

실내 환경 중 알데하이드 농도 분포 및 영향 요인 평가

양지연, 이지호¹, 임영욱, 박성은², 홍천수³, 김창수⁴, 신동천^{*}

연세대학교 의과대학 환경공해연구소, ¹연세대학교 보건대학원,
²(주)엔바이오니아, ³연세대학교 의과대학 내과학교실,
⁴연세대학교 의과대학 예방의학교실

Factors Related to Aldehydes Exposure and Symptoms in Residential Indoor Air

Jiyeon Yang, Jiho Lee¹, Youngwook Lim, Soungun Park²,
Cheinsoo Hong³, Changsoo Kim⁴ and Dongchun Shin^{*}

*The Institute for Environmental Research, Yonsei University,
College of Medicine, Seoul, Korea*

¹*The Graduate School of Public Health, Yonsei University, Seoul, Korea*

²*Envioneer Co., Seoul, Korea*

³*Department of Internal Medicine, Institute of Allergy, College of Medicine,
Yonsei University, Seoul, Korea*

⁴*Department of Prevent Medicine, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea*

ABSTRACT

Aldehydes are irritants of the upper respiratory tract with symptoms such as eye, nose, and throat. Formaldehyde classified in Group 2A by the International Agency for Research on Cancer and a probable human carcinogen by the United States Environmental Protection Agency due to its carcinogenicity. Aldehydes may be emitted from many other consumer products, such as permanent press fabrics, cosmetics, fiberglass insulation, paints, and coatings. The purpose of this study was to examine the dose-response relationship between aldehydes levels and symptoms (eyes, nose, throat, and respiratory) for 36 dwellings and 280 households in Korea. As a result, environmental factors affecting aldehydes level were indoor smoking, ventilation, using of carpet, bed, and new furniture, painting for renovation, and indoor humidity. There was weakly positive correlation between symptom score and aldehydes level.

Key words : aldehydes, indoor air, respiratory symptoms, dwellings, environmental factors

서 론

^{*} To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-361-5361, Fax: +82-2-392-0239
E-mail: dshin5@yumc.yonsei.ac.kr

알데히드류(aldehydes)는 실내 환경의 건축자재 및 다양한 생활가구를 통해 공기 중으로 발생되어 거주자의 건강에 영향을 미칠 수 있는 물질로 알

려져 있다. 선진국에서는 1970년대부터 실내에서의 포름알데히드(formaldehyde) 노출로 인한 보건학적 영향에 대한 연구가 발표되면서 대중적인 관심을 갖게 되었다(Kay *et al.*, 1981; Norback *et al.*, 1995).

알데히드는 실내 건축자재, 페인트, 접착제, 실내 가구, 장식품, 화장품 등에 의해 실내 공기중으로 방출되기 쉽다. 포름알데히드는 강한 접착 성질을 갖고 있기 때문에 빌딩건축자재물에 사용되는 베니어판, 다양한 보드, 바닥재 및 실내인테리어 접착제 등에 폭넓게 이용되며, 새 가구 등은 실내공기의 주된 오염원이 된다(Thomas and Sixto, 1985). 한편 아크롤레인(acrolein)은 종이나 종이보드의 제조에 사용되며, 미생물 제거제, 수중 제초제 등으로도 쓰인다(Edward *et al.*, 1991).

알데히드는 실내 온도에서 가스로 존재하기 때문에 오염된 공기를 통해 눈, 코, 목 등에 자극을 줄 수 있다. 포름알데히드는 역치(threshold)에 대해서는 알려진 바 없지만 1 ppm 또는 그 이하의 농도로 노출될 경우 눈, 코, 목의 자극, 두통, 메스꺼움을 유발하고, 0.12 mg/m³ 이상 또는 그 이하의 농도에서는 시각적인 자극과 상기도의 자극을 유발한다고 한다(Stenton and Hendrick, 1994). 5 ppm에서 30 ppm의 고농도에서는 기침, 재채기, 흉부 압박감, 기관지염, 폐렴 및 폐부종을 야기하며, 피부 알레르기 반응을 일으킬 뿐만 아니라 동물이나 인간에게 있어 발암 가능한 물질로 여겨지고 있다(US EPA, 1991; Sharkey, 1997; IARC, 1998; Zhang and Smith, 1999). 특히 천식 증상이 있는 사람들이나 어린이들의 민감한 반응으로 최근 aldehydes 노출이 성인에 비해 어린이에게 위대한 영향을 미치는 것으로 많이 보고가 되고 있으며, 포름알데히드 노출에 따른 호흡기 질병 및 피부 알레르기와 관련된 연구가 국외에서 많이 진행되고 있다(Ward, 1990; Norback *et al.*, 1995; Burr *et al.*, 1999). 미국 국민의 10~20%는 실내 포름알데히드 노출로 인해 천식 또는 호흡기 과민성 증상이 더욱 악화된다고 보고한 바 있다(Ducataman, 1990). 미국의 Consumer Products Safety Commission에서는 1982년 건축자재물에서의 UFFI(Urea Formaldehyde Form Insulation) 사용을 금지하였다(Manuel, 1999).

우리나라도 20세기 이후 급격한 경제발전과 더불어 생활공간이 화려해지면서 실내공기 오염으로 인한 거주자의 건강 영향에 대한 문제가 중요한

환경 문제가 되었으며, 특히 몇 해 전 새집증후군에 대해 방송되면서 국민적인 관심이 집중되었다. 이로 인해 정부에서는 다중이용시설 실내공기질 관리법을 마련하여 다중이용시설(17개 시설군) 및 신축공동주택의 실내공기질을 관리하고 있다(환경부, 2005).

포름알데히드와 같은 알데히드류는 건축 자재 뿐만 아니라 다양한 실내 가구 및 장식품에서도 발생될 수 있어 일반 가정에서도 노출될 가능성이 존재한다. 이에 본 연구는 일반 가정에서의 실내 알데히드 노출 수준을 측정하여, 그에 따른 거주자의 건강 자각 증상과의 관련성을 평가하였으며, 실내 알데히드 농도에 영향을 미치는 주요 환경 요인을 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

이 연구는 서울시 일부 지역에서 36가구 및 거주자 280명을 대상으로 수행하였다. 실내 알데히드 측정은 2000년 6~7월(여름)과 9~10월(가을)에 각 1회씩 총 2회에 걸쳐 실시하였으며, 시료 채취 대상 가구 및 거주자에 대한 설문 조사를 병행하였다.

