

소방 방화복 교차오염 저감 및 관리체계 개선을 위한 델파이 연구

김수진^{1,2} · 함승헌^{3*}

¹서울특별시소방학교 소방과학연구센터, ²서울대학교 보건대학원, ³가천대학교 의과대학 길병원 직업환경의학과

Delphi Study on the Reduction of Cross-contamination and Improvement of Management System on Firefighting Protection Suit

Soo Jin Kim^{1,2} · Seunghon Ham^{3*}

¹Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Service Academy

²Department of Epidemiology, Graduate School of Public Health, Seoul National University

³Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Gil Medical Center, Gachon University

ABSTRACT

Objectives: This study evaluates and recommends the priority of policy implementation to improve the fire protection clothing management system used by firefighters and the reduction of cross-contamination from contaminated clothing at the scene of a fire.

Methods: It consisted of 7 experts and conducted three interviews and two modified Delphi surveys. Through the results of previous research and interviews with experts, a plan to reduce cross-contamination of fire suits and improve the management system was first derived. An improvement plan was presented in the four areas including resources, management, fire protection related work, and laws and regulations, and the priority of policy implementation was derived by analyzing the importance and practicality of the policy at the same time.

Results: As a result of the analysis, the first priority was education on the health effects of pollutants at the disaster scene for firefighters, and the second priority was the addition of SOP for the primary decontamination of on-scene personal protective equipment in preparation for the health effects of the disaster scene, and education for fire suppression and rescue workers. The next step was to improve the management system of personal protective equipment such as fire suits and develop a training course for systematic operation.

Conclusions: This findings could be used in the implementation of mid- to long-term firefighting policies for the systematic operation and establishment of a systematic management system for personal protective equipment such as fire protective suits.


Key words: fire protective suits, cross contamination, management system, importance, practicality, delphi, fire policy implementation

I. 서 론(Introduction)

소방관은 주택화재와 산업화재 등 다양한 장소에서

발생하는 여러 가지 유해물질에 반복적으로 노출된다. 국제암연구소에서는 이러한 이유로 소방관이라는 직업적 노출을 인체 발암가능인자인 Group 2B로 규정하고

*Corresponding author: Seunghon Ham, Tel: 032-458-2634, E-mail: shham@gachon.ac.kr
Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Gachon University, 38-13, Dokjeom-ro 3beon-gil, Namdong-gu, Incheon
Received: May 25, 2022, Revised: June 14, 2022, Accepted: June 27, 2022

 Soo Jin Kim <http://orcid.org/0000-0002-0678-6353>

 Seunghon Ham <http://orcid.org/0000-0002-5167-9661>

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.

있다. 또한 생체리듬을 교란시키는 교대근무는 인체에 암을 유발할 수 있는 발암 추정인자인 Group 2A로 규정하고 있는데, 화재진압·조사·감식과 인명구조 등의 업무를 수행하는 소방관의 직무환경의 위험특성도 여기에 해당된다(IARC, 2010). 화재가 발생하면 현장에서는 벤젠, 1,3-butadiene, 포름알데히드, 시안화수소 등과 같은 발암물질이 발생하며, 인명구조, 화재진압 등 소방활동을 수행하는 소방관은 단기간에 고농도로 노출될 수 있다(IARC, 2010; UL, 2010).

소방관은 이러한 위험상황에서 개인보호장비를 착용하고 사고현장에 진입하게 되는데 소방 특수방화복(이하 '방화복')은 각종 재난사고의 극한환경으로부터 소방관의 생명을 지켜주는 개인보호장비 중 하나이다(Park et al., 2014). 소방 방화복은 화재현장에서 발생한 독성물질에 노출됨으로써 직접적으로 오염될 수 있고, 다시 공기 중 휘발성 오염물질 등과 접촉함으로써 실내·외 공기를 오염시킬 수 있다(Kim et al., 2008). 소방관은 방화복 탈의과정에서 개인보호장비나 주변 오염물질의 교차오염을 통해 화재현장 연소 부산물에 침투되어 화학적 유해물질에 노출될 수 있으며, 피부 또는 호흡기계를 통해 흡수될 수 있다(Kenneth et al., 2016). 따라서, 소방관들이 방화복을 올바르게 사용하고 관리하는 인식을 가지는 것은 화재현장 독성물질로부터 직업적 노출을 감소시키고 건강영향을 최소화시킬 수 있다(Kim, 2021). 소방 방화복을 포함한 개인보호장비 매뉴얼의 경우 한국에서는 소방청에서 정한 기준을 준용하고 있으며, 미국 등 선진국에서는 NFPA Code 1851에서 권고하는 규정을 따르고 있다(NFPA, 2020). NFPA Code에서는 화재진압을 위한 보호복 선정, 관리와 유지에 관한 표준, 선정, 검사, 오염, 세척과 오염 제거, 보수(수리), 보관과 폐기에 대한 표준작전절차(standard operation procedure, SOP)를 구체적으로 다루고 있다(NFPA, 2020).

그동안 국내에서 발표된 소방 방화복에 대한 연구는 주로 착용의 안전성과 착용성 평가, 열보호성능, 업무적합도 평가프로토콜 개발과 디자인 성능 향상, 작업강도 신체영향에 대한 연구가 대부분이었다(Bang et al., 2015; Kim et al., 2008; Kim et al., 2015; Kim et al., 2017; Kim et al., 2018; Lee et al., 2016). 국내 대도시 소방관을 대상으로 실시된 소방 방화복 설문조사 결과에 의하면, 재난현장에서 발암물질이 발생 가

능성을 인지하는 그룹은 그렇지 않은 그룹에 비해서 화재발생 현장에서 소방서로 복귀하기 전에 현장에서 착용하였던 소방 방화복을 현장에서 1차 제염을 실시해야 하는 사실을 인지하고 있으나, 실제 행동으로 이어지지 않는 것으로 발표된 바 있어 소방관들의 인식전환이 필요함을 보여주었다(Kim, 2021). 이는 국내 방화복 사용과 관리에 대한 소방관 인식을 평가한 첫 연구이기도 하다. 또한, 소방 방화복의 관리기준, 인식도 조사, 세척방법에 대한 만족도 조사가 있었으나 선행연구 문헌에 발표된 바 없었다. 또한 주택화재 시뮬레이션 기반의 실험연구에 의하면, 화재현장에서 안전범위를 27%나 초과하는 1급 발암물질인 포름알데히드가 검출되었고, 급성 피부독성을 유발하는 시안화수소도 일부 검출된 바 있었다(Kim, 2021). 주택화재 시뮬레이션 실험에 노출시킨 방화복을 세탁한 물에서는 다양한 종류의 중금속이 검출되었고, 1회 화재에 노출된 방화복보다 연속 2회 화재에 노출된 방화복에서 양의 상관관계 결과를 보이는 물질이 검출되었으며 내분비교란물질도 세탁이 끝난 배출수에서 검출된 바 있다(Kim, 2021). 그러나 이러한 일련의 결과를 중재하기 위한 효과적인 관련 소방정책이 소방활동 현장에 적용되어 체계적으로 실행되지 못하고 있으며, 정책적 개선을 위한 연구도 현재까지 발표된 바 없다.

