

잔여화재 조사 시 소방관의 독성물질 노출에 관한 소고 (2)

- 복합가스용 전면형 호흡보호구의 필요성 -

김경란 / CIH(미국 산업보건 기술사), 한국3M(주)

1. 소방관의 화재 발생 시 생성되는 독성물질 노출은 실제로 위험한가?

1998년 캐나다의 오타와(Ottawa) 방재국에서 15년 동안 근무했던 지역 소방대장 Ken Curries가 뇌암으로 사망하면서, 소방관에게는 화재 시 발생하는 독성물질에 대한 직업적인 노출이 죽음으로 연결될 수 있다는 점이 기정 사실화되었다. Ken Curries의 뇌암이 소방활동에 기인한다는 판정을 받는데는 적지 않은 기간 동안의 리뷰와 연구 그리고 논쟁이 있어왔다. 그러나 Ken의 사건이후 캐나다에서는 뇌암 혹은 다른 암에 걸려 직업병의 신청에 들어간 모든 소방관의 직업병 인정 신청은 이제 단지 몇 시간의 리뷰를 거쳐 판결을 내릴 정도로 신속히 해결되고 있다. 이것은 소방관의 직업적인 노출이 실질적으로 소방관의 건강과 생명을 위협한다는 점을 시사한다.

국내 행정자치부 간행물의 통계자료를 보면 우리 나라 전체에 작년(2000년) 한 해 동안 발생한 화재건수는 총 34,844건이며, 이는 1999년에 비해 2.9% 증가한 수치이다. 화재 조사 전문가의 말에 따르면 화재 건수는 해마다 증가하는 추세에 있고, 그 이유는 전기 사용량의 증가와 인구의 증가, 소방대상물의 증가 등에 있다고 한다. 실제로 2000년도 화재 원인 중 34%가 전기로 인해 일어나고 있으며, 발생 장소로는 주택 및 아파트가 28%로 가장 많고 차량과 공장은 각각 17%와 11%로 2,3위를 차지한다. 이렇듯 화재발생 건수의 증가로 인해 소방관은 해마다 더 많은 화재에 대응해야 하며, 더욱 높은 빈도로 화재 발생 시 생성되는 독성물질에 노출되어야 한다.

암의 발생과 원인을 전문적으로 연구하는 역학자 Kriston Aronson은 토론토에서 발생한 6,000명 소방관의 사망 원인 조사에서 플라스틱 연기로부터 나오는 독성물질을 가장 유력한 원인으로 파악했다. 또한 그는 연기에 존재하는 발암물질 증기는 일상적으로 발견되는 접착제, 랩, 페인트, 단열재, 카펫, 기타 건축 자재 등 현대적인 삶을 이루는 모든 현장에서 발생할 수 있다고 했다. 이는 공장화재뿐만 아니라 주택과 아파트의 화재를 포함한 거의 모든 화재 연기에 발암 물질이 존재함을 말하는 것이다.

그렇다면 소방관은 과연 얼마나 다양한 위험물질과 발암물질에 얼마만큼 많이 노출되고 있을까? 국제적으로 15개 연구 정도가 뇌암과 소방활동이 통계적인 연관성을 가진다고 밝히고 있고, 다른 독립적인 연구들에서는 화재 진압활동과 잔화정리 동안 소방관이 노출되는 독성물질의 종류와 정도에 관해 밝히고 있다. 이에 반해 우리 나라에서는 소방관에 대한 특정 위험물질의 폭로 정도와 직업성 질병의 연관성에 대한 연구가 거의 이루어져 있지 않다. 그러므로 여기에서는 주로 선진 외국에서 밝혀진 내용을 인용하도록 하

겠다.

2. 무엇이 화재 현장에서 소방관의 건강을 위협하는가?

화재현장에는 여러 가지 독성물질과 건강과 생명을 위협하는 환경이 존재하는데 이들은 다음의 4가지로 구분된다.