1. 시료 채취 및 분석

Personal air sampler(Gillian Inc, Japan)를 사용하여 350 mg의 2, 4-dinitrophenylhydrazine(1.0 mg DNPH)를 충전한 1.0 cm(내경)×2.0 cm(외경)×4.3 cm(총 길이)의 cartridge(Waters Corp, USA)에 오존의 간섭을 제거하기 위한 0.46 cm(내경)×10 cm(총 길이)의 구리관에 요오드칼륨(Potassium iodide: KI) 결정을 채운 O₃ scrubber cartridge를 DNPH-silica cartridge 앞에 장착하여 시료를 채취하였다(Fig. 1). 시료 채취 지점으로 실내 농도를 대표할

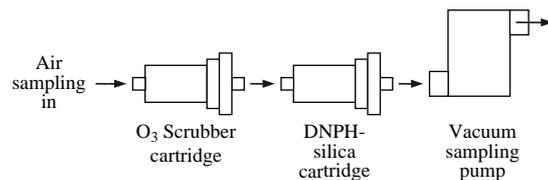


Fig. 1. Sampling kit of aldehydes in indoor air.

Table 1. Analytical conditions of aldehydes

| Contents | Detail conditions |
|------------------|--|
| Column | Supelcosil C18 column (4.6 mm × 25 cm, I.D. 5 μm) |
| Mobile phase | A : water/acetonitrile/tetrahydrofuran (60/30/10 v/v) B : water/acetonitrile 40/60 (v/v) |
| Gradient | Step1. 0 ~ 2 min A : B=100 : 0% Step2. 2 ~ 30 min A : B=0 : 100% Step3. 30 ~ 33 min A : B=100 : 0% |
| Flow rate | 1.2 mL/min |
| Injection volume | 20 μL |
| Detector | UV detector : k=360 nm |

수 있는 거실 중앙을 선정하고, 0.2 L/min의 유량으로 1.5 m 높이에서 약 8시간 동안 시료를 포집하였다. 시료 채취 후 cartridge의 양쪽 끝에 플라스틱의 캡을 씌워 밀봉하여 시료 분석 전까지 -70°C에서 냉동 보관하였다.

공기 중 알데히드는 DNPH-silica cartridge (Waters Corp, USA)내 코팅된 DNPH에 흡착되어 하이드라존 (hydrazone)의 안정한 유도체를 형성한다 (Grosjean and Williams, 1992). 유도체를 형성하여 포집된 시료의 cartridge를 manifold (Supelco Inc. USA)에 부착하여 압력을 건 후 1 mL/min의 유속에서 HPLC 등급 아세토니트릴 (acetonitrile) 5 mL로 탈착하였다. 용출액은 2 mL vial에 담아 HPLC alliance (separation module 2690; λ absorbance detector 2487, Waters Corp, USA)로 정량 분석하였다. 유도체화 된 알데히드류는 350 ~ 380 nm의 흡광영역에서 최대의 감도를 가지므로 본 연구에서는 자외선의 파장을 360 nm에 고정시키고 2AUFS의 감도로 분석하였으며 HPLC 분석 시 시료는 20 μL 주입하였다. 고정상으로는 LC-C18 column (4.6 mm × 25 cm, I.D. 5 μm Supelcosil)을 사용하였고 이동상으로는 1.2 μL/min의 유량으로 아세토니트릴, 물, 테트라하이드로퓨란 (tetrahydrofuran)을 사용하였으며, column의 온도와 sample의 온도는 20°C로 일정하게 유지시켜 분석하였다. HPLC 조건에 관한 세부 사항은 Table 1에 제시하였다.

정량 분석 대상 물질은 포름알데히드, 아세트알데히드, 아크롤레인, 아세톤 (acetone), 프로피온알데히드 (propionaldehyde), 크레톤알데히드 (crotonalde-

Table 2. Method Detection Limit of aldehydes

| Aldehydes | MDL (μg/mL) | MDLm ¹⁾ (ng/cartridge) | MDLc ²⁾ (μg/m ³ (ppb)) |
|------------------|-------------|-----------------------------------|--|
| Formaldehyde | 0.004 | 0.011 | 0.0001 (0.0001 ppb) |
| Acetaldehyde | 0.008 | 0.024 | 0.0003 (0.0002 ppb) |
| Acrolein+acetone | 0.008 | 0.023 | 0.0003 (0.0001 ppb) |
| Propionaldehyde | 0.008 | 0.025 | 0.0003 (0.0001 ppb) |
| Crotonaldehyde | 0.009 | 0.028 | 0.0004 (0.0001 ppb) |
| Butyraldehyde | 0.009 | 0.028 | 0.0004 (0.0001 ppb) |
| Benzaldehyde | 0.012 | 0.037 | 0.0005 (0.0001 ppb) |

¹⁾MDLm (ng/cartridge)=3 × SD (Standard Deviation)

²⁾MDLc (μg/m³)=MDLm/the volume of air for sample collection
The IDL was calculation with 10 replicates of a 0.1 μg/cartridge standard

hyde), 부틸알데히드 (butyraldehyde) 및 벤즈알데히드 (benzaldehyde)의 총 8가지 알데히드 물질을 선정하였다. 대상 물질의 정성 및 정량을 위해 표준 용액은 알데히드/케톤 DNPH 혼합 표준 용액 (aldehyde/ketone DNPH mixture in acetonitrile) (Supelco Inc, USA)을 희석하여 사용한다. 이때 아크롤레인과 아세톤은 정확히 분리되지 않아 두 물질의 혼합 농도로 정량하였으며, 그 외 물질은 개별 농도로 산출하였다. 각 용액의 농도별 피크 면적으로 검량선의 신뢰계수는 99.9% 이상의 결과를 얻었다. 용출된 시료의 정성 분석은 표준 혼합용액의 머무름 시간 (retention time)을 근거로 수행하였으며, 실제 시료 중 알데히드의 정량은 표준혼합용액의 피크 면적을 기초로 산출하였다.

