

소규모 세탁소의 휘발성유기화합물 발생 특성과 종사자의 건강에 미치는 영향

박옥현^{1*} · 이경석¹ · 민경우¹ · 조광운¹ · 윤관주¹ · 정원삼¹ · 조영관¹ · 김은선¹ · 양진석²

¹광주광역시보건환경연구원, ²대한산업보건협회 광주보건센터

Generating Characteristics of VOCs in a Commercial Laundry Shop and the Effects on the Health of Workers

Ok-Hyun Park^{1*} · Kyoung-Seok Lee¹ · Kyoung-Woo Min¹ · Gwang-woon Cho¹
Kwan-Ju Yoon¹ · Won-Sam Jeong¹ · Young-Gwan Cho¹ · Eun-Sun Kim¹ · Jin-Seok Yang²

¹Public Health & Environment Research Institute of Gwangju

²Korea Industrial Health Association

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to evaluate the generating characteristics of VOCs and the exposure effect to chemicals among laundry workers and to identify the current status of occupational safety and health through health check-ups.

Methods: During the six-month period from April to September 2015, this study quantitatively measured seven VOCs in ten laundries and carried out health examinations on 35 workers.

Results: Comparing the monitoring results for the ten laundries, they were classified into three groups by ventilation system, dry-cleaning and size of shop. The average concentration of toluene, chlorobenzene, xylene, ethylbenzene, benzene, styrene and TCE were 23.9, 15.6, 5.5, 2.8, 0.9, 0.3 and 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. During dry-cleaning, VOC concentrations were 1.3-8.9 times higher than usual. On the other hand, at night the concentrations of toluene, chlorobenzene, xylene, ethylbenzene, benzene, styrene and TCE were 64.3, 41.5, 12.2, 6.3, 1.1, 1.2 and 6.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The health checkup results for the 35 workers showed that 13 workers were diagnosed as normal, while 22 workers were diagnosed as requiring continuous monitoring or re-checkup of liver and hematogenous functions.

Conclusions: Although the results of exposure evaluation to VOCs did not exceed reference value and items had a low correlation with health checkup items, it is necessary to improve indoor air quality due to VOC volatilization from clothes.

Key words: dry-cleaning, indoor air quality, laundry, personal exposure, VOCs

I. 서 론

실내 환경관리는 건강향상, 정신적 안정, 편리하고 쾌적한 생활 등을 위해 필요하다(Lee, 2003; Park, 2013). 또한 현대사회에서는 하루 생활 중 90% 이상을 실내공간에서 생활하고 있어 실외 대기오염의 영

향보다는 실내에서 발생하는 오염물질이 인체에 많은 영향을 미치고 있으며, 실내오염 물질에 의한 피해 정도는 실외에 비해 매우 높은 수준으로 나타나고 있다(Kim et al., 2004; Lee, 2004). 실내공기질의 오염원은 취사, 난방을 위한 화석연료의 연소뿐만 아니라 실내 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물

*Corresponding author: Ok Hyun Park, Tel: 062-613-7613, E-mail: ok6854@hanmail.net

Public Health & Environment Research Institute of Gwangju, 149 hwajeong-ro, Seogu, Gwangju city 61986

Received: March 7, 2016, Revised: April 11, 2016, Accepted: April 26, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(Volatile Organic Compounds, VOCs)이 대표적이다. 실내에서 VOCs를 많이 배출되는 시설로 인쇄소와 세탁시설이 있다(Choi, 2004). 세탁시설은 유기용제 또는 세제를 사용하여 의류, 기타 섬유제품을 원형 그대로 세탁하는 것을 말하여 유기용제 종류로는 퍼클로로에틸렌, 트리클로로에탄, 불소계, 석유계 용제가 있다(Choi, 2004).

2013년 기준으로 국내 세탁업소는 전국 35,775개이며 종사자는 64,626명이다. 세탁업소 중 96.6%인 34,565개 사업장이 가정용 세탁업으로 55,979명이 종사하고 있으며, 가정용 세탁업은 용량이 10 kg 미만이고 1~4명 운영하는 하는 곳이 전체의 99.2%로 대부분 소규모로 운영되고 있다(Statistics Korea, 2015). 그리고 가정용 세탁업소는 약 95% 이상이 세탁 용제로서 석유계 용제(솔벤트)를 사용하고 있다(An et al., 1994; Kim et al., 2002).

석유계 용제를 사용한 드라이클리닝 과정 중 VOCs는 건조공정에서 82%, 세탁공정에서 2%, 용제 순환 여과공정에서 16%가 생성되어진다(Kim et al., 2002). 세탁소에서 작업자들이 일반적으로 수행하는 작업은 드라이클리닝 및 부분 얼룩제거, 일반 세탁기를 가동하는 세탁, 다림질과 그 외에 간단한 의류 수선작업 등을 들 수 있는데 드라이클리닝과 부분 얼룩제거시에는 VOCs에 종사자들이 노출되는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2012).

현재 시판되는 석유계 세탁용제에는 VOCs 규제대상 물질 37종 중 휘발유, 납사, 원유와 같은 혼합물 및 단일 물질로서 인체에 유해한 발암물질인 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등이 포함되어 있다(Jo & Kim, 2001). 이 중 일부는 피부접촉을 통해 50% 정도는 호흡을 통해 인체에 흡수되며, 장기노출시 조혈기능 장애, 피부 및 안점막 자극, 호흡기 장애 등 인체에 유해한 결과를 초래하고, 백혈병, 임파암과 혈액암 등의 발생률을 증가시키며, 신장염 · 요독증 · 급성신경장애 · 소화기장애 등의 원인이 되는 것으로 알려져 있다(NIOSH, 1977; Kim et al., 1996; Cho et al., 2003).

