소사체의 혈중 헤모글로빈-일산화탄소 농도에 따른 연소형태 연구

최승복 · 오부열* · 최돈묵**†

서울지방경찰청 과학수사계 화재감식팀, *가천대학교 환경 · 디자인대학원 소방방재공학과,
**가천대학교 소방방재공학과

Fire Patterns According to the Blood Hb-CO Concentration of Charred Bodies

Seung-Bok Choi · Bu-Yeol Oh* · Don-Mook Choi**†

Dept. of Fire & Explosion Investigation Team Seoul Metropolitan Police Agency,
*Dept. of Fire Protection Engineering, Environmental Design Graduate School Gachon Univ.
**Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received February 20, 2012; Revised May 29, 2012; Accepted June 8, 2012)

요 약

심하게 소손된 화재현장은 남아 있는 잔존물만으로 초기 화재의 유형을 판단하기 곤란할 때가 많다. 화재로 인해 사람이 사망하였을 경우 혈중 헤모글로빈(Hb)-일산화탄소(CO) 농도는 생존 당시의 화재의 유형을 가늠할 수 있으며 촉진제를 사용한 급격한 화재의 경우 열기와 유독가스로 인해 재실자의 생존은 화재진행속도와 비례되어 체내 Hb-CO 농도는 낮았으며, 훈소와 같이 서서히 진행되는 연소의 경우 오랜 시간 호흡하면서 체내에 축적되는 CO 농도는 증가하였다. 이러한 인체의 Hb-CO 농도를 분석하면 생존 시 어떠한 형태의 화재에 노출되었는지 알 수 있다. 휘발유로 분신한 자살의 경우를 포함해 훈소성 화재사에 이르기까지 Hb-CO 농도는 3 %에서 최고 93 %로 다양한 농도를 보였다.

ABSTRACT

Fire patterns have been used to determine the origin and cause of fires in every setting imaginable. However, it is very difficult to identify fire patterns and causes from the fire-damaged remains of a devastated structure. If someone was killed by the fire, it is possible to identify fire patterns by analyzing the Hb-CO concentration in charred bodies of deceased as well as the pace of the fire. For example, a low level of Hb-CO concentration in the charred bodies indicate a rapid fire with accelerants and the death was caused by severe heat and thick toxic fumes. However, a high level of Hb-CO concentration in the charred bodies demonstrates that the fire was slow and/or there was a flameless form of combustion. Thus, it is possible to identify fire patterns through analyzing the level of Hb-CO concentration on the dead from the fire. In this study, the Hb-CO concentration in the charred bodies was from 3 % at the case of gas burning oneself to death to 93 % at the death caused by smoldering fire.

Keywords : Fire patterns, Hb-CO concentration, Accelerants, Charred bodies

1. 서 론

매년 화재로 인한 손실은 엄청난 인명과 재산적 피해를 야기하고 있다. 이러한 이유로 많은 공학도들이 시간과 비용을 투자하여 화재로부터 안전한 주거환경을 조성하려는 연구가 거듭되고 있다. 이런 연구는 정확한 화재원인으로 작성된 통계가 필요하게 된다. 하지만 열악한 장비, 인력 부족 등 다양한 원인과 환경으로 진화가 늦어져 전소한 건물 잔해에서 화재원인을 규명하기란 쉽지 않기 때문에 정확한 화재원인 통계를 기대하기는 아직 미흡하다. 우주 개

척 시대를 살고 있는 작금의 시대에 화재라는 재앙으로부터 자유롭지 못하고 또한 초고층 건물의 난립으로 화재 발생에 대한 진화 대책과 원인 규명이 요구되고 있다.

화재조사는 타고 남은 잔해에 생성된 연소 흔적이나 가연물과, 환기의 조건, 사망자의 피난 경로 등 다양한 정보가 필요하나 화재 진화가 늦어져 이러한 흔적과 초기 화재 형태 등을 파악하기 곤란한 경우가 많아 어떠한 유형의 화재였는지 가늠하기 곤란하다. 화재로 인해 사람이 사망하였을 경우 수사기관에서는 화재현장 조사와 망자의 부검을 통해 방 · 실화여부를 판단하게 된다. 하지만 현장이 심

† Corresponding Author, E-Mail: fire@gachon.ac.kr
TEL: +82-10-8966-8744, FAX: +82-31-750-8749

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.3.040>

하게 소손된 경우에는 결국 기도의 매(煤)나 혈액에 함유된 CO 농도만으로 화재로 인해 사망하였는지 화재 이전에 사망하였는지를 판단하게 된다. 인체에서 식별되는 매나 CO는 화재 전후에 사망하였는지를 판단하는 근거로만 제시되어 왔을 뿐 혈액에서 검출되는 Hb-CO를 통해 그 농도의 정도가 어떠한 유형의 화재였는지는 연구된바 없어 소사 체를 통한 화재유형 분석이 필요하다.

화재 현장에는 수많은 범죄가 숨어 있다. 특히 원인과 치정에 의한 살인방화, 보복적 방화, 경제적 빈곤에 따른 보험목적 방화, 절도 등 범죄 은폐에 따른 방화, 정신질환자의 맹목적 방화, 사회 불만 자에 의한 방화, 자살 기타 등등 다양하다⁽¹⁾.

