Fire behavior in multiple rooms

1 Introduction

모든 소방관은 그림 1 의 화재 성장 곡선을 알고 있을 것입니다. 이 곡선은 구획실 내에서 화재가 성장할 수 있는 가능한 방식을 묘사합니다. 이 곡선이 나타나기 위해서는 몇 가지 조건이 충족되어야 합니다.

- 구획실 안에 충분한 연료가 있어야 합니다.
- 구획실 내에서 열 방출 속도가 플래시오버가 발생하는 데 필요한 한계를 초과하는 화재로 성장할 수 있도록 가연물이 존재해야 합니다.
- 화재가 해당 열 방출 속도에 도달할 수 있도록 충분한 공기(환기)가 공급되어져야 합니다.

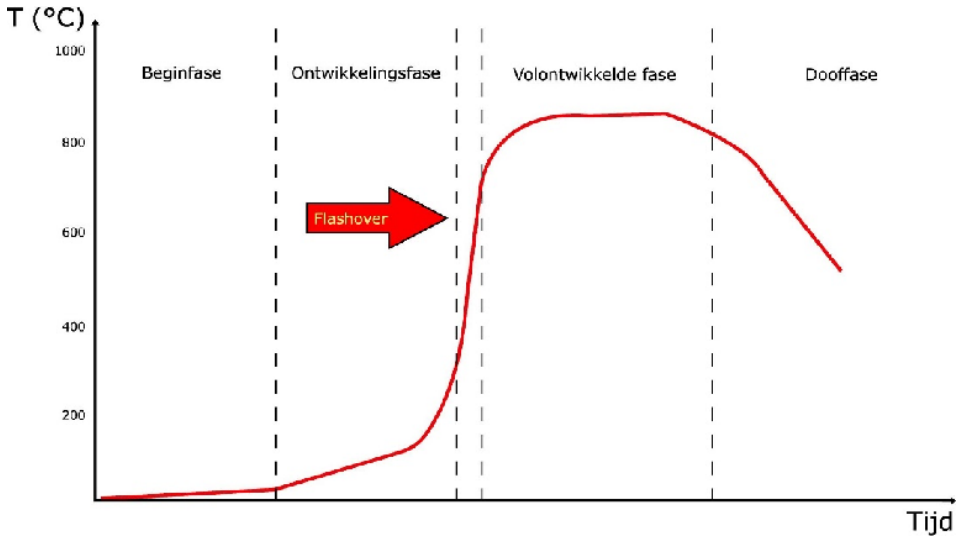

figure 1 The ventilated fire growth curve *(Figure: Karel Lambert)*

모든 소방관들이 이 곡선이 시간의 함수로서 온도의 변화를 나타낸다는 것을 이해하고 있는 것은 아니지만, 실제로 열 방출 속도는 위에서 설명한 조건으로 표현될 수 있습니다. 또한 '인접 구획실에서 발화된 화재 성장 곡선(*The fire growth curve revisited)*'도 화재의 행동을 '시간-HRR'의 곡선으로 나타낼 수 있습니다[2]. 이 글에서는 다양한 변수들(환기, 가연물 등)이 HRR 에 미치는 영향을 살펴볼 것입니다.

그림 1 의 곡선은 오직 하나로 구획된 곳에서의 화재 행동과 관련이 있습니다. 그렇다면 여러 개로 구획되어 있는 곳의 화재는 어떻게 발생하고 성장하는 것일까요?

이 글에서는 여러 개로 구획된 곳의 화재 행동에 대해 자세히 살펴보려고 합니다. 이 글은 완전하지 않을 것이고, 그럴 의도도 없습니다. 다만 하나의 구획실에서 시작하여 열려진 출입문을 통해 두 번째 구획실로 확산되는 화재에 초점을 맞출 것입니다.

2 Smoke is what it is all about

모든 화재는 연기를 발생시킵니다. 연기는 소방대원들에게 중요한 세 가지를 전파하기 때문에 화재 확산에서 매우 중요한 요소 입니다.

1. 에너지의 이동
2. 연료의 이동
3. 유독물질의 이동

다음 단락에서는 연기의 확산과 그 결과에 대해 자세히 다루겠습니다.