우리나라와 비슷하게 90% 이상 석유계 용제를 사용하는 일본은 각 지방자치단체에서 상황에 맞는 각기 다른 기준과 방법으로 세탁업소를 규제대상으로 하고 있다. 다만 역시 15 kg이상의 석유계 용제 세탁

기에 대해 85% 이상의 회수효율을 갖는 시설 설치를 의무화하고 있다(Kim et al., 2002). 반면 우리나라에서는 세탁시설에서 배출되는 VOCs는 공중위생관리법 시행규칙에 의해 세탁용량이 30 kg이상의 경우에만 국민건강에 유해한 물질이 발생되지 않도록 시설물을 설치하도록 의무화하였다. 또한 5인 미만의 제조업 영세사업장에 대한 작업환경측정이 실시되고 있지만 세탁업소와 같이 2인 이하의 소규모 서비스 사업장에 대해서는 환경관리가 미흡한 실정이다(Roh et al., 2001; Jong & Jong, 2002; Sun & Lee, 2007).

따라서 본 연구에서는 소규모 세탁소를 대상으로 드라이클리닝 공정에서 발생하는 VOCs를 하루 시간 대별로 농도를 조사하고 종사자들의 특수건강검진을 실시하여 건강상태를 파악하고 실내공기에 오염되어 있는 물질과 건강과의 상호관계를 확인하여, 향후 세탁소의 관리 정책 방향에 활용할 수 있도록 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 기간

본 연구 중 건강검진은 세탁업중앙회 광주지부 회원 중 35명에 대해 산업안전보건법 시행규칙 제100조 5항과 관련하여 특수건강진단 · 배치전건강진단 · 수시건강진단의 제 1차 검사방법에 따라 진행하였다. 유해인자 항목으로는 Toluene, Chlorobenzene, Xylene, Ethylbenzene, Benzene, Styrene을 선정하였다. 건강검진 대상자는 남자 27명, 여자 8명이며, 40대 4명, 50대 24명, 60대 이상이 7명이었으며, 세탁소 운영기간으로는 10~20년이 17명, 20년 이상이 18명으로 분류되었다. 건강검진을 실시한 회원 중 실내 유해물질 측정에 동의한 세탁소 10개소를 선정하여 2015년 4월부터 9월까지 유해인자 항목인 Toluene 등 6종과 TCE(trichloroethylene)에 대한 농도를 측정하였다. 또한 환기능력에 따른 실내공기질 농도를 파악하기 위해 환기설비, 위치, 체적, 드라이클리닝 횟수 등에 대한 정보를 수집하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

세탁소 내 시료채취 장소는 세탁용제에 의해 VOCs가 많이 발생하는 드라이클리닝기 앞과 하루 중 종사

자 많은 시간동안 세탁작업을 하는 작업대 2지점을 선정하여 아침 8시부터 다음날 새벽 6시까지 1시간 간격으로 시료채취를 실시하였다. 공기포집은 스테인레스 스틸 재질의 tenax 흡착관(1/4 inch O.D. × 3 1/2 inch long)으로 사람의 키를 고려한 지상 1.5 m 지점에서 시료채취기(Σ-30, Sibata, Japan)를 사용하여 0.1 mL/min으로 60분동안 흡착시켰다. 시료채취 후 시료는 반드시 PTFE 패킷을 이용하여 밀봉한 후 운반하였으며, 분석 전까지는 냉장보관하였다.

유기용제 분석은 열탈착장치(TD : Thermal Desorption, Markes, U.K)가 직접 연결된 가스크로마토그래피/질량분석기(6890N, Agilent, U.S.A) 시스템을 사용하였으며, 분석조건은 Table 1과 같다. 기기 분석용 가스는 헬륨(99.999%)을 사용하였다.

VOCs는 표준물질(50 ng, 100 ng, 200 ng, 400 ng)을 이용하여 검량선을 작성하였으며 결정계수(R²)는 0.99 이상이었다. GC/MS에 의한 VOCs의 재현성은 머무름 시간에 대한 상대표준편차가 0.2% 이하, 피크면적에 대한 상대표준편차는 8.0% 이하로 재현성이 있게 나타났다. 주요 VOCs 방법검출한계는 Benzene 0.32~0.61 µg/m³, Toluene 0.41~3.28 µg/m³, Ethylbenzene 0.24~0.65 µg/m³로 분석되었으며, 열탈착 장치의 회수율로 90~100%로 양호하게 나타났다.

3. 건강검진 및 분석방법

유해항목에 대한 임상검사에는 조혈기계와 간담도계로서 혈액을 이용하여 분석을 실시하였다. 간담도계 검사항목인 GOT, GPT, r-GTP는 혈액 채혈 후 응고시켜 3000 rpm으로 10분동안 원심분리하여 전처리된 혈액 상층의 혈청으로 임상화학 자동분석장비(AU2700 Olympus, Beckman Coulter, Japan)를 사용해 비색법(광전비색법)으로 측정하였다. 조혈기계 항목은 혈액이 응고되지 않도록 EDTA가 포함된 Tube에 채혈을 하여 수회 mix 한 후 자동혈구계산장비(XE-2100D, Sysmex, Japan)를 이용해 측정하였다. 생물학적 노출지표 검사로는 소변 중 마노산(hippuric acid)과 메틸마노산(methyl hippuric acid) 함량을 분석하였다. 이때 사용한 분석기기는 고속액체크로마토그래피(HPLC, Dionex U-3000)로서 컬럼은 Atlantis C₁₈ Column, 4.6 mm×150 mm, 온도는 40℃, 유량은 1.5 ml/min, 이동상은 20 mM KH₂PO₄(pH 3.25), Acetonitrile(85 : 15), Detector는 UV로 225 nm에서 분석하였다.

