

화재생성가스의 독성(중)

(지난호에 이어 계속)

6. 치사성 유독가스

유독가스의 발생은 연소물뿐만 아니라 화재의 연소 상황에 따라 결정된다. 플래시 오버 후 격렬히 연소하는 화재에서는 각종 유독가스가 대량으로 발생하는데, 특히 산소부족으로 인해 CO와 CO₂의 균형이 깨져 CO가 많이 발생한다. 화재실험 및 결과분석을 위해서는 먼저 각 치사성 유독가스를 발생시키는 화재 상황을 규명해야 한다.

그을림을 포함한 「무염화재」 3종류와 「방임연소화재」, 그리고, 플래시 오버 때와 그 후에 발생하는 「완전연소화재」 2종류 등 6종류로 나눌 수 있는데, 완전연소화재는 대기상의 산소농도가 20.9%인 것에 비해 5% 미만의 극저산소농도화재와, 5%에서 10%까지인 화재이다.

3종류의 무염화재를 모두 더해도 미국에서 발생하는 화재로 인한 사망자의 극소수에 불과하다. 화재시 발생한 유독가스만으로 인한 소사의 대부분은 발화실 외부로 연소한 화재에 의한 것인데(표1 참조), 이는 발화실 안에서 플래시 오버가 발생했음을 나타낸다.

이러한 유형은 나라마다 다르다. 예를 들면, 영국의 소사화재는 발화실 내부로만 그치고 있는데, 그것은 아마도 영국에서는 난방 비용을 절약하기 위해 방문을 닫아 구획하고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나, 미국의 주된 소사화재는 플래시 오버에 이르는 화재이다.

화재는 플래시오버에 이르기까지 각 단계에 상당한 시간이 소요된다. 그러나, 통계에 따르면 초기에 피크에 달하는 화재에서는 그다지 많은 사망자가 발생하

지 않는다. 따라서 대부분의 소사자는 플래시오버 때나 그 이후에 발생하는 유독가스에 의해 사망한다는 것이다. 이 사실을 실험이나 분석으로 나타내는 방법은 3가지 새로운 기준, ISO(국제표준화기구) 13344호, NFPA(미국방화협회) 269호 및 ASTM(미국재료시험협회) E1678호의 주된 차이점을 조사함으로써 찾을 수 있다.

ISO의 기준은 실험을 지정하지 않고, 실험하려는 화재의 종류를 확인한 후 그 화재에 적합한 실험로를 선택하도록 하고 있다. 이 방법으로는 플래시 오버 또는 그 후의 화재에 대해 실험하는 것은 무리이다.

대개의 소규모 실험으로는 플래시오버 상황에서 급속히 연소하여 플래시오버 특유의 열유동 현상을 만들어낼 수 없다. 동물실험을 할 경우 동물이 너무 가까이에 있게 되므로 플래시 오버시 발생하는 유독가스보다는 고열로 사망하게 된다. 반면, 플래시 오버에 의한 열유동 현상을 쉽게 만들어 내고 동물을 불에서 멀리 둘 수 있는 대규모 실험장치는 일반적인 실험에 사용하기에는 너무나 고가이고, 같은 실험을 했다 하더라도 결과가 평균치에서 벗어나는 경향이 있다.

NFPA와 ASTM의 실험기준은 모두 긴 원통형의 실험장치를 사용할 것을 규정하고 있다. 원통 위에서 보면 10시와 2시 방향으로 장방형의 복사 히터의 끝이 보인다. 이 실험장치는 실험의 목적으로서는 많은 이점을 가지고 있으나 플래시 오버의 열유동 현상을 측정하도록 설계되어 있지는 않다. 따라서 NFPA 기준은 실험 결과를 분석하여 플래시 오버로 발생하는 CO의 발생량을 조정하여 정정할 것을 의무화하고 있다.

ASTM의 기준은 실험결과를 정정한 것을 규정하고 있지 않지만, ISO처럼 실험데이터에서 직접 독성 위험을 측정하지 않도록 충고하고 있다.