분석 방법의 검출한계 (Method Detection Limit: 이하 MDL)는 Environmental Technology Verification Test Protocol에서 제시한 방법에 따라 최소의 표준용액 농도 (0.1 μg/cartridge)를 조제하여 주입한 후 10회 반복 측정하여 얻은 표준편차로 MDL을 계산하였다 (Table 2).

알데히드의 임의의 표준 혼합용액을 이용한 10회의 반복 실험을 통해 재현성 평가를 수행하였으며, 재현성은 상태표준편차 (RSD%)로 평가하였다. 임의 농도의 알데히드 표준 혼합 용액을 이용한 머무름 시간의 재현성은 0.5% 이하로 나타났으며, 피크 면적에 대한 재현성은 모든 물질에서 5% 이하로 나타나 우수한 재현성을 보여주었다.

실제 시료 채취시와 동일하게 DNPH-silica cartridge 앞에 O₃ scrubber cartridge를 장착하여 임의

Table 3. Variables in questionnaires for environmental factors and self-reported health symptoms

| Variables | Class | Contents |
|------------------------|----------------------|---|
| Personal factors | | Age, Gender |
| | Building instruments | House age, House type |
| | Smoking | Indoor smoker |
| Environmental factor | Ventilations | Ventilation type, Ventilation time, Ventilation during cooking with gas |
| | Indoor environments | Carpet, Bed, New furniture, Painting, Renovation |
| | Climatic factor | Humidity |
| Self-reported symptoms | Eye symptoms | Eye itching, Eye dry, Eye fatigue |
| | Nose symptoms | Nose itching, Sneeze |
| | Throat symptoms | Throat dry, Throat itching, Headache |
| | Respiratory symptoms | Wheezing, Shortness of breath, Chest tightness |

농도의 알데히드 표준 혼합 용액 15 µg을 주입한 후 실제 시료와 동일한 방법 및 조건으로 분석하여 시료 포집 및 반응 회수율을 평가하였다. 알데히드 포집 및 반응 회수율은 모든 물질에 대해 95~105% 범위로 평가되었다.

2. 대상 가구의 실내 환경 및 건강 자각 증상 설문 조사

대상 가구 거주자의 인구사회학적 변수, 생활 습관, 실내 알데히드 오염과 관련된 실내 환경 요인에 대한 설문 조사를 실시하였다(Table 3). 설문지는 대상 주택의 건축 연수, 주택 양식 등의 건축 관련 문항, 현황실내 알데히드 오염원 존재 여부를 위한 실내 수리 여부, 새 가구 유입 여부 등에 대한 문항, 흡연 습관, 환기 방식 및 횟수, 난방 또는 주방 연료 등의 거주자의 생활 습관 문항으로 구성하였다. 실내 환경 요인에 대한 설문은 대상 가구의 실내에 가장 많은 시간을 보내는 거주자가 대표로 조사에 응답하였다.

또한 모든 거주자들이 실내에 머무르는 동안 경험하였던 알데히드 노출 관련 건강 자각 증상에 대해서도 설문 조사하였다. 실내 알데히드 노출로 인한 건강 자각 증상은 3개의 눈 증상, 2개의 코 증상, 3개의 상기도 증상 및 4개의 기관지 관련 증상의 총 11 문항을 통해 조사하였다(Table 3). 모든 문항은 5점 척도(전혀 없다, 월 1회, 월 2~3회, 주 1~3회, 매일)로 답할 수 있으며, 전혀 없다는 0점, 매일 느낀다는 4점으로 배점하였다. 실내 알데히드

노출 관련 건강 자각 증상은 평균 점수를 이용하여 분석하였다. 초등학교 이하의 어린이는 응답 결과의 객관성을 위해 부모가 대신 작성하도록 하였다.

3. 통계 분석

모든 통계 분석은 SAS 프로그램(ver. 6.12)을 이용하였다. 각 가구의 실내 알데히드 농도는 산출 평균 및 표준편차로 나타내었다. 거주 환경 특성 및 건강 자각 증상에 따른 실내 알데히드류 농도 차이는 T-test 및 ANOVA test의 이변량 분석을 실시하였다. 거주환경요인 및 개인생활습관 등 실내 알데히드 농도에 영향을 주는 주요 영향 요인 분석을 위해 다중회귀 분석을 수행하였다.

일반 가정에서의 실내 알데히드류 농도 수준에 따른 건강 자각 증상 척도와의 관계를 알아보기 위해 농도 수준과 각각의 건강 자각 증상의 로그 변환 평균 척도를 연속 변수로 하여 상관성 분석을 실시하였다. 실내 알데히드류의 농도간 또는 농도에 영향을 주는 거주환경 특성간의 상관성 평가를 위해 spearman rank test를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 대상 가구에서의 실내 알데히드 농도 분포

모든 대상 가구의 실내 알데히드 농도는 평균 200 ± 103 ($4.82 \sim 734$) µg/m³ 수준이었으며, 대수-정규분포를 보였다. 실내 알데히드 중 포름알데히드,

Table 4. Concentration of aldehydes in indoor air at subject's dwellings

| Aldehydes (n=67)* | Concentrations (µg/m ³) | | | |
|-------------------|-------------------------------------|--------|---------|---------|
| | Mean | SD | Minimum | Maximum |
| Total Aldehydes | 200.00 | 103.06 | 4.82 | 734.23 |
| Formaldehyde | 90.56 | 58.05 | 28.21 | 260.42 |
| Acetaldehyde | 40.75 | 30.18 | 13.12 | 166.02 |
| Acrolein+acetone | 55.51 | 76.70 | 10.04 | 548.11 |
| Propionaldehyde | 5.61 | 4.33 | 0.25 | 23.17 |
| Crotonaldehyde | 1.16 | 1.89 | 0.12 | 12.92 |
| Butyraldehyde | 2.36 | 8.95 | 0.08 | 67.82 |
| Benzaldehyde | 5.05 | 5.64 | 0.43 | 32.33 |

*two seasonal (summer and fall) measurement in 36 dwellings

아세트알데히드, 아세톤 및 아크롤레인이 주요 구성성분인 반면, 프로피온알데히드, 크로톤알데히드, 부틸알데히드 및 벤즈알데히드의 농도는 정량한계보다 낮은 수준이었다(Table 4). 이에 본 연구에서는 관련 요인 평가시 포름알데히드, 아세트알데히드, 아세톤 및 아크롤레인에 대한 결과만을 제시하였다.