따라서 이 연구의 목적은 소방관들이 각종 재난현장에서 착용하는 소방 방화복의 현장오염도를 저감하고 소방관들이 가져야 할 방화복 관리체계를 개선하기 위한 소방정책적 우선순위를 평가하고 제언하는 것이다.

II. 재료 및 방법(Materials & Methods)

1. 연구설계 및 기간(Study design & duration)

이 연구의 디자인은 인터뷰 조사기법을 이용한 질적 연구와 델파이 조사기법을 이용한 단면연구로 구성된 복합적인 방법(mixed methods)으로 구성되어 있다. 연구수행 기간은 2019년 10월 10일부터 10월 25일까지 총 17일간 3회에 걸쳐 수행되었다.

2. 인터뷰 및 델파이조사 참여대상(Study Participation)

인터뷰 조사대상은 서울소재 24개 소방서에 근무하는 소방장비관리 실무자와 화재진압 및 인명구조업무 담당자 40명을 대상으로 화재 등 재난현장에서의 소방

방화복 사용 및 관리실태 개선방안 항목개발을 위하여 심층 인터뷰를 수행하였다. 또한 2차와 3차에 참여하는 델파이조사 대상은 패널선정이 매우 중요하므로 해당분야의 전문적 지식과 연구·실무경험을 가지고 있는 전문가로 구성하였고, 대학교수와 소방공무원 7인으로 구성하였다. 특히, 대학교수는 소방복제 안전성과 재난대응에 대한 연구수행 유경험자였고, 소방공무원은 소방 개인보호장비와 실화재훈련 국제자격인증을 받은 교관으로 방화복의 사용과 관리 등 안전분야에 전문성을 인정받은 자로 해당분야 전문가를 델파이조사 패널로 선정하였다.

3. 델파이조사 방법 및 수행내용(Methods)

1) 인터뷰 내용

소방관들이 화재현장에서 착용하였던 소방 방화복 사용과 복귀 전 제염과 같은 조치사항, 세척, 관리, 안전 관리매뉴얼의 인지, 관련법규와 자원(인력과 예산), 관련업무 시스템의 운영과 교육실시 현황 등 방화복의 사용과 관리에 대한 전반에 대하여 인터뷰를 실시하였고 현실태와 문제점을 도출하여 델파이 조사문항에 반영하였다.

2) 델파이조사 방법 및 내용

이 연구는 구조화된 설문지를 통해 3단계에 걸쳐 2회의 정책 델파이 조사를 수행하였다(Rayens MK, 2000). 델파이조사는 정책의 우선순위를 결정하기 위해 라운드에 걸쳐 의견조율과 합의를 통해 최종적으로 정책을 결정하는 방법이다. 1단계 인터뷰는 10월 10일부터 14일까지, 2단계 델파이조사는 10월 16일부터 18일까지, 3단계 델파이조사는 10월 22일부터 25일까지 조사를 진행하였다. 우선 방화복의 오염도 저감과 체계적인 방화복 관리운영을 위한 심층인터뷰를 통해 1차적으로 평가항목을 도출하였고 이 과정에서 현장실무자들의 교차검토가 수행되었다. 1단계 인터뷰를 시행하기 위해 서울시 소방관을 대상으로 수행하였던 설문결과 및 선행연구 문헌검토가 선행되었다. 1단계 문헌검토 내용은 방화복의 사용과 관리상태(보유, 사용, 세척, 관리) 오염된 방화복 위생관리시스템의 시범운영에 대한 순응도와 인식도 결과, 방화복의 화재현장 노출에 의한 오염도 결과를 통해 40명의 전문가들을 대상으로 인터뷰 수행 및 논의과정을 통해 최종 16개의 델파이 항목을 최종 개발하였다. 1단계 인터뷰 결과

개발된 평가항목은 크게 4개 분야로 분류하였다. 평가항목 중 첫 번째로 조직, 인력, 예산분야에는 5개 평가항목으로 구성되며 소방공무원 방화복 등 개인보호장비 관리체계 개선을 위한 ①전문인력 채용, ②내부 전문가 양성과 전문관 제도도입 및 운영, ③전문인력풀 편성과 체계적 운영, ④전문직제의 인원 보강 ⑤관리체계 개선과 체계적 운영을 위한 예산확보가 포함된다. 두 번째, 방화복 등 개인보호장비 관리시스템 개선으로는 ⑥재난현장 표준작전절차 108에서 재난현장 복귀절차 단계에서 개인보호장비 오염제거 의무명시, ⑦재난현장 오염물질의 건강영향에 따른 현장 개인보호장비 1차제염 실시내용 SOP추가 및 화재진압·구조대원 대상 교육실시, ⑧소방 방화복 등 개인보호장비 관리체계 개선과 체계적 운영을 위한 교육과정 개발, ⑨재난현장 오염물질의 건강영향 위험성에 대한 교육실시, ⑩소방청사 내 비오염구역과 오염구역을 구분하여 방화복 탈의, 제염, 샤워, 개인보호장비 세척, 세탁 등 소방관 이동동선에 대한 플로우맵 제안, ⑪가칭 소방장비정비창의 조직신설을 포함하였다. 세 번째로 방화복 수량, 사용 운영, 세탁관련 업무 등의 세부항목으로는 ⑫방화복 기본 보유수량의 개정, ⑬개인보호장비 안전·관리매뉴얼(특수방화복)의 개정이 있었고, 마지막 법과 제도 분야에서는 ⑭소방공무원 업무의 특수성을 반영한 소방공무원 보건복지법 법률 개정, ⑮재난현장 표준작전절차(SOP 108)의 개정과 ⑯소방장비정비창 신설을 위한 행정기구 설치 조례 등의 개정 또는 제정을 포함하였다(Table 1). 2단계 델파이조사는 최종 개발된 16개 조사항목을 7명의 전문가를 대상으로 중요도 및 실행가능성을 구분하여 각 항목 중에 5개를 골라 1-5순위에 번호를 기입하는 방법으로 우선순위를 평가하였고 2단계 결과를 평균과 중앙값 표준편차로 정리하였다. 3단계 델파이조사에서는 2차에서 조사된 델파이 조사 결과 취합 후 3단계 조사시 델파이조사 대상자들의 의견의 차이를 조정함으로써 합의점을 이루어나갈 수 있도록 2단계 조사 취합결과를 함께 제시하여 16개 조사항목을 3단계 조사에서 다시 평가하도록 하였다(Figure 1). 이렇게 취합된 결과를 1순위 5점부터 5순위 1점을 부여하여 각 항목별로 우선순위의 합, 평균, 표준편차, 중앙값을 산출하였으며 최종 우선순위는 Figure 2, 3의 수식에 의거 산출된 점수를 기준으로 우선순위를 Table 4에서 제시하였다. 또한, 전문가들의 기타 의견을 자유롭게 수렴하였다.

