

[Research Paper]

소방서 실내공간의 화학적 유해인자 2차노출과 실내공기질 특성

김수진 · 함승헌^{†*} · 전정석^{**} · 김 원^{***}

서울소방학교 소방과학연구센터 책임연구원 / 서울대학교 보건대학원, *가천대학교 의과대학 길병원 직업환경의학과 교수,

^{**}서울소방재난본부 소방공무원, ^{***}원진재단부설 노동환경건강연구소 산업위생관리기술사

Characterization of Secondary Exposure to Chemicals and Indoor Air Quality in Fire Station

Soo Jin Kim · Seunghon Ham^{†*} · Jeong Seok Jeon^{**} · Won Kim^{***}

Senior Researcher, Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Service Academy / Graduate School of Public Health, Seoul National Univ.,

^{*}Professor, Dept. of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine

^{**}Firefighter, Seoul Metropolitan Disaster and Management Headquarter,

^{***}Professional Engineer Industrial Hygiene Management, Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

(Received July 24, 2019; Revised August 13, 2019; Accepted August 21, 2019)

요 약

본 연구에서는 소방관들이 화재현장에서 복귀 후 소방청사 내에서 2차적으로 노출된 화학적 유해물질의 실내공기질을 평가하였다. 서울시에 소재한 4개 소방서를 선정하였고, 그 중 2개 소방서는 실제 화재현장에서 소방활동 종료 귀소 후에, 다른 2개 소방서는 대조군으로 설정하여 출동과 상관없이 평소 수준의 실내공기질을 측정하였다. 소방안전지도 전산시스템을 이용하여 서울시에서 발생하는 모든 화재사고에 대하여 24시간 모니터링을 실시하였고 중급규모 이상의 사고에서 실험군이 출동하게 되는 경우 귀소 후 바로 실내공기질을 측정하였다. 11개 유해물질 항목(미세먼지, 포름알데히드, 휘발성유기화합물, PAH, VCM, 산류, 석면, CO, CO₂, NO₂, O₃)을 공정시험법에 따라 측정하였다. 유해물질 11종 중 3종이 국내·외 기준을 초과하였고 1종은 국외기준에 육박하는 것으로 확인되었다. 특히 총휘발성유기화합물, 이산화탄소, 황산은 각 2.5배, 2.2배, 1.1배가 환경부 및 고용노동부 기준보다 높았다. 또한, 포름알데히드와 황산의 경우, 실험군보다 대조군에서 더 높게 측정되었다. 본 연구결과는 서울특별시 소방청사 내 실내공기질 개선 정책에 활용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

It is to assess the indoor air quality of the chemical hazardous materials exposed to the fire after firefighters returned to the fire scene. The research subject randomly selected four fire stations located in Seoul, Korea. Two fire stations were set up as control groups after the return of the firefighting activities at the actual fire scene, and two other fire stations were set up as control groups to measure the air quality of the room at normal levels regardless of the action. We conducted 24-hour monitoring for all fire accidents that occurred in Seoul Metropolitan using fire safety map computer system. Also, indoor air quality was measured immediately after homecoming if the experiment group was to be dispatched due to an accident of intermediate or larger scale. 11 hazardous substance items such as fine dust, formaldehyde, volatile organic compounds, PAH, VCM, acidity, asbestos, CO₂, NO₂, O₃ were measured according to the process test method. Three of 11 types of harmful substances exceeded domestic and foreign standards, and one of them was found to be close to foreign standards. In particular, total volatile organic compounds, carbon dioxide and sulfuric acids were 2.5 times, 2.2 times and 1.1 times higher than the standard. Also, for formaldehyde and sulfuric acid, it was measured higher in the control group than in the case group. This findings could be used in policies to improve indoor air quality in the fire station of the Seoul Metropolitan Government.

Keywords : Fire station, Chemical pollutant, Indirect exposure

[†] Corresponding Author, E-Mail: shham@gachon.ac.kr. TEL: +82-32-458-2634, FAX: +82-0504-439-9025

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서론

화재가 발생하면 벤젠, 1,3-butadiene, 포름알데히드(HCHO)와 같은 발암물질이 발생하고, 단기간 고농도 노출이 가능하다. 화재진압 소방관들에게 몇 가지 종류의 암이 증가하는 경향이 있고, 이를 종합하여 화재진압 직무를 담당하는 소방관들의 직업적 노출에 대하여 국제암연구소(IARC)에서는 Group 2B로 지정하였다⁽¹⁾.

화재현장에서 소방관이 유해인자에 노출되는 것은 화재현장 특성상 측정이 어렵기 때문에 전 세계적으로 연구가 부족하다. 화재가 발생하면 완전연소 및 불완전연소를 통해 다양한 화학물질과 스모크가 발생할 가능성이 있다⁽¹⁾. 화재현장에서 발생하는 유해물질은 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs), nitro-PAHs, 알데하이드류, 시안류, 산, 입자상물질, 질소, 황, 이산화탄소, 일산화탄소, 연소에 의한 나노입자들과 비닐클로라이드, 폴리염화비페닐(Polychlorinated Biphenyls; PCBs), 프탈레이트, 이소시아네이트, 염화비닐모노머(Vinyl Chloride Monomer; VCM) 등이고, 발암, 호흡기와 피부자극, 중독을 일으키는 물질이다⁽²⁾.

국내에서는 소방 현장 활동 중 노출되는 석면노출의 위험성⁽³⁾, 화재현장에서 화재조사 및 잔화정리 시 1차적으로 노출되는 화학적 유해인자 특성⁽⁴⁾ 조사를 통해 소방관의 유해물질 노출이 확인되었고, 화재현장에서 화재진압, 잔화정리, 화재조사 작업단계에서 노출평가를 통해 소방관들의 건강위해성을 확인하였다⁽⁵⁾. 소방관들이 화재진압 후 소방청사로 귀소한 이후 소방청사 실내로 들어올 경우 화재현장에서 노출되었던 여러 가지 유해물질들이 방화복, 헬멧, 진압장비, 그리고 현장에 출동하였던 소방차량 등을 통해 소방청사 실내에 확산되는 것을 2차노출이라고 한다. 소방청사 내 유해인자 2차노출 차단을 위한 시설 및 소방장비 관리기준 개발연구는 이미 수행되어 연구결과가 발표되었음에도 불구하고⁽⁶⁾ 노출관리 및 예방 그리고 인체에 미칠 수 있는 영향에 대한 조치가 정부 또는 지방자치단체 차원에서 제대로 이루어지지 않고 있다.

소방청사는 소방관이 직무를 수행하는 작업환경 공간임과 동시에 시민 등 일반인이 민원업무를 위해 방문하거나 소방안전교육과 안전체험을 위해 다양한 연령층의 시민들이 방문하는 공간이기 때문에 유해물질 노출에 의한 인체영향이 없어야 한다. 아직 국내에는 소방관들이 다양한 장소에서 화재진압을 수행하면서 어떤 화학물질에 얼마나 직·간접적으로 노출되는지에 대한 다양한 각도에서의 조사가 이루어지지 않고 있다. 소방관들이 화재진압 및 구조활동 이외에 대부분의 시간을 보내는 소방청사 실내공간은 일반 건물에서 발생할 수 있는 유해인자 외에도 화재진압과 관련된 유해인자에 추가로 노출될 가능성이 있는 것이다.