NFPA의 실험기준에도 문제는 있다. 일부 연소독물 학자들은 현재의 데이터로는 기준에 규정되어 있는 독성위험의 정정방법을 명확히 확인하기가 불가능하고, ISO의 실험보다 많은 의문점이 있다고 한다. 또한, 실험방법에 관한 기준은 실험수단만을 규정하는 것으로 하고, 실험데이터를 특별한 목적에 적용하는데 필요한 분석에 의한 정정에 대해서는 기준을 책정해야 한다는 반대의견도 있다. 앞으로 세 단체는 실험데이터를 독성 위험에 적용하는 방법에 관한 본 권고에 대한 검토를 거듭해 나갈 것이다.

7. 사망자 위치

앞서 기술한 바와 같이 미국에서는 화재에서 발생하는 유독가스에 의한 사망자의 대부분이 발화실 이외의 장소에서 발생하고 있는데, 열상에 의한 사망자의 비율은 조금 적어지고 있다(표 1, 2, 3 참조).

염화수소가 이동 중에 대기에서 바닥면으로 낙하하

는 유독가스중 하나라는 것은 소규모 실험에서 측정되는 연소생성 염화수소의 양이 사망자가 있는 곳에 도달했을 때의 양보다 훨씬 많다는 것을 의미한다.

게다가 유독가스가 이동하는데는 시간이 필요하며 이동하는 동안에 화학변화가 발생하는데, 이는 연소독물학에서 해결하지 못한 과제이다.

8. CO의 과제

약 20년전 존 홉킨스대학의 Walter Berl교수와 Byron Halpin교수가 메릴랜드州에서 발생한 화재로 인한 463명의 사망자에 대해 분석한 결과, 대부분이 CO로 인한 것으로 추정된다는 통계를 발표하였는데, 그 내용은 다음과 같다.

- ① 사망자의 48%는 CO에만 기인한다.
- ② 26%는 한가지 이상의 유독물질과 결합한 CO에 기인하거나, 유독가스 또는 CO의 작용을 보다 강하게 받는 심장병과 같은 질병에 의한다.

【표1】 「화재 규모와 사망자 위치별 연기 흡입만으로 사망자를 낸 건물화재의 비율」('86년~'90년, 미국)

위 치	발화실만의 화재	발화실 외부로 연소한 화재	합 계
발화실 내	7.3%	12.4%	19.8%
발화실 외	14.3%	65.8%	80.1%
위치 불명	0%	0.1%	0.1%
합 계	21.7%	78.3%	100.0%

【표2】 「화재 규모와 사망자 위치별 열상만으로 사망자를 낸 건물화재의 비율」('86년~'90년, 미국)

위 치	발화실만의 화재	발화실 외부로 연소한 화재	합 계
발화실 내	39.4%	33.5%	72.9%
발화실 외	2.1%	24.1%	26.2%
위치 불명	0.4%	0.4%	0.9%
합 계	41.9%	58.1%	100.0%

【표3】 「화재 규모와 사망자 위치별 연기의 흡입과 열상으로 사망자를 낸 건물화재의 비율」('86년~'90년, 미국)

위 치	발화실만의 화재	발화실 외부로 연소한 화재	합 계
발화실 내	13.0%	30.1%	43.1%
발화실 외	3.6%	52.8%	56.4%
위치 불명	0.1%	0.4%	0.5%
합 계	16.7%	83.3%	100.0%

Berl과 Halpin교수의 조사에 의하면 CO 이외의 유독가스만으로 사망한 사람은 없었다. 그리고, 사망자의 1/4 정도만 다른 유독가스와의 합병으로 인해 사망하였다. 두 교수의 조사는 화재로 인한 모든 사망자는 우선 CO 중독에 의한 것으로 한다는 가정하에 시작되었는데, 이는 CO 이외의 유독가스 및 기타 요소의 영향을 과소평가할 우려가 있다. 게다가, 상당히 간단한 기준으로 CO만으로 사망, CO가 주체이나 다른 유독가스와의 결합으로 사망 및 CO가 사망원인이 아닌 것으로 나누고 있다. 여기에는 약간의 설명이 필요하다.