경찰과 소방 등 화재조사를 행하는 화재조사관은 인화성물질 등의 매개물을 이용한 방화, 잘못된 불씨의 취급에 의한 실화, 또는 부주의에 의한 전기제품 사용 등 다양한 화재원인을 소회된 화재현장 해석만으로 판단하기엔 무리가 따른다. 화재 발생에서부터 진화되기까지의 시간이 지체되면 그만큼 화원가옥은 소실정도가 심하여 발화부위를 가늠할 수 있는 연소형태, 환기조건 등의 현장을 해석할 수 있는 자료가 부족하여 정확한 원인 분석을 할 수 없다. 이러한 잘못된 발화부위와 원인 판단은 결국 고스란히 제3의 피해자를 양상하게 된다.

발화부위와 화재원인을 규명하기 위해서는 건축물의 구조, 재질, 환기의 정도, 연소 확산의 방향 등과 같은 연소 현상을 이해하여야 하나 다양한 현장변수에 따라 그 양상이 제각각이고 진화가 늦어지거나 연소조건이 양호할 경우에 완전연소 또는 건물 붕괴로 인해 화재원인을 고사하고 발화부위조차도 판단하기 곤란할 때도 있다⁽²⁾.

화재로 인해 사람이 사망할 경우 수사기관에서는 무엇보다 화재의 원인과 어떤 경로로 확산되었는지, 초기에 진화되지 못한 원인과 연소를 촉진시킬만한 매개물의 발견 여부 등을 수사하여 화재와 인적피해 간의 인과관계를 정확히 파악하여야 한다. 그러기 위해서는 시체의 부검을 통해 화재 당시 생존여부와 혈액이나 위 내용물에서 독성물질이나 일산화탄소 검출여부 등을 확인하여 종합적으로 판단해야 할 것이다.

일례로 다문화가정에서 화재가 발생하여 잠자던 외국인 처 ○○○(여, 23세)가 사망하였다. 화재는 방 내부에서 발생하였고, 망자는 알몸 상태로 침대위에서 웅크리고 사망한 상태로 발견되었다. 부검결과 혈중 농도는 46%이고 마약류로 분류되는 졸피뎀(Zolpidem) 0.21 mg/l이 검출되었다. 또한 수사당국에서는 망자 명의로 6개 생명보험사로부터 사망보상금 12억원이 가입되어있는 것을 확인하고 남편이 보험금을 노리고 처를 방화 살해한 것으로 의심되어 수사에 착수하였으나 남편은 처인 피해자가 평소 전기난로에 빨래를 말리는 습관이 있어 당시에도 전기난로에 널어놓은 빨래에 착화되었거나 또는 이불에 난로가 넘어져 화재가 났을 것이라며 자신의 무고를 주장하였다. 전기

난로에 젖은 빨래가 접촉되어 화재로 발전할 경우 혼소에서 유염연소까지 일정한 시간 동안 다량의 연기가 발생된 후 유염연소에 이르게 되므로 재실 자는 많은 량의 연기를 흡입할 것이다. 하지만 처음부터 직접 착화된 유염연소에 의해 발화되었을 경우 열기와 유독가스에 의해 사망하는 시간은 그만큼 단축될 것이다. 그렇다면 과연 일산화탄소 46%는 어떠한 유형의 화재에 노출될 경우 검출될 수 있는지가 확인할 필요가 있었다.

화재로 인해 사람이 사망할 경우 시체의 부검을 통해 화재 당시 생존여부와 혈액이나 위 내용물에서 독성물질이나 일산화탄소 검출여부 등을 확인하여 종합적으로 판단해야 한다. 화재와 함께 발생하는 뜨거운 열기와 유독한 자극성 가스는 짧은 시간에 사망에 이르게 하며, 인간은 본능에 따라 불을 피해 물이 있는 화장실이나 다른 방으로 도망치려고 한다. 이처럼 사람이 생존 시에 흡입한 유독가스는 화재 발생당시 생존해있었다는 것을 의미하며 인체 부검을 통해 확인한 Hb-CO 농도는 당시의 화재의 유형을 가늠할 수 있는 근거로 사용 가능하다. 즉, 서서히 진행되는 혼소와 같은 유형의 화재는 사람이 사망에 이르는 시간이 길어지게 되면서 그만큼 많은 량의 연기를 호흡하여 인체에 축적되는 일산화탄소량이 증가할 것이고 급격히 진행된 화재는 그 와 반대의 성상을 보일 것으로 생각된다. 하지만 인체를 대상으로 이러한 실험이 불가능하기 때문에 인체 호흡기와 유사한 폐 형태의 모델을 이용하거나 연소가스에 노출된 마우스의 행동을 통해 독성평가를 하는 것이 고작이다⁽³⁻⁵⁾. 따라서 본 연구는 다양한 화재원인으로 사망한 시신을 부검한 자료 94건과 각 사건의 화재감식결과를 서로 비교분석하여 화재유형에 따른 인체의 헤모글로빈·일산화탄소 농도를 서로 비교 분석하였다.

2. 화재사에 대한 이론적 고찰

2.1 유독가스에 의한 사망

화재로 인한 사망원인은 높은 열과 유독가스, 산소결핍 등 복합적이기 때문에 어떠한 원인으로 사망하였다고 구체적으로 말할 수는 없다. 일반가옥의 화재의 경우만 하더라도 최성기의 온도는 수 천 °C 이상이 되고 각 물질이 열분해로 생성되는 CO, HCN과 같은 유독가스 중독, 산소의 결핍 중 어느 것이 더 치명적이라 말할 수 없다.

