39 µg/g/cr이었다. 노출군에서 대조군에 비해 상대적으로 높은 2-나프톨 평균농도를 보여 주지만, 통계적으로 유의하진 않았다.

그룹별로 카복시 헤모그로빈 평균 농도를 살펴보면 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진노점상, 송파 미화원, 송파 노점상의 카복시 헤모글로빈 평균 농도는 1.13%, 1.8%, 1.44%, 1.46%, 0.81%이었으며, 반면 대조군으로 사무직 근로자 1은 1.12%, 사무직 근로자 2는 1.22%의 카복시헤모글로빈 평균 농도를 보여주고 있다. 특이한 것은 비흡연자 그룹으로 같은 노점상으로도 음식을 취급하는 광진 노점상의 경우는 일산화탄소를 발생시키는 가스레인지 등의 오염원을 가지고 있기에 옷을 취급하는 송파 노점상의 평균 카복시 헤모글로빈 농도 0.81%보단 높은 1.44%의 카복시 헤모글로빈 농도를 보여주고 있다. 같은 노점상이더라도 오염원의 존재여부에 따라 일산화탄소등의 오염물질에 노출 정도가 달라짐을 알 수 있다. 부천, 송파 미화원의 경우 1.8%, 1.46%로 높은 카복시 헤모글로빈 농도를 보이나 다른 그룹에 비해 흡연자가 일부 포함되어있어 흡연으로 인해 카복시 헤모빈 농도가 높아 진 영향을 감안하여 평가를 내려야 할 것으로 보인다.

카복시 헤모글로빈은 체내에서 정상적으로도 헤모글로빈의 대사를 통해서 평균 0.5%를 보이고, 대기오염으로 1.5~2.5% 상승을 보이는 것으로 알려져 있어, 현재의 대기오염 수준으로도 체내 카복시 헤모글로빈 농도의 상승을 보여 노약자, 심혈관 질환등에 위해한 건강 영향을 미칠 수 있음을 보이고 있다.

그룹별로 8-OHdG 평균 농도를 살펴보면 대기 오염 노출군 택시운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상에게서 7.21  $\mu\text{mol/g/cr}$ , 9.73  $\mu\text{mol/g/cr}$ , 12.99  $\mu\text{mol/g/cr}$ , 12.21  $\mu\text{mol/g/cr}$ , 7.77  $\mu\text{mol/g/cr}$  평균농도를 보였으며, 대조군으로서 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2에서는 6.68  $\mu\text{mol/g/cr}$ , 9.93  $\mu\text{mol/g/cr}$  평균농도를 보였다. 8-OHdG는 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원에 게서 높은 수치를 보여주고 있으며, 다방향족탄화수소계 대기오염물질의 노출 지표로 활용되는 2-나프톨 노출 농도를 참고로 해 볼 때, 특정 대기오염물질의 노출은 산화성 손상을 통하여 호흡기질환, 심혈관질환, 암 발생에 관여할 수 있는 것으로 보인다(홍윤철 등, 2001). 그러므로 8-OHdG, 2-Naphthol과 같은 분자 생물학적인 지표를 통한 연구는 대기오염 물질의 건강 영향을 밝혀내는데 큰 도움을 될 것으로 보인다(Jansen 등, 1995). 흡연 등 여러 교란 요인 등을 잘 통제할 수 있는 대규모 코호트연구 등을 통하여 본격적인 대기오염의 건강 영향 조사가 필요할 것이다.

#### 4. 그룹별 호흡기증상 호소율

그룹별 호흡기증상 호소율을 살펴볼 때, 1년에 3개월 이상 대부분의 날에 기침이 남니까하고 물었을 때 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진노점상, 송파 미화원, 송파노점상은 20%, 16.7%, 12.5%, 33.3%, 16.7%의 평균 증상 호소율을 보였다(Table 6). 이에 반하여 사무직 근로자 1은 7.7%를 보였고 사무직 근로자 2 그룹에서는 0%를 보였다. 이러한 만성적인 기침율은 노출군과 대조군 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보인다( $p < 0.05$ ).