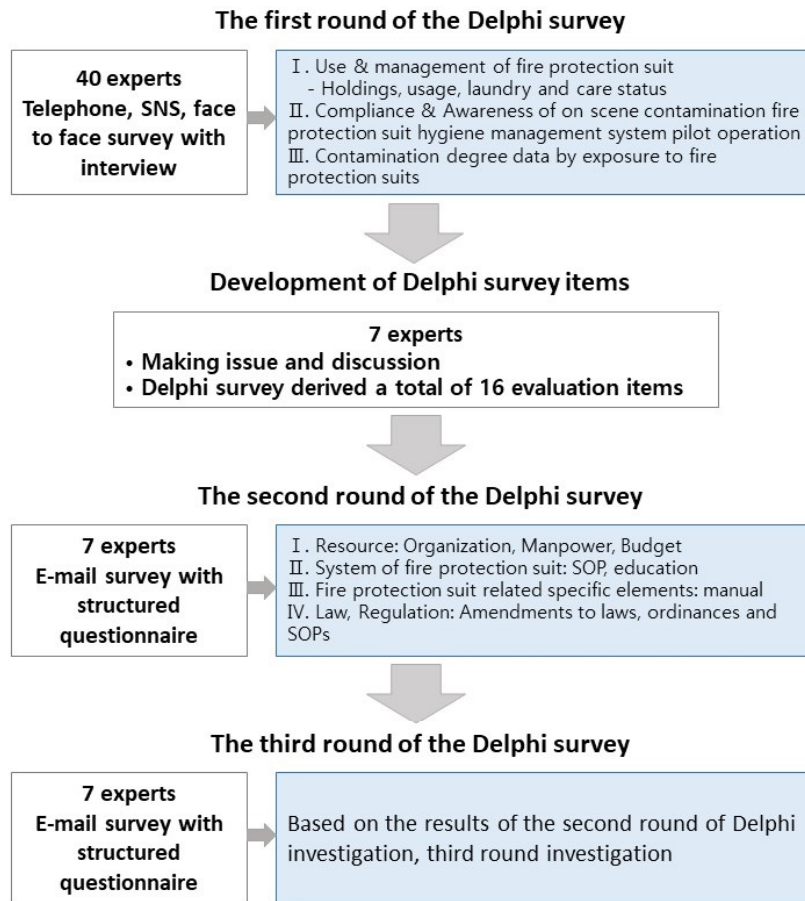


Figure 1. Flow of Delphi survey in this study

Table 1. Expert Delphi survey items for personal health and safety of firefighters at fire scenes

No	Evaluation Items of Delphi Survey
[Organization, Manpower, Budget field]	
1	Hiring professional personnel to improve the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear
2	Training internal experts for firefighters and introducing and operating a system for firefighters to improve the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear
3	Organize and systematically operate a pool of experts in the field of personal protective equipment, such as firefighters' fire protection
4	Reinforcement of professional personnel for the systematic operation and improvement of personal protective equipment management system such as firefighters' turnout gear
5	Improving the firefighting personal protective equipment management system and securing a budget for systematic operation
[Improvement of management system for personal protective equipments with turnout gear]	
6	In the disaster scene standard operation procedure (SOP* 108, 200, 201), as a user at the stage of the disaster scene (fire, etc.) return procedure, the duty to remove contamination of personal protective equipment during firefighting activities is specified
7	Disaster scene (fire, etc.) first decontamination of personal protective equipment at the site due to the health impact of pollutants Addition of SOP (or manual) and training for fire suppression and rescue personnel

Table 1. Continued

No	Evaluation Items of Delphi Survey
8	Development of training courses for improving the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear and systematic operation
9	Conduct education on the risk of health effects of pollutants in a disaster scene (fire, etc.)
10	Distinguishing non-contaminated areas from contaminated areas in the fire department, and propose a flow map for the movement of firefighters such as changing turnout gear, decontamination, showering, washing personal protective equipment, and washing
11	Firefighting equipment organization (tentative name) established
[Specific items such as number, use, wash of turnout gear]	
12	Revision to increase the basic amount of fire protection clothing
13	Revision of the safety and management manual for personal protective equipment, including special fire protection
[Law, Regulation, Program filed]	
14	Revision of the Law on Health and Welfare of Firefighting Officials reflecting the specificity of firefighters' work
15	Revision of standard operational procedures for disaster scenes (SOP 108, 200, 201)
16	Revision or enactment of ordinances for installing administrative organizations in Seoul to open firefighting equipment organization

*SOP: Standard Operation Procedure

4. 분석방법(Statistical analysis)

조사내용은 소방관의 방화복 사용과 관리체계 개선안에 대한 '중요도' 평가, '실행가능성' 평가, 그리고 '중요도'와 '실행가능성'을 종합적으로 고려하여 우선순위를 선정하였다. 정책안의 중요도와 실행가능성 지수는 1점에서 5점을 부여하였는데 5점은 중요도와 실행가능성이 매우 높음을 의미한다. 반면, 1점은 전혀 중요하지 않고 실행가능성이 매우 낮음을 뜻한다. 이를 토대로 중요도와 실행가능성 지수를 도출하는데, 각 점수(5, 4, 3, 2, 1점)에 대한 가중치는 100, 75, 50, 25, 0을 부

여하였다. 중요성 및 실행가능성 지수를 구하는 수식은 다음과 같다(Figure 2, 3). 이 연구에서 중요성과 실행가능성에 대한 각 항목별 총합계, 평균, 중앙값을 산출하였다.

전문가 1차 인터뷰를 통해 도출된 평가항목은 크게 4개 분야 16개 항목으로 도출하였다. 첫째는 자원에 해당하는 조직·인력·예산분야이고, 둘째는 방화복 등 개인보호장비 관리시스템 개선이며, 셋째로 방화복의 수량, 사용, 운영, 세탁관련 업무 등 방화복 관련 세부 항목이고, 마지막으로 법과 제도이다(Table 1).