대상 주택에서 포름알데히드, 아세트알데히드, 아세톤 및 아크롤레인의 실내 평균 농도는 각각 90.56 µg/m³, 40.75 µg/m³ 및 55.51 µg/m³이었다. 이지호 등(2000)의 연구에서는 국내 다양한 실내 공간에서의 포름알데히드 농도 측정 결과, 가구점은 494 (417~579) µg/m³, 화장품 판매점 146 (95~335) µg/m³, 페인트 판매점 77 (59~131) µg/m³, 옷 판매점 183 (123~335) µg/m³, 카펫트 판매점 72 (32~138) µg/m³ 및 지물포점은 337 (136~534) µg/m³ 수준으로 보고한 바 있다. 또한 건축 시기가 1년 미만인 새 주택, 학교 교실 및 사무실의 평균 포름알데히드 농도는 각각 173 (13~3141) µg/m³, 252 (101~885) µg/m³ 및 302 (103~674) µg/m³으로 조사되었다(이지호 등, 2000). 이에 비해 본 연구 대상 주택은 건축 기간이 10년 이상된 건축물로 인해 이지호 등(2000)의 연구 결과에 비해서는 낮은 농도로 평가되었다.

그러나 유럽 국가에서 보고되고 있는 일반 주택에서의 실내 알데히드 농도보다는 높은 것으로 평가되었다(Community-COST Concentration Committee, 1990; WHO, 2000). 최근 프랑스 일반 주택의 실내 포름알데히드 및 아세트알데히드 평균 농

Table 5. The characteristics of the subjects

| Class | Characteristics | Symptom group (n=212) Mean ± SD | Non symptom group (n=68) Mean ± SD |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Personal factor | Gender** | | |
| | Man (n=140) | 43.50% | 65.50% |
| | Woman (n=138) | 56.50% | 34.50% |
| Build instruments | Age (yr)* | 33.9 ± 20.5 | 24.6 ± 19.2 |
| | Indoor occupancy (hr) | 14.9 ± 4.9 | 14.2 ± 4.5 |
| Smoking | House age | 13.6 ± 7.4 | 12.4 ± 7.1 |
| | House type | | |
| | Single (n=78) | 28.20% | 33.70% |
| | Detached (n=53) | 21.80% | 17.40% |
| Ventilation | APT (n=129) | 50.00% | 48.80% |
| | Indoor smoker | | |
| | Yes (n=93) | 32.10% | 37.10% |
| Indoor environments | No (n=183) | 67.90% | 62.90% |
| | Natural ventilation | | |
| | Yes (n=243) | 84.30% | 92.10% |
| | No (n=37) | 15.70% | 7.90% |
| Climate factor | Ventilation during cooking with gas | | |
| | Yes (n=142) | 47.60% | 54.40% |
| | No (n=138) | 52.40% | 45.60% |
| | Carpet | | |
| | Yes (n=20) | 7.10% | 7.40% |
| | No (n=260) | 92.90% | 92.70% |
| | Bed* | | |
| | Yes (n=172) | 58.90% | 73.10% |
| | No (n=104) | 41.20% | 26.90% |
| | New furniture | | |
| Yes (n=113) | 38.20% | 44.90% | |
| No (n=167) | 61.80% | 55.10% | |
| Pet | Painting | | |
| | Yes (n=67) | 24.10% | 23.60% |
| | No (n=213) | 75.90% | 76.40% |
| | Renovation | | |
| | Yes (n=127) | 42.90% | 50.60% |
| | No (n=153) | 57.10% | 49.40% |
| | Humidity | | |
| | High (> 60%) (n=22) | 7.30% | 9.00% |
| Low (≤ 60%) (n=258) | 92.70% | 91.00% | |

*p<0.05, **p<0.01

도는 각각 $25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $24.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고되며, 최대값도 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내 수준이었다(Gozalez-flesca *et al.*, 1999; Clarisse *et al.*, 2003). 독일의 370개 일반 주택을 대상으로 1984~1906년 동안 실내 포름알데히드 평균 농도를 측정된 결과, $56 \pm 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며, 노르웨이의 15개 주택의 실내 알데히드 농도는 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내 수준으로 조사되었다. 영국의 일반 주택의 실내 포름알데히드 농도는 겨울에는 $34 \pm 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름에는 $57 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Community-COST Concentration Committee, 1990). 세계보건기구(WHO)에서 유럽의 5개 국가의 일반 주택에 대한 실내 포름알데히드 농도를 $9 \sim 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위로 보고한 바 있다(WHO, 2000). 또한 포름알데히드가 총 알데히드 농도의 50% 이내로 기여하여 가장 주도적인 물질로 평가된다(WHO, 2000; Clarisse *et al.*, 2003).

2. 실내 알데히드 농도와 건강 자각 증상간의 상관성 평가

조사 대상 가구 거주자의 건강 자각 증상과 실내 알데히드류 농도간의 관련성을 분석하기 전에 건강 자각 증상의 모든 항목에 ‘전혀 없다’로 응답한 군과 그렇지 않은 군으로 구분하여 이들의 실내 환경 특성 및 생활 습관 특성을 살펴보았다(Table 5). 조사 대상 가구의 평균 건축 연수는 약 13년

정도이며, 아파트형 가구가 약 50%를 차지하고 있었다. 대상 가구의 80% 이상이 자연 환기를 주로 이용하였으며, 대부분의 주택 내 실내 습도가 60% 이하 수준으로 조사되었다. 대상 가구 거주자의 평균 실내 거주 시간은 약 14시간 정도였으며, 모든 대상 가구 중 약 30% 정도가 실내 흡연을 하고 있었으나, 흡연 장소가 대부분이 베란다로 응답하여 실 거주 공간인 거실이나 방에서 흡연하는 가구는 매우 적었다. 대상 가구의 주거 형태나 실내 환경 변수는 두 군간에 유의한 차이는 없었다. 이에 비해 개인적인 특성은 모든 항목에 전혀 건강 자각 증상이 없다고 응답한 군에 비해 한 항목이라도 건강 자각 증상을 호소한 군은 통계적으로 유의하게 여성($p < 0.01$)이 많고, 연령($p < 0.05$)이 높았다. 즉, 연령이 높은 여성이 다른 거주자에 비해 민감