4. 자료분석

실내공기중 주요유기용제 농도의 자료 정리 및 통계분석은 SPSS(ver. 18.0)을 이용하였다. 세탁소의 유

Table 1. The analysis conditions of TD and GC/MS

	Parameter	Condition
TD(Markes)	Desorption temperature	270℃
	Desorption time	8 min
	Cold trap	Hydrophobic(tenax/carbopack B)
	Cold trap low temperature	50℃
	Cold trap high temperature	300℃
	Cold trap hold time	3 min
	Transfer line temperature	150℃
	In split	50 : 1
Agilent GC/MS	Column	DB-1(60 m × 0.32 mm × 3.0 µm)
	Carrier gas and flow	He(99.999%), 1.0 mL/min
	GC temperature program	40℃(5 min) → 5℃/min → 250℃(4 min)
	Detector type	EI(quadrupole)
	MS source temperature	230℃
	Electron energy	70 eV
	Mass range	35~350 amu

기용제의 농도는 산술평균과 기하평균으로 나타내었고 세탁소별 농도분포는 계층적 군집분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 작업환경에 따른 VOCs 배출 특성

세탁소 10개소에 대해 크기, 작업시간, 창문갯수, 드라이클리닝횟수, 건물위치 층수, 운영기간에 대한 조사결과 및 VOCs 7종 농도 합계를 Table 2에 나타내었다. 합계 VOCs 농도는 17.88~80.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 작업시간은 12~14시간 내외였다. 세탁소의 크기는 95~158 m^3 으로 소규모였으며 하루 중 드라이클리닝 횟수는 최대 3회 까지 실시하였다. 그리고 세탁소는 쉽게 접근할수 있도록 8개소가 1층에 있으며 지하와 2층에도 각각 1개소가 위치하고 있다. 그리고 환기를 시킬수 있는 창문은 출입문을 포함해서 1~5개였으며 창문의 크기는 다양하였다. 본 연구기간이 4월에서 9월까지로 모든 세탁소에서 종사자의 건강을 위해 모든 창문을 개방하여 환기를 시키면서 세탁을 실시하여 환기량을 측정할 수가 없어서 창문의 개수만을 고려하였다.

세탁소의 환경조사 항목인 합계 VOCs, 작업시간, 창문의 개수, 크기 등 변수에 따른 그룹별 분류를 SPSS의 Dendrogram을 사용하여 Figure 1에 나타내었다. 총 3그룹으로 구분하였을 때 1그룹은 B, I, G, J 세탁소로 합계 VOCs 농도가 중간그룹의 세탁소들이었고, 2그룹은 가장 높은 농도를 나타낸 E 지점을

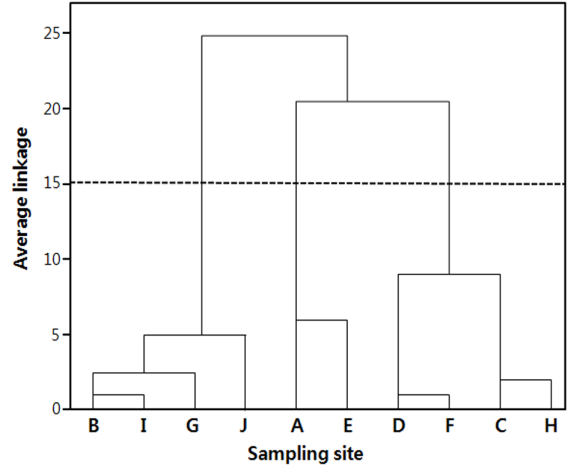


Figure 1. Dendrogram using average linkage(between groups) for 10 laundry shops

포함한 A 세탁소로 높은 농도 그룹이고, 3그룹은 가장 낮은 농도로 측정된 D세탁소를 포함하여 F, C, H로서 낮은 합계 농도 분포를 나타냈다. 가장 낮은 합계 농도를 보인 3그룹은 드라이클리닝 횟수가 1~3회, 세탁소 체적은 세 그룹 중 두 번째로 넓은 면적이었다. 또한 창문의 개수도 1~5개로 H 지점을 제외하면 환기할 수 있는 창문의 개수가 다른 그룹에 비해 많았으며 이에 따라 VOCs 농도의 분포가 다른 그룹에 비해 낮게 나타난 것으로 판단된다. 3그룹 중 H 지점의 경우는 세탁소가 지하에 위치하고 있어 자연환기가 어렵다. 하지만, 드라이클리닝기와 세탁물 건조기에 강제 대기배출시설이 설치되어있고 세탁소 내부에 일정한 간격으로 설치된 환풍시설이 24시간

Table 2. Sum of VOCs and conditions of laundry shop according to group

Group	Site	Sum of VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Working time(Hours)	No. Windows	Size(m^3)	No. Drycleaning/day	Location (Floor)	Period of working(years)
1	B	51.24	12	2	97	2	1	25
1	I	50.01	14	3	99	2	1	20
1	G	54.25	12	3	95	1	1	38
1	J	71.25	12	2	100	1	1	21
2	A	64.03	12	1	139	3	1	26
2	E	80.52	12	2	158	3	2	30
3	D	17.88	14	4	148	1	1	30
3	F	25.25	14	5	150	2	1	20
3	C	39.81	14	3	120	2	1	27
3	H	37.41	14	1	130	3	-1	14

Table 3. Concentration of major VOCs in 10 laundry sites

Items	Mean	Range	Median	95% CI*	(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
					N
Benzene	0.97	ND~5.02	0.68	0.13	244
Toluene	23.92	0.56~312.81	15.03	4.10	244
Chlorobenzene	15.64	ND~207.09	3.01	3.60	244
Ethylbenzene	2.86	ND~22.02	2.12	0.32	244
Xylene	5.51	ND~35.37	4.29	0.60	244
Styrene	0.34	ND~4.39	0.00	0.10	244
TCE	1.32	ND~68.09	0.00	0.72	244

*Confidence interval

가동되어 실내공기를 외부로 배출시켜 VOCs 농도가 낮은 것으로 판단된다.

