How do people die in fires?

1 Introduction

모든 소방관들은 화재로 인해 사람이 죽는다는 것을 알고 있습니다. 하지만 우리는 화재현장에서 사람들이 실제로 어떻게 죽는지에 대한 지식이 부족할 때가 많습니다. 화재는 연기와 열을 발생시킵니다. 이 두 가지 요소 모두 구조대상자들을 사망케하는 잠재적인 원인이 됩니다. 이 글에서는 이것에 대해 좀 더 자세히 알아보고자 합니다. 이러한 과정을 통해 우리가 화재현장에서 활동하는 방식에 대한 지식을 정리해 보고자 하려는 것입니다. 화재 행동의 변화가 이 두 요소(연기와 열)에 영향을 주나요? 그렇다면 어떤 방식으로 그리고 왜 영향을 줄까요?

2 Heat

화재는 에너지를 생산합니다. 이 에너지는 주변을 가열하는 데 사용됩니다. 가장 중요한 요소는 화재가 만들어 내는 에너지 또는 열 방출율(HRR)이라 부르는 것입니다. 화재로부터 발생되는 HRR 은 일반적으로 kW 또는 MW 단위로 측정됩니다. HRR 은 생산되는 에너지의 양을 J/s 단위로 나타냅니다.

화재의 HRR 은 주로 대류 및 복사를 통해 전달됩니다. 대략 HRR 의 70%가 대류로 전달되고 나머지 30%는 복사로 전달된다고 추정할 수 있습니다.

2.1 Convective heat transfer

figure 1 Above the candle one can feel the convective part of the heat produced by the flame. *(Photo: Szymon Kokot-Góra)*

화재에 의해 생성된 에너지는 대류를 통해서 가장 많은 양의 에너지가 전달됩니다. 대류열은 촛불을 사용하여 쉽게 확인 할 수 있습니다. 그림 1 과 같이 촛불 위 10cm 지점에서 손을 올려 보세요. 그곳에서 느껴지는 열은 위로 올라오는 공기(smoke)의 열입니다. 비슷한 거리에서 양초 측면으로 손을 옮기면 대류열과 복사열의 차이를 느낄 수 있을 것입니다.

첫째, 대류열이 화염에서 연기(열기)를 통해 전달됩니다. 화재의 HRR 이 높을수록 연기(열기)는 더 뜨거울 것입니다.

하지만 연기가 얼마나 뜨거워질지를 결정하는 또 다른 요인이 있습니다. 여기에는 연기층의 높이가 한몫 합니다. 일반주택, 보통 크기의 방에서 화재가 발생하면 연기는 2.6m 정도 피어오르다 천장을 만납니다. 이 연기의 상승 중에 공기는 연기와 혼합됩니다(그림 2 참조). 상승 중에는 연기의 부피와 질량이 모두 지속적으로 증가합니다. 차가운 공기가 연기에 많이 섞일수록 연기의 최종 온도는 낮아집니다. 따라서 5m 높이의 창고 천장에 도착한 연기는 2.6m 높이의 부엌 천장에 도착한 연기보다 덜 뜨거울 것입니다.

화재의 성장 단계에서 연기층이 형성되었습니다. 일반적인 아파트의 연기층이 1m 두께라고 가정하면, 바닥에서 올라오는 연기는 1.5m 만 상승합니다. 이것은 (상승거리가 짧아) 주변의 공기가 덜 섞여서 연기가 더 뜨거워진다는 것을 의미합니다. 그 외에도 화재는 발화 단계에 비해 발열 속도가 증가했을 것입니다. 그래서 열이 더 많이 가해지고 동시에 차가운 공기가 덜 혼합됩니다. 이로 인해 화재 초기보다 더 뜨거운 연기가 발생할 것입니다.

