

사무직 종사자가 일상생활에서 노출되는 VOCs 농도와 화학물질과민증 자각증상에 관한 연구

MCS/IEI and Personal Exposures of VOCs in Office Worker

최유림*
Choi, Yoo Rim

성기철**
Sung, Ki Chul

전정윤***
Chun, Chung Yoon

박준석****
Park, Jun Seok

Abstract

In our previous research, office workers are relatively frequent in self-reported symptoms suggestive of MCS/IEI compare to construction worker who highly exposed to VOCs compounds. However in that research, the subjects were too small to say it clearly. Based on that research results, self reported symptom surveys to 110 office workers and personal exposure concentration measurement were conducted to 13 of people. VOCs exposure levels were measured within office, house and other places during a week by Passive Sampling Method. In this study, it was found that the number of office workers who met the operational criteria of MCS/IEI was 23.6% similar to 24.5% of previous result, and average of TVOC concentration was appeared high state by order of office, house, and personal exposure.

Keywords : MCS/IEI, VOCs, Office worker

주요어 : 화학물질과민증, 휘발성 유기화합물, 사무직 종사자

1. 서론

1. 연구 배경

과학기술의 발달과 함께 다양한 화학물질이 발생하였고, 인체에 유해한 합성유기화학물질의 발생도 증가하고 있다. 이렇게 유해한 화학물질에 노출됨으로써 화학물질과민증이라는 증상이 나타나기 시작했으며, 화학물질과민증과 관련이 깊은 새집증후군은 이미 국내에서도 최근 문제가 되고 있는 상태이다. 하지만 거주자들은 신축주택 뿐만 아니라 다양한 공간에서 화학물질에 폭로될 위험에 놓여있기 때문에 화학물질과민증을 실제로 연구하기 위해서는 거주자들이 24시간이라는 일상생활에서 폭로되는 화학물질의 폭로량에 대한 데이터가 필요하다. 본 연구는 이러한 관점에서 일상생활에서 개인이 24시간동안 폭로되는 화학물질의 실제 노출농도에 초점을 맞추었다.

본 연구의 선행연구로써 성기철 외 3인¹⁾은 건축업 종사자를 내장직과 외장직, 사무직 종사자로 나누어서 화학물질 과민증에 관한 자각실태 설문조사와 개인별 화학물질 폭로농도를 측정하는 실험조사를 실시하였다. 그 결과, 화학물질 과민증에 관한 자각실태 조사에서 사무직 종사자들이 가장 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있었다.

* 연세대 대학원 석사과정

** (주) 대우건설 기술연구소 연구원, 이학석사

*** 연세대 주거환경학과 부교수, 공학박사

**** 한양대 건축대학 조교수, 공학박사

1) 성기철 외 3인(2005), 건설업종사자의 직군별 화학물질과민증 위해성 평가에 관한 연구, 한국주거학회학술발표논문집, 16권, pp295-300

이러한 배경에서 본 연구는 우리나라 사무직 종사자들이 주택, 사무실, 그리고 기타 공간에서 어떠한 양상으로, 그리고 어느 정도의 양의 화학물질에 폭로되고 있는지를 알아보고자 하였으며, 그들이 자각하고 있는 화학물질과민증 자각증상을 함께 조사하여 화학물질 폭로량과 자각증상의 대조분석을 수행하고자 하였다.

2. 연구 목적

선행연구에서는 조사 대상이 건설관련 사무직 종사자로 국한되었었고, 화학물질 폭로량 측정이 4건으로 샘플 수가 다소 적었으며, 각 개인의 주택 내 농도는 측정하지 못 하였다.

본 연구는 이러한 배경에서 출발하여 건축업이 아닌 타 직종의 사무직 종사자를 대상으로 자각증상 설문조사를 행하였고, 화학물질 폭로량 샘플 수를 13건으로 늘렸으며, 일상생활 내에서 24시간 폭로되는 화학물질 노출량과 함께 사무실과 주택 내 농도를 측정하였다. 본 연구의 세부 목적은 다음과 같다.

첫째, 사무직 종사자의 화학물질과민증에 대한 자각증상을 조사한다.

둘째, 사무직 종사자의 일주일간의 VOCs 평균 생활 폭로량과 각 생활공간에서 노출되는 VOCs 농도를 측정한다.

셋째, 화학물질 과민증 자각증상과 노출되는 VOCs 농도를 대조 분석한다.

넷째, 노출량 측정결과 중 벤젠의 측정치를 이용하여 사무직 종사자의 발암 위해성 평가를 실시한다.

II. 이론적 배경

1. 화학물질과민증 (MCS)

1) MCS의 개념

환경적 질병(environmental illness)이라고도 하는 MCS는 화학물질에 대해 반응을 나타내는 면역·신경계의 장애를 일컫는다. MCS에 대한 정의는 시간이 지남에 따라 조금씩 변해오고 있는데, 일반적으로 아래 6가지 조건을 만족하는 병을 화학물질 과민증이라 정의하고 있다.²⁾

- 화학물질 폭로를 반복한 경우, 증상이 재현성을 가지고 나타난다.
- 만성질환이다.
- 미량의 물질폭로에 반응을 나타낸다.
- 관련성이 없는 다종류의 화학물질에 반응을 나타낸다.
- 원인물질의 제거로 개선 또는 치료된다.
- 증상이 다종류의 기관에 걸쳐있다.

현재, MCS(Multiple Chemical Sensitivity)라는 명칭은 1996년에 열린 IPSC (International Programme on Chemical Safety)에서 IEI(Idiopathic environmental Intolerances)로 명명함으로써 두 가지 명칭을 혼용하고 있는 상황이다.