본 연구의 목적은 화재현장에 출동하여 화재진압 활동을 종료한 이후 소방관들이 귀소한 소방청사의 실내공기질

과 소방관들이 귀소 후 탑승하였던 소방차량 내부의 실내공기질 평가를 하는 것이다. 또한, 본 연구에서는 소방청사 내 실내공기질 측정결과를 통해 화재현장 소방활동 종료 후 귀소 시 조치사항과 평소 소방청사 내 실내공기질의 안전범위 유지를 위해 관리와 더불어 정책적 제언을 하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구설계

본 연구는 전향적 무작위 실험연구(Prospective randomized experimental study)로 서울시에 소재한 4개의 소방서를 무작위로 선정하였다. 그 중 2개 소방서(A, B)는 실제 화재현장에서 화재진압 종료, 귀소 후 공기질을 측정하였고(실험군), 다른 2개 소방서(C, D)는 대조군으로 설정하여 출동과 상관없이 평소수준(Baseline)의 공기질을 측정하였다. 이때, A, B는 화재현장에서 잔화작업이 종료되면 20분 내로 소방서로 귀소하였고, 실내공기질 측정을 즉시 시작하였다. 이때 각 소방서마다의 특성과 함께 건립연도, 면적, 환기상태, 차고면적을 조사하였다.

2.2 연구기간

2016년 11월 1일부터 11월 30일까지 소방안전지도 전산시스템을 이용하여 서울시에서 종합방재센터로 접수되는 모든 화재사고에 대하여 24시간 모니터링을 실시하였고, 이 중 중급이상 화재(인접된 2개 소방서 이상이 출동하게 되는 화재)와 화재진압 등 현장 활동상황 모니터를 통해 실내공기질 측정가능 여부를 결정하였다.

2.3 측정개요 및 분석방법

2.3.1 측정개요

실내공기질은 4개 소방서에서 각 5개 지점(소방서 차고, 현장대응단 사무실과 대기실, 화재진압대원 대기실, 화재조사 및 감식 사무공간, 지휘차량)를 지정하여 측정하였고(Table 1), 실내공기질의 측정대상은 총 11가지 항목(미세먼지, 포름알데히드, 휘발성유기화합물, PAH, VCM, 산류, 석면, CO, CO₂, NO₂, O₃)을 측정 및 평가하였다. 특히, 화재조사 및 감식 업무 담당자는 화재진압이 완료되면 잔화과정

Table 1. Measurement Site of Indoor Air Quality in Fire Station

No	Air Quality Measurement Sites
1	Behind the Fire Stations Garage (Fire Vehicle Real Area Wall)
2	119 Center Office and Waiting Room
3	Fire Fighter Waiting Room
4	Fire Investigation and Inspection Office Room
5	Fire Command Vehicle Indoor

중에 화재원인을 파악, 규명하는 역할을 수행하는데 잔화 과정에서도 유해물질이 노출되지만, 이들은 소방 특수방화복 상·하의를 모두 착용하지 않거나 보호복과 방진마스크만을 착용한 채 업무를 수행하는 경우가 대부분이다.

지상건물에서 크게 문제되지 않는 라돈과 실내 유기물질들이 주요 원인인 총부유세균은 측정에서 제외하였다. 또한, 실내 오염물질들 이외에 화재현장에서 발생 가능한 물질들 중에서 유해성이 높은 PAHs, VCM, 산류(염산, 질산, 인산, 황산) 등의 항목을 추가하였다⁹⁾. 마지막으로 각 항목별 오염물질 항목을 측정하여 국내·외에서 준용하고 있는 항목별 정상범위와 비교 분석하여 그 결과를 제시하였다.

2.3.2 분석방법

2.3.2.1 미세먼지

대기오염공정시험기준의 환경대기 중 먼지측정법(ES 01354.1)에 준하여 측정하였다. 광산란방식(Grimm Dust Spectrometer 1.108, Grimm GmbH, Germany)을 통해 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})를 측정하였다. 레이저를 이용한 광산란 방식의 직독식 분진 측정기로 15개 채널을 통해 0.3 μm - 20 μm 사이즈의 분진들을 크기별로 측정하였다.

2.3.2.2 포름알데히드

환경부 실내공기질 공정시험기준의 실내 및 건축자재에서 방출되는 포름알데히드 측정방법(ES 02601.1)과 National institute for occupational safety and health, manual of analytical methods (NIOSH NMAM) 2016을 이용하였다. 포름알데히드는 오존스크러버를 장착시킨 2,4-dinitrophenylhydrazine로 코팅된 카트리지에 약 0.5 L/min의 유량으로 보정된 펌프를 연결하여 채취하였고, 약 30분씩 2회에 걸쳐 측정하였다. 또한, 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였고, 시료를 채취한 카트리는 분석 전까지 냉장 보관하였다. 또한, 전처리가 완료된 시료의 분석은 고속액체크로마토그래피/자외선 검출기(High performance liquid chromatography/Ultra-violet detector; HPLC/UV)를 사용하였다(Wates 2695/2487, USA). 이동상(Eluent)은 아세토니트릴(Acetonitrile, 100%)과 테트로하이드로퓨란(20% Tetrahydrofuran in Distilled Water)을 사용하였으며, 여과지와 초음파 장치를 이용하여 탈기하여 사용하였다. 또한, 분석결과의 신뢰성을 높이기 위해 시료 전처리 및 기기분석에 대한 분석자료의 정도관리를 수행하였다. 포름알데히드에 대한 검출한계(Limit of detection, LOD)는 표준용액 중 가장 낮은 수준을 7회 반복 분석하여 농도값의 표준편차를 3배한 값으로, 0.0025 μg/sample이었다. 탈착효율 실험은 저농도(0.2 μg), 고농도(1.0 μg) 등 2개 농도 수준에서 각 농도수준별 3개씩 준비하였고, 2,4-DNPH 카트리지를 이용한 포름알데히드의 탈착효율은 116.0 ± 7.7%였다.

2.3.2.3 휘발성유기화합물

환경부 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 측정방법(ES 02602.1)을 이용하여 측정하였다. Tenax TA가 충전된 고체흡착관에 약 0.05 L/min의 유량으로 보정된 저유량 펌프를 연결하여 채취하였고, 약 30분씩 2회를 측정하였다. 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였고, 시료를 채취한 고체흡착관은 분석 전까지 냉장 보관하였다. 분석은 열탈착장치(TurboMatrix 350 ATD, PerkinElmer, USA)로 흡착관에서 탈착된 시료는 가스 크로마토그래피/질량분석기(GC/MSD, QP-2010 ultra, Simazu, Japan) SCAN mode로 분석하였고, 분석된 크로마토그램은 wiley 9, NIST14 database를 이용하여 정성분석을 하였다.

2.3.2.4 다환방향족탄화수소(PAHs)

NIOSH NMAM 5515를 이용하였고 총 16가지의 PAH를 측정하였다. 테플론 필터에 튜브를 연결한 상태로(FILTER + SORBENT TUBE: 37 mm, 2 μm, PTFE + washed XAD-2, 100 mg/50 mg)에 약 2 L/min의 유량으로 보정된 고유량 펌프를 연결하여 채취하였고, 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였으며, 시료를 채취한 흡착관은 분석 전까지 냉장 보관하였다. 또한, 전처리가 완료된 시료는 AutoSampler (AOC-20i, Shimazu, Japan)가 장착된 가스 크로마토그래피/질량분석기(GC/MSD, QP-2010 ultra, Shimazu, Japan) SIM mode로 분석하였다.