CO는 혈액소와 결합하는 정도가 산소 보다 200~300배나 강하며 공기 중 일산화탄소 농도가 1%일 때 2분간 호흡하면 혈중 일산화탄소의 농도는 30%에 이르며 공기 중 농도가 10%일 때는 30초 동안 흡입하면 혈중농도가 75%까지 올라간다^(6,7).

화재 현장에서 호흡한 때는 점액과 혼합되어 기도에 부착된다. 이러한 흔적은 화재 당시 생존해 있었다는 근거가 된다. 고온의 공기를 흡입하였을 때는 상기도의 점막에서 충혈, 종창, 박리, 괴사 등 열에 의한 화상을 일으킨다. 이때

Table 1. CO of Dangerous

CO Concentration (ppm)	Symptom
10,000	Dyspnea and die in 1 min
4,000	Dyspnea and die in 1 hrs
1,500~2,000	Dyspnea in 1 hrs
1,000~2,000	Hypofunction in 1 hrs

흡입한 일산화탄소는 짧은 시간에 생명을 앗아가며 사람에게 따라 다소 차이는 있지만 화재의 유형에 따라 일산화탄소의 농도는 10 %에서 많게는 90 % 이상에 이르기기도 한다.

가연물이 연소할 때 발생하는 열과 CO, CO₂, HCN, HCL, HBr 등의 독성 가스는 사람에게 치명적으로 작용하여 사망에 이르게 하는 인자로 작용한다. 화재로 인한 온도증가, 독성가스 발생, 산소 결핍 현상은 생명을 단축시키는 원인이며, 화재는 이 모든 요인이 동시에 이루어는 관계로 화재 유형의 정도에 따라 생존의 시간 차이가 나타날 것이다.

“Table 1”에서 보는 바와 같이 10,000 ppm의 일산화탄소에 노출될 경우 1분 이내 사망한다는 것을 알 수 있다. 특히 HCN은 90 ppm 정도이면 의식을 잃는다는 것을 감안하면 침대가 연소할 때 발생하는 164.6 ppm 정도의 HCN은 그 위험성이 어느 정도인지 짐작할 수 있을 것이다⁽⁸⁻¹⁰⁾.

2.2 산소 결핍에 의한 사망

불과 인간은 대기 중의 21 %의 산소를 전적으로 필요로 하며 산소 결핍은 양자 모두 존재 할 수 없다는 결론에 이른다. 또한 가옥 화재에서 연소 확산은 내부에 존재하는 산소의 농도에 의해 결정된다. 공급되는 산소에 비해 연소 속도가 빠르게 되면 연소는 더 이상 진행하지 못하고 결국 질식소화에 이르게 된다. 결국 화재로 인해 거실의 산소가 모두 소진되면 화재는 자연 소화되거나 확산을 멈추게 되고, 사람은 사망에 이른다. 사람의 경우 산소농도가 17 % 이하로 떨어지면 무산소증(Anoxia) 현상에 의해 움직임이 둔해지고 14 % 정도에서는 상황판단이 흐려지며, 6 % 이내에서는 6~8분 이내에 사망하는 것으로 알려져 있다. 또한 화염은 산소농도 16 %에서 연소를 멈추며 그이하의 농도에서는 점차 질식 소화되고 만다. 그러므로 사람은 생명을 유지 할 수 있는 최저 산소의 농도 10 % 이상이 되어야 한다.

2.3 열기에 의한 사망

화재사망은 뜨거운 공기를 흡입함으로써 기도화상에 의한 성문폐쇄, 폐포 화상에 따른 폐부종도 사망원인에 포함된다. 온도에 따른 위험도는 “Table 2”와 같다. 화재로 인해 발생한 열기가 65 °C 이상이 되면 화상을 입으며 143 °C 정도의 열기에 노출될 경우 5분 이내 사망하게 된다.

화상은 화상의 정도에 따라 2 °C에서 3 °C까지 분류하

Table 2. Limit Time for Survivorship

Temperature (°C)	Time (min)
143	Below 5
120	Below 15
100	Below 25
65	Below 60

며 실내 공기의 상승은 화상 이외에 탈진, 탈수, 호흡장애를 동반하고 150 °C 이상에서는 짧은 시간에 사망에 이른다^(6,7).

2.4 Hb-CO 농도에 따른 치사량

Hb는 척추동물의 혈액 1 μl 속에 4~500만개의 적혈구가 있고, 한 개의 적혈구 안에는 300만개 가량의 Hb이 들어 있는 것으로 알려져 있다⁽¹¹⁾. 이들 Hb은 O₂보다 CO에 친화력이 200~300배가량 좋아 화재가 발생하게 되면 CO 중독에 빠질 위험이 그만큼 높으며 일반적인 사람의 경우 평소 0~2 % 미만의 Hb-CO 농도가 검출되며, 담배를 많이 피우는 사람은 최고 10 %까지 검출되는 경우도 있다. 사람이 화재로 인해 사망에 이르는 평균 농도는 60~80 %이고 상황에 따라 최소치사량은 20 % 미만의 경우도 있다⁽¹²⁾. 화재는 건축물의 구조와 가연물의 조건에 따라 확산의 빠르기, 온도 상승이 제 각각이다. 즉, 화원가옥의 규모, 내장재의 종류, 창문의 크기 등등에 따라 연소의 거동이 달라지기 때문에 수치에 의해 최성기와 감쇄기를 정확히 판단한다는 것은 무리가 따른다.