2) MCS의 증상

증상은 다양하고 개인마다 독특하며 신체 어느 기관에서라도 나타날 수 있다. 증상의 범위는 경미한 것부터 장애, 사망에 이르기 까지 다양하다. 이러한 증상들을 신체 부위별로 나타내면 표1. 과 같다.

증상들은 화학물질에서 나오는 공기를 흡입하거나 피부에 접촉하거나 섭취함으로써 발생한다. 보통사람들은 감지하지 못하는 수준에서의 노출량에서도 증상은 나타날 수 있다. 특정 화학물질에 대한 과민증은 다른 무관한 물질에로의 과민증으로 확산될 수도 있다.

2. 휘발성 유기화합물 (VOCs)

1) VOCs의 정의

VOCs는 탄화수소에 관능기가 붙여져서 상온, 상압 하

표1. MCS의 주요 증상³⁾

자율신경증상	발한이상, 손발의 차가움, 만성피로, 현기증
신경, 정신증상	불면증, 불안감, 우울증, 두통, 기억력 상실, 집중력 저하, 운동장애, 사지 말단 신경의 마비, 관절통, 근육통
기도증상	목·코의 통증, 기도의 폐한감, 감기유사증상, 호흡기 계통 질환
소화기증상	복부팽만, 대장질환
감각기증상	후각 예민, 눈의 지침, 눈의 초점이 맞지 않음, 미각이상, 청각 예민, 코피
순환기증상	심계항진, 부정맥, 흉부통, 흉벽통
면역증상	피부염, 천식, 자기면역질환, 피하출혈
비뇨생식기, 부인과계증상	생리불순, 부정출혈, 월경곤란, 빈뇨, 배뇨곤란

2) Multiple chemical sensitivity: a 1999 consensus(1999 May-Jun), Archives of Environmental Health (AEH), Vol. 54(3), pp147-149

에서 기화하기 쉬운 물질로서, 단일물질이 아니라 비등점이 50 ~ 260℃의 유기화합물질을 총칭하는 것이다.

VOCs의 종류는 다양하기 때문에 모든 물질을 검출하고 농도를 판정하는 데에는 한계가 있다. 그래서 TVOC라는 개념이 덴마크의 몰하브(Molhåve)에 의해 제안되었고, 그 개념은 실내에 존재하는 모든 휘발성 유기화합물 질 농도의 합계로서 특별히 알고 싶지 않은 물질을 포함한 경우에 이를 헥산(Hexane)에서 헥사데칸(Hexadecane)까지 검출되는 농도를 톨루엔에 대한 상당농도로 환산하여 표시하는 방법이다.

III. 연구 방법

1. 조사 방법

1) 설문 조사

자각증상 설문조사는 2005년 8월 3일부터 9월 7일까지 설문지를 이용한 자기기입식 방법으로 이루어졌다. 건축업 종사자 이외의 사무직 종사자 110명, 그리고 대조군으로서의 학생을 112명, 총 222명을 대상으로 자각증상에 관한 설문조사를 실시하였다.

설문지는 선행연구의 건축업 종사자와 비교하기 위하여 이전연구에서 사용된 MCS 판단 문진표를 그대로 사용하였다. 사용한 MCS 판단 문진표는 Iowa 대학에서 개발한 것으로 내용은 표2와 같다.⁴⁾ 이 문진방법에서는 접

표2. 설문 내용

일반 사항	성별, 나이, 교육척도, 업종근속기간, 근무부서/공종, 과거 및 현재병력
과민증 관련 사항	1.접할 때마다 과민해지는 물질이 있는지의 여부 2.과민해지는 물질은? 3.과민반응은? 4.과민에 대한 대책은?

할 때마다 과민해지는 물질이 있다고 대답한 응답자들 중에서 과민물질이 두 가지 이상, 과민반응이 두 가지 이상, 대응책을 한 가지 이상 답한 사람들을 MCS 환자로 판단한다.

2) 측정 조사

화학물질 폭로량 측정조사의 경우는 설문조사 대상자 이외의 사무직 종사자를 대상으로 13명을 섭외하여 2005년 8월 29일부터 9월 5일까지 일주일간 연속 측정하였다. 측정용 튜브는 24시간 항시 착용용, 사무실용, 주택용으로 개인당 3개의 튜브를 배부하였다. 결과적으로 총 39개의 튜브를 배부하였고 100% 회수하여 분석하였다.

측정방법은 passive charcoal tube를 이용한 자연채취 방법을 사용하였다. 개인당 3개씩 배부된 튜브 중, 1개는 일주일간 계속 몸에 착용하도록 하고 1개는 사무실, 1개

3) 일본건축학회, 김현중 역(2004). 새집증후군 대책의 바이블, 신진문화사

4) Donald W. Black, et.al.(2000), Multiple Chemical Sensitivity Syndrome: Symptom Prevalence and Risk factors in a military population, Arch Intern Med. 160:1169-1176

는 거주공간에 설치하도록 하였다. 사무실과 거주공간에 설치한 튜브는 조사대상자가 그 공간에 거주하고 있는 동안에만 채집하도록 하고 나머지 시간에는 알루미늄 튜브 백에 보관하도록 하였다. 그리고 24시간 착용하는 튜브의 경우 부득이하게 착용하지 못하는 경우에는 몸 주변에 두도록 당부하였다. 또한 피험자별로 측정된 농도에 영향을 미친 변수를 추측하기 위하여 측정기간 동안의 일일활동을 기록하는 다이어리를 작성하도록 하였다.

2. 자료 분석 방법

1) 설문 조사 분석

수집된 설문지는 Excel을 이용하여 단순 통계 및 빈도 분석을 행하였다. 피험자의 사회 인구학적 변인이나 그룹별로 MCS 자각증상에 차이가 있는지 분석하였으며, 또한 선행연구의 결과와도 비교분석하였다.