$\text{Importance index(I)}^\dagger = \frac{I_5 \text{ points} \times 100 + I_4 \text{ points} \times 75 + I_3 \text{ points} \times 50 + I_2 \text{ points} \times 25 + I_1 \text{ points} \times 0}{I \text{ total}}$ <p>† Importance index (0 ≤ I index ≤ 100)</p>	<p>I_{5 points} : Respondents with 5 points of importance I_{4 points} : Respondents with 4 points of importance I_{3 points} : Respondents with 3 points of importance I_{2 points} : Respondents with 2 points of importance I_{1 points} : Respondents with 1 points of importance I total : Total number of respondents</p>
---	--

Figure 2. How to calculate the importance index

$\text{Practicality index(P)}^\ddagger = \frac{P_5 \text{ points} \times 100 + P_4 \text{ points} \times 75 + P_3 \text{ points} \times 50 + P_2 \text{ points} \times 25 + P_1 \text{ points} \times 0}{P \text{ total}}$ <p>‡ Practicality index (0 ≤ P index ≤ 100)</p>	<p>P_{5 points} : Respondents with 5 points of practicality P_{4 points} : Respondents with 4 points of practicality P_{3 points} : Respondents with 3 points of practicality P_{2 points} : Respondents with 2 points of practicality P_{1 points} : Respondents with 1 points of practicality P total : Total number of respondents</p>
--	--

Figure 3. How to calculate the practicality index

III. 결 과(Results)

1. 델파이조사 참여자의 인구사회학적 현황

델파이조사 응답자는 총 7명으로 남성 6명(85.7%), 여성 1명(14.3%)이었고, 평균연령은 41.6세(표준편차 ± 9.8 세)이었고, 직업별로는 대학교수 3명, 소방공무원 4명으로 평균경력 11.1년(표준편차 ± 6.4)이었다.

2. 중요도 및 실행가능성의 우선순위 결과

총 7명의 결과를 취합하여 실행가능성의 우선순위의 합을 산출하였다. ‘중요도’ 우선순위 합에서 가장 높은

점수가 나온 항목은 ‘7. 재난현장 오염물질의 건강영향에 따른 현장단계 개인보호장비 1차제염 교육실시’였으며 15점으로 평가되었다. 두 번째로 높은 점수가 나온 항목은 ‘9. 재난현장 오염물질의 건강영향 위험성 교육실시’로 14점이었다. 세 번째로 높은 점수가 나온 항목은 ‘8. 소방공무원 방화복 등 개인보호장비 관리체계 체계적 적용을 위한 교육과정 개발’이었으며 13점이었다. 네 번째로 높은 점수가 나온 항목은 ‘5. 소방예산 확보’로 12점이었고, 그 다음으로 높은 항목들은 ‘11. 소방장비창(가칭) 신설’, ‘14. 소방업무 특수성을 반영한 『소방공무원 보건복지법』 법률 개정’, ‘소방장비창 개선을

Table 2. Delphi findings on importance priority

Evaluation items	Evaluation scale	2nd Delphi analysis result		3rd Delphi analysis result	
		Mean \pm SD*	MED [†]	Mean \pm SD	MED
[Organization, Manpower, Budget field]					
1. Hiring professional personnel to improve the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear		3.6 \pm 1.27	4	3.1 \pm 1.07	3
2. Training internal experts for firefighters and introducing and operating a system for firefighters to improve the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear		4.4 \pm 0.79	5	4.3 \pm 0.49	4
3. Organize and systematically operate a pool of experts in the field of personal protective equipment, such as firefighters' fire protection		4.1 \pm 1.46	5	4.4 \pm 0.79	5
4. Reinforcement of professional personnel for the systematic operation and improvement of personal protective equipment management system such as firefighters' turnout gear		3.4 \pm 1.51	4	3.3 \pm 1.11	3
5. Improving the firefighting personal protective equipment management system and securing a budget for systematic operation		4.4 \pm 1.51	5	4.9 \pm 0.38	5
[Improvement of management system for personal protective equipments with turnout gear]					
6. In the disaster scene standard operation procedure (SOP [†] 108, 200, 201), as a user at the stage of the disaster scene (fire, etc.) return procedure, the duty to remove contamination of personal protective equipment during firefighting activities is specified		4.4 \pm 0.98	5	4.7 \pm 0.49	5
7. Disaster scene (fire, etc.) first decontamination of personal protective equipment at the site due to the health impact of pollutants Addition of SOP (or manual) and training for fire suppression and rescue personnel		4.7 \pm 0.49	5	4.7 \pm 0.49	5
8. Development of training courses for improving the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear and systematic operation		4.6 \pm 0.79	5	4.6 \pm 0.53	5
9. Conduct education on the risk of health effects of pollutants in a disaster scene (fire, etc.)		4.7 \pm 0.49	5	4.9 \pm 0.38	5
10. Distinguishing non-contaminated areas from contaminated areas in the fire department, and propose a flow map for the movement of firefighters such as changing turnout gear, decontamination, showering, washing personal protective equipment, and washing		4.4 \pm 0.79	5	4.3 \pm 0.95	5
11. Firefighting equipment organization (tentative name) established		4.6 \pm 1.13	5	4.7 \pm 0.76	5

Table 2. Continued

Evaluation items	Evaluation scale	2nd Delphi analysis result		3rd Delphi analysis result	
		Mean±SD*	MED†	Mean±SD	MED
[Specific items such as number, use, wash of turnout gear]					
12. Revision to increase the basic amount of fire protection clothing		4.0±1.15	4	4.1±0.38	4
13. Revision of the safety and management manual for personal protective equipment, including special fire protection		4.3±0.76	4	4.7±0.49	5
[Law, Regulation, Program filed]					
14. Revision of the Law on Health and Welfare of Firefighting Officials reflecting the specificity of firefighters' work		4.3±0.95	5	4.3±0.76	4
15. Revision of standard operational procedures for disaster scenes (SOP 108, 200, 201)		4.1±1.21	5	4.1±0.69	4
16. Revision or enactment of ordinances for installing administrative organizations in Seoul to open firefighting equipment organization		4.4±1.13	5	4.6±0.79	5

*SD: Standard Deviation, †MED: Median, ‡SOP: Standard Operation Procedure

위한 서울시 행정기구설치 조례 등의 개정 또는 제정', '2. 소방관 내부 전문가 양성 및 전문가 제도 도입 및 운영' 순서로 평가되었다(Table 2). 델파이 조사의 취지에 맞게 2차 조사 결과에 비해 3차 조사 결과에서는 표준편차가 대부분이 감소되었다.