혈액의 주된 기능 중 하나는 인체의 각 부분, 특히 뇌로 신선한 산소를 운반하는 것이다. 이것은 공기와 함께 흡입된 산소가 폐에서 혈액의 헤모글로빈과 결합하여 필요한 장소까지 운반되어 각 세포로 방출된다는 화학적 프로세스이다. 유감스럽게도 혈액의 헤모글로빈은 산소보다 수백배의 CO와 결합하려는 성질을 가지고 있다. 결합한 물질은 카르복시헤모글로빈이라 불리고, 이것이 혈액 속에 함유되어 있다는 것은 CO가 많고 필요한 산소가 없다는 것을 의미한다. CO는 대기 중에 충분히 호흡할 수 있을 만큼의 산소가 있더라도 유독하다.

Berl · Halpin 두 교수는 혈액 중에 30%의 카복시헤모글로빈이 있으면 CO가 사망에 상당히 작용하고, 50% 있으면 CO만으로 사망시기에 충분하다는 2가지 간단한 한계를 설정하였다.

사실은 매우 건강한 사람은 그 이상이라도 사망하지 않거나 이미 병이 있는 사람은 그 이하에서도 사망할 수 있다. 게다가 고농도의 CO를 갑자기 흡입, 심장 정지가 발생하여 상당히 낮은 수준의 카르복시헤모글로빈으로도 사망하는 수가 있다.

Marcelo Hirschler교수의 연구에 의하면, 통계적으로 자동차의 배기가스로 자살한 사람처럼 단지 CO만을 포함하고 있는 것으로 알려진 사망자들의 혈액에 화재로 사망한 사람들과 같은 수준의 카르복시헤모글로빈이 포함되어 있다고 한다. 이 사실은 화재의 유독가스에 의한 대부분의 사망자 대부분이 CO로 사망했다는 것이 된다. 사망자는 처음에 현기증이 일어나고, 방향 감각을 잃어버리고, 몸이 말을 듣지 않게 되어, 마지막에는 사망에 이른다는 4단계를 거친다는 것이다.

일부 연소독물학자들이 이것이 실제로 자주 발생하는지의 여부를 확인하기 위해 가재도구가 있는 일반적인 실물크기의 방을 사용하여 많은 실험을 한 결과, CO가 영향을 미치지 훨씬 전에 시안화수소가 사람을 무능력 상태로 만드는 수준에 이르는 것을 알았다.

따라서, 이 실험들이 아무리 잘 설계되어 운용되더라도 사망자가 발생하는 실제 화재 상황을 만들기 어렵다. 그러므로, 앞으로 연소독성에 관한 중요한 메커니즘과 각 유독가스 모두를 충분히 해명하기 위해 상당히 많은 실험과 조사가 필요하다.

11. 장래의 방향

ASTM과 ISO는 대표적인 화재 시나리오를 택하여 실제 화재에 가장 가까운 실험상황을 만들어 실험 데이터를 해석하기 위한 기준을 제정하기 시작하였다. NFPA는 기술위원회가 실험기준을 제정하고 있는데, 그 기준 가운데 CO수준을 분석하여 조정하도록 규정하고 있다. NFPA는 독자적인 성능기준코드(Performance Based Code)로 더욱 상세한 규정을 만들 예정이다.

만일 연소생성 유독가스의 독성을 측정하여 그 이동과 영향을 분석하여 평가하는 방법을 알았다면, 우선 그 작용들을 모델링하는 작업에 착수할 시기가 성숙되었다고 할 수 있다. 예를 들면, 미국기술협회(NIST)는 CO가 주로 발생하는 4단계 메커니즘을 확인하여 정량화하였다.

연소독물학은 많은 기본적 문제와 다양한 견해의 시대에서 새로운 과학적인 화재안전의 방법으로 변화해 왔으며, 과학적 관점에서 과거 10년간의 연소생성 가스의 독성에 관한 연구는 괄목할만한 진보를 이루었다. 연구결과가 화재안전전략에 기대만큼의 성과를 올리지 못했다 하더라도 특별한 독성위험을 확인할 수 있는 방법을 찾아낸 가치를 깎아내리지는 못할 것이다.

“NFPA Journal”(97. 11-12월호)에서 발췌