2) 측정 결과 분석

측정된 charcoal tube 39개와 보관/운반/설치과정에서 생길 수 있는 오염을 측정한 travel blank 3개, 튜브 자체 오염을 측정하기 위한 blank 3개를 합해 총 45개의 tube를 분석하였다. 분석결과 얻어진 농도는 측정기간인 1주일간의 평균농도이며 농도의 단위는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계산된다. VOCs는 charcoal tube에서 2ml의 carbon disulfide를 용매로 하여 진동을 주어 추출해냈다. 그리고 Gas Chromatograph(GC)로 분석되었다. 분석대상물질은 2~20 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 범위로 표준용액과 비교하여 조정되었고 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에서 정한 측정물질 6가지 즉, benzene, toluene, ethylbenzene, m.p-xylene, o-xylene, styrene을 분석하였으며, TVOC의 경우는 실내공기질 관리법에 의하여 헥산에서 헥사데칸에 이르는 화학물질을 톨루엔의 분자량으로 환산하여 계산하였다. 여기서는 패시브 샘플링 방법을 취했기 때문에 톨루엔의 분자량과 같다는 가정 이외에 모든 물질의 검출되는 검량선의 기울기 값이 같다고 가정한다.

IV. 연구 결과

1. MCS 자각증상 조사 결과

표3. MCS 자각증상 설문조사대상자의 일반적 특성

	사무직(n=110)	학생(n=112)
성별	남	39.1%(n=43)
	여	60.9%(n=67)
연령	30대 미만	71.8%(n=79)
	30대	17.3%(n=19)
	40대	6.4%(n=7)
	50대 이상	4.5%(n=5)
학력	고졸	10%(n=11)
	대졸	90%(n=99)
근속년수	5년 미만	71.8%(n=79)
	5년 이상~10년 미만	10%(n=11)
	10년 이상	18.2%(n=20)
과거병력	유	23.6%(n=26)
	무	76.4%(n=84)

성비는 선행연구⁵⁾와 비슷한 비율로 표집 되었으며, 두 그룹 모두 30대 이하가 가장 많았다. 조사결과 MCS환자로 분류되는 조사대상자수는 사무직이 26명(23.6%)이었고, 학생이 18명(16.1%)으로 나타나 사무직 종사자의 경우 선행연구의 26명(24.5%)과 거의 동일한 비율을 나타냈다. 따라서 선행연구에서 사무직 종사자가 내장직이나 외장직보다 화학물질 과민증 후보군이 많았던 것은 건설업 종사자이기 때문이 아니라 일반적인 사무직의 특성이라 말할 수 있는 것으로 나타났다.

2. VOCs 농도 측정 조사 결과

1) 측정 조사대상자의 일반적 특성

측정 조사 대상자의 일반적 특성은 표4와 같다. 측정 대상 13명의 성별은 남성 6명, 여성 7명으로 비슷한 비율의 성비로 표본추출 되었다. 피험자의 연령은 30대 1명을 제외하고 모두 20대 후반이었다. 피험자의 근속년수는 1년 미만이 6명이었고, 가장 기간이 오래된 사람은 5년 2

표4. 측정 조사 대상자의 일반적 특성

	성별	나이	근속년수	근로시간	사무실 건축년수	환기형태(사무실)	사무실 흡연가능여부	출퇴근 수단	주거형태	주택 건축년수
A	여	24	1	11	5	자연환기	X	버스	아파트	14
B	남	27	2	11	18	기계환기	X	지하철	아파트	5
C	남	29	3	8	4	기계환기	X	버스	다세대	3
D	여	23	1	10	3	기계환기	X	버스	주상복합	3
E	여	26	1	9	3	기계환기	X	지하철	아파트	30
F	남	27	3	12	5	자연환기	X	도보	다세대	1
G	여	31	3	13	18	기계환기	X	자가용	주상복합	3
H	여	27	3	10	20	기계환기	X	도보	빌라	4
I	여	31	6	9	14	기계환기	X	자가용	아파트	30
J	여	27	4	8	18	기계환기	X	자가용	아파트	6
K	남	28	1	10	14	기계환기	X	지하철	오피스텔	1
L	남	27	1	11	9	기계환기	X	도보	오피스텔	1
M	남	29	1	9	6	기계환기	X	지하철	오피스텔	1

개월이었으며, 평균 근속년수는 2.07년이었다. 사무실의 건축 년수는 3년에서 20년 사이로 나타났으며 평균 건축 년수는 10.5년이었다. 피험자의 근로시간 평균은 10.1 시간이었고, 근로시간이 가장 많은 사람은 13시간이며 가장 짧은 사람은 8시간이었다.

주택 내 VOCs의 발생량에 영향을 줄 수 있는 주택의 건축 년수를 살펴보면 평균 7.8년 이었으나 이는 E와 L의 건축 년수가 오래되었기 때문이고 A와 E, L을 제외하고는 10년 미만이었다.

피험자는 대부분의 시간을 주택이나 사무실에서 체재하고 있었으며, 거의 모든 피험자가 업무 중에 장시간 동안 컴퓨터를 사용하고 있었다.

MCS 자각 증상에 대해서는 앞의 설문조사와 같은 설문지로 피험자를 조사해 본 결과, 총 13명 중 과민하게 반응하는 물질이 있다고 대답한 피험자는 4명이었고, 이

5) 성기철 외 3인(2005), 전계서

중 피험자 F만이 MCS환자 후보군으로 판단되었다.