'실행가능성' 우선순위의 합에서 가장 높은 점수가 나온 항목은 '7. 재난현장 오염물질의 건강영향에 따른 현장단계 개인보호장비 1차 제염 교육실시'였으며 29점으로 평가되었다. 두 번째로 높은 점수가 나온 항목은 '8. 소방공무원 방화복 등 개인보호장비 관리체계 체계적 적용을 위한 교육과정 개발'이었으며 24점으로 평가되었다. 그 다음으로 높은 항목들은 '9. 재난현장 오염물질의 건강영향 위험성 교육실시', '13. 특수방화복의 안전·관리 매뉴얼의 개정', '5. 소방예산 확보', '10. 소방청사 내 비오염·오염구역 구분을 통한 방화복 탈의, 제염, 샤워, 개인보호장비 세척, 세탁 등 소방관 이동 동선에 대한 Flow map 기준 마련', '14. 소방업무 특수성을 반영한 『소방공무원 보건복지법』 법률 개정', '2. 소방관 내부 전문가 양성 및 전문가 제도 도입 및 운영', '11. 소방장비창(가칭) 신설'순으로 나타났다(Table 3) 델파이 조사의 취지에 맞게 2차 조사 결과에 비해 3차 조사 결과에서는 표준편차가 대부분이 감소되었다.

3. 중요도 및 실행가능성에 대한 델파이조사 결과

델파이 조사결과 '중요도'가 가장 높게 나온 항목은

'7. 재난현장 오염물질의 건강영향에 따른 현장단계 개인보호장비 1차 제염 교육실시', '9. 재난현장 오염물질의 건강영향 위험성 교육 실시', '8. 소방공무원 방화복 등 개인보호장비 관리체계 체계적 적용을 위한 교육과정 개발' 항목이었다. 두 항목은 평균 각 4.7점, 4.9점, 4.6점으로 응답자 대부분이 '매우 중요하다(5점)'고 평가하였다. 이외에도 '5. 소방예산 확보', '11. 소방장비창(가칭) 신설', '13. 특수방화복의 안전·관리 매뉴얼의 개정' 항목도 '중요도' 평가에서 평균 각 4.9점, 4.7점, 4.7점을 받아 매우 중요한 부분으로 인식하고 있었다. 평균 3점대의 2가지 항목을 제외하고 대부분의 항목들이 '중요도'에 있어서 평균 4점 이상의 상당히 높은 점수를 받았다. 또한, 조직, 인력, 예산분야의 3개 항목들은 모두 '중요도'에 있어서 평균 4.5점을 받아 매우 중요한 분야로 인식하고 있었다. '실행가능성'에 있어서 가장 높은 항목은 '7. 재난현장 오염물질의 건강영향에 따른 현장단계 개인보호장비 1차 제염 교육실시', '8. 소방공무원 방화복 등 개인보호장비 관리체계 체계적 적용을 위한 교육과정 개발', '9. 재난현장 오염물질의 건강영향 위험성 교육 실시' 항목의 평균값은 모두 4.9점으로 평가되어 실행가능성이 가장 높게 인식하고 있었다. 전반적으로 '실행가능성'의 평균값은 '중요도'에 비해 낮은 편이다(Table 4). 이는 실제 전문가들의 입장에서 제시된 안들이 '중요도'는 높으나, 실제로 '실행가능성' 측면에서 어려움이 있을 수 있다는 의견을 반영되었을 것이다.

Table 3. Delphi findings on practicality priority

Evaluation items	Evaluation scale	2nd Delphi analysis result		3rd Delphi analysis result	
		Mean±SD*	MED†	Mean±SD	MED
[Organization, Manpower, Budget field]					
1. Hiring professional personnel to improve the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear		2.4±1.27	2	2.4±1.27	2
2. Training internal experts for firefighters and introducing and operating a system for firefighters to improve the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear		3.6±0.79	3	3.6±0.53	4
3. Organize and systematically operate a pool of experts in the field of personal protective equipment such as firefighters' fire protection		4.0±0.82	4	4.0±0.58	4
4. Reinforcement of professional personnel for the systematic operation and improvement of personal protective equipment management system such as firefighters' turnout gear		2.6±0.98	3	2.3±1.11	2
5. Improving the firefighting personal protective equipment management system and securing a budget for systematic operation		3.3±1.11	4	3.7±0.76	4
[Improvement of management system for personal protective equipments with turnout gear]					
6. In the disaster scene standard operation procedure (SOP‡ 108, 200, 201), as a user at the stage of the disaster scene (fire, etc.) return procedure, the duty to remove contamination of personal protective equipment during firefighting activities is specified		4.0±1.15	4	4.3±0.76	4
7. Disaster scene (fire, etc.) first decontamination of personal protective equipment at the site due to the health impact of pollutants Addition of SOP (or manual) and training for fire suppression and rescue personnel		4.9±0.38	5	4.9±0.38	5
8. Development of training courses for improving the management system of personal protective equipment, such as firefighters' turnout gear and systematic operation		4.7±0.49	5	4.9±0.38	5
9. Conduct education on the risk of health effects of pollutants in a disaster scene (fire, etc.)		4.9±0.38	5	4.9±0.38	5
10. Distinguishing non-contaminated areas and contaminated areas in the fire department, from propose a flow map for the movement of firefighters such as changing turnout gear, decontamination, showering, washing personal protective equipment, and washing		3.0±1.53	3	3.6±0.98	4
11. Firefighting equipment organization (tentative name) established		2.7±1.11	3	3.0±0.82	3
[Specific items such as number, use, wash of turnout gear]					
12. Revision to increase the basic amount of fire protection clothing		3.0±1.29	3	3.3±0.76	3
13. Revision of the safety and management manual for personal protective equipment, including special fire protection		4.3±0.76	4	4.3±0.76	4
[Law, Regulation, Program filed]					
14. Revision of the Law on Health and Welfare of Firefighting Officials reflecting the specificity of firefighters' work		3.1±0.90	3	3.0±0.82	3
15. Revision of standard operational procedures for disaster scenes (SOP 108, 200, 201)		3.9±0.90	4	3.6±1.13	3
16. Revision or enactment of ordinances for installing administrative organizations in Seoul to open firefighting equipment organization		2.9±1.21	3	3.0±0.82	3

*SD: Standard Deviation, †MED: Median, ‡SOP: Standard Operation Procedure

Table 4. Delphi survey results considering the importance and practicality priority