3. 화재사망 사례

소방관이 신고를 받고 현장에 도착했을 당시 불꽃은 보이지 않고 바닥에 깔려 있던 이불과 그 옆에 놓인 전기난로가 소화된 상태에서 흰 연기만 나고 있어 화재는 어느 정도 성장하다 내부의 산소 부족으로 질식소화가 진행되고 있었음을 알 수 있는 상태였다.

침대위에는 알몸상태의 망자가 엎드려 사망하여 있었으며 내부 열기도 어느 정도 식고 바닥에 깔려 있는 이불에서 약간의 연기만 피어오를 뿐 화염은 보이지 않는 상태여서 대략 발화가 시작 된지 약 1시간 정도 지났다는 것을 직감할 수 있었다.

목격자는 화재가 발생하기 약 2시간 전에 주인이 집으로 들어오는 것을 보았고 그 후 약 1시간 후 그의 집에서 ‘쿵쿵’거려 시끄러워 항의하기 위해 나갔다가 창문으로 자욱한 연기가 새어 나오는 것을 보고 화재신고를 하였다.

화원가옥의 연소형태는 컴퓨터 책상 전면 바닥에서 발화되어 주변 벽체 등으로 확산되어 그 열기가 하강하다 벽체 바닥 2/3지점 까지 타 내려 오던 중 소화된 형태이다.

내부는 “Figure 1”과 같이 컴퓨터 책상과 수납장, TV

Figure 1. Burned feature of room.

Figure 2. Burned feature of point of origin.

등이 놓여 있고 방문 좌측으로 변사자가 사망해 있는 침대가 놓여 있는 구조이며 망자는 침대위에 알몸으로 TV를 향해 쭈그려 었드린 자세로 머리 부위에는 2개의 베개가 나란히 놓여 있고 변사자 좌측 발꿈치에 끝자락이 눌린 이불이 방바닥까지 늘어 뜨려 있는 상태로 외열에 의해 변사자와 이불, 침대매트 등이 그을려 있다. 또한 침대와 매트, 이불의 그을음과 탄화의 정도는 방바닥부위에서 침대 말치 방향으로 화염 또는 열기가 진행되는 과정에서 직접 연소 보다는 상층부에 형성된 열기에 의해 이불 표면이 약하게 탄화된 형태로 보인다.

발화부위인 방바닥은 “Figure 2”와 같이 전원이 인가된 전기난로(3단 석영히터)가 놓여 있고 발열체 열선 이전 배선 3개소에 합선흔적이 식별되며 안전망은 발열에 의한 변색형태와 이곳에 가연물질이 용착되어 있다.

난로는 베란다 방향에서 침대 방향으로 발열부를 바닥

으로 향하고 넘어진 상태이고 바닥에 의류와 이불잔해로 보이는 가연물이 놓여 있었다. 거실의 전체적인 연소 형태는 방바닥 컴퓨터 책상 전면 바닥에서 주변 벽체 등으로 확산되었고 이곳 발화부위에는 전원이 인가된 전기난로 외에 인화성물질이나 특이 가연물이 검출되지 않았으며 망자의 Hb-CO 농도는 46 %로 확인되었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 사망 후거나 가스폭발로 사망한 경우의 Hb-CO 농도

폭발로 인한 사망, 이미 사망한 이후에 발화된 화재 그리고 화재 이후 병원으로 후송되어 치료받던 중 사망한 사례의 Hb-CO에 대한 농도는 “Table 3”과 같다.

동물의약품을 제조하기 위해 유기용제를 사용하던 중 Solvent에서 생성된 유증이 미상의 점화원에 의해서 공장이 폭발하였고 그 현장에서 일하던 인부가 폭발과 동시에 사망한 경우이다.

부부 갈등이 원인이 되어 남편이 처를 목 졸라 살해하고 현장을 은폐하기 위해 시신을 차량으로 옮겨 방화하였던 사례와 만취 상태에서 담배를 피우고 잠을 자다 담배꽂초에서 발화된 화재로 인해 의식이 없는 상태에서 병원으로 후송되어 치료를 받던 중 호전되지 못하고 사망한 경우에도 1 % 미만의 Hb-CO 농도를 보였다. 이는 화재당시 호흡을 하지 않았거나 호흡을 하고 있었다 하더라도 그 시간이 불과 몇 초 이내로 짧았다는 것을 의미 할 수 있을 것이다.

즉, 일반적인 화재와 폭발을 구분하는 것은 그리 어렵지 않다. 일반적인 화재도 때론 최성기에 이르러 약한 압력 파가 수반되기도 하나 폭발과 같이 벽체를 파괴할 정도의 압력을 동반하지는 않는다. 그렇다면 폭발을 제외하고 일반적인 화재현장에서 소사 체의 Hb-CO 농도가 1 %대와 같이 낮은 농도를 보였다면 살해 후 이를 은폐하기의해 누군가가 고의로 불을 질렀다고 의심하여야 할 것이다.