**Table 6.** Respiratory symptom 1

| Occupation               | Do you have coughing more than 3 months a year? |             |              |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                          | Total                                           | Symptom (+) | Symptom (%)* |
| Taxi driver              | 20                                              | 4           | 20           |
| Street sweeper (Bucheon) | 18                                              | 3           | 16.7         |
| Street trader (Kwangjin) | 8                                               | 1           | 12.5         |
| Street sweeper (Songpa)  | 6                                               | 2           | 33.3         |
| Street trader (Kwangjin) | 8                                               | 1           | 16.7         |
| Office clerk 1           | 13                                              | 1           | 7.7          |
| Office clerk 2           | 21                                              | 0           | 0            |

\*statistically significant:  $P < 0.05$

아침에 일어나면 가래가 나오십니까하는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 20%, 11.1%, 12.5%, 83.3%, 25.0%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 33.3, 19.50%를 보였다. 송파 미화원과 노점상에서 높은 가래 호소율은 보이지만, 대조군으로 사무직 근로자와 사무직 근로자 2에서도 높은 가래 호소율을 보여 사무직 근로자 역시 실내공기 오염, 옥외 대기오염으로 가래를 호소하는 비율이 높음을 알 수 있다. 그룹간에 가래 호소율은 통계적으로 유의한 차이를 보인다( $p < 0.05$ ).

낮과 밤에 가래가 나오니까하는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파노점상은 25.0%, 11.1%, 0%, 50.0%, 12.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 25.0%, 9.50%를 보였다. 택시 운전기사와 송파 미화원 점상에서 높은 가래 호소율은 보이지만, 대조군으로 사무직 근로자와 사무직 근로자 2에서도 낮과 밤으로 높은 가래 호소율을 보여 준다. 각 그룹간에 유의한 차이를 보이진 않았다.  $\text{NO}_2$  등 대기오염 물질 노출이 많은 광진 노점상에서 0%의 증상 호소율을 보인 것은 보면, 설문지 응답에 학력 등 대상자의 다른 특성에 따라 응답 양상이 달라질 수 있어, 대기오염물질 노출 수준과 호흡기증상 호소율을 그대로 연관짓기에는 한계가 있다.

일년에 3개월 이상 가래가 나오니까하는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 25.0%, 5.6%, 12.5%, 50.0%, 12.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 38.8%, 0%를 보였다.

최근 3년동안 가래나 기침이 3주이상 지속된 적이 있느냐는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 20.0%, 5.6%, 0%, 33.3%, 12.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 30.8%, 4.8%를 보였다.

가래나 기침이 지속된 적이 2번이상 있는냐는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 25.0%, 27.8%, 12.5%, 33.3%, 12.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에

반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 30.8%, 0%를 보였다.

가슴이 죄는 느낌이 들어 쉬쉬기 힘들다는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 20.0%, 22.0%, 0%, 50.0%, 75.0%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 7.7%, 4.8%를 보였다. 노출군에서 대조군보다 가슴을 죄는 느낌이 들어 숨쉬기 힘들다는 호소율이 높지만, 대기오염물질의 노출이 많은 광진노점상에서 이들 증상 호소율이 0%인 것을 보면 설문 결과의 신뢰성에 의문을 가지게 한다.

감기 이외의 이유로 가슴이 죄는 느낌이 들어 쉬쉬기 힘들다는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 10.5%, 11.1%, 12.5%, 33.3%, 62.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 15.4%, 4.8%의 호소율을 보였다. 그룹간에는 감기이외의 이유로 가슴이 죄는 느낌이 들어 쉬쉬기 힘들다는 증상 호소율 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보여주고 있다 ( $P < 0.05$ ). 계단을 오르내릴때 숨이 차느냐는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 30.0%, 16.7%, 25.0%, 66.7%, 87.5%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 23.1%, 19.1%의 호소율을 보였다.

나이가 비슷한 사람과 비교하여 계단을 오르내릴때 숨이 차느냐는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 40.0%, 22.2%, 12.5%, 50.0%, 75.0%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 15.4%, 14.3%의 호소율을 보였다.