Evaluation items	Evaluation distribution		Importance		Practicability		Total
	Mean±SD*	MED†	Mean±SD	MED	PR‡		
[Organization, Manpower, Budget field]							
1. Hiring professional personnel to improve the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear	3.1±1.07	3	2.4±1.27	2		13	
2. Training internal experts for firefighters and introducing and operating a system for firefighters to improve the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear	4.3±0.49	4	3.6±0.53	4		10	
3. Organize and systematically operate a pool of experts in the field of personal protective equipment such as firefighters' fire protection	4.4±0.79	5	4.0±0.58	4		14	
4. Reinforcement of professional personnel for systematic operation and improvement of personal protective equipment management system such as firefighters' turnout gear	3.3±1.11	3	2.3±1.11	2		15	
5. Improving the firefighting personal protective equipment management system and securing a budget for systematic operation	4.9±0.38	5	3.7±0.76	4		4	
[Improvement of management system for personal protective equipments with turnout gear]							
6. In the disaster scene standard operation procedure (SOP [¶] 108, 200, 201), as a user at the stage of the disaster scene (fire, etc.) return procedure, the duty to remove contamination of personal protective equipment during firefighting activities is specified	4.7±0.49	5	4.3±0.76	4		5	
7. Disaster scene (fire, etc.) first decontamination of personal protective equipment at the site due to the health impact of pollutants Addition of SOP (or manual) and training for fire suppression and rescue personnel	4.7±0.49	5	4.9±0.38	5		1	
8. Development of training courses for improving the management system of personal protective equipment such as firefighters' turnout gear and systematic operation	4.6±0.53	5	4.9±0.38	5		2	
9. Conduct education on the risk of health effects of pollutants in a disaster scene (fire, etc.)	4.9±0.38	5	4.9±0.38	5		3	
10. Distinguishing non-contaminated areas and contaminated areas in the fire department, and propose a flow map for the movement of firefighters such as changing turnout gear, decontamination, showering, washing personal protective equipment, and washing	4.3±0.95	5	3.6±0.98	4		8	
11. Firefighting equipment organization (tentative name) established	4.7±0.76	5	3.0±0.82	3		7	
[Specific items such as number, use, wash of turnout gear]							
12. Revision to increase the basic amount of fire protection clothing	4.1±0.38	4	3.3±0.76	3		12	
13. Revision of the safety and management manual for personal protective equipment including special fire protection	4.7±0.49	5	4.3±0.76	4		6	
[Law, Regulation, Program filed]							
14. Revision of the Law on Health and Welfare of Firefighting Officials reflecting the specificity of firefighters' work	4.3±0.76	4	3.0±0.82	3		8	
15. Revision of standard operational procedures for disaster scenes (SOP 108, 200, 201)	4.1±0.69	4	3.6±1.13	3		15	
16. Revision or enactment of ordinances for installing administrative organizations in Seoul to open firefighting equipment organization	4.6±0.79	5	3.0±0.82	3		11	

*SD: Standard Deviation, †MED: Median, ‡PR: Priority ¶SOP: Standard Operation Procedure

IV. 고 찰(Discussion)

이 연구에서 수행한 델파이 조사의 제도개선안에서 중요도 및 실행가능성 평가결과 값이 높다는 것은 중요하면서도 우선적으로 실행하는 소방행정의 책임을 의미한다. 따라서 델파이조사 결과 높은 점수가 나왔던 각 항목별 구체적인 소방정책 실행방안에 대하여 화재현장에서 방화복 교차오염 저감 및 방화복의 체계적 관리체계 개선으로 나누어 정책제언을 하고자 한다. 델파이조사 결과 중요도와 실행가능성이 모두 높게 나온 우선순위별 항목별로 개선대책을 설명한다.

1. 화재현장 방화복 교차오염 저감을 위해 조치가 필요한 사항

우리 연구결과 16개의 평가항목 중 가장 우선순위로 조치가 필요한 항목으로 화재 등 재난현장에서 발생하는 오염물질의 건강영향에 따른 현장 개인보호장비 1차 제염 실시 SOP(또는 매뉴얼) 추가와 화재진압·구조대원 대상 교육실시로 도출되었다. 이는 소방관들이 평소 소방활동현장에서 발생하는 유해물질 노출 위험성의 인지수준과 상관성이 있을 것으로 추정되지만, 아직까지 명확하지 밝혀진 바 없다. 따라서 화재현장 방화복 교차오염 저감을 위해 조치가 필요한 첫 번째는, 화재현장 복귀단계에서 소방차량에 탑승하기 전 소방관들은 현장에서 방화복을 포함한 개인보호장비에 대하여 긴급제염을 실시해야 한다. 대도시 소방관을 대상으로 수행된 조사결과에 의하면, 94.4%가 재난현장 발암물질 발생가능성을 인지하고 있으나, 방화복을 통한 교차오염이 건강과 소방청사 실내공기질을 오염시킬 수 있다는 사실은 잘 알지 못하며 현장제염은 9%가 수행되고 있다(Kim, 2021). 화재현장 복귀단계에서의 긴급제염은 화재현장에서 발생한 발암물질 제거와 방화복 등 개인보호장비를 통한 교차오염 방지가 그 목적이며, 미국 NFPA 1851에서는 화재현장에서 긴급제염을 규정하고 있다. 또한 현장복귀단계에서의 제염은 체내흡수 등을 예방하는 효과가 있음이 규명되었다(Kenneth et al., 2017; NFPA, 2019). 소방활동 종료 후 화재현장에서 직접·간접 노출된 독성물질을 씻어내는 방법이 긴급제염이라고 할 수 있는데, 비누와 물을 이용하여 씻어내는 방법이다. 미국에서는 복귀 전 현장에서 소방관 동료들간에 서로 비누나 린스에 적신