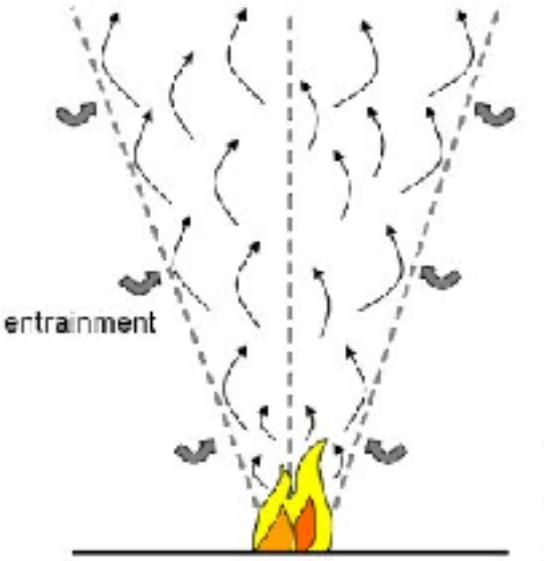

figure 2 While the smoke rises, more and more air is mixed in. This is called entrainment. *(Figure: Edward Johnson)*

뜨거운 연기층이 이제 열의 원천이 되었습니다. 이 열은 다른 물체로 전달될 것입니다. 연기층은 벽과 천장으로 둘러싸여 있습니다. 연기층은 벽과 천장보다 더 뜨겁습니다. 연기층에서 벽과 천장으로 대류를 통한 열 전달이 이루어질 것입니다. 연기가 흘러나오는 동안 연기층은 부분적으로 냉각되는 것과 동시에 벽과 천장이 동시에 뜨거워질 것입니다. 벽과 천장이 계속 가열되면 연기층의 열을 점점 더 적게 흡수하게 됩니다. 대류를 통한 열 전달은 실제로 연기층과 벽 또는 연기층과 천장 사이의 온도 차이(ΔT)에 비례합니다. 벽과 천장은 차례로 복사와 전도를 통해서도 열을 흡수할 것입니다.

It is possible to calculate the heat transferred through convection:

$$\dot{Q} = h \times A \times \Delta T \quad [kW]$$

건물을 통해 흐르는 연기가 개구부를 만나면 연기가 건물 밖으로 빠져나갈 것입니다. 이 연기는 건물 밖으로 나오는 연기 덩어리를 구성합니다. 이것은 건물을 빠져나가는 상당한 양의 에너지와 같습니다.

연기층이 바닥에서 0.5m 정도 떨어지면 내부 공격에 나선 대원들의 신체가 부분적으로 연기층 안에 있게 됩니다. 연기 속에 있는 그들의 신체 부위는 열을 흡수할 것입니다. 실제로 연기층 안에 있는 소방관 신체의 표면적(A)은 연기를 감싸고 있는 건물 벽과 매우 같은 방식으로 열을 흡수할 것입니다. 연기층은 열을 대원들의 방화복(PPE)으로 전달합니다. 전달되는 열의 양은 방화복과 연기 사이의 온도 차이(ΔT)에 따라 달라집니다. 그러면 열이 전도를 통해 방화복에 맞닿은 대원들의 몸으로 전달됩니다.

만약 연기층이 바닥까지 내려오면, 그곳에 누워있는 모든 구조대상자들은 즉시 그들의 몸에서 열이 전달되는 효과를 느낄 것입니다. 그들이 입고 있는 옷은 열로부터 그들을 보호할 수 없습니다. 배출되는 연기 가스의 흐름 속에서 창가에 서 있던 모든 구조 대상자도 마찬가지일 것입니다. 그들은 또한 연기로부터 열을 받을 것입니다. 여기서 고려해야할 또 다른 문제는 대류를 통한 열 전달에 영향을 주는 것이 열 전달 계수(h)와 유출되는 가스의 속도라는 것입니다. 대류의 열 전달량은 여러 가지 다른 것들에 의해 결정되는데, 그 중 하나가 속도입니다. 연기가 빠르게 흐를수록 더 많은 열이 전달될 것입니다.

마지막으로, 연기층은 유출되는 동안 복사를 통해 많은 열을 전달할 것입니다. 연기층은 그 아래에 위치한 물체에 복사를 통해 열을 전달합니다.

2.2 Radiation

복사는 모두에게 잘 알려진 열 전달의 한 형태입니다. 따스한 여름날 햇살이 얼굴을 비추는 느낌과 같습니다. 복사열의 효과는 누구나 느낄 수 있습니다. 캠프파이어를 할때나 벽난로 앞에서는 복사의 효과가 더욱 선명해집니다. 또한 열원까지의 거리가 가까워질수록 복사열이 증가한다는 것은 누구나 잘 알고 있습니다.

화재 현장에서 화점은 복사열의 주요 원천이 될 것입니다. 화점과 화염은 열을 발산할 것입니다. 복사열은 직선으로 이동합니다. 화재(화염)는 보이는 곳에 있는(line of sight) 모든 것은 가열합니다.