2.3.2.5 VCM (비닐클로라이드)

NIOSH NMAM 1007을 이용하였고 활성탄관에 약 0.05 L/min의 유량으로 조정된 저유량 펌프를 연결하여 채취하였다. 과과용량을 넘기지 않기 위해 2시간씩 2회 측정하였고, 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였으며, 시료를 채취한 활성탄관은 분석 전까지 냉장 보관하였고, 가스 크로마토그래피/불꽃이온화검출기(GC/FID, Agilent 6890, Agilent, USA)를 이용하여 분석을 실시하였다.

2.3.2.6 산류

산류(Acids)의 측정 및 분석방법은 NIOSH NMAM 7903을 이용하였다. 실리카겔관에 약 0.2 L/min의 유량으로 보정된 저유량 펌프를 연결하여 채취하였고, 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였으며, 시료를 채취한 활성탄관은 분석 전까지 냉장 보관하였다. 또한, 전처리가 완료된 시료의 분석은 이온크로마토그래피(Ion chromatography; IC, Thermo DIONEX ICS-1100, USA)를 사용하였다. 이동상은 1.7 mM NaHCO₃ + 1.8 mM Na₂CO₃를 사용하였으며, 초음파 장치로 탈기하여 사용하였다.

2.3.2.7 석면

환경부 실내공기 중 석면 측정방법(ES 02304.1)을 이용하였다. 셀룰로오스 에스터(MCE, Pore 0.8 μm, 25 mm) 재질의

Table 2. Demographic Findings of Major Facilities in Fire Stations

Distribution		Fire Station			
		A (Case)	B (Case)	C (Control)	D (Control)
Built Year*		2012	2006	1996	1993
Area (Unit: m ²)	119 Center Office	80.3	70	241	121
	Fire Investigation Office**	66.42	22	241	13
	Fire Investigators Waiting Room	18	10	18	13
	119 Emergency Dispatch Center	66.42	66	160	35
	Garage	538.4	555	844	495
Window-Ventilation Fan/ Door (Unit: Number)	119 Center Office	21/3	14/2	4/2	5/3
	Fire Investigators Waiting Room	3/1	1/1	2/1	3/1
	119 Emergency Dispatch Center	8/1	4/1	4/1	6/1
Garage (Unit: Number)	Garage Door***	7	7	4	4
	Ventilating Shaft†	0	2	1	0
	Smoke Eliminating Facility‡	3	0	4	6
	Number of Fire Engine¶	24	12	18	20

*Built Year : The Year of Completion of the Initial Fire Station, In Case of Reconstruction, the Year of Completion at the Time of Reconstruction.

**Field Command Team : Area of the Office Space Occupied by the Personnel Carrying out the Fire Investigation Work.

***Garage Door : Doors Installed to Distinguish the Outside from the Garage.

†Ventilating Shaft : Ventilation Facility Installed in the Ceiling of the Garage and Included Air Supply and Air Exhaust.

‡Smoke Eliminating Facility : Ventilation Facility Installed in the Ceiling in the Garage Without Vent.

¶Number of Fire Engine : Vehicles Owned by Fire Stations that are Regularly Stored Inside the Actual Fire Station Building.

여과지를 석면채취용 여과지홀더에 장착하여 약 4 L/min의 유량으로 조정된 고유량 펌프를 연결하여 채취하였으며, 펌프는 시료를 채취하기 전과 후에 유량을 보정하여 사용하였다. 또한, 실내공기 중 석면 및 섬유상 먼지를 여과지에 채취하여 투명하게 전처리한 후 위상차현미경으로 계수하여 공기 중 석면 및 섬유상 먼지의 수 농도를 분석하였다.

2.3.2.8 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃)

일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소, 오존은 직독식장비를 이용하여 측정하였다. 직독식장비는 비분산적외선법(NDIR)이나 광이온화검출법(PID)의 원리로 시간대별 농도의 변화 수준을 확인할 수 있는 장비로서 측정에 이용한 직독식장비는 IAQ-CALC (Model 7545, TSI, USA), GrayWolf (Model TG-501, 502, Graywolf sensing solution, USA)를 사용하였다.

3. 연구결과

3.1 4개 소방서 소방청사 실내공간의 기본적 환기시설 현황

본 연구에서 실내공기질 측정 실태조사를 수행한 4개 소

방서의 기본현황은 Table 2와 같다. 4개 소방서의 건립연도는 1993년부터 2012년이였다. 소방청사 면적은 1996년에 건축된 C소방서가 가장 넓었고, 2006년에 건축된 B소방서가 가장 협소하였다. C와 D소방서는 건축년대와 보유 차량수가 유사함에도 불구하고 차고면적, 환기기와 배연시설의 운영에서 차이가 있었다. 1990년대 건축된 C와 D소방서는 2000년대 이후에 건축된 A와 B소방서보다 차고지문이 절반수준으로 적었지만, 창문과 환기팬은 최근에 건축된 소방서일수록 그 숫자가 많았다(Table 2).

3.2 소방청사 실내공기질 측정 결과

소방청사에서 실내공기질의 측정에 대한 전체적 개요는 Table 3과 같다.

3.2.1 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})

소방청사 내 5개 지점에서 측정된 PM₁₀의 평균 농도는 Table 4와 같았다. 측정 결과 중에서 PM₁₀에 대한 실내 환경 기준은 150 µg/m³을 넘는 경우는 없었다. 또한 PM_{2.5}의 각 구역별 농도 수준은 대기기준 50 µg/m³ (24시간)에 비해 대부분 낮았다.

Table 3. Overview of Indoor Air Quality Measurement in Fire Station

Measurement Objective		A	B	C	D	Sample	Total	
Measurement Date		11/11	11/24	11/25	11/25			
Measurement Time		11:04-18:30	15:37-23:26	10:06-16:36	19:17-02:10			
Method & Pollutants	Real Time Monitoring	PM ₁₀	5	5	5	5	-	20
		PM _{2.5} *	4	5	5	5	-	19
		CO ₂ †	4	4	4	4	-	16
		CO	5	5	5	5	-	20
		NO ₂	5	5	5	5	-	20
		O ₃ ‡	5	4	4	4	-	17
	Active Sampling	HCHO	10	10	10	10	3	43
		VOC	10	10	10	10	3	43
		Asbestos	5	5	5	5	3	23
		PAHs	5	5	5	5	3	23
		Acid	5	5	5	5	3	23
		VCM	10	10	10	10	3	43

*Data Logging has not been done Due to Problems Such as Battery in some Sections. A When Measuring Fire Station PM₁₀, Equipment That Matched the Vehicle: 14:31-15:41, Equipment That was in Comprehensive Situation Room: 15:41-15:53

**Measuring Equipment That Fits the a Fire Department Garage is Equipment That Measures PM₁₀, PM_{2.5} is not Measured..

†For CO₂, Four Data are not Stored due to Abnormality of Equipment in the Equipment That Measured at each Fire Station. A Fire Office 119 Center Office (Office 2) CO₂, Equipment is Turned off due to Battery Problem (13:14-13:38) Data Logging does not Work.

‡An Error Occurred in One of the Instruments Measured by Four Fire Stations. Therefore, O₃ was not Stored in Three Locations, Including a Fire Station.