Table 6. The comparison of aldehydes concentrations by response to symptoms

| Aldehydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Response to symptoms | |
|--|---|---|
| | “Yes” for any symptoms (n=212) Mean \pm SD | “No” for all symptoms (n=68) Mean \pm SD |
| Total aldehydes | 203.5 \pm 102.9 | 196.3 \pm 103.4 |
| Formaldehyde | 91.9 \pm 46.5 | 88.7 \pm 48.9 |
| Acetaldehyde | 40.2 \pm 22.9 | 38.4 \pm 21.9 |
| Acrolein+acetone | 55.7 \pm 54.4 | 58.1 \pm 64.2 |

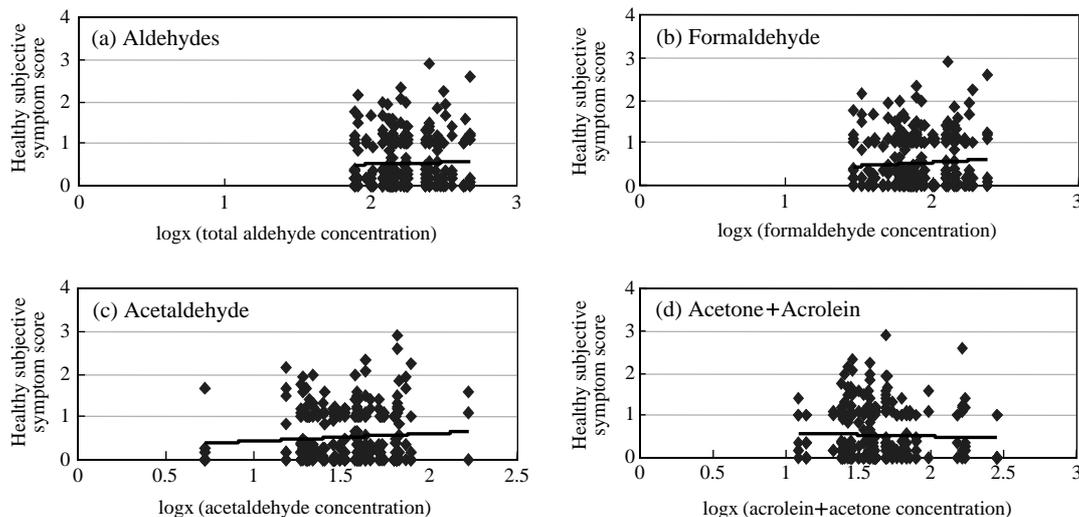


Fig. 2. Symptom score by levels of aldehydes in the homes.

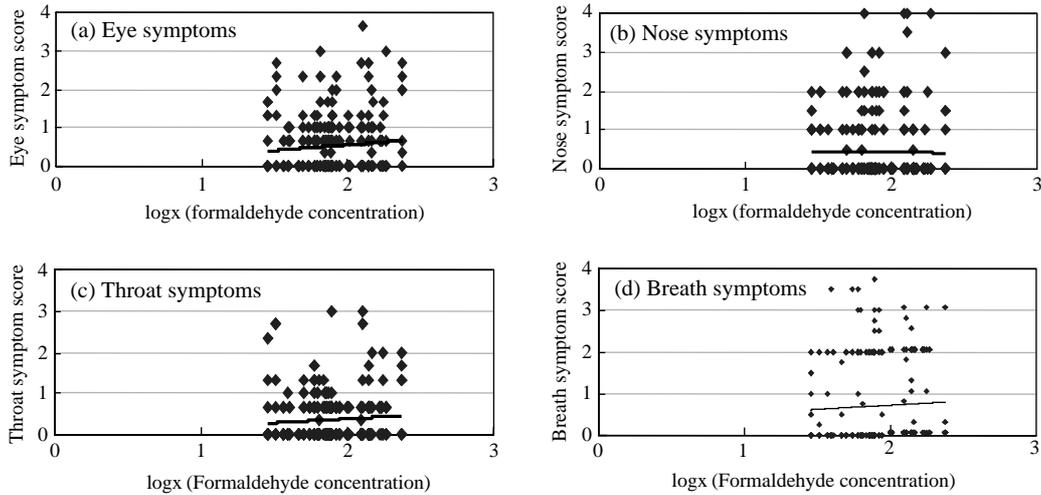


Fig. 3. Symptom score about each specific organ by levels of formaldehyde in the homes.

한 건강 자각 증상을 보이는 것으로 나타났다.

건강 자각 증상이 있는 군(212명)과 건강 자각 증상이 전혀 없는 군(68명)간의 실내 알데히드류 농도는 통계적인 유의성은 관찰되지 않았으나, 건강 자각 증상을 호소하는 군이 그렇지 않은 군보다 다소 높은 경향을 보여주었다 (Table 6).

건강 자각 증상에 대한 점수와 실내 알데히드류 농도간에는 약간의 양의 상관성이 보였으나, 통계적인 유의성은 없었다 (Figs. 2, 3). 실내 총 알데히드류 농도 및 포름알데히드 농도가 증가할수록 선형적으로 눈의 건조 및 피로 증상과 부비동 증상의 자각 점수가 선형적으로 증가하는 것이 관찰되었으나, 통계적인 유의성은 없었다.

실내 공기 오염 관련 연구 자료에 의하면 나쁜 실내 공기질로 인한 거주자의 불쾌감 및 자극은 증가되는 것으로 보고되었다 (Community-COST Concentration Committee, 1990). 후각의 자극적인 냄새는 일반적으로 포름알데히드 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 농도에서 감지할 수 있으며, 임상적인 증상은 개인적인 감수성에 의존적인 것으로 알려져 있다 (Krieger *et al.*, 1998). 포름알데히드로 인한 증상들은 두통, 매스꺼움, 현기증, 점막 자극 등 비특이적인 증상들이 대부분이며, 민감한 사람에게는 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 농도에서도 증상이 나타나기도 한다. 건강한 사람의 경우에는 만성적인 포름알데히드 노출에 의해 만성 결막염, 인두염, 후두염, 기관지염 및 기침을 유

발할 수 있다. 포름알데히드는 접촉성 피부염 및 알레르기 증상을 악화시킬 수 있으며 (Garrett *et al.*, 1998), 천식 환자가 포름알데히드에 노출되면 야간 호흡 곤란 발생 빈도를 증가시킬 수도 있다 (Norback *et al.*, 1995).