가. 연기

연기란 ‘공기나 다른 가스 상에 탄소입자가 부유하는 상태’이다. 모든 연기는 고농도로 존재하면 유해하고, 잠재적으로 치명적일 수 있다. 연기가 얼마나 유해한지는 연기의 농도, 연기에 존재하는 가스의 화학적 특성, 연기에 존재하는 입자의 크기, 그리고 노출 시간에 달려있다.

화재에서 발생하는 여러 가지 화학물질은 연기 중의 탄소입자에 코팅되어, 폐 속 깊숙이 들어가므로, 연기는 자체의 독성으로 위협할 뿐 아니라 화학물질을 체내로 운반하는 역할도 한다. 따라서 소방관이 진화활동을 하는 동안 호흡이 가빠지고 더욱 깊게 숨쉬기 때문에 소방관에게 흡입되는 독성물질의 양은 더욱 많아지게 된다.

나. 일산화탄소

일산화탄소는 모든 화재에서 불완전 연소로 인해 발생하는 것으로 무향, 무취, 무미한 특성과 체내로의 산소운반을 방해하는 강한 독성 때문에 중요하다.

한편 여러 논문들에서 연기의 양과 일산화탄소의 농도에는 상관관계가 없음이 밝혀졌다.

다. 화학물질

유독성 화학물질은 화재의 진압이 활발하게 이루어지는 동안과 화재 진압이 된 후의 두 단계 모두에서 발생한다. 특정 물질들은 불길이 활발하게 타고 있을 때보다 오히려 모락모락 연기를 내며 타고 있을 때가 더욱 위험하다. 이러한 물질의 예가 폴리에틸렌과 PVC이며, 이들은 일산화탄소, 시안화수소, 염산 등 여러 가지 화학물질을 생성한다. 특히 PVC는 연소 시 염화수소(Hydrogen Chloride)와 포스겐(Phosgene)을 형성하는데 PVC는 실내 가구, 파이프, 전선, 벽지 등을 만드는데 광범위하게 사용된다.

화재 시 발생하는 화학물질의 노출로 인해 소방관들이 대조군(경찰관 : 소방관에 비교할 만한 스트레스를 받는 그룹으로 여러 연구에서 소방관의 대조군으로 많이 사용됨.)보다 뇌암 및 기타 암의 발생률이 현저하게 높다고 여러 논문에서 밝히고 있다. 소방관들의 사망률을 연구하는 14개의 연구 중 11개에서 증가된 뇌암과 신경계 암의 위험이 소방관에게 있다고 보고한다.

여러 연구 결과는 뇌암 이외에도 다양한 암에 대해 통계적으로 현저한 차이로, 혹은 통계적으로는 큰 차이는 나지 않지만 증가된 발암률을 보이고 있음을 알려준다.

이들 암의 종류별 가능한 원인물질을 정리하면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 소방관에게 증가된 발생률을 보이는 암의 종류와 원인물질

암의 종류	가능한 원인 물질
뇌암	염화비닐 아크릴로니트릴 포름알데히드
임파선암, 혈액암	벤젠 다핵 방향족 탄화수소 염화비닐 아크릴로 나이트릴 숯 검댕이
대장암	디젤 배출물 석면
방광암	디젤 배출물 포름알데히드
신장암	다핵 방향족 탄화수소

라. 콘크리트

콘크리트는 화재동안 열기와 가스를 마치 스펀지처럼 흡수했다가 화재가 진압된 후 식어 가는 과정에서 독성 흡을 서서히 방출한다.

3. 소방관에게 가장 위험한 노출은 언제 일어나는가?

화재에 대응하는 소방관의 활동 단계는 크게 두 가지로 분류된다. 불길의 왕성할 때 화재와 직접 싸우면서 불길을 잡는 진압단계(knockdown stage)와 숨어있는 불씨를 천장, 벽 사이, 마루바닥 속 등에서 찾아내는 잔화정리 및 화재원인조사 단계(overhaul stage)이다.