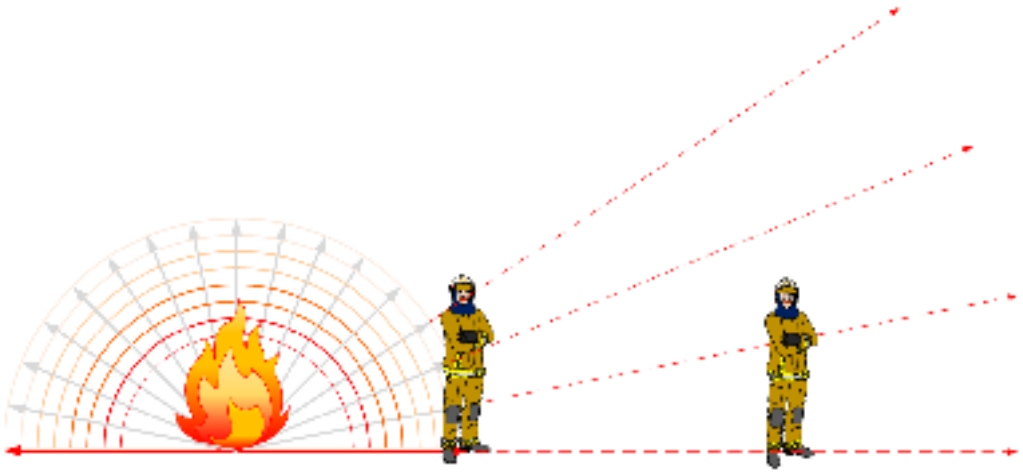

figure 3 Both firefighters in the illustration are of the same size, even if this appears not to be so. The firefighter closest to the flames will absorb a lot more radiant heat. This is illustrated by the number of arrows hitting his body. The further away from the heat source, the less radiant heat (arrows). *(Drawing: Bart Noyens based on an idea of James Mendoza of San Jose Fire Department)*

뜨거운 연기층은 또한 "보이는 곳(line of sight)"에 있는 물체에 복사를 통해 열을 전달합니다. 연기층 아래에 있는 물체는 복사를 통해 열을 흡수합니다. 즉, 화점 가까이에 위치한 소파는 두가지 방식으로 가열된다는 뜻입니다. 분명히, 화점에서도 복사열이 방출됩니다. 여기서 방출되는 열의 양은 일반적으로 꽤 큽니다. 하지만, 예를 들어 화점에서 5m 떨어진 곳에 소파가 있다면, 연기층은 화점이나 그 위에 있는 화염보다 덜 따뜻할 것입니다. 그러나 연기층으로부터 소파로 전달되는 복사열의 양은 둘 사이의 거리가 가깝기 때문에 훨씬 더 많을 수 있습니다. 연기층은 소파에 0.5m 까지 가깝게 내려올 수 있기 때문입니다.

열원과 열을 받는 물체 사이의 거리는 복사열 전달에서 중요한 요소 입니다. 복사열(kW/m², 양자화단위)은 거리 제곱에 반비례합니다. 즉, 열원까지의 거리가 2 배로 멀어질수록

전달되는 복사열이 4 배 감소합니다. 방출되는 복사열에 대해 흡수되는 복사열의 비율을 뷰 팩터(*view* factor)라고 합니다. 뷰 팩터를 정의하는 기호는 Ω 입니다. 그림 3 은 열원에 더 가까이 서 있는 소방관이 더 멀리 서 있는 소방관보다 더 많은 양의 복사열을 받고 있음을 보여줍니다.

다음으로 중요한 매개변수는 **열원의 온도**입니다. 대류를 통한 열 전달의 경우 전달되는 열의 양은 열원과 열을 받는 물체의 온도 차이에 의해 결정됩니다. 복사열 전달은 더 복잡합니다. 열원은 열을 방출할 것입니다. 방출되는 열의 양은 열원의 켈빈 온도 증가분에 네제곱에 비례합니다. 이건 좀 이해하기 어렵습니다. 일반적으로 열원의 켈빈 온도가 두 배로 증가하면 방출되는 복사열의 양은 16 배가 됩니다. 켈빈 온도는 섭씨로 표시된 온도보다 273°(도)가 높습니다. 400°K(켈빈 온도)는 127°C(섭씨 온도)와 같습니다. 800°K 은 527°C 와 일치합니다. 연기층의 온도가 127°C 에서 527°C 로 증가하면 해당 연기층에서 발생하는 복사열은 16 배 증가합니다.