반면 합계 VOCs의 농도가 높게 나타난 2그룹은 세탁소 면적은 다른 그룹에 비해 크지만 환기가 가능한 창문이 1~2개 이다. 특히 유기용제가 실내에 방출될 가능성이 있는 드라이클리닝을 실시하는 횟수가 하루 평균 3회로 가장 많았다. 1그룹의 경우에는 2, 3그룹과 달리 규모가 작아서 실내에 휘발된 유기용제가 많이 분포 될 수 있지만 환기 할 수 있는 창문의 개수가 2~3개로 2그룹 많아 합계 VOCs 농도는 낮게 분포되었으며 세탁소내 휘발된 유기용제는 드라이클리닝의 횟수에 따라 증가하며 창문 개방에 따른 환기 유무에 따라서 농도의 차이가 있는 것으로 판단된다.

2. 작업시간 VOCs 발생 특성

세탁소 10개소에 대해 하루동안 발생하는 VOCs 평균 농도를 Table 3에 나타내었다. 가장 높게 나타난 항목은 Toluene으로 $23.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, Chlorobenzene이

15.64, Xylene이 5.51, Ethylbenzene이 2.86, TCE가 1.32, Benzene이 0.97, Styrene이 $0.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다. Lee et al.(2012)의 연구에서 세탁소에서 측정된 주요물질이 Xylene과 Toluene 등이 주로 용출되는 것과 비슷한 결과를 나타냈다.

석유계 용제를 사용하는 세탁공정은 일반적으로의 류분류, 전처리, 세탁(드라이클리닝), 탈액, 건조, 다림질로 이루어진다. 이때 VOCs는 드라이클리닝과 건조공정에서 가장 많이 방출된다(Kim et al., 2002). 하루 중 드라이클리닝을 하는 시간대와 하지 않는 시간의 VOCs의 평균 농도를 조사하여 Table 4에 나타내었다. 드라이클리닝을 실시하는 시간대에 실시하지 않는 시간보다 높은 농도로 측정되었으며 Benzene은 1.9배, Toluene은 2.2배, Chlorobenzene은 7배, Ethylbenzene은 1.3배, Xylene은 1.9배, Styrene은 8.9배 그리고 TCE가 1.7배 높게 측정되었다. Jo & Kim(2001)의 연구에서 드라이클리닝을 실시함으로써 VOCs 물질의 농도가 높게 나타난 것으로 보고하여 본 연구와 같은 경향을 나타냈다. 반면, Lee et al.(2012)의 연구에서는 드라이

Table 4. Difference of VOCs concentration using the dry-cleaning and not using

	Using			Not using			p-value
	Mean	95% CI	N	Mean	95% CI	N	
Benzene	1.59	0.54	33	0.85	0.13	183	0.000
Toluene	34.82	12.62	33	15.69	1.80	183	0.000
Chlorobenzene	45.10	16.05	33	6.46	1.73	183	0.000
Ethylbenzene	3.03	0.77	33	2.30	0.25	183	0.034
Xylene	7.80	1.07	33	4.08	0.46	183	0.000
Styrene	0.89	0.49	33	0.10	0.05	183	0.000
TCE	0.94	0.62	33	0.57	0.17	183	0.144

Table 5. Difference of VOCs concentration during Day and Night in 10 laundry sites

	Day(working time)*			Night(closed)†			p-value
	Mean	95% CI	N	Mean	95% CI	N	
Benzene	0.96	0.14	216	1.12	0.32	28	0.033
Toluene	18.61	2.56	216	64.37	26.33	28	0.000
Chlorobenzene	12.36	3.33	216	41.54	15.44	28	0.001
Ethylbenzene	2.42	0.24	216	6.35	1.64	28	0.000
Xylene	4.67	0.46	216	12.29	2.99	28	0.000
Styrene	0.21	0.09	216	1.27	0.49	28	0.000
TCE	0.63	0.17	216	6.66	6.13	28	0.000

*Day(working time)-7:00~21:00

†Night(closed)-21:00~07:00

클리닝을 실시하는 곳에서 실시하지 않은 곳보다 Toluene과 Chlorobenzene, Ethylbenzene, Xylene이 각각 약 2.7배, 11.2배, 3.2배, 6.2배 높았다고 보고하였는데 본 연구에서는 농도차이가 선 연구에 비해 크지 않았다. 이는 드라이클리닝기 내에 압력유지를 위한 유기용제 증기 배출부가 있는데 세탁소 종사자들이 건강을 위해 배출부를 관으로 연결해 증기가 실외로 빠져나가도록 시설을 설치하여 실내로의 유입을 방지하였기 때문이다. Park(2013)의 연구에서도 드라이클리닝을 실시할 경우 휘발성물질이 고농도로 발생됨으로 가동 중인 시설에 공학적 고려가 된 방지시설을 도입하여 휘발된 물질이 실내의 유입을 방지하도록 하였다.

측정시간을 세탁소 종사자들이 유기용제에 노출되어지는 작업시간(day)과 비노출시간이 야간(night)의 농도를 분류하여 Table 5에 나타내었다. 야간 동안의 유기용제 노출농도는 Toluene이 $64.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, Chlorobenzene이 41.54, Xylene이 12.29, TCE가 6.66, Ethylbenzene이 6.35, Benzene이 1.12, Styrene이 $1.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 높게 나타났다. 종사자가 세탁소에서 작업을 하는 시간동안의 평균 농도보다 각각 3.4배, 3.3배, 2.6배, 2.6배, 10.5배, 1.1배 그리고 6.0배 높았으며 통계적으로 유의하였다. Lee et al.(2012)의 연구에서 실내의 VOCs농도가 가장 높게 나타난 시간이 저녁 12시 이고 가장 낮은 시간대는 오전 8시로 조사된 것과 비슷한 경향을 나타냈다. 세탁소의 경우 세탁 작업을 하는 동안은 종사자들이 건강을 위해 창문을 열어두거나 환기를 시키지만 문을 닫는 시간에는 환기가 되지 않기 때문이다. 또한 드라이클리닝

후 의류에 잔류되어있는 용제들이 대기로 배출되어 실내에 그대로 존재하며 특히 하루 작업 종료 전 드라이클리닝을 실시하여 야간에 세탁소 내에서 의류를 자연건조 시키는 업소가 있어 야간시간에 높은 농도로 검출되는 것으로 판단된다.