3. 실내 알데히드 농도에 영향을 미치는 환경 요인들

실내 공기 중 알데히드류 농도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 실내 흡연, 취사연료 연소시 환기 시스템 사용, 카펫트 사용, 새 가구 유입, 외벽 페인트 작업 및 실내 인테리어 공사, 실내 습도로 분석되었다 (Table 7). 특히 1년 이내에 실내 바닥재 교체 공사, 주택 내외벽의 페인트 칠, 새 것으로의 실내 가구 교체를 하였던 가구에서는 그렇지 않은 가구에 비해 유의하게 포름알데히드, 아세트알데히드 및 총 알데히드 농도가 높았다. 실내 흡연 가구에서의 실내 총 알데히드 평균 농도 ($237.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)는 비흡연 가구 ($170.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에서보다는 유의하게 높았다. 비록 통계적인 유의성은 관찰되지 않았으나, 자연적이든 인공 환기 기계를 사용하던 간에 주기적인 환기를 실시하는 가구에서의 포름알데히드 및 아세트알데히드 농도는 그렇지 않은 가구에서보다 낮은 농도를 보였다.

Clarisse *et al.* (2003)은 실내 알데히드 농도에 영

Table 7. Concentrations of aldehydes by environmental factors (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Class | Variables | Total aldehyde | Formaldehyde | Acetaldehyde | Acrolein+acetone |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | | Mean \pm SD | Mean \pm SD | Mean \pm SD | Mean \pm SD |
| Building instruments | House age | | | | |
| | > 10 yr (n=16) | 196.4 \pm 97.2 | 93.7 \pm 44.5 | 40.9 \pm 19.2 | 62.1 \pm 68.5 |
| | \leq 10 yr (n=19) | 192.4 \pm 84.1 | 81.4 \pm 40.3 | 38.7 \pm 19.6 | 47.6 \pm 33.7 |
| | House Type | | | | |
| | Single (n=8) | 161.2 \pm 65.9 | 77.3 \pm 36.7 | 36.5 \pm 14.9 | 37.4 \pm 16.3 |
| | Detached (n=7) | 219.7 \pm 94.2 | 116.8 \pm 57.9 | 44.4 \pm 23.4 | 41.6 \pm 14.0 |
| | APT (n=18) | 199.9 \pm 98.9 | 81.3 \pm 36.6 | 40.5 \pm 20.4 | 66.4 \pm 69.6 |
| Smoking | Smoker | | | | |
| | Yes (n=12) | 237.4 \pm 104.9* | 93.1 \pm 45.0 | 46.7 \pm 22.8 | 85.1 \pm 79.6* |
| | No (n=24) | 170.8 \pm 70.6 | 85.4 \pm 41.0 | 35.7 \pm 16.0 | 38.1 \pm 15.7 |
| Ventilation | Natural ventilation | | | | |
| | Yes (n=31) | 190.4 \pm 90.7 | 85.8 \pm 40.3 | 37.1 \pm 20.0 | 53.6 \pm 55.4 |
| | No (n=5) | 209.1 \pm 75.6 | 101.1 \pm 53.9 | 39.7 \pm 19.1 | 54.5 \pm 16.7 |
| | Ventilation during cooking with gas | | | | |
| | Yes (n=15) | 180.1 \pm 103.2 | 72.7 \pm 30.9* | 33.6 \pm 16.1 | 63.0 \pm 73.2 |
| | No (n=21) | 202.2 \pm 76.7 | 98.8 \pm 45.8 | 43.5 \pm 20.1 | 47.1 \pm 28.1 |
| | Use of Air-cleaner | | | | |
| | Yes (n=2) | 192.4 \pm 89.9 | 87.2 \pm 42.6 | 39.2 \pm 19.5 | 48.4 \pm 27.3 |
| | No (n=34) | 203.9 \pm 62.8 | 101.2 \pm 32.1 | 43.2 \pm 0.2 | 54.0 \pm 52.8 |
| | Hood in the kitchen | | | | |
| Yes (n=32) | 190.0 \pm 89.5 | 84.9 \pm 39.8 | 37.9 \pm 18.8 | 55.1 \pm 54.4 | |
| No (n=4) | 217.2 \pm 81.8 | 112.3 \pm 56.4 | 50.9 \pm 18.7 | 43.1 \pm 16.9 | |
| Indoor environments | Carpet | | | | |
| | Yes (n=3) | 268.5 \pm 53.2 | 123.3 \pm 52.3 | 56.7 \pm 21.4 | 70.2 \pm 16.8 |
| | No (n=33) | 186.2 \pm 87.8 | 84.8 \pm 40.2 | 37.8 \pm 18.3 | 52.2 \pm 53.5 |
| | Bed | | | | |
| | Yes (n=23) | 215.3 \pm 91.9* | 100.1 \pm 43.8** | 42.2 \pm 20.5 | 60.6 \pm 58.9 |
| | No (n=12) | 153.9 \pm 69.6 | 65.1 \pm 29.2 | 35.0 \pm 16.0 | 42.1 \pm 35.3 |
| | New furniture | | | | |
| | Yes (n=16) | 229.0 \pm 98.9* | 101.5 \pm 44.4 | 47.2 \pm 21.9* | 65.8 \pm 69.5 |
| | No (n=20) | 164.2 \pm 67.7 | 77.1 \pm 37.3 | 33.1 \pm 13.9 | 44.1 \pm 29.4 |
| | Painting | | | | |
| | Yes (n=9) | 242.6 \pm 89.7* | 121.2 \pm 47.3* | 50.6 \pm 17.9* | 55.4 \pm 45.7 |
| | No (n=27) | 176.5 \pm 82.6 | 76.9 \pm 34.1 | 35.6 \pm 18.1 | 53.2 \pm 54.2 |
| | Renovation | | | | |
| Yes (n=17) | 207.5 \pm 89.1* | 105.9 \pm 46.7* | 40.8 \pm 20.6 | 46.5 \pm 35.0 | |
| No (n=19) | 180.1 \pm 87.3 | 72.0 \pm 29.9 | 38.1 \pm 17.8 | 60.2 \pm 63.1 | |
| Climatic factor | Humidity | | | | |
| | High (> 60%) (n=4) | 221.2 \pm 78.6 | 115.6 \pm 52.5 | 49.3 \pm 20.9 | 45.8 \pm 16.8 |
| | Low (\leq 60%) (n=32) | 189.5 \pm 89.6 | 84.5 \pm 40.0 | 38.1 \pm 18.7 | 54.7 \pm 54.4 |