평균 속도로 계단을 오를 때 숨이 차서 걸음을 멈추느냐는 질문에 택시 운전기사, 부천 미화원, 광진 노점상, 송파 미화원, 송파 노점상은 15.0%, 5.6%, 25.0%, 50.0%, 75.0%의 평균 증상 호소율을 보였다. 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 15.4%, 9.5%의 호소율을 보였다. 노출군 일부에서 대조군보다 증상 호소율이 낮은 그룹도 있으나, 전체 대기오염 노출군과 대조군 사이에 평균속도로 계단을 오를 때 숨이 차서 걸

**Table 7.** Respiratory symptom 2

Do you absent in working more than 1 week in recent 3 years?

| Occupation               | Total | Symptom(+) | Symptom(%)* |
|--------------------------|-------|------------|-------------|
| Taxi driver              | 20    | 0          | 0           |
| Street sweeper (Bucheon) | 18    | 1          | 5.6         |
| Street trader (Kwangjin) | 8     | 0          | 0           |
| Street sweeper (Songpa)  | 6     | 1          | 16.7        |
| Street trader (Kwangjin) | 8     | 0          | 0           |
| Office clerk 1           | 13    | 0          | 0           |
| Office clerk 2           | 21    | 0          | 0           |

\*statistically significant:  $P < 0.05$

음을 멈춘다는 증상 호소율사이에 통계적으로 유의한 차이를 보여준다 ( $P < 0.05$ ).

최근 3년간 일주일이상 일하지 못한 적이 있는지에 대한 질문에 부천 미화원, 송파 미화원만 5.6%, 16.7%만이 그렇다고 응답하였으며, 이에 반하여 사무직 근로자 1과 사무직 근로자 2 그룹에서는 그러한 경험을 가진 사람이 없었다(Table 7). 이를 통해서 보면 대기오염 노출이 결론으로 이어질 가능성을 시사하는 것으로 볼 수 있지만, 미화원 직업의 특수성으로 인한 다른 직업적인 요인으로 이러한 현상이 발생할 수 있기에 이에 대한 추가 연구의 필요성이 있다.

### 5. 호흡기질환의 평가

폐기능 장애의 평가는 폐기능검사, 호흡기 자각 증상여부, 흉부방사선 검사를 종합하여 이상소견자를 최종 선정하였고, 흉부방선검사에서 결핵 등 다른 감염성 질환으로 인한 이상소견자는 배제를 하였다.

폐기능 장애는 측정된 폐활량과 1초율을 기준으로 연구방법에서 앞서 기술한 기능장애 정도에 따라 경도, 중등도, 고도, 초고도로 분류를 하였다.

대기오염 노출군에서의 폐기능 장애는 택시 운전기사에게서 경도 폐기능 장애 3명 중등도 폐기능장애 1명 고도 폐기능장애 1명, 부천 미화원에게서 경도 폐기능장애 2명 중등도 폐기능장애 2명, 광진 노점상에게서 경도 폐기능장애 1명 중등도 폐기능장애 2명, 송파 미화원에게서 경도 폐기능장애 1명, 송파 노점상에게서 경도 폐기능장애 4명이 진단되었다. 이에 반하여 대조군에서 사무직 근로자 1에서는 경도 폐기능장애 1명 중등도 폐기능장

에 2명, 사무직 근로자 2에서는 경도 폐기능장애 3명이 진단되었다. 전체적으로 대기오염 노출군에서의 폐기능장애율은 29.5%였으며, 대조군에서는 17.1%였다(Table 8).

대기오염 노출군과 대조군의 폐기능장애율의 차이가 있는 듯 보이지만, 두 군간에는 폐기능 장애를 유발할 수 있는 흡연율의 차이가 존재하기에 단순히 이를 비교할 순 없다(Wynder 등, 1979; Koo 등, 1988). 멘델-한첼 검정 통계량을 이용하여 흡연을 보정한 상태에서 대기오염 노출에 의한 폐기능장애 위험비를 구하면 OR는 2.143(95% 신뢰구간: 0.759~6.052)이다. 비록 95% 신뢰구간에서 유의한 수치를 보이지 못하고 있지만, 전체 조사에 응한 전체 검사자 수가 97명으로 적다는 것을 고려하면, 전체 조사자수를 늘려 잡을 때 통계적으로 유의한 수치를 얻을 수 있을 것으로 판단된다(Table 9).