2) 일상생활 전체의 평균 VOCs

일주일간의 일상생활에서 피험자가 노출된 평균 TVOC 농도는 그림1과 같다. 이는 주택이나 사무실은 물

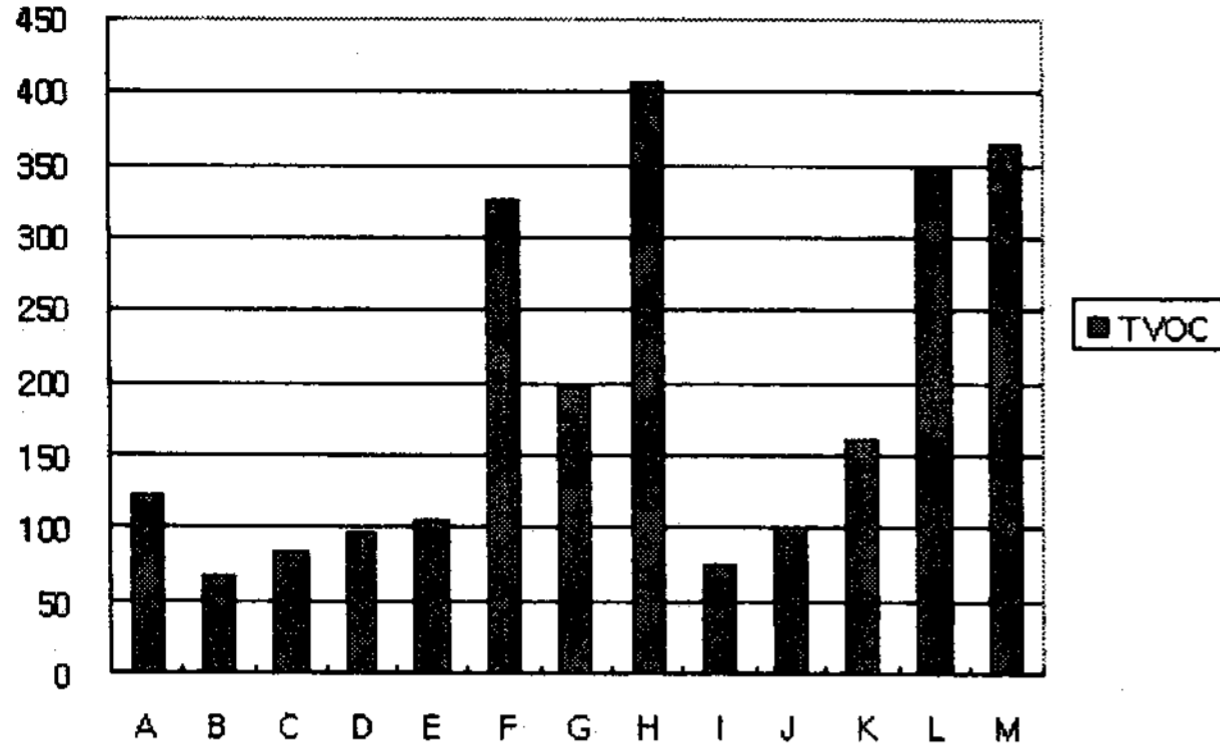


그림1. 피험자의 일상생활 전체의 TVOC 농도

표5. 피험자의 일상생활 평균 VOCs 농도(μg/m³)

	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	M,P-Xylene	O-Xylene	Styrene	TVOC
A	n.d	24.95	9.70	1.49	3.48	0.96	122.19
B	n.d	30.28	16.31	0.82	0.75	4.67	67.85
C	n.d	28.68	14.93	1.22	5.45	0.78	84.02
D	n.d	46.98	10.08	20.84	0.78	6.38	96.62
E	9.43	47.20	6.53	11.40	0.78	4.20	103.95
F	12.07	122.89	8.41	21.34	1.14	6.68	314.17
G	8.86	35.58	9.66	19.87	0.78	6.82	197.54
H	5.64	62.20	12.31	20.08	1.19	7.07	405.71
I	n.d	17.60	3.17	4.73	0.77	2.05	74.97
J	2.99	26.97	6.87	12.60	1.31	4.77	101.36
K	3.30	64.27	9.15	16.36	1.57	5.04	162.03
L	8.09	118.36	17.69	44.99	2.69	17.58	348.67
M	n.d	72.16	9.12	14.62	1.85	5.06	362.84

론, 교통수단, 옥외 공간 등 모든 생활공간을 통틀어 평균 된 값이다. 피험자의 일상생활에서의 VOCs 개별물질의 농도는 표5와 같다.

3) 주택 내 VOCs 농도

주택 내 TVOC 농도를 살펴보면 그림2와 같다. C, F, G, L의 4사례가 WHO의 실내장기폭로목표치(Target Guideline)의 TVOC 목표 값인 300μg/m³을 초과하고 있다. 이중 1년 미만의 신축주택은 F, L이었는데, 건축 년수가 오래될수록 TVOC의 농도는 감소하고 있었다. 각 물질별로 화학물질 농도를 살펴보면 표6과 같은데, 대체적으로 다른 물질보다는 톨루엔의 농도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 톨루엔의 발생원은 실내 어디에나 있을 수 있는 요소이기 때문이다.⁶⁾

3) 사무실 내 TVOC 농도

사무실내 TVOC 농도는 그림3과 같다. 300μg/m³을 넘어선 사무실은 A, F, G, I, J, M의 총 6 곳의 사무실이였다. M의 경우 TVOC의 농도가 2100μg/m³로 상당한 양에 이르고 있었다. 이는 컴퓨터나 프린터 등 사무기기의 사