시간별 VOCs 농도 분포를 Figure 2에 나타내었다. 세탁소가 문을 닫는 21시 이후부터 오전 7시까지는 하루 평균 농도보다 높으며 측정된 농도의 범위가 또한 넓게 나타났다. 반면 출근을 해서 창문을 열고 환기를 시키는 오전 8시에는 야간시간동안 실내에 분포되어있던 유기용제 농도가 갑자기 낮아지는 경향을 보였다. 또한 작업을 하는 8시부터 20시까지는 하루 평균 농도보다 낮은 농도로 나타났으며 농도 범위도 작았다. TCE의 하루별 분포 또한 Styrene과 비슷한 경향으로 나타났다. Toluene과 Chlorobenzene 등 16시 부근에 평균보다 높게 측정된 범위는 드라이클리닝 및 의류 건조를 실시하기 때문에 용제가 외부로 배출되어 일시적으로 높게 나타났다. Choi et al.(2006)의 연구에서 환기량에 따라 실내공기질이 개선되며 환기를 실시함에 따라 휘발성유기화합물을 저감시키는 것으로 나타났다고 보고하였다. 따라서 종사자들이 아침에 출근해서 세탁소의 환기와 드라이클리닝을 실시할 때 환기를 시키는 것이 VOCs를 저감시키는 가장 좋은 방법이라고 판단된다.

3.2 종사자들의 건강검진 결과

세탁소내의 유해인자인 Toluene과 chlorobenzene, Xylene, Ethylbenzene, Benzene, Styrene 의 임상검사

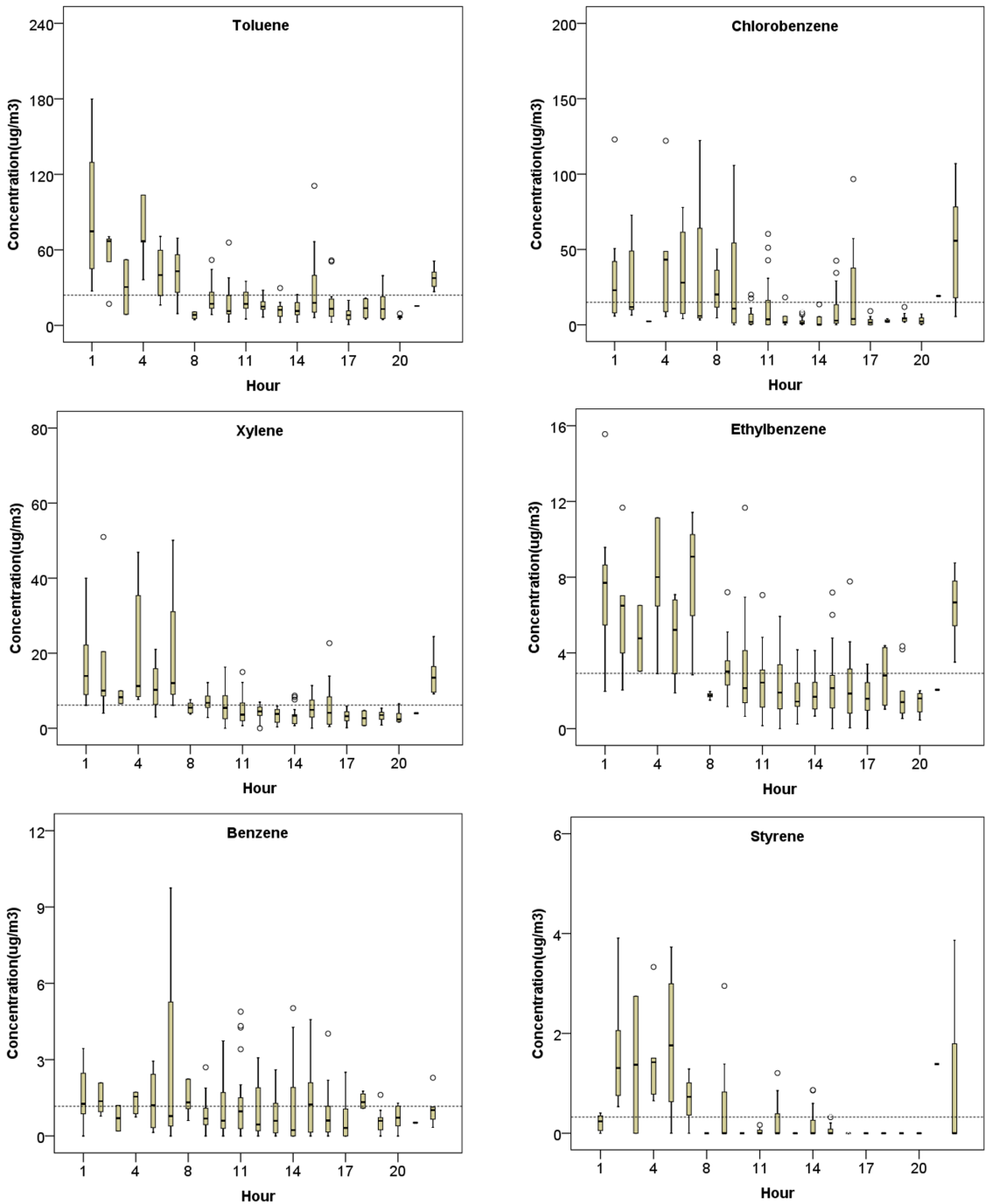


Figure 2. The distribution of six VOCs concentrations for 10 sites in a day

와 생물학적 지표 검사결과를 Table 6에 나타내었다. 표에 나타내지 않은 임상검사 결과 중 신경계 및 눈

· 피부 · 비강 · 인두 항목은 증상 문진으로 검사를 하였으며 진단결과 모두 이상없음 소견을 보였고 비

Table 6. Summary statistics of physical tests of 35 peoples working in 10 laundry shops