Table 4. Average Concentration Level of PM₁₀ by Area in Fire Station

(Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fire Station	Vehicle	Garage	Waiting Room	Office Room1*	Office Room2**
A	64.5	96.5	45.1	63.6	64.8
B	38.8	52.8	22.7	23.3	26.8
C	30.7	38.6	20.2	16.1	18.1
D	42.9	44.0	20.4	24.1	30.2

*Office Room 1: Emergency Dispatch Center Office

**Office Room 2: 119 Center Office

3.2.2 포름알데히드

Table 5는 소방청사 내 각 구역에서 측정된 포름알데히드의 농도이다. 포름알데히드에 대한 실내 환경 기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 건은 없었다. A소방서에서 가장 높은 농도는 98.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, B소방서에서는 20.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, C소방서에서는 30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, D소방서에서는 26.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

3.2.3 총휘발성유기화합물(TVOC) 및 휘발성유기화합물(VOCs)

소방청사 내 각 구역에서 측정된 총휘발성유기화합물의 농도 수준은 A소방서와 C소방서의 차고 등에서 실내 기준에서 정한 총휘발성유기화합물에 대한 기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였다(Table 6).

또한, 휘발성유기화합물인 톨루엔과 노말-헥산의 경우는

A소방서의 차고와 C소방서의 차고에서 각각 다른 물질들에 비해 상대적으로 높은 농도 수준이 확인되었고, C소방서는 차고내에 장비연료 보관통이 방치되어 있었다(Table 7).

3.2.4 다환방향족탄화수소(PAHs)

총 16 종류의 다환방향족탄화수소를 분석하였으나 발암성을 갖는 다환방향족탄화수소는 전혀 검출되지 않았으며 검출된 다환방향족탄화수소 종류는 나프탈렌이 유일하였다. 또한, 유일하게 검출된 나프탈렌의 농도 역시 고용노동부의 노출기준에 비해서 낮은 수준이었다(Table 8).

3.2.5 비닐클로라이드(VCM)

소방청사 내 각 구역에서 측정된 염화비닐의 분석결과

Table 5. Concentration Distribution of Formaldehyde by Area in Fire Station

Measurement Date	Fire Station	Measurement Site	Measurement Start Time	Measurement End Time	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Indoor Criteria of Ministry of Environment: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	
					Value	Mean
2016. 11. 11	A	Garage	12:20	13:08	7.6	53.1
2016. 11. 11	A	Garage	13:18	14:08	98.6	
2016. 11. 24	B	Fire Command Vehicle	15:57	17:46	20.3	17.6
2016. 11. 24	B	Fire Command Vehicle	17:53	20:25	15.0	
2016. 11. 25	C	119 Emergency Dispatch Center	10:57	11:37	26.4	28.5
2016. 11. 25	C	119 Emergency Dispatch Center	11:38	12:32	30.7	
2016. 11. 25	D	Waiting Room	20:02	20:37	24.2	25.1
2016. 11. 25	D	Waiting Room	20:40	21:06	26.0	

Table 6. Concentration Level of TVOC by Area in Fire Station

Fire Station	Measurement Site	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Value	Mean
A	Fire Command Vehicle	4,497.3	2,483.9
A	Fire Command Vehicle	470.6	
A	119 Emergency Dispatch Center	-	2,041.2
A	119 Emergency Dispatch Center	2,041.2	
A	Fire Inspection Waiting Room	639.6	1,512.1
A	Fire Inspection Waiting Room	2,384.6	
A	119 Center Office Room	569.8	574.2
A	119 Center Office Room	578.6	
A	Garage	1,003.7	1,377.0
A	Garage	1,750.3	
C	Garage	779.6	679.5
C	Garage	579.3	

Table 7. Concentration Level of VOC by Area in Fire Station

Site	Fire Station	Pollutant	Occupational Exposure Limit by TWA		Concentration (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
			ppm	mg/m^3	Results	Mean
Garage	A	n-Hexane	50	180	543.41	423.42
					303.43	
	C				392.03	334.89
					277.74	
	A	Toluene	50	188	360.59	288.25
					215.92	
C	253.78				225.26	
	196.74					

모든 시료에서 검출되지 않았다(Table 8).

3.2.6 산류(Acid)

4개 소방서 청사 내에서 측정된 산류의 농도 수준을 보

여주고 있다. C소방서의 차고에서 측정된 가스상 황산의 농도는 고용노동부의 노출기준인 $0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ 을 초과하였다. 대부분의 구역에서 측정된 산류의 농도는 고용노동부의 노출기준에 비해 매우 낮은 수준이었다(Table 8).

Table 8. Concentration Highest Level by Area in Fire Station

Type of Pollutant		A	B	C	D
PAH	Naphthalene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.49	0.85	11.69	0.41
VCM	Chloroethylene (ppm)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Acid	Hydrogen Chloride (ppm)	0.0183	N.D.	N.D.	N.D.
	Nitric Acid (ppm)	0.0612	0.0167	0.0125	0.0190
	Phosphoric Acid (ppm)	0.0050	0.0023	0.0117	0.0055
	Sulfuric Acid (mg/m^3)	0.0590	N.D.	0.6854	0.0071
Asbestos (f/cc)		0.0015	0.0010	0.0018	0.0012

Table 9. Average Concentration Level of CO_2 by Area in Fire Station

(Unit: ppm)

Fire Station	Vehicle	Garage	Waiting Room	Office Room1	Office Room2	
A	Average	738	415	487	***	1,024
	Maximum	2,143	953	668	***	1,339
B	Average	808	***	784	658	605
	Maximum	2,202	***	931	973	979
C	Average	439	***	1,033	1,120	578
	Maximum	496	***	1,205	1,362	794
D	Average	485	***	1,078	528	850
	Maximum	583	***	1,326	816	1,292

*Office Room 1: Emergency Dispatch Office

**Office Room 2: 119 Center Office Room

***Device Error

3.2.7 석면(Asbestos)

석면은 소방서의 각 구역에서 측정된 석면의 농도에서 4개 소방서 모두 측정 및 분석 결과 환경부 및 고용노동부의 실내 환경 기준인 0.01 f/cc를 초과하지 않았다(Table 8).

3.2.8 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2)

소방청사 내 각 구역에서 측정된 일산화탄소의 농도는 4개 소방서 모든 구역에서 일산화탄소의 실내 기준인 10 ppm을 넘지 않았다. 이산화탄소 노출평가 결과 일부 기기 이상으로 측정 기록이 남아 있지 않은 장소를 제외하고 대부분 실내 환경 기준인 1,000 ppm을 넘지 않았으나 일부 대기실과 사무실 등에서 기준을 초과하였다(Table 9).

3.2.9 이산화질소(NO_2), 오존(O_3)

이산화질소는 4개 소방서 측정결과 모두 환경부와 고용노동부에서 실내 환경에서의 이산화질소 농도에 대해서 설정하고 있는 수준에 비해 낮았다. 오존은 A소방서의 대기실에서 측정된 분석 결과를 제외하고 대부분의 장소에서 검출된 오존 농도는 매우 낮거나 검출되지 않았다.

4. 고 찰

본 연구는 서울시에 소재한 4개 소방청사 실내공기질 측정을 통하여 2차노출의 특성을 평가 하였다. 그 중 2개소는 화재출동 후 소방관들이 귀대한 후 30분 이내의 상황에서 소방서 실내공간과 소방차량 내부의 실내공기질을 평가하였고, 2개소는 평소 수준에서 평가하였다. 그동안의 국내 연구는 직접 소방관에게 1차적으로 노출이 되는 화학적 유해인자에 대한 평가가 수행되었고, 제한적이었으며 2차노출에 대한 연구는 없었다. 따라서 소방청사 내 화학적 유해물질의 2차적 노출평가를 수행한 본 연구는 의미 있는 시도이다.