모든 물체는 복사열을 방출합니다. 가열되고 있는 소파에서도 열이 방출될 것입니다. 소파가 77°C(350K)의 온도에 도달하면 약간의 열도 방출됩니다. 그러나 소파에서 방출되는 열은 연기층에서 방출되는 열과 비교할 때 무시할 수 있는 것이 분명합니다.

It is possible to calculate the radiant heat transfer:

$$\dot{Q}=\sigma\times\epsilon\times\Phi\times T^4 \qquad [kW/m^2]$$

방출된 복사열은 구조대상자도 흡수할 수 있습니다. 바닥에 쓰러져 있거나 발코니에 서 있는 구조대상자들은 연기층과 화염으로부터 복사열을 받을 수 있습니다. 실제로, 우리는 종종 발코니로 도망친 구조대상자들을 발견합니다. 그들은 더 이상 연기에 의해 영향을 받지 않지만, 복사열 때문에 여전히 화상을 입을 수도 있을 것입니다. 대형 유리 미닫이문에서 화염이 나오는 발코니에 서 있던 구조대상자는 화상을 입을 수 있습니다. 이러한 이유 때문에 전환공격(Transitional Attack) 전술의 필요성에 대한 주장이 설득력이 있는 것입니다. 화염을 진압(제거)하면 화재 가스의 온도가 현저히 낮아집니다. 그러면 복사열이 순식간에 16 배 감소합니다. 즉, 구조대상자는 같은 양의 복사열을 축적하기 전에 발코니에 16 배 더 오래 머무를 수 있습니다. 그러나 이 전술에서는 적절한 양의 물을 사용하는 것이 중요합니다. 처음 주수된 수십 리터의 물은 화염의 영역으로 들어가 증발하고 화염으로부터 엄청난 양의 에너지를 흡수합니다. 그 화염들은 사실 엄청나게 뜨거운 가스입니다. 에너지가 이 가스들로부터 흡수되면, 가스의 부피는 상당히 줄어들 것입니다. 가스의 부피가 줄어들면 증발하는 수증기의 부피가 늘어납니다. 그 이후에 더 많은 물이 화재실로 유입되면 대부분의 물방울은 벽과 천장에서 증발하게 됩니다. 이번에는 수축되는 부피는 없고 수증기만 추가로 만들어지는 것뿐입니다. 이 과도한 수증기는 사방으로 퍼져나갈 것이고 진압대원들에게 심각한 위험을 줄 수 있고 심지어 구조대상자들에게도 피해를 줄 수 있습니다. 따라서 화염이 제거된 후 즉시 관창을 닫는 것이 매우 중요합니다.

3 Smoke

만들어지는 연기(화재가스)는 화재의 종류에 따라 달라집니다. '연기 생산' 관점에서 화재를 보면 훈소 화재(smoldering fire), 환기가 양호한 화재(ventilated fire), 환기가 불량한 화재(under ventilated fire) 등 세 가지 화재 유형을 구분할 수 있습니다. 훈소 화재는 낮은 온도와 불꽃이 없는 느린 연소 과정으로 정의됩니다. 훈소 화재와 환기가 불량한 화재는 일반적으로 많은 양의 연기를 발생시킵니다(환기가 양호한 화재보다 10 배 많음). 환기가 양호한 화재에서는 연기 생산량이 훨씬 적습니다. 훈소 화재를 진압할 때에는, 화재의 규모와 진행 방식에 따라 많은 것이 달라 집니다. 예를 들어, 담뱃불이 어디엔가 떨어져 훈소 화재를 발생시킬 수 있지만, 그 화재는 성장하지 못할 것입니다. 훈소 화재의 표면적이 작다면 연기(화재가스)의 생산량도 적을 것입니다.