솔 등을 이용하여 소방 방화복을 포함한 개인보호장비를 문질러준 후 소방호스 또는 소방차량에 샤워기처럼 부착되어있는 시설을 이용하여 물로 씻어냄으로써 현장에서 긴급제염을 수행하고 있다(NFPA, 2019). 비누와 물을 이용한 긴급제염이 여의치 않다면, 물을 이용한 긴급제염방법으로도 효과가 있기 때문에 소방관들의 직업적 노출을 최소화하기 위해 국내 현장 긴급제염의 초기 시작이 필요하며 겨울은 계절적 특성상 물에 의한 제염은 빙판을 만들어 낙상손상을 유발할 수 있으므로 차선택이 필요하겠다. 둘째, 재난현장 표준작전절차 SOP 108 출동대 복귀절차, SOP 200 화재대응 공통 표준작전절차, SOP 201의 화재대응 안전관리 표준작전절차를 개정하여 현장복귀 전 적용될 긴급제염단계 규정을 포함해야 한다(NFA, 2021b). 이는 화재현장 복귀단계에서 개인보호장비 긴급제염 시행을 제도화함으로써 교차오염을 예방하고 직업적 노출을 최소화 할 수 있도록 하는 것이다. 셋째, 화재 등 재난현장에서 방화복 등 개인보호장비의 긴급제염에 필요한 교육을 실시하고 물품을 구매하여 현장출동대에 비치해야 한다. 현재는 소방현장에서 긴급제염을 할 수 있는 장비가 제대로 구비되어 있지 않다. 일부에서는 에어건을 이용하여 방화복 등에 묻어있는 유해물질을 제거하는 등 잘못된 방법으로 제염을 하는 경우도 있어 오히려 방화복 외관에 묻어있는 오염물질의 피부흡수를 활성화하는 촉발요인이 될 위험이 있다. 넷째, 재난현장의 건강영향과 현장 긴급제염 절차를 소방학교 교육과정에 반영하고 교육을 실시해야 하며, 먼저 소방학교 교관단을 대상으로 하는 교육실시가 우선적으로 이루어져야 한다. 재직자 또는 신규임용자를 대상으로 하는 표준화된 교육이 수행하려면 교수요원의 배출이 선행되어야 하므로 중앙소방학교를 포함한 전국의 소방학교 화재 및 구조 교수요원을 대상으로 하는 교육 프로그램 개발과 교육이 매우 필요한 실정이다. 다섯째, 소방기관에서 배포한 특수방화복의 안전·관리 매뉴얼의 개정과 소방관을 대상으로 하는 교육이 실시되어야 한다(NFA, 2017). NFPA Code에 의하면 화재현장 화재진압 활동 후에는 방화복 전용 세탁기에 세탁할 것을 권고하고 있으나(NFPA, 2020), 델파이 조사 당시 사용 중이었던 매뉴얼에서는 세탁기를 활용한 세탁은 최소 6개월마다 실시하는 것을 권장하고 있었으나(NFA, 2017), 2020년에 개인보호장비 관리 매뉴얼이 개정되면서 이 부분이 반영되어 내용은 삭제되었다

(NFA, 2020). 다만, 소방관 스스로 개인건강과 안전을 위한 실천이 이루어질 수 있도록 개인수준과 소방조직 수준에서 모두 노력하여야 할 것이다. 여섯째, 소방 특수방화복 전문 세탁업체를 지정하여 관리 운영이 필요하다. 다만, 전문 세탁업체가 소방 방화복 세탁물을 자체 정화할 수 있는 시설을 갖춘 곳이어야 할 것이다. 선행연구에 의하면, 폐수로 분류되는 방화복 세탁수에는 물환경보전법 시행규칙 별표13의2 기준에서 규정하는 특정수질유해물질 폐수배출시설 적용기준을 초과하는 것이 확인된 바 있기 때문이다(Kim, 2021). 현재 일부 시·도의 경우, 예산확보를 통하여 전문 세탁업체가 정기적으로 소방 특수방화복 세탁을 수행하는 시스템을 구축·운영 중에 있다. 그러나, 이 세탁업체들이 폐수처리시설을 갖추었는지에 대한 여부는 불확실하다. 또한, 소방 방화복 수선은 아라미드 또는 PBI (polybenzimidazole) 재질의 실과 원단을 이용하여 수선하여야 보호성을 유지할 수 있으므로 전문세탁과 수선 등이 성능을 유지할 수 있도록 체계적이고 전문적으로 수행할 수 있는 기관을 지정·운영할 수 있는 관리시스템이 운영되어야 할 것이다.

2. 화재현장 방화복 등 개인보호장비의 체계적 관리에 필요한 사항

우리 연구결과 16개의 평가항목 중 개인보호장비의 체계적 관리에 필요한 부분에 해당되는 평가항목에서 가장 우선순위로 도출된 내용은 첫째, 소방 특수방화복의 현재 법적 보유기준 및 운영시스템의 개정의 필요성이다. 현재 소방장비관리법 시행규칙 별표2 소방장비 보유기준에 의하면, 특수방화복의 보유기준을 2별로 규정하고 있다(NFA, 2020a). 그러나, 특수방화복 2별로는 소방관의 건강과 안전을 지키면서 소방활동을 하는데 많은 제한점이 따른다. 현장에서 긴급제염을 실시하면 방화복의 세탁과 건조에 소요되는 시간으로 현 방화복 법정 보유기준으로는 현장제염을 실행하는 장애요인이 될 수밖에 없기 때문이다. 따라서, 현재 법·제도상 개인보유기준으로 되어있는 규정을 두 가지 경로로 나누어 운영함으로써 개인보유기준은 그대로, 기관별 예비율 10% 확보라는 추가시스템 가동을 통해 화재출동, 긴급제염과 세탁에 의한 개인수량 부족분 발생 시 순환을 통한 특수방화복 사용이 가능하도록 함으로써 업무의 효율성을 높이는 것이 필요할 것이다. 둘째, 소방청사 내 유해물질 유입차단을 위한 공간구성 및 배치가

적용되어야 한다. 소방청사를 오염구역, 전환구역, 비오염구역으로 구분하여 소방청사를 건축 설계, 운영할 수 있는 시스템이 적용되어야 할 것이며, 이 개념에 따라 소방서 복귀 후 2차 제염을 실시한 후 사무공간으로 이동할 수 있도록 하는 이동 동선의 제시와 그에 맞는 소방청사 공간 구성이 필요하다. 또한, 소방청 훈령인 소방장비 관리업무 처리기준 제16조에 의하면, 2차오염방지를 위해 오염된 장비를 밀봉 또는 격리조치 해야 하고 필요한 시설과 장비를 소방청사 내에 갖추도록 노력해야 함을 규정하고 있고(NFA, 2021), 발암물질 등 유해물질의 노출 정도에 따라 소방청사를 오염구역(hot zone), 전환구역(warm zone), 비오염구역(cold zone)으로 구분하여 소방청사를 건축 설계, 운영하여야 함은 소방청 훈령 '소방청사 부지 및 건축기준에 관한 규정'에서 명시하고 있으나, 규정에 근거하여 행정절차를 시행하는데 있어 아직 어려운 점이 많을 것으로 사료된다. 셋째, 특수방화복 보관 및 관리방법의 개선이 필요하다. 현재 폐쇄형 옷장내부에 방화복과 개인보호장비를 함께 보관하며 전혀 환기가 되지 않는 구조로 오염/비오염 방화복을 함께 보관하는 경우가 많아 위생관점에 문제가 있다. 따라서 장비보관실은 신속한 출동과 복귀시 출동 소방관의 편의를 위해 가급적 1층 차고내부 출동 동선상에 배치하되, 오염구역과 경계구역을 구분하여 관리하며 환기가 잘 되는 공간에 보관할 수 있어야 할 것이다(NFA, 2020b, NFA 2021a). 넷째, 장기적으로는 특수방화복 등 개인보호장비의 체계적 관리를 위한 가칭 소방장비정비창의 신설이 필요성이 우리 연구결과 16개 항목 중 11번째로 강조되었다. 현재 일부 시·도에서 시범적으로 운영하고 있으나, 그 기능이 모두 다르다. 또한 호흡보호장비 정비실은 편중되어 있고, 다른 업무를 수행하면서 정비 업무를 겸임하고 있어 업무의 전문성과 효율성이 모두 떨어진다. 특히, 코로나19를 경험하면서 개인보호장비의 예산확보, 구매, 시의성 있는 분배가 더욱 중요해졌다. 따라서, 제안하는 소방장비정비창에서는 화재, 구조, 구급 전 분야를 망라하여 장비와 차량을 모두 포함하는 범위에서 구매, 정비, 수리, 점검, 폐기 등의 기능을 하도록 해야 한다.