소방현장 활동 중 노출되는 석면노출의 위험성 연구(2010)에서는 소방공무원 설문조사를 통해 소방활동 중 석면의 유해성 인식도 분석을 한결과 64.3%가 석면의 유해성을 인식하지 못하였다. 1/4정도의 소방공무원만이 건물붕괴와 화재진압 시 석면분진에 노출된다고 인지하고 있어 철저한 보호장비착용을 통한 소방활동의 중요성을 강조하였다⁹⁾. 국내 첫 화재현장 1차노출 화학적 유해인자 특성 연구(2008)에서는 9건의 건축물 화재현장에서 잔화정리 작업을 수행하는 소방관과 화재조사요원이 노출될 수 있는 유해인자인 아크롤레인, 포름알데히드, 벤젠, 벤조에이피

렌, 알데히드 류, VOC, PAH 등을 확인하였으며, 두 집단의 인구집단위해도와 기대수명손실을 평가하였다⁽⁴⁾. 화재현장, 잔화정리, 화재조사 업무를 담당하는 소방공무원들에게 노출되는 유해물질 연구(2010)에서는 화재진압 단계뿐 아니라 잔화정리와 화재조사 시에도 기준을 초과하는 유해물질이 있음을 확인하였고, 벤젠이나 PAH 등의 발암노출 최소화를 위해 호흡보호구 착용의 중요성을 강조하였다⁽⁵⁾. 마지막으로 소방청사에서의 유해인자 2차 노출 차단을 위한 시설 및 소방장비 관리기준 개발 연구(2013)에서는 화재 실험 후 방화복, 헬멧, 공기호흡기에 오염되어 잔존하는 15종의 발암물질을 확인하였고, 차고지와 감염관리실의 건강유해요인을 확인하였으며, 현행 소방청사 차고지 환기실태를 평가한 결과 대부분 별도의 환기시설 없이 자연환기에 의존함을 확인함으로써 방화복 등 보호장비의 세척과 보관체계 개선, 차고지 환기설비 설치기준과 매연관리 권고안 마련, 감염관리실의 EO가스 소독기 관리지침시행을 강조하였다⁽⁶⁾.

본 연구결과에서 미세먼지(PM₁₀)는 다른 장소에서보다 차량과 차고에서 측정된 결과가 상대적으로 더욱 높았다. Michelle 등은, 봄, 여름, 가을 3개 계절에 걸쳐 아틀란타 도심지역 소방청사 내 PM₁₀, PM_{2.5} 농도를 모니터링 한 결과, 가을에 PM₁₀이 유의하게 높았음을 확인하였고⁽⁷⁾, Diane Ivy 등은 소방장비를 작동할 때 디젤배출물로부터 PM₁₀이 배출되는 것이 확인되었는데⁽⁸⁾, 본 연구에서 측정된 미세먼지(PM₁₀)도 차고지에 있는 소방차나 현장지휘차량 등에서 발생하는 디젤배출물질 때문인 것으로 추정된다. PM_{2.5}에 대한 노출 기준이 2015년 1월에 제정되어 연간평균치 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간평균치로는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 규제해 왔다. 최근 환경부는 ‘환경정책기본법 시행령’ 개정을 통해 PM_{2.5} 환경기준을 일평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화하였고, 이 기준은 2018년 3월 27일부터 시행되고 있다. 한편 환경부에서는 실내공기질 관리법 시행규칙을 통해서 실내공기질 유지기준을 제시하고 있다. 유지기준에는 PM_{2.5} 항목이 새로이 추가되었고 의료기관, 어린이집, 노인요양시설, 그리고 산후조리원 등에 대해 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 넘지 않게 관리하도록 하고 있으나 실내주차장이나 실내 체육시설, 실내공연장 등에 대해서 미세먼지 관리는 하지 않고 있다.

포름알데히드는 A소방서에서 측정된 결과 중 일부는 미국 Recommended exposure limit ceiling (NIOSH REL기준 80.2% 수준이었고, 차고에서 측정된 PM₁₀ 농도 분포에서는 두 번째 포름알데히드가 측정된 기간 동안에 가장 높은 수준의 PM₁₀ 농도로 확인되었다. 이는 소방차 등에서 배출되는 디젤배출물질의 영향을 받은 것으로 추정된다. Elliot 등은 디젤 엔진을 사용하는 차량에서 배출되는 유해물질 중에서 포름알데히드를 포함한 다양한 물질들을 확인하였다⁽⁹⁻¹¹⁾.

휘발성유기화합물은 A소방서에서 전반적으로 농도 수준이 높은 편이었는데 화재 진압 후 귀소한 상황이 반영된 결과이다. 또한, A소방서의 대부분에서 실내기준을 초과하

고 있어 소방 활동 후 복귀한 영향이라고 판단된다. 총휘발성유기화합물은 실내 건축자재에서 배출되는 것의 영향도 있으므로 소방활동 이외에 실내공기질에 영향을 미칠 수 있는 실내 오염원을 확인하고 관리하는 것이 필요하다. 장비연료 보관통 등의 영향으로 인해 다른 곳에 비해 상대적으로 높은 수준의 총휘발성유기화합물의 농도가 확인되어 있어 화학물질의 관리가 필요하다. 염화비닐은 폴리비닐클로라이드(PVC)에 함유된 염화비닐이 화재로 인해 분해되어 발생할 가능성이 높으므로 청사 내 실내환경 보다는 화재현장에서 노출 수준을 검토하는 것이 바람직할 것이다.

C소방서의 차고에서 측정된 가스상 황산의 농도는 0.6854 mg/m³로 고용노동부의 노출기준을 초과(황산미스트 기준)하였는데 이는 디젤차량에서 배출되는 배기가스가 산소와 반응하여 이산화황에서 무수황산으로 산화반응을 일으키고, 무수황산은 수분과 반응하여 황산이나 황산염을 생성하였기 때문이라고 추정된다. 하지만 고용노동부의 노출기준은 황산미스트에 한해서 적용할 수 있기 때문에 직접 비교하기는 무리가 있지만 소방청사에서 황산이 검출된 것은 의미가 있다고 판단된다. 따라서 차고지는 디젤 차량에서 배출되는 디젤배출 연소물질을 줄이기 위한 환기시설이 필요하다는 것을 알 수 있었고, 위험한 화학물질은 환기가 잘 되는 정해진 장소에 보관되어야 하며 경고표시 등이 부착되어야 한다. 산업안전보건법 제27조 제1항의 규정에 의한 「사무실 공기관리 지침」에 의하면 사무실 공기질의 측정결과와 측정치 전체에 대한 평균값을 오염물질별 관리기준과 비교하여 평가하되 이산화탄소는 각 지점에서 측정한 측정치 중 최대값을 기준으로 비교·평가하도록 하고 있다. 사무실 공기관리 지침에 의한 평가 방안에 의하면 일부 구역의 경우 평균 농도수준에서는 1,000 ppm을 넘지 않았지만 측정 시간 동안 최대값 수준에서는 초과하는 것이 확인되었다. 따라서 실내공기 질을 안전하게 유지하기 위하여 이산화탄소의 평균 농도 또는 최대 농도 수준이 1,000 ppm을 넘는 장소는 적절한 환기가 필요하다.