연기는 여러 물질이 혼합된 가스 입니다. 고체 입자(그을음) 및 부유물에 액체 입자가 혼합된 것입니다. 여러 종류의 가스들도 생산되고 있습니다. CO_2 와 CO 는 열분해 가스와 함께 연기에서 중요한 두 가지 가스입니다. 화재의 연료에 질소(N_2)가 포함되어 있으면 HCN 과 같은 물질도 만들어 집니다. 마지막으로, 연기 속에는 산소가 존재할 수도 있을 것입니다. 연기 속 산소 농도는 공기 중에 존재하는 정상 산소 농도 21%보다 훨씬 적을 것입니다. 연기는 깃털 모양으로 천장을 향해 피어오르고 천장에서 연기층을 형성하게 됩니다. 연기층의 구성은 고정되어 있지 않습니다. 계속 바뀝니다. 연기층 내부의 특정 부분에서는 국부적인 연소가 발생할 수 있습니다. 이것은 온도와 사용 가능한 산소 농도에 따라 달라집니다. 연기층의 CO 농도는 연료 지배형 화재에서는 온도에 정비례하며, 환기 지배형 화재에서는 온도에 반비례합니다. 연기층에 있는 여러 가스의 농도는 끊임없이 변화하고 있습니다. 이것은 매우 복잡한 현상입니다.

4 Effects on the human body

4.1 Effect of heat

우리의 피부는 뜨거워지면 먼저 쾌감을 느낍니다. 다시 한 번 태양열이 복사형태로 우리의 피부에 전달되는 것을 생각해보세요. 하지만 우리는 햇볕에 그을린 게 뭔지 다들 알고 있습니다. 우리 모두는 햇볕을 너무 오래 쬐면 피부에 1 도 화상을 입게 됩니다. 그 기분 좋은 감촉은 햇볕에 오래 노출되어 화상을 입게 할 수 있습니다. 따뜻한 여름날 태양에서 나오는 복사열은 약 1kW/m²입니다. 이 정도의 복사열에 장기간 노출되면 우리의 피부는 1 도 화상을 입을 수 있습니다.

피부의 온도는 더 가열될 수 있습니다. 이는 위에서 설명한 대로 대류 또는 복사 형태의 열 전달에 의해 가열되는 것입니다. 인간의 통증 한계는 약 43°C 까지 입니다. 이때부터 피부가 더 뜨거워지면 통증이 느껴지기 시작합니다. 온도가 높고 열을 받는 표면적이 커질수록 더 많은 통증이 발생합니다. 이러한 통증은 심지어 구조대상자들을 다칠 것이 확실한 상황에도 창문 밖으로 뛰어내리게 할 수 있습니다.

1 도 화상은 피부 온도가 48°C 에 이르면 피부의 홍조를 동반합니다. 55°C 의 온도에서는 2 도 화상이 생기기 시작합니다. 2 도 화상은 물집이 생기는 것이 특징입니다. 더 고온에서는 3 도 화상이 발생합니다. 이것은 화상 부위의 피부가 완전히 괴사된다는 것을 의미합니다.

피부와 연기 사이에는 온도 차가 있습니다. 열 전달로 인해(복사 및/또는 대류) 피부는 뜨거워집니다.

소방관들은 화재현장에서 대부분 복사 형태와 대류 형태의 열전달 작용을 모두 겪게 됩니다. 이들은 종종 특정 온도의 연기 속에서 작업하면서 동시에 일정량의 복사열(kW/m²)에 노출됩니다. 미국 NIST 에서는 두 가지 유형의 열 전달 효과를 모두 나타내는 그래프를 공식화했습니다. 그 그래프를 통하여 방화복과 개인안전장비의 보호 효과를 살펴 볼 수 있습니다.

물론 NIST 의 그래프는 단순화된 모델입니다. 그래도 소방관들이 화상을 입기 전에 특정 조건에서 얼마나 안전하게 업무를 수행할 수 있는지에 대한 조건을 살펴보기에는 충분할 것입니다.