4.2 개방된 공간이나 움막에서 발생한 화재로 사망한 경우 Hb-CO 농도

산소가 풍부한 건물 외부나 들판에서 화재가 발생할 경우에서 연소의 조건이 좋은 관계로 거의 완전한 연소에 이르게 됨으로 연소하중이 같은 가연물이라 할지라도 제한된 공간에 비해 더 많은 열량이 발생한다. 특히 주거용으로 지어진 비닐하우스, 판잣집과 같이 연소 조건이 좋은 가연물일 경우 최성기에 이르는 시점에서는 최고 1,100 °C

Table 3. Hb-CO Concentration with Death by Explosion/Post-homicide Arson

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
1	Die of an explosion of a volatile solvent in a factory	-
1	A vehicle arson for destruction of evidence after the murder	-

Table 4. Hb-CO Concentration of Clean Burn and in Shelter Tent

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
3	Die at the evacuated hospital under the treatment of suffocation unconsciousness caused by smoke	-
7	Die in trying to extinguish a fire caught adjoining building caused by waste incineration	-
8	Die of the fire near his immovable body lay	-

Table 5. Hb-CO concentration with Death by Combustion Liquid

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
6	Committed suicide by igniting a room after spreading lots of gasoline	-
13	Committed suicide by spreading gasoline over his body and igniting himself	-
14	Committed suicide by spreading gasoline over his body and igniting himself on a road	-
16	Committed suicide by spreading gasoline over his body and igniting himself in a motel corridor	-
16	Committed suicide by spreading gasoline in a factory and igniting it	-
18	Committed suicide by spreading gasoline in an office and igniting it	-
26	Committed suicide by spreading gasoline over his body in an office and igniting himself	-
28	Committed suicide by spreading gasoline in a room at home and igniting it	-
30	Committed suicide by spreading gasoline in a Home and igniting it	-

이상에 이르며, 인화성이 강한 물질이 연소 될 때는 1,500 °C 이상까지 올라가 대부분의 전선이 용융되거나 심지어는 H 빔 마저 녹일 수 있는 높은 온도에 이르는 경우도 있다.

“Table 4”는 자신의 주거지에서 화재가 발생하여 내부에 있던 재실 자가 연기에 질식사하여 쓰러져있는 것을 소방관이 병원으로 후송하여 치료받다 사망한 사례와 폐가가 된 농가 옆에서 쓰레기를 소각하던 중 폐가로 옮겨 붙는 화재를 진화하려다가 자신의 옷에 불이 옮겨 붙어 사망한 경우, 치매와 골다공증이 원인이 되어 움직이지 못하는 자가 누워 있던 전기장판에서 화재가 발생하였으나 대피하지 못하고 사망한 사례이다.

야외 들판이나 개방된 공간에서는 연기의 정체가 없고 열량이 높은 관계로 연기에 질식사사망하기 보다는 높은 열에 노출되어 사망한다는 것을 의미하며, 거동이 불편한 상태에서 자신이 누워있던 근거리에서 발생한 화재에 노출되었을 경우와 유독가스에 질식 후 병원에서 치료 받던 중 사망한 경우에도 이와 같이 낮은 농도의 일산화탄소가 검출된다는 것을 알 수 있다. Hb-CO 농도 3~8 %는 화원가옥의 연소 조건이 좋은 관계로 연기가 거의 발생하지 않고 화염만이 존재하는 완전연소에 가까운 화염에 노출되어 사망하였거나, 병자가 누워 있던 직 근거리에서 화재가 발생되어 사망한 경우로 볼 수 있을 것이나 이러한 판단 이전에 신체에서 화재로 인한 생활반응의 확인이 필수적으로 이루어 져야 할 것이다.

4.3 분신자살한 경우의 Hb-CO 농도

휘발유를 자신의 몸에 끼얹고 분신자살한 경우와 자살

을 목적으로 방바닥 여러 곳에 뿌리고 불을 붙여 사망하는 경우에는 Table 5와 같이 확인되었다. 인화점이 낮은 촉진제 일수록 유증의 생성은 그만큼 빠르며 휘발된 유증이 폭발의 범위에 이르게 되면 때론 폭발을 동반하기도 한다. 휘발유와 같이 급격하게 연소하는 촉진제를 사용하여 분신자살할 경우 급격한 화염과 쇼크로 인해 사망의 시간은 빠르면 수초 이내 사망에 이르기 때문에 혈액에서 검출되는 Hb-CO 농도는 그만큼 줄어들 수밖에 없다.

가솔린이나, 세녹스, 시너 등을 이용하여 자살을 시도하거나 분신으로 사망한 사례에서는 부검결과 인체 헤모글로빈 속에 함유된 일산화탄소 농도는 최저 6 %에서 최고 30 % 정도를 보였다. 물론 건강한 사람과 그렇지 못한 사람의 약간의 차이는 있을지 모르나 Hb-CO 농도가 6~30 % 미만에 해당된다면 인화성물질의 몸에 직접 뿌리고 사망하였을 경우에 해당할 것으로 조사과정에서 사망자가 스스로 그러한 행위를 하였을 것인지 원한 등 타인에 의해 자행되었는지가 분명하게 밝혀져야 할 것이다.