실제 소방관이 소방청사에서 화학적 유해물질에 노출될 수 있는 원인은 매우 다양하다. 포르투갈 8개 소방서에서 소방관들의 다환방향족탄화수소(PAHs)와 비노기 독성물질에 의한 직업적 2차노출을 개인수준과 작업환경 수준에서 각각 모니터링을 수행하였고, PAHs에 노출된 소방관들은 개인적 감시와 생체공학적 평가를 함께 수행한 결과 노출이 확인되기도 하였다⁽¹²⁾. Oliveria의 연구에서는 소방서에서 소방관들의 다환방향족탄화수소의 개인적 노출특성과 위험도 평가를 실시한 결과 연료, 차량배기가스, 윤활유 사용 등이 PAH노출의 주요 원인으로 확인되었다. 이는 화재가 발생하지 않은 소방서 환경에서도 소방관들의 건강상 영향을 줄 수 있는 수준의 PAH 노출이 될 수 있다는 것을 의미한다⁽¹³⁾. 또한 화재현장에서 포집되는 PAH가 소방서 휴게실과 부엌에서도 발견되었다는 연구결과는⁽¹⁴⁾ 사무실 등에서 화학적 유해인자가 검출된 국내의 현실과도 크게

다르지 않다는 것을 의미한다.

본 연구결과에서 소방차량의 시동점검, 근무교대점검, 출동할 때 그리고 귀소단계에서 발생하는 디젤배출물에서 포름알데히드, 산류 등의 유해인자 접촉가능성이 확인되었다. 따라서 차량에서 배출되는 유해물질의 차단을 위해 신축(재건축)예정인 소방서를 포함하여 모든 소방서에 소방차량 매연가스 배출설비 설치기준을 마련하고 시스템을 설치하여 가동이 필요하고, 주기적인 환기가 필요하다. 배출설비는 차량배기구에 전자식으로 탈부착 가능하여 출동을 할 때 차량이 약 1 m 이동시 자동으로 탈착하는 기능으로 매연 등의 유해물질 청사 외부로 정화하여 배출하는 기능이다. 미국에서는 소방관의 안전과 보건을 고려한 소방서 및 훈련센터 설계 기준을 별도로 두고 있다. 또한, 유해가스로부터 소방대원들을 지키기 위해 소방대원 숙소에 일산화탄소 감지기 설치, 출동 후 2차 감염을 예방하기 위한 방화복 전용세탁기 및 세탁공간을 확보토록 하고 있다⁽¹⁵⁻¹⁷⁾. 국내의 경우 NFPA 기준에 의한 매연배출장치를 설치하여 운영하는 소방관서는 2017년 12월말 기준으로 약 15개소 정도로 설치가 되어 있는데 전국 소방청사에 단계별 확대 보급이 필요하다.

화재현장 진압작업 후 귀소한 상황에서 실내공기질을 평가한 결과 이산화탄소, 총휘발성유기화합물, 포름알데히드, 그리고 일부 산류에서 실내기준, 노출기준, 혹은 관련 기준을 초과하는 경우를 확인할 수 있었다. 실내 환기의 유지와 일부 화학물질의 관리, 그리고 디젤차량 및 차고의 관리에 대한 대책 마련이 필요하다. 이미 소방방재청 연구(2013)에서 유해인자 2차노출 차단을 위한 시설 및 소방장비 관리기준이 개발된 바 있다⁽⁶⁾. 향후 본 연구결과를 근거로 하는 소방기관에서의 차고의 장비 및 화학물질 보관지침 마련의 적극적이고 조속한 정책반영과 실행이 이루어져야 할 것이다.

화학적 유해물질은 실내환경의 간접노출 보다는 화재현

장에서 직접적으로 노출되는 양상이 매우 중요하다. 따라서 이에 대한 체계적인 모니터링 계획이 필요하다고 판단되며 이 자료는 향후 소방대원들의 건강관리와 사후 자료 관리 차원에서 매우 중요하다고 판단된다. 추가적으로 화재현장에서 사용하는 장비들 또는 보호복 재질이 코팅처리된 것들이 많고 일부 화재진압용 foam에 과불화화합물이 다량 함유되어 있어 소방대원들이 해당 물질에 노출될 가능성이 높을 것으로 예상된다. 특히, 과불화화합물의 경우 신장암과 음낭암을 일으킬 가능성이 높다고 여겨지고 있으며 다른 다양한 질병의 원인으로도 의심되는 물질이다. 따라서 바이오모니터링을 통해 소방대원들의 노출 가능성을 확인하고 그에 근거해 노출을 관리할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요할 것이다.

사고현장에서 노출된 유해인자 차단을 위한 소방차량 및 개인보호장비(Personal protective equipment; PPE) 관리 시스템 구축이 필요하다. 첫째, 사고현장 출동단계에서 귀대 후 개인보호장비 관리시스템이 정착되어야 할 것이다. 현재의 소방 출동시스템의 문제는 펌프차량 내 비치되어 있는 소방 방화복, 방수화 등 개인보호장비를 착용하여 화재현장을 출동하고 현장 활동 후 유해물질에 노출된 상태로 차량에 탑승하여 소방서로 복귀하게 된다. 화재현장 등 독성화학물질에 노출된 현장에서 활동 후 그 상태로 소방차량에 탑승하여 소방서로 돌아온 후 개인보호장비는 물세척 또는 방화복 전용세탁기로 세척하여 건조시키고, 공기호흡기는 사용한 봄베만 충전하여 다음 출동을 위하여 교체하고 있다(Figure 1). 이때 화재현장에서 묻어온 유해물질들이 2차적으로 소방청사 내에 노출되어 오염될 가능성이 있다. 또한 유해물질에 노출되어 있는 의복과 장비는 정해진 장소에서만 조작을 하고 의복을 벗어야 하지만 아직까지 “격리”와 관련하여 운영되고 있는 시스템은 없다. 둘째, 개인보호장비 격리시스템이 도입되어야 한다. 소방공무원의 유해인자 노출 차단을 위해서는 별도의 구획된 공

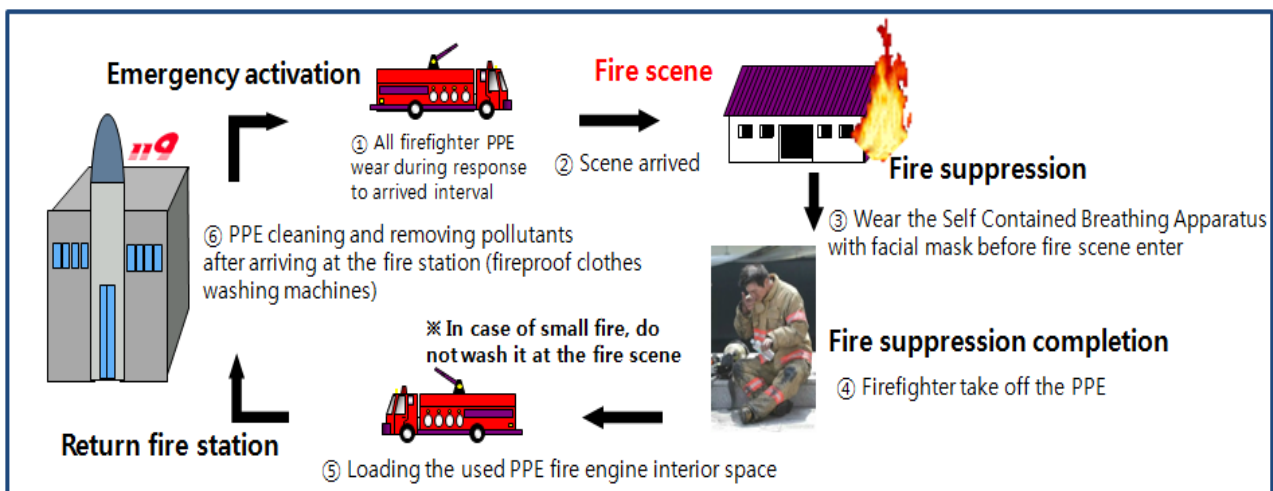


Figure 1. The personal protection equipment (ppe) management system based on the emergency management system (present).