Items	Reference	Sex			Age				Period of work(years)			
		Male	Female	p-value	40 -	50 -	60 -	p-value	10-20	over 20	p-value	
No. of people	35	27	8		4	24	7		17	18		
No. of people exceeding reference values	22	14	8	0.013	3	14	5	0.711	12	10	0.358	
GOT	blow 40 U/L	32.7(5)	22.5(0)	0.189	32.0(1)	27.4(2)	39.9(2)	0.327	30.4(3)	30.4(2)	0.581	
GPT	blow 35 U/L	31.1(7)	16.9(0)	0.107	31.5(1)	26.3(4)	31.0(2)	0.757	25.8(3)	29.8(4)	0.735	
r-GTP	11-63 U/L	32.8(1)	18.4(2)	0.059	34.5(1)	29.6(2)	26.1(0)	0.361	26.9(2)	31.9(1)	0.512	
Hemoglobin(Hb)	M13-16.5 g/dL W12-15.5 g/gL	14.4(1)	12.1(2)	0.059	13.9(0)	13.9(3)	13.9(0)	0.471	13.5(2)	14.2(1)	0.512	
Hematocrit(Hct)	M 39-50% W 36-47%	41.0(3)	34.9(3)	0.082	39.5(1)	39.6(4)	39.4(1)	0.897	38.5(4)	40.6(2)	0.330	
Red blood cell	440-560 ten thousands/mm ³	453(4)	397(8)	0.000	458(1)	439(8)	434(3)	0.822	430(8)	450(4)	0.122	
White blood cell	4500-10000 /mm ³	7351(2)	6437(0)	0.428	7775(0)	7362(2)	6028(0)	0.615	6700(0)	7761(2)	0.157	
Platelet	15-45 ten thousands/mm ³	20.1	21.4	-	25	20.3	18.3	-	21.2	19.7	-	
differential white count	Mono	2-10%	7.1(1)	5.3(0)	0.581	5.6(0)	6.5(0)	7.9(1)	0.128	6.7(1)	6.7(0)	0.296
	Seg	40-80	52.2(2)	48.7(1)	0.651	48.5(1)	51.8(1)	51.7(1)	0.322	48.9(2)	53.8(1)	0.512
	Eosin	0-5	3.0(1)	2.6(1)	0.346	3.5(0)	2.9(2)	2.7(0)	0.615	3.1(2)	2.8(0)	0.134
	Lymph	15-44	37.3(0)	43.0(2)	0.007	42.4(0)	38.3(2)	37.3(0)	0.615	40.9(2)	36.4(0)	0.134
	Baso	0-3	0.4	0.4	-	0.3	0.4	0.4	-	0.4	0.4	-
hippuric acid	0-2.5 g/g crea	0.33	0.37	-	0.31	0.35	0.31	-	0.38	0.31	-	
methyl hippuric acid	0-1.5 g/g crea	0.02	0.02	-	0.00	0.01	0.05	-	0.01	0.02	-	

() Values in parentheses indicate the number of people exceeding reference values specified by the hospital guideline

노기계의 요당 등 10종에 대한 검사결과는 모두 참고치에 적합하였다. 또한 생물학적 노출 지표검사인 마노산과 메틸마노산은 모두 정상범위로 나타났다.

검진대상자의 평균 나이는 56.4세이며 현재까지 23.4년을 세탁업에 종사하였다. 유해인자 중 VOCs 6종에 대한 검사결과 세탁업 종사자 35명 중 13명은 정상이며, 22명은 간담도계와 조혈기계 항목에서 재검사(R)나 관찰필요(C) 판정을 받아 62.9%가 건강에 이상이 있는 것으로 나타났다. 참고값에서 가장 많이 벗어난 항목은 조혈기계의 적혈구수였다. 적혈구수의 참고값은 440~560 ten thousands/mm³로서 35명 중 12명(34.3%)이 350~426 ten thousands/mm³ 범위로 나타나 참고치보다 낮은 값을 보였으며 이들은 여성이 8명, 남성이 4명이였다. 여성은 검진자 8명 모두 이상값을 보여 남성에 비해 적혈구수에 취약할 유의확률이 매우 높았다(p=0.000). 그러나 종사자의

연령대와 근무기간에 대한 적혈구수가 참고치를 벗어 나는 유의확률은 높지 않았다(p=0.822, p=0.122). 적혈구는 조혈기계 검사항목으로 벤젠에 대한 유해인자의 영향을 보기 위한 항목이다. 벤젠에 만성적 노출은 재생불량성 빈혈, 급성 골수모구 백혈병, 적백혈병을 일으킬 수 있다. 이에 따라 발암성 1A에 해당되는 물질이다(Choi, 2004).

간담도계 항목인 GOP는 참고값이 40U/L 이하이지만 5명이 44~85 U/L 범위로 나타났고 GTP의 참고값은 35 U/L 이하이지만 7명이 36~74 U/L 범위로 참고값을 벗어났다. 이들은 모두 남성이였고 여성 평균값인 22.5, 16.9 U/L 보다 높은 32.7, 31.1 U/L로서 여성들에 비해 남성들이 간기능에 이상이 있는 것으로 나타났다. 하지만 연령대와 근무기간에 대해서는 뚜렷한 상관관계를 보여주지는 않았다.