4.4 피할 수 없는 급격한 화염에 노출 사망한 경우의 Hb-CO 농도

휘발유를 뿌리고 방화된 장소 옆에 있다가 급격히 확산되는 화염에 노출되거나, 비닐하우스와 같은 주거 공간에서 화재가 발생하여 옆 피해자의 비닐하우스로 옮겨 붙어 화염을 피하지 못하고 내부에서 사망한 경우, 5층 주거용 건물 1층에서 화재가 발생하여 화염이 급격히 5층까지 확산되어 내부에서 있던 피해자가 대피하지 못하고 사망한 경우, 협소한 공간에서 조리를 하던 중 그 불길이 옆으로

Table 6. Hb-CO Concentration with Death by Rapidly Fire

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
34	Caught the body on fire while cooking and die	9.9
35	Caught on fire of a volatile gasoline from a tank on a vehicle containing fake gasoline	6.6
35	Die on an office floor ignited after spreading gasoline	33
36	Die around the floor ignited after spreading gasoline	33
38	Caught on fire sleeping by the fire and die in a deserted house	6.6
43	Die on a 5th floor after exposed to the flames from 1st floor	30
44	Caught on fire in a dwelling vinyl greenhouse exposed to flame and die	33
44	Die in an office near by a self-burning over the thinner	40
45	Die by the sofa ignited with a lighter	99
45	Die sleeping in a container exposed to flames	9.9
45	Die inside of a room after igniting on spreaded gasoline	13
47	Die in sleep of exposure to the flames arose from the floor	9.9

번져 대피하지 못하고 사망한 경우 등 미처 피하지 못할 정도의 큰 화염이 갑작스레 접근하여 사망한 경우에는 “Table 6”에서 보는바와 같이 Hb-CO에 함유된 CO 농도는 34 %에서 47 % 정도를 보였다.

인화성물질의 살포 후 방화하는 경우와 급격히 연소 할 수 있는 가연물에 착화되거나 주변으로부터 확산되는 커다란 화염에 노출될 경우에는 연기에 의해 질식사망하기 보다는 화염에 노출되어 사망할 가능성이 더욱 높다. 연기의 발생량이 작으면 그 만큼 화염이 크다는 것을 의미할 것으로 Hb-CO 농도가 34~47 %에 해당되는 경우에는 급격한 화염이 동반된 조건에서 사망하였다는 것을 의미할

것으로 화재조사 시 급격한 화염을 동반할 수 있는 가연물이 존재하는지, 건물의 구조는 어떠한지, 화염을 대피 할 수 없는 조건에 처해 있었는지 등의 조사가 이루어 져야 할 것이다.

4.5 화염과 다량의 유독가스 발생으로 사망한 경우 Hb-CO 농도

유염연소는 라이터, 촛불, 전기합선과 같은 불꽃이 있는 착화원에 의해 발화하는 형태를 말한다. 타기 쉬운 옷가지, 이불, 소파 등 이연성 재질의 가연물에 화염이 접촉되어 연소할 경우 처음 발화에서 최성기 약 1,100 °C 이

Table 7. Hb-CO Concentration with Death by Flame Fire

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
50	Die in bed after igniting clothes in an attic	6.6
50	Die at the driver's seat of a vehicle after igniting the back seat	6.6
51	Die in the kitchen of a sandwich panelled building structure where he could not escape from the fire	83
52	Die in a dwelling vinyl greenhouse fire kept him from escaping	83
52	Die of the exposure to short-circuit ignited flames	79
53	Die in a shack fire on a hill	3.3
54	Die in a vehicle fire	3.3
56	Die in a locked room after igniting clothes	9.9
57	Die in the bathroom after igniting the livingroom	6.6
59	Die in a car	6.6
60	Die in a single room of a shantytown	9.9
66	Die in a shack of a gas stove misusing	3.3
69	Die in trying to escape from a sandwich panelled building structure	33
69	Die in trying to extinguish a fire near the kitchen sink	30

상에 이르는 시간이 비교적 짧기 때문에 사람이 생존할 수 있는 시간이 그만큼 짧아진다. “Table 7”에서 보는바와 같이 옷가지에 불을 붙여 확산되는 형태나 타기 쉬운 샌드위치 패널건물, 주거용 비닐하우스, 합판 형태의 움막집 등 발화와 동시에 화염이 확산되는 형태의 가연물이나 건물의 경우에는 사람이 불을 인지하였다고 할지라도 삽시간에 확산되는 화염과 다량의 유독가스 발생으로 인해 의식을 잃거나 대피하지 못하고 쓰러져 사망하는 경우가 많다.

이러한 유형의 화재가 발생하여 사망한 경우 Hb-CO 농도는 50 %에서 69 %에 이르는 것을 확인 할 수 있었다. 즉, 50 %에서 69 %에 해당하는 화재의 경우 화염과 연기가 차지하는 비율이 거의 비슷할 정도의 화재였을 것이다. 이러한 조건의 연소는 옷가지에 라이터 등으로 불을 붙이거나 발화 즉시 화염이 동반되는 형태의 화재였을 것으로 보아야 할 것이다.

4.6 비교적 서서히 진행되는 화재 또는 대피 중 쓰러져 사망한 경우 Hb-CO 농도

일반적으로 화재는 유염과 훈소로 나눌 수 있다. 유염 연소는 라이터 불과 같이 처음부터 불꽃이 있는 형태의 착화 물에 의해 발생하는 것이고 훈소는 담뱃불과 같이 불꽃 없이 저온에서 뚝뚝뚝 연기가 발생하며 작열연소 하다가 유염연소에 이르거나 산소부족으로 질식 소화되는 경우이다. 이러한 형태의 화재는 착화된 부위의 온도가 400 °C 이상에서 풍속 2.0 m/s 이상이 되었을 경우에 유염 연소할 가능성이 크다⁽¹³⁾.