통계적으로 유의한 수치를 얻는데 필요한 샘플 수를 구하면

$$N = \frac{\{Z_{\alpha} \sqrt{2pq} + Z_{\beta} \sqrt{p_1[1+R-p_1(1+R^2)]}\}^2}{[p_1(1-R)]^2}$$

이때  $p = 1/2p_1(1+R)$ ,  $q = 1-p$ ,  $p_1$ 은 대상질병의 유병율 23.7%,  $R$ 은 2.14,  $Z_{\alpha} = 0.05$ ,  $Z_{\beta} = 0.90$ 으로 계산하면  $N = 126.1$ 이다.

그러므로 조사 대상수가 약 127명 정도가 되면 대기오염으로 인한 폐기능 장애의 위험비를 통계적으로 유의한 수준에서 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

## 결 론

택시 운전기사, 미화원, 노점상 등의 대기오염에 지속적으로 노출되는 군의 대기오염 노출 특성을 살펴보면, 대기오염의 배출원중 도로변에서 특별히 자동차 배기가스에 지속적으로 노출됨으로 이산화질소( $\text{NO}_2$ ), 일산화탄소( $\text{CO}$ ) 등 자동차 배기가스와 관련된 대기오염물질에 많이 노출되어짐을 알 수 있다. 휘발성유기물질(VOC) 중 특이하게 벤젠의 평균 노출 농도가 2.54 ppb이고 대조군의 평균 노출 농도 1.83 ppb에 비해 유의수준 경계 수준에서 유의한 차이를 보였다. 자동차배기가스에 지속적으

**Table 8.** Assessment of pulmonary function

| Occupation               | Mild | Moderate | Severe |
|--------------------------|------|----------|--------|
| Taxi driver              | 3    | 1        | 1      |
| Street sweeper (Bucheon) | 2    | 2        |        |
| Street trader (Kwangjin) | 1    | 2        |        |
| Street sweeper (Songpa)  | 1    |          |        |
| Street trader (Kwangjin) | 4    |          |        |
| Office clerk 1           | 1    | 2        |        |
| Office clerk 2           | 3    |          |        |

\*exposure group pulmonary disability : 29.5%; control group pulmonary disability : 17.1%

**Table 9.** Assessment of pulmonary function disability

| Smoking     | Group    | Pulmonary  | Functionnumber |
|-------------|----------|------------|----------------|
| Non smoking | exposure | normal     | 20             |
|             | control  | disability | 11             |
| Smoking     | exposure | normal     | 18             |
|             | control  | disability | 4              |
| Ex smoking  | exposure | normal     | 23             |
|             | control  | disability | 7              |
|             | control  | normal     | 11             |
|             |          | disability | 2              |

\*pulmonary function disability odds ratio due to air pollution by controlling smoking OR = 2.143 [95% C.I = 0.759-6.052]

로 노출되는 대기오염 노출군에게서 벤젠 평균 노출 농도가 높은 것으로 보아 자동차배기가스가 벤젠의 배출원으로 작용할 가능성이 높음을 나타내고 있다(Oftedal 등, 2003; Lemire 등, 2004). 벤젠은 확인된 '에이' 급 인체 발암물질이며 단기간이라도 고농도에 노출되면 두통과 구토뿐 아니라 백혈구 감소증에 따른 골수조직 위축, 재생불량성 빈혈, 혈액암 등이 발생해 사망에까지 이를 수 있다. 영국에서의 벤젠 환경기준은 5 ppb/년으로 1 ppb/년로 강화할 예정이고, 일본 환경기준은 0.85 ppb/년이다. 일본에는 벤젠과 트리클로로에틸렌 등 3개 휘발성 유기화합물질에 대한 환경기준이 있으며, 미국 환경보호청(EPA)은 더 나아가 단순히 대기중 농도에 대한 기준이 아니라 이들이 건강에 끼치는 영향을 수치로 제시하고 있다(EPA, 1980). 예를 들어 벤젠은 대기중 농도가 0.3 ppb일 때, 트리클로로에틸렌은 0.7 ppb일 때, 10만명 가운데 1명꼴로 암에 걸릴 가능성이 있는 것으로 보며, 인체위해도가 10만분의 1 또는 100만분의 1이 되도록 대기질을 관리하고 있다. 이러한 여러나라의 관리 수준으로 볼

때 우리나라에서도 휘발성유기물질에 대한 환경기준치를 설정하고 이를 관리해야 할 필요성이 높다고 할 수 있다 (Stephen *et al.* 2004).