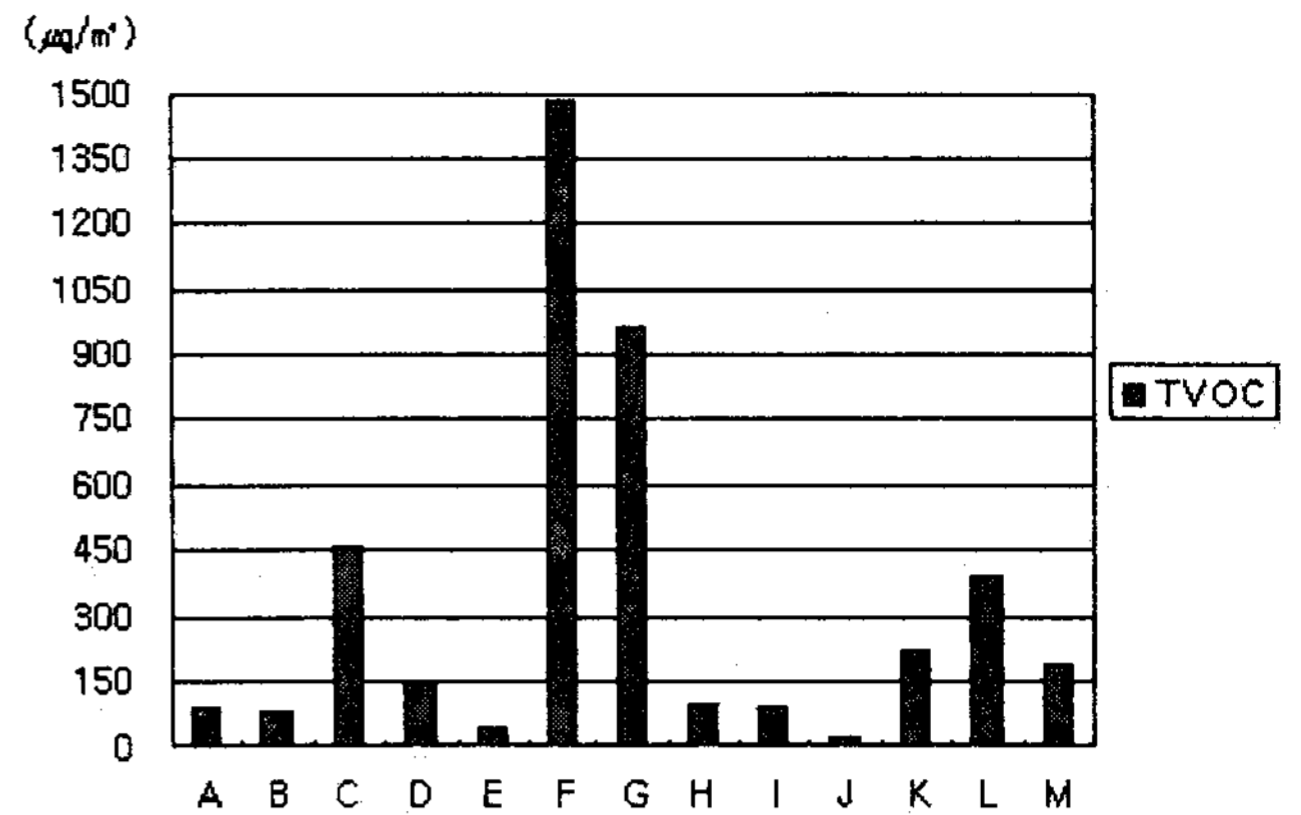


그림2. 피험자의 주택 내 TVOC 농도

표6. 주택 내 VOCs 개별 농도(μg/m³)

	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	M,P-Xylene	O-Xylene	Styrene	TVOC
A	17.49	22.50	4.24	5.42	2.23	3.04	87.58
B	23.48	33.71	7.97	12.72	2.24	4.94	85.74
C	n.d	14.18	2.78	2.98	1.99	1.60	454.85
D	7.52	51.42	14.97	30.36	1.85	9.19	143.43
E	8.51	30.46	3.42	4.92	1.52	2.50	44.33
F	34.47	736.92	44.46	143.92	5.25	41.46	1487.69
G	6.53	29.39	10.01	17.52	2.02	6.41	961.98
H	5.64	43.81	16.61	2.46	5.88	1.47	96.83
I	14.62	17.46	3.25	4.73	1.81	2.32	94.24
J	8.03	13.02	2.50	2.96	1.71	1.96	24.90
K	n.d	91.37	13.71	25.21	1.44	7.50	219.76
L	n.d	135.45	17.41	47.70	1.98	3.10	385.30
M	n.d	95.83	14.82	22.97	1.74	8.10	191.37
일본 guide		260	380	870	230		