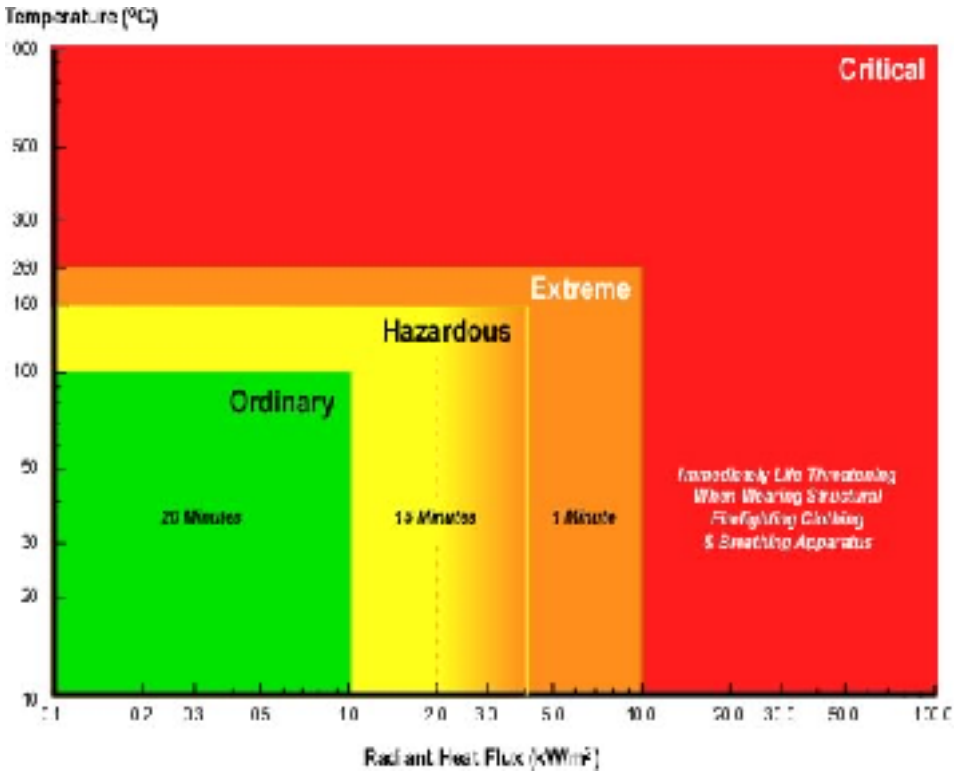

figure 4 Thermal exposure limit in relation to radiant heat flux and environment temperature. *(Graph: NIST)*

4.2 Effect of smoke

연기는 말 그대로 수백 가지의 다른 물질로 이루어져 있습니다. 그래도 연기가 인체에 미치는 영향은 특정 주요 가스와 이러한 가스 간의 상호작용을 통해 설명할 수 있습니다.

연기는 인간에게 다양한 문제를 일으킵니다.

- 연기는 부분적으로 자극적인 물질로 구성됩니다.
- 연기는 부분적으로 질식가스(CO, CO_2, HCN, …)로 구성됩니다.

- 연기는 산소 농도를 낮춥니다.

연기 속의 자극성 가스는 눈과 폐에 나쁜 영향을 미칩니다. 고농도에서는 굉장한 통증을 유발합니다. 게다가 연기 때문에 빛이 통과할 수 없게 됩니다. 이것은 연기속에서는 주위를 잘 볼 수 없다는 것을 의미합니다. 연기가 자욱할수록 주위를 더 잘 볼수 없게 됩니다. 이 모든 특징들은 사람들이 연기 속에서 걸어다니는 것이 매우 어렵다는 것을 말해줍니다. 화재현장 건물내에 거주하는 사람들의 신체적 건강도 중요한 요소가 됩니다. 노인과 어린 아이들은 건강한 성인들보다 자극성 가스의 영향에 더 빨리 쓰러질 것입니다. 기도 질환이 있는 사람은 정상인 사람보다 자극성 가스에 노출 시 이러한 신체적 문제를 훨씬 더 빨리 경험하게 될 것은 두말 할 나위도 없습니다.

자극성 가스에 노출된 사람은 연기 밖으로 구조된 후에도 수많은 건강 문제가 발생할 수 있습니다. 그들은 연기 밖으로 옮겨진 후에도 아직 완전히 안심할 수 있는 것은 아닙니다. 연기에 노출된 후 처음 24 시간 동안은 폐에 염증이 생겨 생명에 치명적일 수 있습니다. 이러한 염증을 적절히 치료하거나 예방할 때, 대부분의 구조 대상자들은 3 개월 이내에 완전히 회복됩니다. 주택 화재에서의 구조대상자가 병원에서 퇴원할 때만이 진정으로 우리가 생명을 구했다고 말할 수 있습니다. 주택 화재 현장에서 구조대상자의 "생명을 구하는 것(saves)"은 화재 현장에서의 구조작업과 적절한 응급처치가 결합되어 구조대상자를 생존할 수 있도록 하는 일들 입니다.