이 연구의 제한점은 델파이 패널의 수가 많지 않다는 점이 있으나 직업특성상 소방공무원 대부분이 남성이 많은 집단이기 때문에 델파이 패널에 참여한 대부분이 남성이라는 성별에 대한 차이는 큰 문제가 되지 않을 것으로 사료된다. 현실적으로 소방방화복에 대한

전문가가 국내에 거의 없는 현실이고 그렇기 때문에 시급히 제도 개선이 필요한 제안을 도출해 낼 수 있었던 연구이다. 따라서 이 연구를 시작으로 방화복의 오염에 대한 인식도가 높아져서 더 많은 연구가 이루어져야 한다.

V. 결 론(Conclusions)

우리는 2019년 10월 10일부터 25일까지 17일간 3회에 걸쳐 소방 방화복의 교차오염 저감 및 관리체계 개선을 위한 델파이조사를 수행함으로써 소방관의 기본적인 개인보호장비 중 하나인 소방 특수방화복의 교차오염 저감과 관리체계 개선을 위해 현 시점에서 우선적으로 중요하면서도 실행가능성이 높은 소방정책들을 도출하였다. 또한, 도출된 소방정책에서 방화복의 교차오염 저감과 체계적 관리 논점으로 나누어 개선 실행하여야 할 소방정책들을 구체화하여 제시하였다. 방화복 교차오염 저감을 위해서는 화재현장 복귀단계에서의 방화복을 포함한 개인보호장비 긴급제염이 가장 우선하였고, 이를 위한 교육과정 개발과 건강영향에 대한 교육 실시가 뒤를 이었다. 화재현장에서의 방화복 등 개인보호장비의 체계적 관리를 위해서는 소방 방화복의 법적 보유기준과 운영시스템 개정 및 이를 위한 예산자원의 확보와 소방청사 내 유해물질 유입차단을 위한 공간구성과 배치의 적용, 방화복 보관과 관리방법 개선과 장기적으로는 방화복을 포함한 개인보호장비의 체계적 관리를 위한 가칭 소방장비정비창 신설 필요와 같은 순서로 도출되었다. 본 연구를 통해 향후 화재현장에서의 방화복에 의한 교차오염 저감을 위한 관련정책을 포함하여 소방 방화복 등 개인보호장비 관련 소방정책의 로드맵 설정과 단계별 기획, 실행과 시스템 정착에 활용될 수 있을 것이다.

References

Bang CH. Effects of repetitive work and workload for body while wearing firefighting protective clothing in hot conditions. *Fire Science and Engineering* 2018; 32(4):35-41 (DOI:10.7731/KIFSE.2018.32.4.035)

IARC. Painting, firefighting, and shiftwork. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. World Health Organization, International

Agency for Research on Cancer 2010:98(9)

Kenneth WF, Barbara A, Jennifer R, Shirley R, Christine T et al. Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2017; 14(10):801-814 (DOI:10.1080/15459624.2017.1334904)

Kim HH, Yoo SJ, Park PK, Kim YS, Hong ST. Comparison of thermal protective performance test of firefighter's protective clothing against convection and radiation heat sources. *Fire Science and Engineering* 2017;31(2):17-23 (DOI:10.7731/KIFSE.2017.31.2.017)

Kim HH, Park PK, Kim YS, Hong ST. Study on the weight reduction of firefighter's protective clothing by using air layer and aerogels. *Fire Science and Engineering* 2018;32(1):81-88 (DOI:10.7731/KIFSE.2018.32.1.081)

Kim JI. Characterization of firefighter exposures during fire overhaul and investigation. Graduate School of Public Health, master's thesis, Seoul National University, 2008:34-40

Kim KH, Huh YS, Shin JS, Yoo DH, Bang CH. Effect of exercise on body temperature and heart rate, blood components wearing fire protective clothing and self contained breathing apparatus. *Journal Korean Society Living Environmental System* 2015;22(6): 964-972 (DOI:10.21086/ksles.2015.12.22.6.964)

Kim SJ. Disease prevalence and direct, indirect exposure to hazardous substances among metropolitan firefighters in Korea. doctoral thesis, Seoul National University 2021:51-59

Lee YJ, Kwan JS, Bang CH, Lee JK, Huh YS et al. Effects of wearing firefighter protective clothing with heavy personal protective equipment on physical, biochemical, and perceived fatigue parameters in firefighting officials. *Journal of the Korean society for Wellness* 2016;11(2):195-206 (DOI:10.21097/ksw.2016.02.11.1.195)

NFA. Manual of personal protective equipment, 2017

NFA. Firefighting equipment management act, 2020a

NFA. Regulations on the site and building standards for the fire department, 2020b

NFA. Standards for process of firefighting equipment management tasks, 2021a

NFA. Standard operation procedure of disaster site, 2021b

NFPA. NFPA Code 1851 Standard on selection, care, and maintenance of protective ensembles for structural

fire fighting and proximity fire fighting. 2020
Park H, Park Y, Park, Lin SH, Boorady LM. Assessment
of firefighters' needs for personal protective
equipment. Fashion and Textiles 2014;1(8);1-13
(DOI: 10.1186/s40691-014-0008-3)
Rayens MK, Hahn EJ. Building consensus using the policy
delphi method. Policy Polit Nurs Pract 2000;1:308-

315 (DOI: 10.1177/152715440000100409)
UL(Underwriters Laboratories). Firefighter exposure to
smoke particulates. 2010

<저자정보>

김수진(박사 · 책임연구원), 함승현(교수)