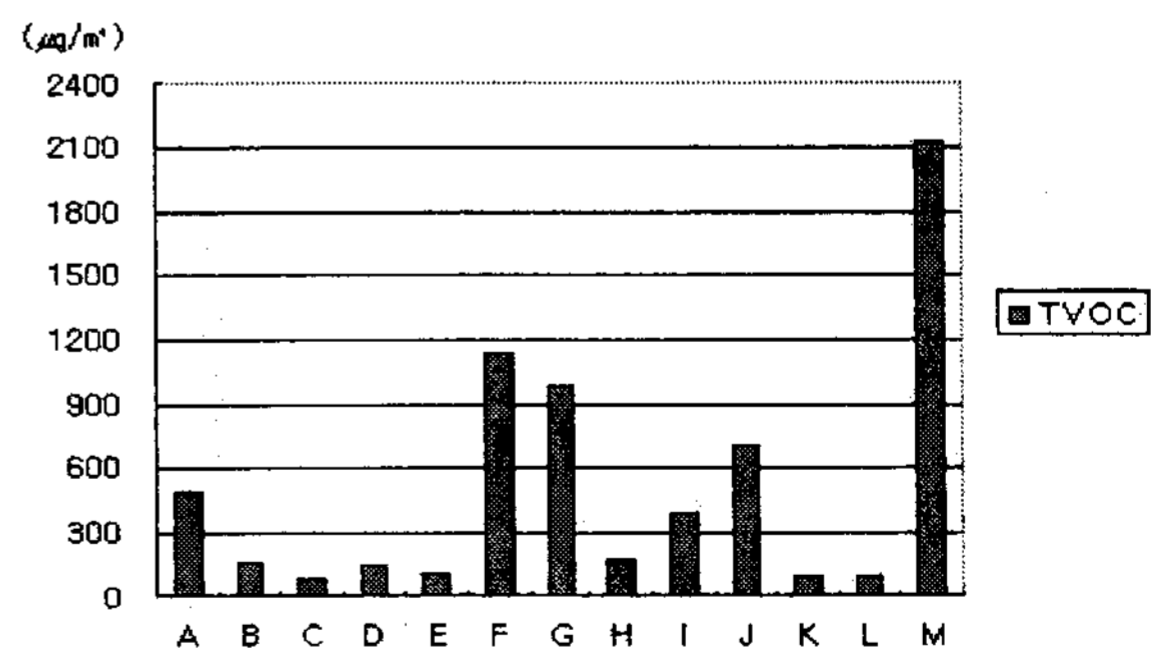


그림3. 사무실 내 TVOC 농도

6) Brown SK(1994), Concentration of volatile organic compounds in

indoor air-a review, Indoor Air, vol. 4, pp.123-134

표7. 사무실 내 VOCs 개별농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	MP-Xylene	O-Xylene	Styrene	TVOC
A	12.74	94.36	13.66	20.12	3.97	8.62	485.09
B	0.50	63.66	33.25	2.84	2.16	9.92	158.21
C	n.d	40.46	24.53	2.44	10.36	2.19	86.73
D	10.85	76.80	9.20	21.19	2.67	8.50	144.18
E	9.30	50.43	6.94	11.84	2.45	5.29	116.82
F	19.62	500.83	33.89	85.09	5.84	26.17	1135.19
G	22.18	59.05	11.89	23.71	2.97	11.56	990.91
H	27.63	71.45	11.65	14.97	2.39	6.08	180.42
I	n.d	53.39	8.80	10.46	3.11	5.01	382.77
J	9.43	26.86	6.46	11.15	1.60	4.79	696.37
K	23.03	44.84	6.26	8.85	5.37	4.33	98.95
L	7.36	40.82	10.39	19.01	3.68	6.69	96.83
M	20.83	144.96	11.57	21.09	2.93	8.21	2126.26
일본guide		260	380		870	230	

용이 많고 피험자의 인터뷰 결과 환기가 잘 되지 않기 때문인 것으로 추정되어진다. M의 TVOC 농도는 WHO 기준치의 7배에 해당하는 수치이다. F와 G 또한 $900\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 넘는 농도를 보이고 있다. F의 경우는 사무실 공간이 협소한 데 비해 재실자가 많고 사무기기가 많은데다가 정규근무시간 이후는 흡연이 가능하고 별도의 기계 환기 없이 자연환기에 의존하지만 냉방비의 절약 등의 원인으로 환기 행위를 적극적으로 하지 않기 때문에 TVOC의 농도가 높은 것으로 보인다.

주택과 사무실의 TVOC 농도를 비교하면 그림4와 같다. C, F, K, L을 제외한 나머지 피험자의 경우는 사무실의 VOCs 농도가 주택 내 농도보다 높았다. 이를 통하여 전반적으로 주택보다는 사무실의 VOCs의 농도가 높으므로 볼 수 있으며, 이는 컴퓨터나 복사기 등 사무기기의 영향으로 추정되어진다.

피험자의 사무실내 방출되는 개별 화학물질의 농도는 표7과 같다. 사무실내 화학물질의 농도를 살펴보면 주택내 농도와 마찬가지로 다른 화학물질보다 톨루엔의 비중이 높았다.