인명피해가 동반되는 대부분 화재는 화재를 인지하는 시점이 발화 초기 보다는 어느 정도 화염이 천장이나 벽체 높은 곳까지 확산되었을 경우가 대부분이다. 특히 잠자는 방실이 아닌 창고나 거실 등에서 발생한 화재는 열기를 인지하기 보다는 환한 빛이나 타는 소리를 듣고 그 출처를 확인하기 위해 무심코 문을 열거나 문틈으로 새어 들어오

Table 8. Hb-CO Concentration with Death by Don't Getaway Flume

Hb-CO Concentration (%)	Cause of Death	Space (m ²)
70	Die in a living room after igniting clothes in the main room	30
72	Die in a bed lay on his back ignited from the dwelling container floor	6.6
72	Die in the main room in trying to escape from the fire ignited by a cigarette butt in a garbage bag in the living room	33
75	Die at the next office room of a remodeled container	52.8
76	Die in a corridor in trying to escape from a burning motel ignited by toilet papers	132
77	Die in the veranda in trying to escape from the kitchen fire	82.5
78	Die in a house after igniting clothes under depression	66
79	Die in a official container fire ignited by a short circuit	52.8
80	Die under bed after having 3rd degree burn by the fire ignited in the room	19.8
80	Die sleeping in a bed caught on fire from a candle	13.2
80	Die of overheated engine fire caused by gas pedal stepped on unconsciously after the collision	6.6
81	Die in a vehicle fire with his wife in depression	6.6
83	Die in a room despite the flame inside of the house	22
84	Die in a room by igniting clothes by portable gas range	11.6
85	Die of suffocation from the smoke came out of the floor-slab crack	9.9
85	Die in trying to escape from the room ignited after spreading gasoline	66
85	Die in a fried chicken store fire blocked by a security grille	52.8
86	Die in a bar toilet on the 2nd floor in trying to escape from the flame from the motel on the 1st floor	99
86	Die in a room fire caused by TV short circuit	66
86	Die of recurring blanket fire after extinguishing the first fire	82.5
87	Die in a corridor in trying to escape from the motel fire	132
87	Die in a bar toilet on the 2nd floor in trying to escape from the flame from the motel on the 1st floor	297
87	Die of the fire ignited from an electric stove of the next room	59.4
89	Die sleeping by the fire ignited from the candle on the alter next room	132

Table 9. Hb-CO Concentration with Death by Smoke

Hb-CO Concentration (%)	Causes of Death	Space (m ²)
90	Die in a room suffocated by the fire ignited from the kitchen of a sandwich panelled building structure	99
92	Die in a room suffocated by the fire ignited by over heated cooking oil at a fried chicken store	53
92	Die in a room suffocated by the fire ignited from the kitchen of a sandwich panelled building structure	99
92	Die in a room suffocated by the fire ignited by over heated cooking oil at a fried chicken store	53
93	Die sleeping by the fire ignited from the candle on the alter next room	132

는 연기 냄새를 맡고 화재를 인지하는 것이 보편적이다.

화재 피해자의 진술에서 보면 화재가 발생한 사실을 알고 화장실이나 수돗가에서 물을 길어 오거나 소화기를 가지러 간 불과 2~3분 사이 화염이 급격히 번졌다고 한다. 주거공간에 적재된 각종 전자제품과 집기류가 연소 될 때 생성되는 유독가스는 치명적이다. 이러한 유독가스와 수백 에 이르는 뜨거운 열기는 화재를 피해 도망하려는 사람을 패닉 상태에 빠뜨리게 하여 출구를 찾아 밖으로 대피하기 보다는 물이 있는 화장실로 대피하거나 건물 위로 뛰어 올라가려는 본능적 행동을 유발하게 한다. “Table 8”은 아파트, 주거용 컨테이너, 사무실 등에서 화재가 발생한 이후 화염이나 유독가스를 피해 대피하다가 쓰러져 사망한 경우이거나 염세비관으로 스스로 불을 지르고 그곳에 머물러 사망한 경우이다. 이러한 경우에는 화재 발생에서 사망에 이르는 시간까지 어느 정도 생존해 있으면서 호흡을 하였다는 것을 의미할 수 있다.

Hb-CO 농도 70~89%는 전체 화재사망 94건 중 약 23.4%로 차지할 정도로 가장 많은 사망원인에 포함되었다. 일반적인 화재는 화재초기에 유독가스와 화염이 동시에 발생하며 재 실자 또한 화재 발생을 인지하기까지 그리 많은 시간이 필요하지는 않는다.

인간은 화재 발생사실을 인지하게 되면 가장 먼저 화재 진화를 시도하고 이마저도 여유 치 않으면 안전한 곳으로 대피하려 한다. 화염의 확산은 산소의 공급과 가연물의 조건에 따라 확산의 정도가 급격히 변하기 때문에 진화를 시도하다 실패하였을 경우에는 안전한 장소로 대피할 수 있는 시간이 그리 많이 남아 있지 않는다. 하여 가까운 옆방, 화장실, 발코니 등으로 피할 수밖에 없을 것이다. 이와 같은 사례의 장소에서 유독가스와 화염에 노출되어 서서히 사망하는 경우에는 Hb-CO 농도 70~89%였다.