2.1 Smoke spread

화재는 연기를 발생시킵니다. 연기는 그을음 입자, 에어로졸(공기중에 떠있는 고체 및 액체 미립자) 및 가스로 구성됩니다. 하지만, 대부분의 경우, 연기는 공기 air 로 구성되어 집니다.

연기는 화점(seat of fire)에서 만들어집니다. 화재로 인해 방출되는 에너지(열)의 대부분은 연기를 가열하는 데 사용됩니다. 따라서 화재의 HRR 은 연기 확산에 중요한 역할을 합니다. HRR 이 높을수록 연기는 화점으로부터 멀리 이동할 수 있습니다. 연기의 초기 온도는 화점으로 유입될 수 있는 공기의 양에 따라 달라집니다. 여기서 화재의 크기가 중요해집니다. 화재가 클수록 공기가 더 많이 유입될 수 있습니다. HRR 이 일정하게 유지되면, 큰 규모의 화재에서 발생하고 상승하는 연기의 온도는 더 낮아질 수 있습니다.

연기가 주변 공기보다 더 뜨겁기 때문에, 연기는 위로 올라갈 것입니다. 이것을 일으키는 효과는 열기구를 상승시키는 것과 같습니다: 뜨거운 공기는 상승합니다. 하지만, 열기구의 경우, 공기는 풍선 안에 갇히게 되고 그 뜨거운 공기는 차가운 바깥 공기와 섞일 수 없습니다.

연기는 그 점에서 다소 다른 행동을 보입니다. 연기가 발생하고 상승할수록 연기에 공기가 점점 더 섞입니다. 이로 인해 다음과 같은 여러 가지 일이 발생합니다.

- 연기의 온도는 낮아집니다. 화재 현장의 뜨거운 연기는 주변의 차가운 공기와 섞이며 하강하기 시작할 수도 있습니다.
- 이로 인해 주변 공기와의 온도차도 줄어들면서 연기의 상승속도가 느려집니다.
- 연기의 질량도 증가합니다. 많은 양의 공기가 연기에 섞여 들어갔습니다.

연기의 온도, 상승 속도 및 연기의 질량은 연기의 상승에 따라 모두 변합니다(그림 2 참조).

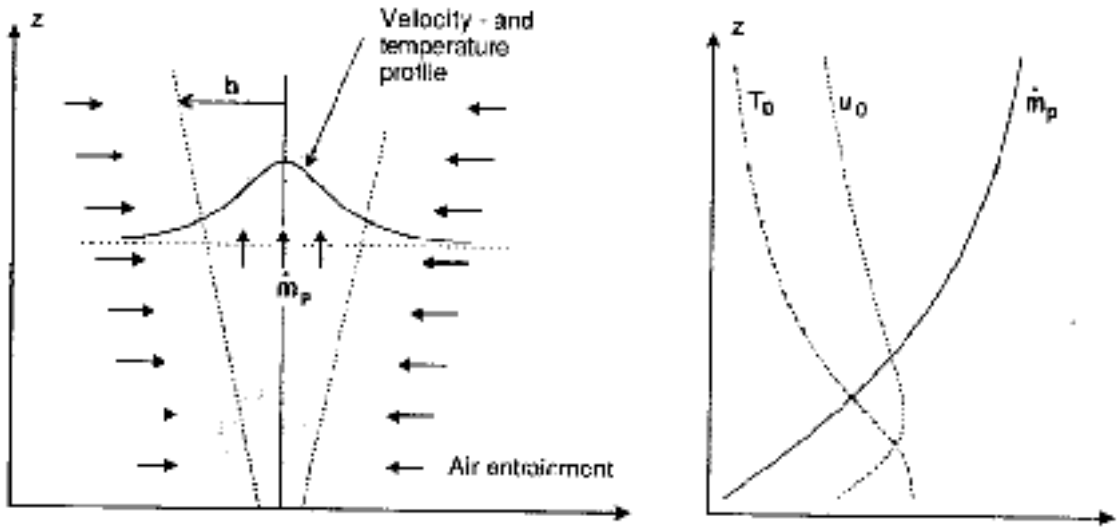

figure 2 A schematic depicting a smoke plume. As the smoke plume rises higher, it widens. The temperature and velocity are highest in the middle and decrease towards the outsides of the plume. The temperature (T) and the velocity (u) decrease as the smoke rises. The mass (m) increases. (Figure: [7])

대부분의 소방관들은 구획실의 화재가 처음에는 연기 기둥 smoke plume 을 만들고 그 다음에는 연기층을 만든다는 것을 알고 있습니다. 연기 기둥이 천장에 닿으면 연기는 수평으로 확산됩니다. 그 연기는 벽에 부딪힐 때까지 계속 확산될 것입니다. 연기가 구획실의 벽과 천장 다다르면 연기층은 더이상 위와 옆으로 확산되지 못합니다. 그러면 연기층이 두꺼워집니다(= 짙어지고 하강합니다).