간에 개인보호장비 등을 보관하여야 하며, 현장 활동 후에는 별도의 용기에 사용한 장비를 모아 귀소 후, 전용 세척 장비를 이용하여 오염물질을 제거하여야 한다. 그 후 전용의 공간에서 건조 시킨 후 별도의 구획된 개인 장비 공간에 비치하여 출동 시 착용하고 출동할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 또한, 세탁 및 세척한 개인보호장비는 깨끗한 공간을 확보하여 보관할 수 있도록 청사 전용면적에서 개인보호장비 보관실을 확보토록 규정하여야 할 것이다. 개인보호장비를 세탁, 세척, 소독하였다 할지라도 차량시동점검을 하는 차고 뒤편, 또는 일반 차고에 보관하면 다시 유해물질에 노출되어 오염되기 때문에 「소방장비관리규칙」에 다음과 같이 ‘개인보호장비실 전용면적’ 설치 기준을 추가하여 의무적으로 설치하여야 될 것이다. 마지막으로, 국내 출동단계별 오염(Decontamination)이라는 기준이 확립되어 있지 않아 화재진압 중에도 오염물질이 묻어있는 소방 방화복을 그대로 착용한 채 식사를 하는 상황이 지속되고 있다. 이렇게 비체계적으로 운영되고 있는 출동소방차량 및 개인보호장비를 체계적으로 관리운영 할 필요가 있으며 다음과 같이 개선방안을 제안한다(Figure 2).

하나, 일상 업무 수행 중 출동지령을 받으면 소방관들은 개인보호장비를 착용하고 화재현장으로 출동한다.

둘, 출동할 때 항상 깨끗한 장비를 넣은 가방을 사용한다.

셋, 현장에 도착하면 연기와 가스에 오염되지 않은 지역에 소방차를 주차시킨다(Cold zone).

넷, 화재진압(잔화정리 포함)단계에는 항상 공기호흡기와 방화복을 착용해야 한다(Warm zone).

다섯, 화재진압단계가 종료되면 개인보호장비는 가능한 내부 피복에 오염되지 않도록 제거하고, 소방차량도 소방서로 들어오기 전에 물로 세척하여 오염물질을 1차적으로 제거한다(Transition zone).

여섯, 소방관은 오염되지 않은 깨끗한 옷으로 환복 한다.

일곱, 화재현장에서 착용하였던 신발과 공기호흡기를 물 등으로 세척한다.

여덟, 화재연기 및 그을음에 오염된 보호 장비와 공기호흡기를 가져왔던 포집용기 안에 넣는다. 이 포집용기는 대원들이 타는 내부공간이 아닌 소방차량 외부 맨 뒷부분에 적재하여 차량내부가 오염되지 않도록 한다.

아홉, 소방서로 돌아온 후, 오염된 장비와 공기호흡기를 넣은 포집용기를 곧바로 오염제거를 위해 세탁 및 소독실로 옮긴다.

상기 개선방안 이행을 할 때, 오염구역(Warm zone), 전환구역(Transition zone), 비오염구역(Cold zone)에서 수행해야 하는 행동절차를 표준화하여 규정하고 준수할 수 있도록 운영해야 할 것이다.

본 연구에서 A와 B는 실험군, C와 D는 대조군으로 11개의 측정항목들 중 일부 항목에서 대조군보다 실험군에서 높게 측정되지 않았다. 이는 평소 소방청사 실내 환기가 원활하게 이루어지지 않고 있을 개연성을 내포한다. 또한, 중

급이상의 화재출동이 아닌 소형화재 출동이라 하더라도 노출량이 소방청사 내에 축적되어 평소수준에도 포름알데히드 또는 이산화탄소 등 일부 유해물질들의 수준이 안전범위 보다 높게 측정될 수 있다는 것을 의미한다. 이는 Eliot 등의 연구에서와 같이 디젤엔진을 사용하는 소방차량에서 배출되는 배기가스 영향의 가능성을 배제할 수 없다^(10,11).

따라서 향후 소방관 보건안전 담당자들은 각 소방청사에서의 적극적인 환기조치를 해야 할 필요가 있을 것이다. 또한, 실험군은 대조군보다 완공시기가 더 최근에 건축된 건물이다. 이에 따라 소방시설이나 소방차량 등 시설이 최신임을 감안하였을 때 휘발성유기화합물, 황산 등 일부 유해물질의 경우 대조군에서 더 높게 측정되었다고 해석할 수도 있겠다.

본 연구를 수행함에 있어서 몇 가지 제한점이 있었다. 첫째, 평가대상인 소방서를 무작위로 선정하여 연구를 진행하였으나, 서울시 24개 소방서 중 4개 소방서를 대상으로 도출한 결과이므로 본 결과를 일반화 할 수는 없을 것이다. 따라서 결과의 대표성을 가질 수 있도록 후속연구가 수행되어야 하겠다. 둘째, 동일사고 발생할 때 화재현장의 유해인자가 얼마나 소방청사 내부를 오염시키는 지에 대한 기여도를 평가할 수 없었다. 따라서 향후 연구에서는 동일 사고로 출동을 할 때 재난(화재 등)현장에서의 오염물질 1차노출 포집, 소방청사 내에서의 2차노출을 함께 포집하여 비교 분석하여야 할 필요가 있다. 이는 오염물질의 확산 정도와 오염정도를 평가할 수 있는 지표가 될 수 있을 것이다. 셋째, 유해물질 측정일 측정소방서의 자치구지역의 날씨를 포함한 대기오염물질 농도를 함께 측정하여 비교하지 못하였고, 직독식기기 데이터의 일부가 손실되었다.

또한, 향후에는 연구설계를 달리하여 화재현장에서의 소방활동 전과후 소방서 실내공간의 실내공기질, 그리고 출동과 무관한 조건에서의 비교를 통해 화학적 2차노출의 영향정도를 더 정확히 평가할 수 있을 것이며, 더 나아가서는 일반 사무실 대비 소방서 청사 내 공기질 비교를 통해 일반인구 대비 소방관이 화학적 유해인자 노출위험과 인체유해성 정도를 평가할 수 있는 후속연구가 진행될 필요가 있겠다.

5. 결 론

서울시 소재 4개 소방청사의 각 5개소 구역에서 실내공기질을 평가하였다. 실내공기 오염물질들 중에서 이산화탄소, 총휘발성유기화합물, 황산의 농도 수준이 일부 실내 기준을 상회하고 있었다. 총휘발성유기화합물은 대부분 차고에서 높았으며 C소방서에서는 휘발유와 같은 화학물질의 관리를 통해 공기중 농도를 저감할 수 있다. 포름알데히드는 일부 차고와 실내에서 높았다. 이산화탄소 1,000 ppm은 실내공기가 정체되어 있다는 것을 의미하므로 주기적인 환기로 해결할 수 있다. 연소 관련 물질들 중에서 산류의 일