*p<0.05, **p<0.01

향을 미치는 요인으로 최근 바닥재 및 벽지 교체 작업, 실내 흡연, 그리고 실내 이산화탄소 농도 및

실내 온도라고 보고한 바 있다. 실내 이산화탄소 농도는 환기 상태와 관련되어 실내 밀폐 정도를

Table 8. Environmental factor associated with aldehydes exposure

| Class | Variable ¹⁾ | Total aldehyde | | Formaldehyde | | Acetaldehyde | | Acrolein+acetone | |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|------|--------------|------|------------------|------|
| | | R.C ²⁾ | S.E ³⁾ | R.C | S.E | R.C | S.E | R.C | S.E |
| Intercept | | -100.4 | 33.9 | -39.5 | 14.6 | 5.2 | 11.8 | -44.9 | 20.9 |
| Smoking | Indoor smoker | 46.8*** | 10.9 | 1.2 | 4.7 | 7.1** | 2.4 | 40.7*** | 6.7 |
| Ventilation | Ventilation during cooking with gas | -16.3 | 11.6 | -30.7*** | 4.9 | -6.0* | 2.6 | -20.3** | 7.1 |
| Indoor environments | Carpet | 174.2*** | 18.9 | 86.1*** | 8.1 | 31.9*** | 4.2 | 49.0*** | 11.7 |
| | New furniture | 59.9*** | 11.2 | 16.6*** | 4.8 | 10.8*** | 2.5 | 25.6*** | 6.9 |
| | Painting | 47.5*** | 14.2 | 19.5*** | 6.1 | 14.5*** | 3.1 | 21.0* | 8.8 |
| | Renovation | 5.8 | 12.3 | 27.2*** | 5.3 | 2.7 | 2.7 | 30.9*** | 7.5 |
| Climatic factor | Humidity | 19.2 | 19.2 | 25.6** | 8.3 | 9.2* | 4.3 | 15.8 | 11.8 |
| | R2 | 0.42 | | 0.51 | | 0.39 | | 0.31 | |
| | F-value | 28.07 | | 40 | | 24.92 | | 16.89 | |
| | P-value | 0.0001 | | 0.0001 | | 0.0001 | | 0.0001 | |

*p<0.05, **p<0.01 ***p<0.001

¹⁾All variables were binomial codes (Yes=1, No=0), ²⁾R.C : regression coefficient, ³⁾S.E : standard error

추정할 수 있는 지표로서의 중요한 요인으로 제시하고 있다. 국외의 실내 우레아-폼-폼 보드를 사용한 주택의 실내 포름알데히드 평균 농도는 24~156 µg/m³인 반면, 사용하지 않은 주택에서는 36~84 µg/m³로 측정되었다. 또한 압축 나무 소재를 이용한 가구를 주로 사용한 이동 주택에서의 포름알데히드 농도는 24~939 µg/m³ 범위로 조사되었다 (Samet *et al.*, 1988; Brown *et al.*, 1996; Krieger *et al.*, 1998). 30 m³ 규모의 실내에서 5개비의 담배를 연소시킨 후 실내 포름알데히드 농도는 276 µg/m³로 측정되었으며, 그 외에도 많은 연구에서 실내 흡연이 실내 알데히드류 농도를 증가시키는 요인으로 평가되었다 (Office of Smoking and Health, 1979; NRC Committee on Toxicology, 1980; Dalbey, 1982; Clarisse *et al.*, 2003).

실내 알데히드류 농도에 영향을 주는 거주 환경 요인간의 단순 상관성 분석에서는 환풍기 사용과 후드 사용간의 상관성이 0.69 (p<0.01)로 매우 높은 관련성을 보이고 있어, 이들 변수를 통합하여 실내 환기 변수로 조정하였다. 그 외 변수들간의 상관

성이 높은 것은 관찰되지 않아 모두 독립 변수로 적용하여 다중 회귀 분석을 수행하였다 (Table 8).

총 알데히드 농도에 대한 유의한 영향 변수로는 실내 흡연, 카펫, 새 가구, 페인트 작업이었으며, 포름알데히드 농도는 취사연료 연소시 환기, 카펫, 새 가구, 페인트 작업, 실내 공사, 습기가 영향 변수로 선택되었다.

$$\begin{aligned}
 Y1 &= 46.8 * X1 - 16.3 * X2 + 19.2 * X3 + 174.2 * X4 \\
 &\quad + 59.9 * X5 + 47.5 * X6 + 5.8 * X7 - 100.4 \\
 Y2 &= 1.2 * X1 - 30.7 * X2 + 25.6 * X3 + 86.1 * X4 \\
 &\quad + 16.6 * X5 + 19.5 * X6 + 27.2 * X7 - 39.5 \\
 Y3 &= 7.1 * X1 - 6.0 * X2 + 9.2 * X3 + 31.9 * X4 \\
 &\quad + 10.8 * X5 + 14.5 * X6 + 2.7 * X7 - 18.0 \\
 Y4 &= 40.9 * X1 - 20.3 * X2 + 15.8 * X3 + 49.0 * X4 \\
 &\quad + 25.6 * X5 + 21.0 * X6 + 30.9 * X7 - 44.9
 \end{aligned}$$

(Y1: total aldehydes, Y2: formaldehyde, Y3: acetaldehyde, Y4: acrolein+acetone, X1: indoor smoking, X2: natural ventilation, X3: indoor humidity, X4: using a carpet, X5: changing old furniture into

new one less than 1 year, X6: painting work in indoor less than 1 year, and X7: indoor renovation less than 1 year)

실내 알데히드류 농도에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 실내 흡연이었다. 그 다음으로는 주기적인 환기 여부도 중요한 변수이었으며, 최근 1년 이내에 실내 인테리어 공사, 새 가구 유입, 페인트 작업 실시 여부로 인해 실내 알데히드 농도가 변하는 것으로 평가되었다. 이와 더불어 지나치게 높은 실내 습도도 알데히드류 농도를 상승시킬 수 있는 것으로 나타났다.