그러면 새로 발생하는 연기 기둥이 화점에서 연기층까지 이동하는 수직 거리가 감소합니다. 이는 상승하는 연기 기둥에 더 적은 양의 공기가 섞여 들어가는 것을 의미합니다. 결국 연기 기둥이 전보다 덜 식고 더 높은 온도의 연기가 연기층으로 흘러들어간다는 것을 의미합니다.

구획실의 천장 높이는 이 모든 것에 중요한 역할을 합니다. 8m 높이의 창고에서는 연기 기둥이 연기층을 만들기 전에 그 거리(8m)에 걸쳐 냉각됩니다. 한편, 연기층의 두께는 구획실의 면적에 의해 결정됩니다. 면적은 부분적으로 연기층에 얼마나 많은 연기가 저장될 수 있는지를 결정합니다. 더 큰 구획은 1m 두께의 연기층을 형성하는데 더 오랜 시간이 걸릴 것입니다. 말하자면 면적이 크고 천장이 높은 구획은 연기층의 완충 현상이 더 많이 발생할 것입니다.

여기서도 중요한 것은 벽의 개구부입니다. 열려진 창문이 있으면 연기층이 창문에 닿자마자 연기가 배출되기 시작합니다. 이때부터 화점에서부터 연기 기둥을 통해 연기층으로 흘러들어온 연기가 (창문을 통해) 구획실에서 배출됩니다. 이 경우 이론적으로 세 가지 가능성이 있습니다.

1. 밖으로 배출되는 양보다 화점에서 생성되는 연기가 더 많이 연기층으로 유입되고 있다면, 연기층은 계속해서 하강할 것입니다.
2. 단위 시간당 화점에서 생성되는 연기의 양과 정확히 같은 양이 구획실 밖으로 배출되고 있다면, 연기층의 높이(두께)는 그대로 유지될 것입니다.

3. 구획실 밖으로 배출되는 연기보다 화점에서 생성되는 연기의 양이 더 적다면, 연기층의 크기가 감소할 것입니다. 예를 들어 이는 연료 지배형 화재에서 천장의 연기 통풍구 hatch 가 열릴 때 발생할 수 있을 것입니다.

그래서 연기 기둥과 연기층이 어떻게 행동할지를 결정하는 꽤 많은 매개 변수가 있습니다.

- 화재의 HRR
- 화재의 크기(outline size)
- 구획실의 높이
- 구획실의 면적
- 개구부의 유무

화재는 모든 것이 끊임없이 변화하는 매우 복잡한 시스템을 만듦니다.

연기 기둥은 화점과 연기층 사이에 다리(경로)를 형성합니다. 연기 기둥을 통해 연료, 에너지 및 유독성 입자가 연기층으로 유입됩니다.

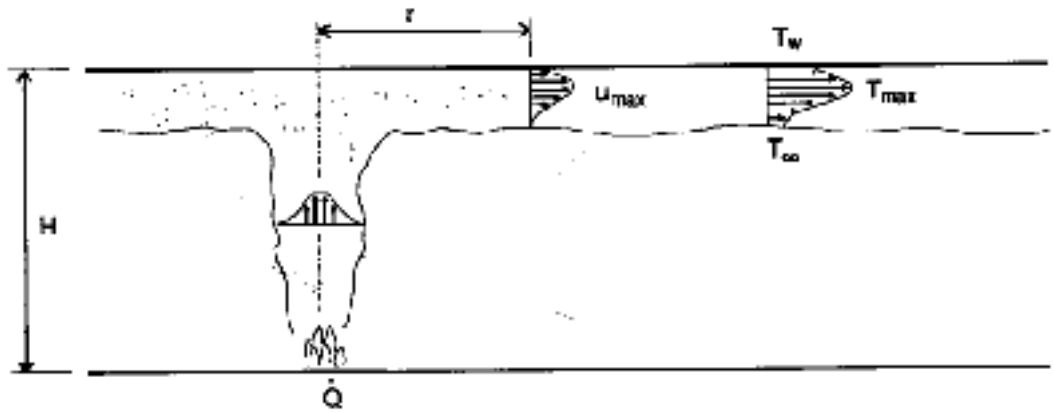

FIGURE 4.17 An idealization of the ceiling jet flow beneath a ceiling.