4) MCS 자각증상보고와 VOCs 폭로량과의 관계

아이오 대학에서 실시한 MCS 발병정도에 관한 연구를 바탕으로 MCS로 판단할 수 있는 피험자는 F였으며, F의

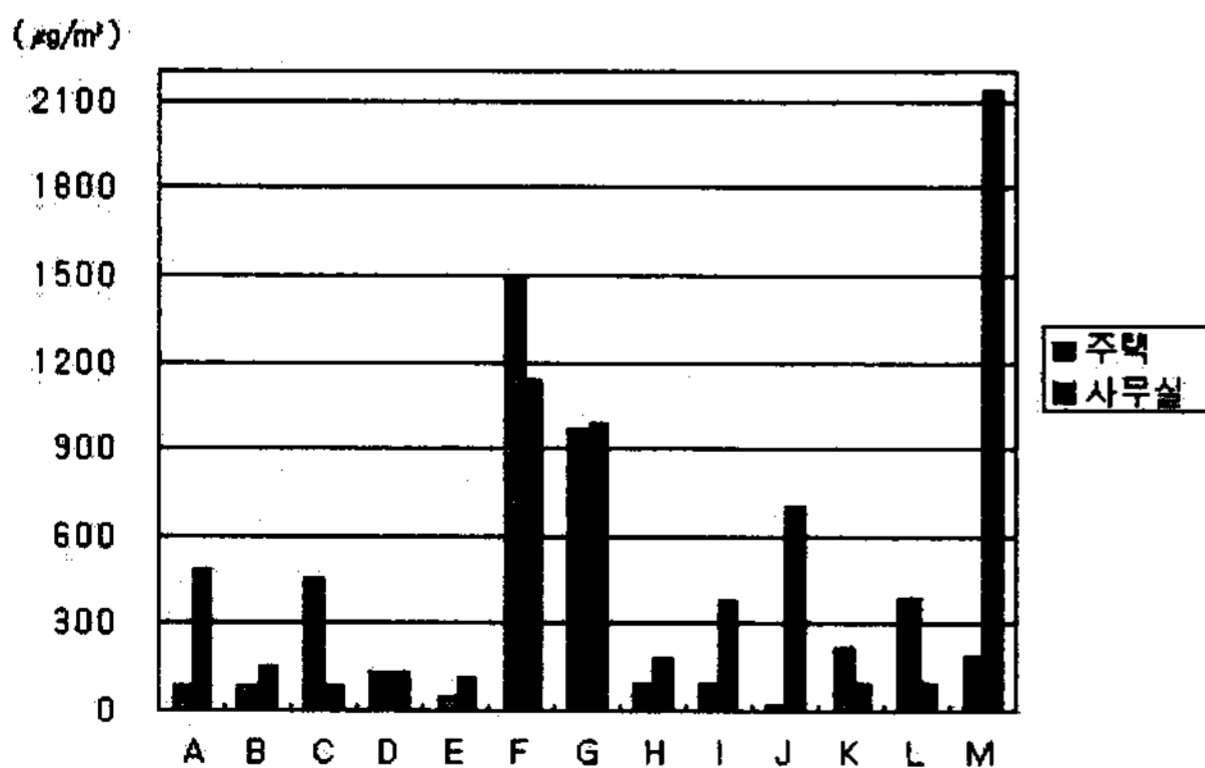


그림4. 피험자별 주택과 사무실내의 TVOC 농도

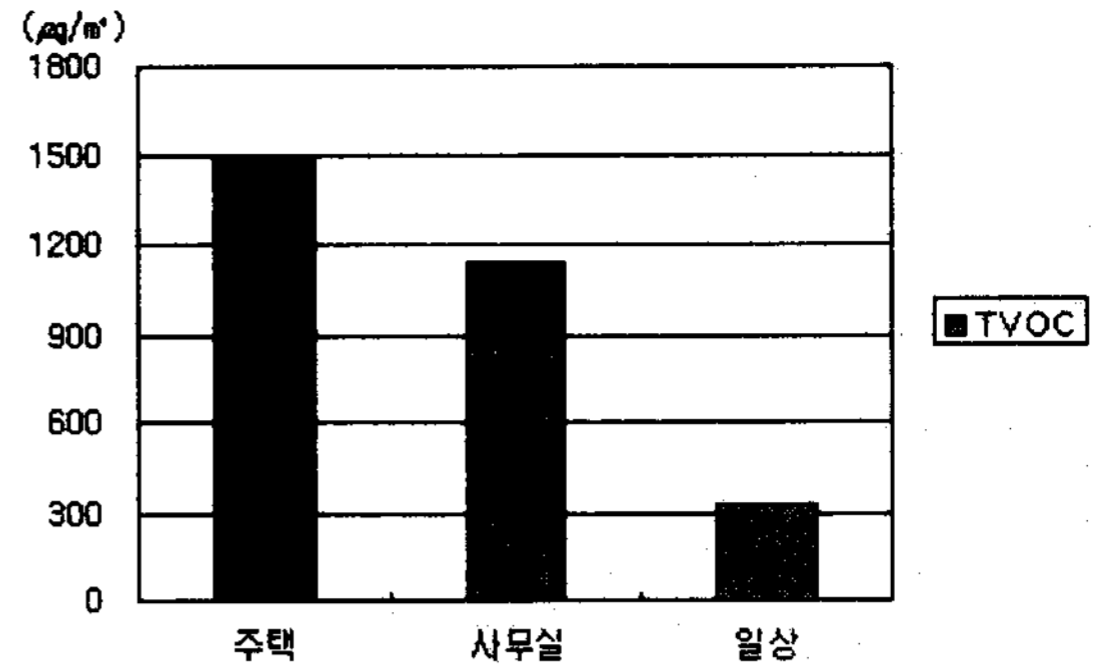


그림5. F의 생활공간별 TVOC 농도

생활공간별 TVOC 발생량은 그림5와 같다. 피험자 F는 주택과 사무실뿐만 아니라 일상생활에서도 높은 농도의 VOCs에 노출되고 있었다. 특히 주택과 사무실의 TVOC는 WHO의 권고치 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 4~5배에 가까운 수치였으며 다른 피험자들보다 월등히 높았다. 생활면에서도 주 4회의 회식자리를 가지는 것으로 나타나 이러한 요인도 높은 농도에 기여한 것으로 보인다. 또한 toluene의 경우도 일본의 가이드라인⁷⁾인 $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 주택과 사무실에서 모두 넘어서고 있는 등 개별 화학물질분석에서도 위험정도가 심각한 것으로 나타났다.

3. 벤젠에 의한 발암 위험성 평가

1) 위험성 평가 방법

본 연구의 VOCs 분석에서 정량 분석된 benzene 농도를 이용하여 노출량을 계산하였다. 흡입 노출로 인한 벤젠의 단위 위험도 추계를 위해서는 US EPA의 IRIS 자료와 벤젠의 발암 영향에 대한 보고서 자료를 사용하였다.

단위 위험도는 건강한 성인이 임의의 오염물질(단위 농도 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 오염된 대기질에 평생 동안-본 연구에서는 70년-노출되어 생활할 때 이로 인해 발생할 수 있는 초과발암확률로써, 발암성 용량-반응 평가를 통하여 얻어진 발암력과 성인 평균 체중 및 일일 호흡률을 고려하여 산

표8. 벤젠의 발암력 및 단위 위험도

오염물질	용량-반응 모델	발암력 ($(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})^{-1}$)	단위위해도 ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$)
벤젠	Low-dose linearity utilizing maximum likelihood estimates (Crump, 1994)	$6.66 \cdot 10^{-3}$	$9.57 \cdot 10^{-6}$
		$2.34 \cdot 10^{-2}$	

$$\text{단위위해도}((\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}) = \frac{\text{발암잠재력}(\text{mg}/\text{kg}/\text{day})^{-1} \times \text{일일호흡률}(\text{m}^3/\text{day})}{\text{체중}(\text{kg}) \times \text{단위환산계수}(1000\mu\text{g}/\text{mg})} \quad (\text{식 } 1)$$

출된다(식 1). 본 연구에서의 단위 위험도는 표8과 같은데 일일호흡률은 $20\text{m}^3/\text{day}$, 한국 성인 평균 체중은 60kg

7) 실내 환경 중의 VVOCs / VOCs 의 개별물질 가이드라인 (2000), 일본

으로 고려하여 산출하였다.