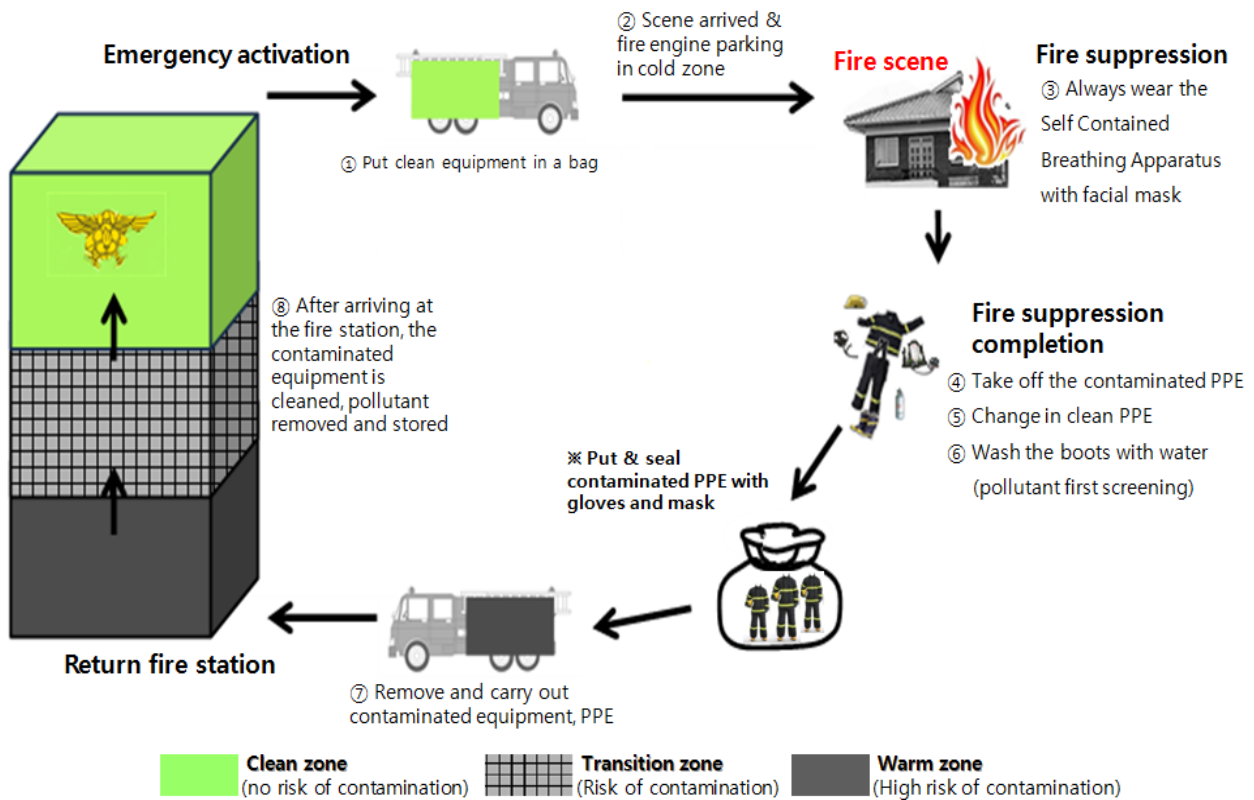


Figure 2. A model for improvement of ppe management system for incident response activity including fire.

부인 황산이 0.6854 ppm으로 고용노동부의 노출기준을 상회하였으나 연소와 관련된 물질들이라기보다는 디젤연소 배출물질로 인해 영향을 받았을 것으로 판단되므로 차고지에서의 디젤차량 관리와 환기개선을 고려하는 것이 필요할 것이다. 대조군(C,D) 대비 실험군(A,B)에서 일부 측정인자(포름알데히드, 황산)에서 더 많은 유해물질이 검출되지는 않았다. 이는 재난현장 출동 후 귀소와 상관없이 소방차량의 배기가스와 평소 화학적 유해물질의 누적이 청사 내 실내공기질 뿐만 아니라 장·단기적으로 소방관의 건강영향의 문제가 될 수 있는 가능성이 있기 때문에 소방청사의 체계적인 실내공기질 관리가 필요함을 뒷받침해준다. 본 연구 결과는 향후 소방청사 실내공기질 관리시스템이 정착되는데 활용될 수 있겠다.

References

1. A. Blair, D. Blask, M. Bråtveit, T. Brock, J. L. Burgess, G. Costa, S. Davis, P. A. Demers et al, "Painting, Firefighting, and Shiftwork", IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 98, World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France (2010).
2. Underwriters Laboratories (UL), "Firefighter Exposure to

Smoke Particulates" (2010).

3. J. I. Lee, "The Risk and Countermeasures of Asbestos Exposure at the Scene Activities of Fire Officials", Fire Science and Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 68-78 (2010).
4. J. I. Kim, "Characterization of Firefighter Exposures during Fire Overhaul and Investigation", Graduate School of Public Health, Seoul National University, pp. 34-40 (2008).
5. S. H. Jin, T. S. Kang, J. H. Park, Y. S. Yang, J. Y. Yu and C. S. Yoon, "Firefighters' Exposure Assessment to Chemical Hazard in Fireplace", Journal of Fire Science Research, pp. 60-83 (2013).
6. D. Y. Park, Y. S. Bae, D. S. Lim, H. S. Kwak, J. H. Sung and S. R. Oh, "A Study on the Development of Facilities and Fire Protection Equipment Management Standard to Prevent Secondary Exposure to Hazardous Substances in Fire Fighting Offices", NEMA (2013).
7. M. Oakes, N. Rastogi, B. J. Majestic, M. Shafer, J. J. Schauer, E. S. Edgerton and R. J. Wever, "Characterization of Soluble Iron in Urban Aerosols using Near-real Time Data", Journal of Geophysical Research, Vol. 115, pp. 1-12 (2010).
8. D. Ivy, J. A. Mulholland, A. G. Russell, "Development of Ambient Air Quality Population-Weighted Metrics for Use

- in Time-Series Health Studies”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 58, pp. 711-720 (2008).
9. P. Burge, “Sick Building Syndrome”, *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 61, No. 2, pp. 185-190 (2004).
 10. D. M. Bolstad-Johnson, J. L. Burgess, C. D. Crutchfield, S. Storment, R. Gerkin and J. R. Wilson, “Characterization of Firefighter Exposures during Fire Overhaul”, *AIHAJ-American Industrial Hygiene Association*, Vol. 61, No. 5, pp. 636-641 (2000).
 11. M. A. Elliott, G. J. Nebel, F. G. Rounds, “The Composition of Exhaust Gases from Diesel, Gasoline and Propane Powered Motor Coaches”, *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 5, No. 2, pp. 103-108 (1955).
 12. M. Oliveria, K. Slezakova, A. Fernandes, J. P. Teixeira, C. Delerue-Matos, M. D. C. Pereira, S. Morais, “Occupational Exposure of Firefighters to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Non-fire Work Environments”, *Science of The Total Environment*, Vol. 592, pp. 277-287 (2017).
 13. M. Oliveria, K. Slezakova, M. J. Alves, A. Fernandes, J. P. Teixeira, C. Delerue-Matos, M. D. C. Pereira, S. Morais, “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons at Fire Stations: Firefighters’ Exposure Monitoring and Biomonitoring, and Assessment of the Contribution to Total Internal Dose”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 323, Part A, pp. 184-194 (2017).
 14. C. S. Baxter, J. D. Hoffman, M. J. Knipp, T. Reponen and E. N., Haynes, “Exposure of Firefighters to Particulates and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons”, *J. Occup. Environ. Hyg.*, Vol. 11, Issue 7, pp. 85-91 (2014).
 15. NFPA, Code 1402, “Guide to Building Fire Service Training Centers”, USA (2019).
 16. NFPA, Code 1403, “Standard on Live Fire Training Evolutions”, USA (2018).
 17. NFPA, Code 1500, “Standard on Fire Department Occupational Safety, Health, and Wellness Program”, USA (2018).