figure 3 Illustration of a smoke plume flowing into the smoke layer. A ceiling jet is formed in the smoke layer. The jet is divided into sections with different flow velocities (u) and different temperatures (T). Both will rise when the HRR of the fire increases. Both will decrease when the room is higher. *(Figure: [7])*

연기층은 벽과 천장에 붙어 있습니다. 화재가 발생하기 시작할 때 벽의 내부는 대략 실내 환경과 같은 온도를 가집니다. 벽이 뜨거운 연기와 접촉하는 순간, 당연히 벽은 뜨거워지기 시작할 것입니다. 연기층에 포함된 열에너지의 일부는 벽으로 전달됩니다.

연기층이 이웃 구획실을 연결하는 개구부(열린 문)의 상단 아래로 하강하면 연기가 두 번째 구획실로 유입되기 시작합니다. 그 흐름은 새로운 구획의 에너지, 연료, 독성의 물질의 변화를 일으킬 것입니다.

2.2 Energy spread

열려진 출입문을 통해 흐르는 연기는 다시 천장까지 올라갈 것입니다. 첫 번째 구획의 연기층(두께, 온도) 축적에 관한 모든 현상은 두 번째 구획에서 똑같이 일어날 것입니다.

하지만 그 연기층은 두 번째 구획에 있는 모든 사람들에게 심각한 위협이 될 것입니다. 연기층은 연기층보다 온도가 낮은 모든 것들과 거주자들에게 에너지를 전달합니다.

첫 번째 구획에서와 마찬가지로, 연기층은 그 아래의 모든 것들에게 열을 방출할 것입니다. 그 복사열은 연기의 온도가 높을 때 상당히 많아질 수 있습니다. 충분한 양의 열복사선이 있으면 어느 시점에서 연기층 아래에 있는 물건들이 열분해되기 시작할 것입니다. 이는 연기층이 두 번째 구획에서 가연성 가스를 만들고 있다는 것을 의미합니다.

우리는 인화성 벽과 천장 피복재를 각별히 고려해야 합니다. 천장은 고열의 연기층과 직접 접촉합다. 연기는 대류를 통해 천장을 가열할 것입니다. 그것은 열복사와는 다른 열전달의 방법입니다. 대류는 연기와 차가운 물체 사이의 직접적인 접촉을 필요로 합니다. 따라서 연기가 가연성 천장(나무 또는 가연성 단열제)에 닿으면 그곳에서 가연성 가스가 형성될 수 있습니다. 연기층 아래에 위치한 가구의 열분해 현상을 구획실 내 소방대원들이 잘 볼 수 있지만 높은곳의 연기층 내에서 형성되는 가연성 가스는 소방대원들이 잘 볼 수 없습니다. 그러므로 이러한 상황이 훨씬 더 위험합니다.

결국 연기층의 열로 인해 두 번째 구획실에서 발화가 일어날 수 있습니다. 그 시점부터 곧 두 번째 플래시오버가 뒤따를 것입니다. 그러나 두 번째 플래시오버는 첫 번째 구획이 아닌 두 번째 구획에서 발생할 것입니다. 화재는 번진 것으로 보이며 더 확대될 가능성도 있습니다.

2.3 Fuel spread

가스 형태의 연료가 열린 출입문을 통해 두 번째 구획실로 유입됩니다. 그 시점까지 두 번째 구획실은 100% 공기로 채워져 있었습니다. 이제 연료 입자(열분해 가스 및 CO 와 같은 부분 연소 가스)가 실내로 유입되고 있습니다. 천장에 연기층이 형성되고 있고 이것은 가스 연료의 저장고로 보아야 합니다. 만약 두 번째 구획실에서 물체가 열분해되기 시작하면, 이 때 만들어진 가스도 연기층으로 유입 될 것입니다.