일반적으로 소방관들은 진압단계에서는 공기통식 호흡보호구를 착용하고 활동한다. 소방관들이 주로 사용하는 공기통은 30분 사용분량의 공기가 함유되어 있지만, 10분 정도는 공기통을 교체하기 위해 화재현장에서 벗어나는 시간으로 사용해야 하고, 열악한 상황하에서는 공기통의 공기 양이 30%정도 남아 있어도 숨쉬기가 힘들어지므로 실제 유효 사용기간은 15분에 지나지 않는다. 빈번한 공기통 교체로 호흡보호구를 얼굴에서 제거해야 하는데, 이 순간이 바로 화재진압 소방관들의 호흡기를 통해 화재로 인한 유해물질이 유입되는 때이다.

화재 속에서 공기통은 뜨겁고 무거우며 거추장스럽다. 이러한 이유들로 소방관들은 현

장에서 최악의 상황이 지나면 공기통식 호흡보호구를 벗어버린다. 그리고는 화재 현장에 여전히 존재하는 위험한 화학물질에 자신을 그대로 노출시킨다. 그러나 소방관에게 실제적으로 가장 위험한 시간은 화재진압 후 잔화정리 시 무방비로 연기와 흙, 그리고 숯 검댕이 등의 유해물질에 노출될 때이다. 지난 호 「방재와 보험」에 기재했듯이, 미국 피닉스시의 화재 현장 조사 연구를 보면 여러 건강유해물질과 발암물질의 농도가 잔화정리 및 조사 단계에서 국제적인 허용기준을 초과하는 곳이 많으며, 특히 발암물질로 알려진 포름알데히드는 조사 장소 25곳 중에 22곳에서 기준을 초과한 것으로 나타났다.

4. 소방관을 독성물질과 발암물질의 노출로부터 지키려면 어떻게 해야 할까?

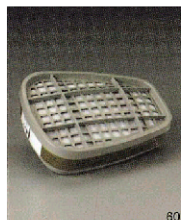
우리 나라의 화재 시 잔화정리와 화재조사 단계에서 투입되는 인원은 16~17명 정도라고 화재조사 전문가는 말한다. 전국 150여 개의 소방서로 확대하면 약 2,550여명의 소방관들이 잔화정리 업무를 하고 있다는 것이다. 잔화정리와 조사업무가 힘들기 때문에 우리나라에서는 대부분 소방관들이 돌아가며 이 업무를 맡고 있다고 하니, 잔화정리 경험이 있어 독성물질에 노출된 전체 인원은 이보다 훨씬 많을 것으로 보인다. 현재 잔화정리 및 화재조사 업무를 담당하는 소방관들은 대부분 일반 면 마스크를 착용하거나 유기가스 정화통이 부착된 반면형 호흡보호구를 착용하고 있다. 그러나 이러한 일반 면 마스크나 유기가스 정화통은 잔화정리 및 조사 단계에 다양하게 존재하는 포름알데히드를 포함한 복잡한 유독가스와 분진을 효과적으로 제거할 수 없다.

화재에서 발생하는 유해물질은 다양한 특성의 가스(유기, 산성, 포름알데히드, 암모니아, 염소가스 등)가 복합적으로 발생한다. 이들은 가스 상으로 그리고 연기입자에 부착하여 입자 상태로 소방관의 체내로 유입된다. 이들을 효과적으로 방어하기 위해서는 잔화정리 및 조사 단계에 반드시 이들 가스와 분진에 효과적인 복합가스용 정화통과 필터가 필요하다. 소화약제의 미스트와 기타 오일 미스트가 존재하는 상황에서도 필터와 정화통의 성능을 유지하려면 오일 성분에 잘 견딜 수 있는 오일 프루프(Oil-proof) 타입의 분진용 필터를 사용하면 더욱 좋다. ([그림 1] 참고)

[그림 1]



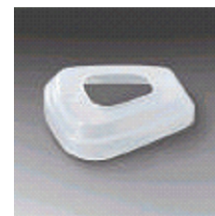
(전면형 면체)



(복합가스용 정화통)



(Oil-proof 방진 필터)



(필터 홀더)

5. 소방관에게는 어떤 호흡보호구가 가장 적당할까?