연기 또한 부분적으로 CO 가 포함되어 있습니다. 화재 현장에서 CO 의 농도는 5,000 ~ 10,000ppm 에 도달하는 경우가 많습니다. 이것들은 매우 고농도입니다. CO 는 혈류 내의 헤모글로빈과 결합 합니다. 헤모글로빈은 산소를 운반하는 적혈구 속의 단백질입니다. 헤모글로빈은 폐에서 신체의 다른 부분으로 산소를 운반하는 트럭과 같은 역할을 합니다. 그 트럭들 중 하나에 CO 가 실리면, 그 트럭은 더 이상 산소를 운반할 수 없습니다. 이러한 트럭 중 너무 많은 수가 CO 를 운반할 경우 신체의 모든 부분에서는 신선한 산소 공급이 크게 감소합니다. CO 의 양은 %COHb 로 정량화됩니다. 주책 화재 현장에서 사람들의 주요 사망 원인은 혈류 속 높은 CO 농도입니다. 인간에게는 Haber 의 규칙이 적용될 수 있습니다. Haber 는 'CO 중독은 대기 중 CO 의 노출 시간과 농도에 따라 다르다.'라고 말합니다. 즉, 1,000ppm 의 농도에 5 분 노출되면 10 분 동안 500ppm 의 농도에 노출되는 것과 동일한 효과가 있는 것입니다.

또한 연기 속에는 시안화수소(HCN)도 포함되어 있습니다. 화재 현장의 경우 1,000ppm 의 농도까지 포함 될 수 있습니다. HCN 은 또한 독성 가스이며, CO 보다 최대 25 배 더 유독합니다. HCN 의 중독 효과는 CO 의 중독 효과보다 더 위험 합니다. 연기 속에 포함된 HCN 은 HCN 이 없는 경우보다 훨씬 더 빨리 구조대상자들의 의식을 잃게 할 것입니다. 이것은 구조대상자들이 대피해야 하는 시간을 더 단축시킵니다. 마지막으로 Haber 의 규칙은 HCN 에는 적용되지 않습니다. 왜냐하면 사람들은 200ppm 이상의 HCN 농도에서 오래 생존하지 못하기 때문입니다.

연기에는 높은 농도의 CO_2 가 포함되어 있습니다. 이 가스는 인체를 과호흡하게 만듭니다. 우리 몸의 자연스러운 호흡은 혈류에서 CO_2 를 배출하게 합니다. 그러나 과호흡은 배출되는 CO_2 보다 다른 유독가스를 더 빨리 흡입하게 만듭니다.

연기 내부의 산소 농도는 감소된 상태 입니다. 대부분 원래의 21%의 산소가 거의 남아 있지 않게 됩니다. 낮은 산소 농도는 인체에 매우 위험합니다. 주택 화재 현장에서는, 종종 바닥 가까이에서만이 인체가 생존 가능한 산소 농도가 측정될 수 있습니다. 연기층 내부에서 1%의 산소 농도가 측정되었습니다. 게다가 연기층은 고온 상태 입니다. 그런 연기를 들이마시는 사람들은 살아서 화재현잘을 빠져나갈 기회가 거의 없습니다. 거주자가 화재실 문을 열다가 갑자기 연기가 자욱하게 흘러나오는 사례가 보고되기도 했습니다. 그 연기를 한 번 들이마신 거주자는 의식을 잃고 바닥에 쓰러질 것입니다.

연기는 NOx(산화질소계 화합물)와 같은 많은 다른 가스를 포함하고 있지만, 보통 이러한 가스는 중요하지 않습니다.

일반적으로 연기는 인체에 세 가지 영향을 미칩니다.

1. 자극성가스는 거주자의 탈출을 매우 어렵게 합니다. 눈시울이 뜨거워지고 목(기도)이 아프기 시작합니다. 이것은 심지어 거주자들을 쓰러지게 할 수도 있습니다.

2. 거주자들이 노출되는 가스의 양은 거주자들을 혼란스럽게 하거나 의식을 잃거나 심지어 사망하게 할 수 있습니다. 이와 관련하여 CO 와 HCN 은 가장 중요한 유독 가스입니다.

3. 고농도의 자극성가스는 심지어 폐에 염증을 일으키고 폐부종을 일으켜 화재현장에서 구출된 구조대상자를 사망에 이르게 할 수도 있습니다.