종사자 중 성별로 구분하여 보면 남성 27명 중 14

Table 7. Correlation coefficient of indoor pollutant and health check up items

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
A. toluene	1																					
B. chlorobenzene	0.263	1																				
C. xylene	0.217	0.249	1																			
D. ethylbenzene	-0.098	0.066	.863**	1																		
E. benzene	0.053	0.079	0.233	0.09	1																	
F. styrene	-0.411	.694*	0.274	0.279	0.047	1																
G. GOT	-0.31	-0.283	-0.245	0.058	-0.422	-0.295	1															
H. GPT	0.001	0.014	0.343	.632*	0.261	0.007	0.246	1														
I. rGTP	-0.302	-.686*	-0.04	0.037	0.587	-0.381	0.039	0.244	1													
J. Hb	-0.596	-0.039	0.127	0.096	0.162	0.585	-0.524	-0.331	0.179	1												
K. Hct	-0.623	-0.046	0.073	0.132	0.073	0.589	-0.488	-0.227	0.097	.968**	1											
L. Redblood	-0.52	0.031	0.082	0.113	0.287	0.608	-0.622	-0.129	0.181	.926**	.941**	1										
M. whiteblood	-0.541	-0.247	-0.576	-0.4	0.148	0.101	-0.199	-0.262	0.176	0.484	0.572	0.579	1									
N. platelet	-0.478	-0.308	-.824**	-0.598	-0.288	-0.046	0.125	-0.388	-0.02	0.221	0.316	0.296	.817**	1								
O. DWCMono	0.362	-0.5	0.163	0.221	0.275	-0.613	-0.009	0.581	0.577	-0.333	-0.305	-0.231	-0.306	-0.367	1							
P. DWCSeg	-0.487	-0.107	-0.075	0.185	0.415	0.18	-0.068	0.274	0.225	0.313	0.437	0.477	.736*	0.397	-0.098	1						
Q. DWCEosin	0.5	0.224	-0.372	-0.444	-0.3	-0.111	-0.161	-0.022	-0.308	-0.379	-0.361	-0.239	-0.199	0.083	0.141	-0.562	1					
R. DWCLymph	0.328	0.145	0.166	-0.121	-0.417	-0.055	0.124	-0.417	-0.257	-0.172	-0.326	-0.422	-.712*	-0.41	-0.12	-.943**	0.303	1				
S. DWCboso	0.341	-0.166	0.212	0.31	-0.43	-0.287	0.198	0.288	-0.199	-0.332	-0.23	-0.273	-0.463	-0.154	0.455	-0.251	0.122	0.141	1			
T. hippuric acid	0.617	0.367	-0.431	-0.605	-0.129	-0.227	-0.075	-0.233	-0.435	-0.586	-0.599	-0.48	-0.076	0.122	-0.148	-0.368	.761*	0.215	-0.17	1		
U. methyl Hippuric acid	0.586	0.185	0.241	0.005	0.257	-0.314	-0.135	-0.156	-0.234	-0.374	-0.388	-0.342	-0.129	-0.209	-0.025	0.141	-0.266	-0.078	0.167	0.243	1	

명, 여성 8명 중 8명이 참고값에서 벗어나 남성보다 여성이 건강이 좋지 않은 것으로 유의하게 나타났다 ($p=0.013$). 또한 백혈구백분율 중 Lymph 항목도 남성에 비해 여성이 건강에 취약한 항목으로 판단된다 ($p=0.007$). 반면 연령대 및 근무기간 별로 살펴보면 건강검진 결과 값들이 다양하게 분포되었지만 유의 확률이 높지 않았다.

3.3 VOCs와 건강인자 상관관계

세탁소내에 유기용제에서 용출되는 VOCs과 임상 검사 항목에 대한 상관관계를 Table 7에 나타내었다. 특수건강검진 항목에 따르면 Benzene에 대한 인체영

향은 혈색소량 등 조혈기계 계통에 영향을 미치며 Toluene과 Chlorobenzene, Xylene, Styrene은 GOT 등 간담도계 그리고 Ethylbenzene은 신경계에 영향을 준다. 하지만, 본 연구결과 Ethylbenzene이 GPT 항목과 양의 상관성을 나타내었고(0.632), Chlorobenzene은 r-GTP, Xylene은 혈소판수(platelet)와 음의 상관성을 보였으며(-0.686,-0.824) 다른 항목간에는 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 즉 Chlorobenzene은 간담도계와 양의 상관성을 보여야하지만 음의 상관성을 나타냈고 Xylene은 간담도계 보다는 조혈기계에 영향을 주는 것으로 나타났으며 세탁소 내 가장 많이 분포한 Toluene은 간담도계와 생물학적 노출지표인 소

Table 8. Exposure evaluation for mixed organic solvent in 10 laundry sites

Site	Result*	Site	Result*
A	4.7×10 ⁻⁴	F	1.3×10 ⁻⁴
B	3.1×10 ⁻⁴	G	3.5×10 ⁻⁴
C	9.7×10 ⁻⁵	H	2.0×10 ⁻⁴
D	1.4×10 ⁻⁴	I	1.6×10 ⁻⁴
E	4.0×10 ⁻⁴	J	3.7×10 ⁻⁴

*Result : $\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$ (C : Concentration each chemical, T : exposure standard)

변 중 마노산에 영향을 미치지만 연구결과에서는 두 인자간의 상관성을 보여주지 않았다. 특히 생물학적 지표검사인 마노산과 메틸마노산은 작업종료 후 소변을 통해 배출되는 물질로서 유해인자에 노출이 되었다면 이들의 측정값이 높게 분포되어야 하는데 모두 참고값 범위로 측정되었다.

3.4 VOCs가 종사자의 건강에 미치는 영향

노동부가 고시한 작업환경측정방법, 화학물질 및 물리적인자의 노출기준에 의해 화학물질이 2종 이상 혼재하는 경우 혼재하는 물질간에 유해성이 인체의 서로 다른 부위에 작용한다는 증거가 없는 한 유해작용은 가중되는 것으로 하여 노출기준을 산출하였을 때 그 결과가 1을 초과하지 않아야 한다. VOCs 농도를 바탕으로 노출기준을 산출하여 Table 8에 나타내었고 그 결과 모든 세탁소에서 1을 초과하지 않아 화학적 노출의 영향이 적은것으로 나타났다.