아무리 훌륭한 호흡보호구를 착용하더라도 위험 물질에 노출되는 시간동안 내내 사용하지 않으면 체내로 많은 양의 유해물질이 흡입된다. 소방관의 활동을 이해한다면, 잔화정리 단계에서 자신의 건강을 보호하기 위해 공기통식 호흡보호구를 사용하라고 강요할 수 없다. 잔화정리와 조사활동은 대부분 30분에서 1시간 정도 지속되므로 이 작업동안 활동에 용이하고 건강을 최대한 보호할 수 있는 호흡보호구가 필요하기 때문이다.

그렇다면 어떤 호흡보호구를 선택해야 할까?

호흡보호구는 다양한 보호도를 가진다. 보호도란 호흡보호구를 착용함으로써 노출 농도를 몇 배나 떨어뜨릴 수 있는지를 의미하는 것으로, 보호도가 큰 호흡보호구일수록 미지의 농도나 높은 농도의 유해물질이 존재할 때 사용할 것을 권한다. 일반적으로 반면형 공기정화식 호흡보호구는 10, 전면형 공기정화식은 50, 전면형 공기공급식 호흡보호구(에어라인형)은 1000, 공기통식 호흡보호구는 1000이상의 지정된 보호도를 가진다. 즉 반면형 공기정화식 호흡보호구는 보호도가 10이므로 보호구 밖의 해당 유해물질의 농도를 10배 만큼 떨어뜨려 착용자의 호흡기 속으로 전달한다는 의미이다. 따라서 높은 보호도를 가지는 호흡보호구를 착용할수록 더욱 안전하다고 할 수 있다.

그러나 호흡보호구는 유해물질의 농도와 작업 내용을 고려하여 최적의 것을 선택해야 한다. 비록 보호도는 낮지만 작업시간 동안 내내 사용할 수 있는, 사용하기 편한 호흡보호구가 불편해서 사용하지 않는 최상의 호흡보호구보다 훨씬 낫다.

실제로 그러한지 계산을 통해 알아보자.

공기중 유해물질의 농도가 허용기준(PEL)의 10배로 존재한다고 가정하고 총 작업시간의 90%동안 보호도가 50인 전면형 호흡보호구를 착용했을 때 실제 어느 정도로 노출되는지는 다음의 과정을 통해 계산된다.

	흡입한 유해 물질의 농도	노출량
착용하지 않은 시간동안의 노출	$10\% \times 10 \text{ PEL}$	$= 1 \times 10 \text{ PEL}$
전면형 공기정화식 호흡보호구를 착용한 동안의 노출	$90\% \times 10 \text{ PEL} / 50$	$= 0.18 \times 10 \text{ PEL}$
총 노출량		$= 1.18 \text{ PEL}$

결론적으로 호흡보호구를 전체 폭로시간의 대부분인 90%만큼 착용했다 하더라도 1.18 PEL 즉 허용기준의 1.2배 높은 농도에 여전히 노출되었음을 알 수 있다. 만약 작업 내내 착용했다면 실제 노출농도는 허용기준의 0.2배에 불과하여 안전한 수준이었을 것이다.

위의 계산방법을 적용하여 공기중 유해물질의 농도가 허용기준의 10배로 존재하는 환경(산소농도 18% 이상, 일산화탄소 200ppm 이하)에서 호흡보호구의 종류별로 착용시간에 따른 노출정도를 좀더 자세히 살펴보면 <표 2>와 같다.