4.7 혼소 진행된 유독가스에 질식 사망한 경우 Hb-CO 농도

혼소는 유염화재에 비해 사람이 사망에 이를 가능성이 매우 높다. 이러한 화재는 대부분 흡연 후 담배꽂이가 되 살아나 이불이나 주변 가연물에서 접촉되어 발화되거나 전열기의 복사열에 의해 주변의 가연물이 서서히 탄화되

는 형태의 연소로 열기보다는 유독가스의 발생량이 훨씬 많다. 만약 잠을 자고 있는 상황이라면 이러한 유독가스를 다량 흡입하게 되고 정작 화재를 인지하였을 때는 이미 일산화탄소에 중독되어 몸을 가눌 수 없는 상태에 이르러 움직이지 못하고 누워 있는 자세로 사망에 이르기 때문이다. “Table 9”는 대부분 화재가 발생한 사실을 모르고 방 안에서 잠을 자다 일산화탄소에 중독되어 움직이지 못하고 사망한 경우이다. 얼마 전 경기도 용인 연립주택에서 일가족 4명이 연기에 질식하여 사망한 사례도 이와 같이 1층에서 화재가 발생한 사실을 모르고 잠을 자다 뒤늦게 화재가 발생한 사실을 인지하였을 때는 이미 다량의 연기를 흡입하여 CO 중독에 의해 움직일 수 없는 상태에 이르렀기 때문이다.

혈액의 Hb 속에 함유된 CO 농도가 90%는 넘는 경우는 열기에 의해 사망하기 보다는 유독가스에 노출되어 사망한 것으로 보아야 할 것으로 서서히 진행되는 화재였거나 발화 장소에서 비교적 떨어진 곳에서 사망하였을 것이다.

5. 결 론

화재의 유형에 따라 혈중 Hb-CO 농도가 다르게 나타난다는 것을 착안하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 인화성물질이 착화하여 화재현장에서 대피하지 못하고 사망한 경우, 옷가지 등에 직접 불을 붙이고 사망한 경우와 담뱃불과 같이 연소가 서서히 진행되는 화재 등에 따라 혈중 Hb-CO 농도는 0%에서 93%로 나타났다.

둘째, Hb-CO 농도가 낮을수록 급격한 화염에 노출되어 사망한 경우이고, 반대로 수치가 높을수록 열기보다는 유독가스에 질식하여 사망하였다는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 화재 전 이미 사망하였거나 폭발과 같이 급격한 화염에 의해 사망하는 경우의 Hb-CO 농도는 약 0~1%였고, 산소의 공급이 원활한 들판이나 판잣집 형태의 건물에서 유염연소 하였을 경우에는 3~8%였다.

넷째, 분신자살한 경우의 Hb-CO 농도는 6~30%였고, 대피할 수 없는 협소한 공간에서 급격한 화염이 동반하는 형태의 화재가 발생한 화재의 경우에는 34~47%로 다소

높은 값을 나타내었다.

다섯째, 화재가 발화지점으로부터 옆집이나 상층부로 확산된 경우에는 다량의 열기와 불완전 연소가스에서 노출되어 Hb-CO 농도는 50~69 %로 좀 더 높게 나타났으며, 여섯째, 담배꽂초 등이 관계된 화재와 일정시간 훈소 후 발화하였거나 화재를 인지하고 대피하던 중 사망한 화재의 경우의 Hb-CO 농도는 70~89 %였으며, 화염에 직접 노출이 없고 연기에 질식사하여 사망한 경우에는 90~93 %의 Hb-CO 농도를 보였다.

감사의 글

이 연구는 2011학년도 가천대학교 지원(GCU-2011-R182)에 의한 결과임.

참고문헌

1. K. O. Kim, "A Study for Criminal Profiling of Arsonists", Department of Criminal Psychology Graduate School Kyonggi University, Thesis for Degree of Doctor (2009).
2. D. M. Choi, S. B. Choi and J. S. Choi, "A Study on the Discrimination of Fire Pattern by the Phenomenological Observation(Focused on the Fire Cases)", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 6 (2009).
3. J. H. Goo, "Deposition of Inhaled Smoke Particles Produced by Fire", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 21, No. 2 (2007).
4. D. H. Lee and Y. K. Kong, "A Study on Combustion Toxicity of Polymeric Materials Using FTIR Gas Analysis", J. of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 5, No. 4 (2005).
5. Y. K. Pak, "A Study on Combustion Gases Toxicity Evaluation of Polymeric Material", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 15, No. 3 (2001).
6. D. Y. Gang and H. U. Gang, "A Textbook of Legal Medicine", Jungmungak, Seoul Mapo (2007) pp. 185-196.
7. J. J. Yoon, "A Textbook of Legal Medicine", Korea medicine, Seoul Jongno (2006) pp. 197-198.
8. K. O. Kweon, Y. H. Yoo and H. Y. Kim, "An Experimental Study on the Warehouse Mock-up Fire Test", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4 (2010).
9. http://cafe418.daum.net/_c21/bbs_read?grid=xtGD&fldid=IGOn&datanum...
10. Y. H. Yoo, O. S. Kweon and H. Y. Kim, "The Real Scale Test for Safety in Apartment Housing", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 60-63 (2009).
11. http://100.naver.com/print_100.php?id=188935.
12. J. P. James, "Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine", pp. 302-317 (2011).
13. S. C. Park, S. B. Choi and D. M. Choi, "A Experimental Study on Cigarette Fire by Rerunning Experiment", Major in Fire & Disaster Protection Engineering Graduate School of Environment Kyung-won University (2011).