연기 흡입으로 사망하는 희생자의 75%는 화재가 발생한 곳이 아닌 다른 곳에서 발견됩니다. 화재현장의 희생자들은 주로 연기의 영향으로 사망합니다. David Purser 교수[1]는 연기의 독성 효과를 계산하기 위한 모델을 개발했습니다. 그는 사람이 들이마시는 연기의 흡수량의 근사치 즉, 부분 유효 선량(FED: *fractional effective dose*) 개념을 만들었습니다. 이에 따르면 1,000ppm 의 CO 를 0.5 초 동안 들이마시는 것보다 100ppm 의 CO 를 10 분 동안 들이마시는 것이 더 위험하다고 말합니다. FED 가 특정 수치 이상으로 도달하는 순간, 구조대상자들은 의식을 잃게 될 것입니다. FED 가 더 상승하면, 구조대상자들은 사망에 이르게 될 것입니다.

5 First save victims, then extinguish the fire?

위의 다른 단락들은 구조대상자들이 연기의 영향에 의해 어떻게 피해를 입게 되는지를 설명합니다. 구조대상자들의 생존 확률을 높이는 첫번째 방법은 이들를 연기로부터 탈출시키는 것입니다. 그러기 위해서는 먼저 구조대상자를 찾아야 합니다. 하지만 구조대상자를 발견하는 것 특히, 넓은 공간에서 구조대상자를 찾는 것은 매우 어려운 경우가 많습니다.

구조대자의 생존 가능성을 높이는 두 번째 방법은 연기를 제거하는 것입니다. 이를 달성하기 위해서 소방관들은 연기가 있는 곳을 환기(배연) 시켜야 합니다. 신선한 공기로 연기를

[1] Professor David Purser 영국의 독성물학자(toxicologist). 화재현장에서의 독성물질과 거주자의 대피행동에 관한 연구가. Purser's FED model 은 각각의 독성기스(CO, HCN, NOx, ...)로부터 독성 기여도의 합으로 표시됨.

희석시키면 자극성 가스 및 독성 가스의 농도는 떨어지는 반면 산소 농도는 상승합니다. 하지만 그 여분의 산소는 특히 아직 꺼지지 않은 화재에 급격한 결과를 가져올 수 있습니다.

그러므로 환기는 현대 화재 현장에서 위험한 전술이 될 수 있습니다. (작은 규모의) 훈소 화재를 진압할 때에만 비교적 안전하게 수행할 수 있을 것입니다. 다른 화재(환기가 양호 또는 불량한 화재)의 경우, 환기를 시작하기 전에 화재를 진압하는 것이 중요합니다. 진압작전이 성공할 것이라고 장담하기 어려운 경우가 많습니다. 화재에 대한 공격이 시작될 때 화점의 위치가 명확하지 않은 경우가 많기 때문입니다. 그러면 먼저 화재에 대한 조치를 취하지 않고는 환기가 불가능합니다. 그렇지 않으면, 화재가 성장하여 구조대상자들이 피해를 입는 경우가 발생할 것입니다.

인명을 구하기 위해서는 연기가 제거되어야 합니다. 환기가 그 문제에 대한 해결책입니다. 하지만 추가로 공급된 산소가 화재를 성장시킬 수 있기 때문에 환기를 하려면 먼저 화재를 진압해야 합니다. 그것이 우리가 생명을 구할 수 있는 방법입니다. (50 여년 전과는 달리) 바뀌어진 화재현장의 조건으로 인해, 우리는 더 이상 화재를 진압하기 전에 구조대상자를 구조 할 수 없을 것입니다. 먼저 화재를 진압해야 환기를 하고 생명을 구할 수 있습니다(또는 생명을 구하고 환기를 할 수 있습니다).

먼저 화재를 진압하세요!

6 Bibliography

[1] *Merci B (2010) Active fire protection: Smoke and heat control, course of the Post graduate Studies in Fire Safety Engineering, UGent*

[2] *Gottuk D, Lattimer B (2016) Effect of combustion conditions on species production, in SFPE Handbook of fire protection engineering*

[3] *Purser D (2016) Combustion toxicity, in SFPE Handbook of fire protection engineering*

[4] *Galea E (2011) Human behavior in fire, course of the Post graduate Studies in Fire Safety Engineering, UGent*

[5] *Lambert K, Baaij S (2018) Brandverloop: Technisch bekeken, tactisch toegepast, 2de editie*