이론적 사망자수 추정은 환경 중 오염농도에 용량-반응 함수로부터 얻어진 단위 위해도를 곱하고, 이렇게 구해진 위해도에 노출인구수를 곱하여 추정하였다. 단 단위 위해도 추정 시, 단위농도에 평생 동안 노출 될 때를 기준으로 추정된 것이기 때문에 70년을 나누어 1년 동안 발생할 수 있는 초과발암 위해도로 환산하여 이론적 사망자수를 추정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{벤젠으로 인한 암 발생 이론적 사망자수} && \text{(식 2)} \\ & = \text{벤젠의 농도}(\mu\text{g}/\text{m}^3) \times \text{벤젠의 Air unit risk}((\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}) \\ & \div 70(\text{year}) \times \text{노출 인구수} \end{aligned}$$

2) 위해성 평가 결과

본 연구에서 측정된 피험자의 벤젠 노출량은 0.1~34.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보이고 있다. 벤젠의 농도는 전체적으로 보았을 때 사무실>주택>일상생활의 순을 보이고 있었다.

이론적 사망자 수 추정을 위해서는 벤젠으로 인한 발암 인체 영향 정도가 필요했는데, US EPA에서 제공하는 발암력을 사용하였다. 벤젠의 발암력은 Rinsky⁸⁾ 등의 역학연구의 결과를 토대로 하여, Crump⁹⁾가 외삽법을 사용하여 추정했던 값을 사용하였다.

벤젠에 의한 위해도는 표9와 같다. 13명의 피험자에 대한 개인 위해도는 $1.37 \times 10^{-8} \sim 1.65 \times 10^{-6}$ 의 분포를 이루고

표9. 벤젠으로 인한 이론적 사망자수 추정

	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	단위위해도	개인 위해도(mean)		Annual Population Risk(명/년)
			annual	lifetime	
일상 생활	7.20	9.57×10^{-6}	9.83×10^{-7}	6.89×10^{-5}	2.62

있었고, 평균 9.83×10^{-7} 이었다. 이는 사무직 종사자가 2,664,000명(통계청, 2005)이라고 할 때, 벤젠으로 인한 이론적 사망자수는 2.62명으로 추정된다고 볼 수 있는 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 사무직 종사자를 대상으로 화학물질과 민증 자각증상에 대한 설문조사와 일주일간의 평균 유기화합물질 폭로량 및 주택과 사무실의 유기화합물질 평균 농도를 측정하였고, 이를 바탕으로 벤젠에 의한 발암위

해성 평가를 실시하였다. 그 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출해낼 수 있었다.

- 사무직 종사자를 대상으로 화학물질과민증 자각 증상을 조사한 결과, 사무직 종사자는 건축업 종사자의 내장직이나 외장직, 그리고 학생보다 화학물질과민증의 후보군이 많은 것으로 나타났다.
- VOCs 농도 측정 결과, 사무실의 VOCs 농도가 주택보다 높았으며, 이는 컴퓨터나 사무용기기의 영향을 많이 받는 것으로 보인다.
- 주택과 사무실 양쪽 모두 실내공기 중 VOCs 농도가 높고, 잦은 술자리로 인한 담배연기 등의 폭로도 빈번한 조사대상자는 화학물질과민증의 증상을 나타냈다.
- 우리나라 사무직 종사자가 일상생활에서 노출되는 벤젠에 의한 발암으로 사망하는 이론적 사망자 수는 2.62명/년으로 나타났다.

참고 문헌

1. 김은정(2004), 건설업종사자의 직군별 화학물질과민증 자각 실태와 VOCs 농도에 관한 연구, 연세대학교 생활환경대학원
2. 성기철 외 3인(2005), 건설업종사자의 직군별 화학물질과민증 위해성 평가에 관한 연구, 한국주거학회학술발표논문집, 16권, pp295-300
3. Brown SK(1994), Concentration of volatile organic compounds in indoor air-a review, Indoor Air, vol. 4, pp.123-134
4. Donald W. Black, et.al.(2000). Multiple Chemical Sensitivity Syndrome; Symptom Prevalence and Risk factors in a military population. Arch Intern Med. 160:1169-1176
5. 실내 환경 중의 VVOCs / VOCs 의 개별물질 가이드라인 (2000), 일본
6. Rinsk. R. A(1987), Benzene and Leukemia: An Epidimiologic Risk Assessment, New England Journal of Medicine, vol. 316, pp.1044-1050
7. Crump, K. S(1994), Risk of Benzene-induced Leukemia: A Sensitivity Analysis of the Pliofilm Cohort with Additional Follow-up and New Exposure Estimates, Journal of Toxicology and Environmental Health, vol. 42, pp.219-242

8) Rinsk. R. A(1987), Benzene and Leukemia: An Epidimiologic Risk Assessment, New England Journal of Medicine, vol. 316, pp.1044-1050

9) Crump, K. S(1994), Risk of Benzene-induced Leukemia: A Sensitivity Analysis of the Pliofilm Cohort with Additional Follow-up and New Exposure Estimates, Journal of Toxicology and Environmental Health, vol. 42, pp.219-242