<표 2> 호흡보호구의 착용시간별 위험물질 노출 정도

노출 정도 (허용농도의 배수)	전체 노출 시간 중 호흡보호구 착용 시간					
	0%	50%	80%	90%	95%	100%
호흡보호구(지정보호도)	0%	50%	80%	90%	95%	100%
반면형 공기정화식(10)	10	5.50	62.8	1.9	1.45	1
전면형 공기정화식(50)	10	5.10	2.16	1.18	0.69	0.2
전면형 공기공급식(1000)	10	5.01	2.01	1.01	0.51	0.01
가상의 최상급 호흡보호구(1000)	10	5.00	2.00	1.00	0.50	0.00

일반적으로 위험물질에 장기적·반복적으로 노출되더라도 건강상의 회복 불가능한 악영향이 없기 위해서는 총 노출이 허용기준 이하이어야 하고, <표 2>의 경우 1.00미만의 결과를 보여야 한다. 호흡보호구를 착용하지 않으면 당연히 공기 중의 유해물질의 농도(허용기준의 10배)가 그대로 호흡기를 통해 들어온다. 우리가 가정 한 조건에서, 흡입하는 유해물질의 농도를 허용농도 수준 이하로 떨어뜨리기 위해서는 공기정화식 전면형 이상의 호흡보호구를 적어도 95% 이상의 시간동안 사용해야 함을 알 수 있다. 보호구의 지정된 보호도가 50이상에서는 보호도가 우수한 보호구일수록 노출 정도는 조금씩 줄어드는 하지만 큰 차이를 가지지는 않는다. 그러나 착용시간에 따라서는 노출에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

위의 결과를 잔화정리 및 화재조사 단계에 적용하면, 잘 착용하지 않는 최상급의 공기통식 호흡보호구보다는 실질적으로 작업 내내 착용 가능한 전면형 공기정화식 호흡보호구가 훨씬 더 잘 소방관의 건강을 보호해줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

6. 무엇이 필요한가?

소방관은 시민의 재산과 생명을 보호하는 숭고하고 자랑스러운 일을 하고 있다. 그러나 이러한 직업적 사명감을 위해 자신의 건강과 생명을 버려서는 안 된다.

눈에 보이는 불길과 화염은 위험하다. 잘못하면 순식간에 생명을 앗아갈 수 있다. 이에 대한 보호를 위해 정부와 소방본부에서는 고성능의 방화복과 호흡보호구를 지급하고 있다. 그러나 당장 위험해 보이지 않는 잔화정리와 화재조사 단계도 장기적으로는 소방관의 건강과 행복 그리고 생명까지 빼앗을 수 있다.

소방관에게 병이 발생한 후 직업병으로 인정받는 것은 중요하다. 그러나 직업병의 인정과 엄청난 보상도 개인의 생명과 바꿀 수는 없다. 더 이상은 독성물질과 발암물질에 노출되고 있는 소방관에게 일반 면 마스크나 부적절한 호흡보호구를 나누어주지 말았으면 한

다. 위에서 살펴보았듯이 최소한 복합가스용 정화통과 오일 프루프 타입의 분진용 필터를 갖춘 전면형 호흡보호구가 필요하다.

퇴암으로 사망한 캐나다 소방관의 미망인이 남편의 죽음이 직업으로 인한 것임을 인정 받고 보상이 결정난 후 언론편 인터뷰에서 말한 내용이 생각난다.

“이러한 보상비가 내 남편이 한 일을 보상한다고 생각하냐구요? 웃기지 마세요. 보상비는 훌륭한 보너스임에는 틀림없지만 이것이 내 남편을 되돌릴 수는 없어요. 돈은 나에게 아무 의미가 없어요. 당신은 어떤 생명을 돈으로 바꿀 수 있다고 생각합니까?”

직업병이냐 아니냐는 다음 문제다. 지금은 예방과 보호가 가장 필요한 순간이다.

감사의 말

여러 가지 질문에 친절하게 대답해 주신 강동소방서 화재조사 담당 이경배 소방관님 (<http://www.fire119.wor.or.kr>)께 감사의 말씀 드립니다.