본 연구결과 근로자들의 건강증진에 대한 의식이 높아져 환기시설이 없는 세탁소는 창문을 개방하여 작업을 진행하였으며, 드라이크리닝 및 건조기에 환기관을 설치하여 유기용제가 세탁소 내부로 유출되는 것을 방지였고, 실내에 일정한 간격으로 환풍 시스템을 도입하여 세탁소 실내 환경개선에 노력하고 있다. 이에 따라 유해인자와 건강항목간의 유의한 상관성이 나타나지 않았고 유해물질의 화학적 노출영향이 적었다. 하지만, 의류 및 세탁기에 잔류하는 유기용제에 의해 VOCs 물질이 휘발되어 실내에 존재하므로 실내공기의 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 연구기간이 봄과 여름에 진행되어 환기가 잘 이루어지지 않는 겨울철에 환기특성에 따른 연구가 필요가 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 2015년 4월부터 9월까지 광주광역시내 소규모 세탁소에서의 VOCs 7종에 대한 조사결과와 종사자들의 특수건강검진을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 세탁소 10개소를 작업환경에 따라 3개 그룹으로 분류되었으며, 환기를 시킬수 있는 창문의 개수, 드라이크리닝 실시 횟수 그리고 세탁소 크기가 VOCs 배출에 영향을 주는 것으로 나타났다.
 2. 세탁소내 VOCs 농도는 Toluene, Chlorobenzne, Xylene, Ethylbenzne, TCE, Benzene, Styrene 순으로 나타났으며 드라이크리닝 작업 시간에는 평상시 VOCs 농도보다 항목별로 1.3~8.9배 높게 측정되었다. 또한 문을 닫는 야간시간에는 VOCs 농도가 넓은 범위에서 하루평균 농도보다 높게 나타났으며 작업 시간에는 야간시간보다는 낮은 농도로 분포하였다.
 3. 유해물질에 대한 특수건강검진 결과 검진대상자 35명 중 13명은 정상인 값을 나타냈으며, 22명은 간담도계와 조혈기계 항목에서 재검사(R)나 관찰필요(C) 판정을 받았다. 성별로 구분하면 여성이 남성보다 건강이 좋지 않는 것으로 유의하게 나타났고 연령대 및 근무기간 분류에 따른 건강검진 결과 값들이 다양하게 분포되었지만 유의확률이 높지 않았다.
 4. 유해물질과 건강검진 항목간에는 유의한 상관성이 나타나지 않았으며, 노동부가 고시한 작업환경 측정방법에 따라 노출기준을 산출할 때 기준치인 1을 모두 초과하지 않았다.
- 근로자의 건강증진에 대한 의식이 높아져 세탁소 실내 환경개선에 노력하고 있지만, 의류 등에 잔류하

는 유기용제가 휘발되어 존재하므로 환기 등을 통해 실내공기의 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 환경부 환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축사업과 광주녹색환경지원센터 지원에 의해 완성되었기에 감사드립니다.

References

- An SH, Lee JH, Park JA. Evaluation of worker's health and occupational exposure to perchloroethylene in laundries. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1994;4(2):224-237
- Cho KS, Gu JW, Kim KA, Kim HW, Kim HA et al. The occupational environmental health, 3rd edition. Institute of Industrial Medicine Catholic Industrial Medical Center.; 2003. p. 277-292
- Choi SY, Kim SH, Lee JJ. The effect on indoor air quality improvement by ventilation rate in newly built apartment. *Korean J of Air-conditioning and Refrigeration Eng* 2006;18(8):649-655
- Choi YH. Estimation of emission amount and model evaluation of VOCs from the dry cleaning industry. Master's thesis, Kunkook University, Seoul. 2004. p. 3-17
- Jo WH, Kim SH. Workers exposure to aromatic volatile organic compounds in dry cleaning stores. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001;62:466-471
- Jong HK, Jong JY. Exposure evaluation of harmful factor and management of the working environment in laundry shop. Korea Occupational Safety and Health Agency press.; 2002, p. 3-21
- Kim CN, Han KW, Lee YG. A study on concentration change of VOCs (Volatile Organic Compounds) in indoor air quality. *Architectural Institute of Korea* 2004;24(2): 983-986
- Kim MG, Jong ER, Park JJ, Yun IK, Kim JS et al. A study on the contribution of air pollution for petroleum laundry solvent. Department of the Environment Press.; 2002. p. 2-70
- Kim SY, Kim JY, Lee YK, Lee YS. Study on the exposure levels of organic solvents and subjective symptoms of dry-cleaning workers. Research Information Center for Health(www.richis.org) press.; 1996. p. 1-22
- Lee JH, Kim YJ, Lee SK, Woo KS. A study on VOCs concentration in laundries of local area in Korea. *Soonchunhyang J Nat Sci* 2012;18(2):133-139
- Lee MJ. Study on formaldehyde and VOCs contamination in the houses located at Seoul. Master's thesis, Yeonsei University, Seoul. 2003. p. 1-23
- Lee SH, Kim NH, Lee KS, Park KS, Park SY. Analysis of VOCs influencing environment factors using statistics in apartment house. *J. Korean Society for Atmospheric Environment* 2012;28(4):435-445
- Lee SJ. Characteristics of daily variation about VOCs emitted from newly produced indoor building. Master's thesis, Seoul industry University, Seoul. 2004. p. 1-8
- National institute for occupational safety and health (NIOSH). Criteria for a recommended standard-occupational exposure to refined petroleum solvents. DHHS(NIOSH) Pub. NIOSH.; 1977. p. 77-192
- Park CB. Characteristics of daily variation about VOCs emitted from the dry cleaning plant industry. Master's thesis, Pusan national University, Pusan. 2013. p. 1-40
- Roh YM, Kwon GB, Park SH, Jeong JY. A survey on the management of chemical substances and airborne concentration in laundries exposed to organic solvents. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2001;11(1):70-77
- Statistics Korea. The current working state of industry(City/ Industry/Workers), Available :http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1KB3002&conn_path=I32015. [accessed 24 March 2015]
- Sun WY, Lee YK. Research on national application plan through the induction of VOCs in advanced nation. National Institute of Environmental Research press.; 2007. p 26-43