요약 및 결론

이 연구에서는 실내 알데히드류 농도 수준과 거주자의 건강 자각 증상간의 관련성을 살펴보고, 실내 알데히드류 농도에 영향을 주는 주거 요인을 규명하고자 하였다. 도시 거주 주택 36가구와 거주자 280명을 대상으로 실내 알데히드류 농도 측정, 주거 특성 조사 및 건강 자각 증상 조사를 실시하였다. 대상 가구의 실내 알데히드류 평균 농도는 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 포름알데히드 및 아세트알데히드는 각각 총 농도의 49% 및 20%를 차지하였다. 대상 가구의 실내 알데히드류 농도와 거주자의 건강 자각 증상 간에는 약한 상관성이 관찰되었으나 통계적인 유의성은 없었다. 실내 흡연, 환기 상태, 카펫 세탁 유무, 새 침대 및 가구 유입 유무, 실내외 페인트 작업 유무와 실내 습도가 실내 알데히드류 농도에 유의한 영향을 주는 요인으로 분석되었다.

본 연구를 통해 대상 규모는 많지 않으나, 국내 일반 주택에서의 실내 알데히드류 농도를 줄이기 위해서는 첫째, 실내 흡연을 하지 않도록 하는 것이다. 두 번째로는 주기적인 실내 환기를 실시하여야 하며, 특히 신축 또는 실내 내부 공사하거나, 새 가구를 들여놓은 지 1년 이내의 주택은 더욱 적극적인 환기가 필요하다. 세 번째로는 알데히드류 방출이 적은 건축자재 및 실내 마감재 개발을 촉진하여야 한다.

참고 문헌

이지호, 박성은, 신동천. 실내환경중 aldehyde분석과 다양

한 실내구역에서의 농도 분포, 한국환경분석학회지 2000; 3(20): 117-128.

환경부. 국가 다중이용시설 관리 정책, 환경부 2005

Brown V, Crump D and Gavin M. Indoor air quality in homes: the Building Research Establishment Indoor Environment Study, Building Res Establishment (BRE report) BR 299, 1996.

Burr ML, Anderson HR, Austin JB, Harkins LS, Kaur B, Strachan DP and Warner JO. Respiratory symptoms and home environment in children: a national survey, Thorax 1999; 54(1): 27-32.

Clarisse B, Laurent AM, Seta N, Le Moullec Y, El Hasnaoui A and Momas I. Indoor aldehydes: measurement of contamination levels and identification of their determinants in Paris dwellings, Environmental Research 2003; 92: 245-253.

Community-COST Concentration Committee. Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European countries (Report No. 7 EUR 13219 EN 1990), Commission of the European Communities, Luxembourg, 1990.

Dalbey WE. Formaldehyde and tumors in hamster respiratory tract, Toxicology 1982; 24: 9-14.

Ducatman AM, Chase KH, Farid I, LaDou J, Logan DC, McCunney RJ, Milroy WC, Mitchell F, Monosson I and Sunderman FW Jr. What is Environmental Medicine?, Journal of Occupational Medicine 1990; 32: 1130-1132.

Edward JC and Elaina MK. Air toxics and risk assessment. Lewis publication, 1991.

Garrett MH, Rayment PR, Hooper MA, Abramson MJ and Hooper BM. Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children, Clin Exp Allergy 1998; 28: 459-467.

Gonzalez-Flesca N, Cicoletta A, Bates M and Bastin E. Pilot study of personal, indoor and outdoor exposure to benzene, formaldehyde and acetaldehyde, Environ Sci Pollut Res 1999; 6: 95-102.

Grosjean D and Williams II EL. A passive sampler for airborne formaldehyde, Atmospheric Environment 1992; 26A(16): 2923-2928.

Dally KA, Hanrahan LP, Woodbury MA and Kanarek MS. Formaldehyde exposure in nonoccupational environments, Archives of Environmental Health 1981; 36(6): 277-284.

Krieger P, de Blay F, Pauli G and Kopferschmitt M. Asthma and household chemical pollutants (with the exception of tobacco), Rev Mal Respir 1998; 15: 11-24.

NRC (National Research Council Committee on Toxicology). Formaldehyde: an assessment of its health effects,

- National Academy of Sciences, Washington, DC, 1980.
- Norback D, Bjornsson E, Janson C, Widstrom J and Boman G. Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon dioxide in dwellings, *Occup Environ Med* 1995; 52: 388-395.
- Office of Smoking and Health. Smoking and Health: a report of the surgeon general, DHEW PHS (Publication no. 79-50066), US Government Printing Office, Washington, DC, 1979; 14-42.
- Samet JM, Marbury MC and Spengler JD. Health effects and sources of indoor air pollution, Part II. *Am Rev Respir Dis* 1988; 137: 221-242.
- Sharkey B. Health hazards of smoke: recommendations of the April 1997 Consensus Conference (Technical Report 9751-2836-MTDC), Missoula, MT, United States Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center, 1997.
- Stenton SC and Hendrick DJ. Toxicology of the lung (2nd ed.)-Book review, *Respiratory Medicine* 1994; 88(1): 71-72.
- Thomas HS and Sixto RM. A survey of typical exposures to formaldehyde in houses area residences, *Am Ind Hyg Assoc* 1985; 46(6): 313-317.
- US EPA (Environmental Protection Agency). Report to Congress on Indoor Air Quality, Volume II: Assessment and Control of Indoor Air Pollution (EPA-400-I-89-001C), Office of Air and Radiation, 1989.
- Ward DE. Factors influencing the emissions of gases and particulate matter from biomass burning, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin 1990; 418-436.
- WHO (World Health Organization). Guidelines for Air Quality, World Health Organization. Geneva, Switzerland. 2000.
- Zhang J and Smith KR. Emissions of Carbonyl Compounds from Various Cookstoves in China, *Environ Sci Technol* 1999; 33(14): 2311-2320.