본 연구에서는 대기오염에 지속적으로 노출되는 노출군에게서 호흡기 증상의 증가와 더불어 산화성손상지표(8-OHdG, MDA), 카복시 헤모글로빈, 폐기능장애의 증가 등 건강위해로 연결될 수 있는 여러 조건들을 확인할 수 있었다. 비록 적은 수에 불과하여 통계적인 유의수준을 보여주진 못하였으나, 호흡기질환으로 발전할 수 있는 여러 생화학적 노출 지표 및 건강영향 지표를 통하여 대기오염 노출군에게서 대기오염으로 인한 건강영향이 유발될 가능성이 있음을 충분히 확인할 수 있었다. 또한 사무직 근로자라고 하더라도 실내 공기오염으로 툴루엔, 스틸렌 등 휘발성 유기물질 과폭로가 이루어질 수 있으므로 이에 대한 지속적인 모니터링과 주의가 필요함을 확인할 수 있었다(Liu *et al.*, 2001). 그러므로 대기오염 고위험군에 대한 대기오염 노출 모니터링작업 및 건강위해에 대한 평가 작업이 필요하며(Chattopadhyay *et al.*, 1995), 이에 대한 자료를 근거로 대기오염으로 시민의 건강을 보호할 수 있는 구체적인 대책들이 마련되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서 시행한 시민참여를 기반으로 샘플러를 통한 대기오염 노출 평가와 시민건강영향 평가는 대기 질 개선을 위해 대기오염의 질을 평가하는 방법으로 유용할 것으로 보여 이를 활용한 지속적인 연구조사가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- 김선태. 대기확산모델의 검정 및 보정을 위한 passive sampler의 활용, 한국 대기환경학회 춘계 학술대회 논문집 1999; 170-171.
- 임종한, 노재훈, 이경중, 윤명조, 문영한. 택시 운전기사의 호흡기 증상과 폐기능 장애, 산업 의학회지 1994; 6(1): 134-142.
- 하은희, 권호장. 대기 오염 역학 연구의 주요 쟁점들, 예방 의학회지 2001; 34: 109-118.
- 홍윤철, 조수현. 대기 분진에 의한 건강 영향, 예방의학회지 2001; 34: 103-8.
- BMRC. Questionnaire on respiratory symptoms, British Medical Research Council 1966.
- Chattopadhyay BP, Alams J, Gangopadhyay PK and Saiyed HN. Effect of jute dust exposure on ventilatory function and the pertinence of cough and smoking to the response, J UOEH 1995; 17(2): 91-104.
- EPA. Environmental Protection Agency. Ambient water quality criteria for benzene 1980.
- Jansen EHJM, Schenk E, den Engelsman G and van de Werken G. Use of biomarkers and exposure assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons, Clin Chem 1995; 41: 1905-6.
- Koo LC, Ho JH and Matsuki H. A comparison of the respiratory illness among nonsmoking mothers in Japan and Hong Kong, Am Rev Respir Dis 1988; 138(2): 290-5.
- Lemire S, Ashley D, Olaya p, Romieu I, Welch S, Meneses-Gonzalez F and Hernandez-Avila M. Environmental exposure of commuters in Mexico City to volatile organic compounds as assessed by blood concentration in 1998, Salud Publica Mex 2004; 46(1): 32-8.
- Liu Y, Zhu L, Wang J, Shen X and Chen X. Sources analysis and contribution identification of polycyclic aromatic hydrocarbon in indoor and outdoor air of Hangzhou, Huan Jing Ke Xue 2001; 22: 39-43.
- Oftedal B, Nafstad P, Magnus P, Bjorkly S and Skrondal A. Traffic related air pollution and acute hospital admission for respiratory diseases in Drammen, Norway 1995-2000, Eur J Epidemiol 2003; 18(7): 671-5.
- Palmes E. Development and application of a diffusional sampler for NO<sub>2</sub>, Environment International 1981; 5: 97-100.
- Stephen M, Rappaport and Lawrence L. Kupper. Variability of environmental exposure to volatile organic compounds Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 2004; 14: 92-107.
- Wynder EL and Hoffman D. Tobacco and health, N Engl J Med 1979; 300: 894-903.