어느 시점에서는 연기층 또는 연기층의 특정 부분이 가연성 범위의 하한에 도달하게 될 것입니다. 연기층의 온도에 따라 어느 시점에서 연기가 점화되게 될 것이고 이러한 현상은 여러 가지 방법으로 발생할 수 있습니다.

- 출입문을 통해 첫 번째 구획에서 나오는 화염
- 연기층에서 일렁이는 불꽃들
- 두 번째 구획실의 롤오버

이러한 각각의 현상들이 발생하기 위해서는 연료가 필요합니다. 그렇기 때문에 첫 번째 구획에서 두 번째 구획으로 연료를 확산시키는 것과 두 번째 구획에서의 연료의 "생산"이 매우 중요합니다.

이러한 각각의 현상을 통해 국부적으로 에너지가 생산될 것입니다. 화염이 있는 곳이면 어디든 열이 방출됩니다. 연기층은 특정 부분을 가열할 것이고 이로 인해 복사 및 대류를 통한 열 전달도 증가합니다. 에너지와 연료의 확산을 통해 자기강화 사이클이 만들어집니다. 온도가 높을수록 열분해(= 연료)가 증가합니다. 연료가 충분하면 연기 가스가 발화되어 더 많은 에너지를 만들어 낼 수 있습니다.

이 시리즈의 46 번 째 글은 "사람들은 어떻게 화재로 죽는가?"라는 내용입니다. [9] 그 글에서는 '물체(열원)의 절대 온도에 비례하여 복사열의 양이 결정된다'고 설명했습니다. 이 원리는 673°C(946K)의 화염(연기층의 특정 부분)이 200°C(473K)의 연기보다 16 배 더 많은 복사열을 방출한다는 것을 알려줍니다. 그래서 연기층의 일부가 발화하여 두 배의 열에너지를 가지게 되면 복사열이 갑자기 16 배 증가합니다.

2.4 Spread of toxicity.

연기의 확산과 관련된 세 번째 문제는 유독성 입자의 확산입니다. 소방대원의 경우 일반적으로 SCBA 를 착용하기 때문에 직접적인 문제가 되지 않습니다. 독성 가스의 농도가 상당한 수준에 달하더라도 실린더에 공기가 있는 한 소방관들은 숨을 잘 쉴 수 있습니다. 그러나 이것은 건물내부에 있는 거주자들에게는 적용되지 않습니다. 건물 내 거주자들은 화재실과 다른 방에 위치할 수 있지만, 출입문이 열리면서 연기가 다량의 독성 물질을 거주자들이 있는 방으로 옮길 것입니다. UL 에서 실시한 연구에서는 연기가 치명적인 수준의 독성 물질을 매우 빠르게 확산시킨다는 것을 보여주었습니다. 일반적인 주택의 경우, 화재실에 인접하여 출입문이 열려있어 연기가 유입되는 방에 갇힌 거주자의 생존시간은 5 분밖에 없을 것으로 예상하고 있습니다.

그러나 출입문을 닫은 채로 화재실과 인접한 다른 방에 갇혀 있는 거주자의 경우 상황이 여의치 않을 때까지 걸리는 시간은 최대 30 분으로 예상됩니다. 이것은 또한 화재현장에서 인명검색과 구조를 하는 대원들에게 전술적인 영향을 미칩니다. 대원들이 짙은 연기로 가득 찬 방(예: 부엌이나 거실)의 출입문을 열 때에는 조심해야 합니다. 그들은 연기가 가득한 거실에서, 그때까지 연기가 없는 침실로 가는 출입문을 열 수 있을 가능성이 꽤 있습니다. 때문에 출입문이 열리자마자, 연기가 침실로 흘러들어갈 것입니다. 그곳에는 아직 살아있을 수 있는 거주자가 있을 수 있습니다. 침실 안에는 아직 깨끗한 공기가 남아 있습니다. 일단 문이 열리고 연기를 막는 장벽이 더 이상 존재하지 않게 되면 깨끗한 침실의 공기는 빠르게 오염될 것입니다. 소방대원들의 행동이 거주자의 안전을 위태롭게 하는 경우가 될 수 있습니다. 그것은 검색구조팀이가 달성하고자 하는 목표와는 반대의 결과가 될 것입니다.

검색팀이 그때까지 연기가 전혀 유입되지 않았던 방의 출입문을 열고 있다면, 즉시 그 문을 다시 닫는 것이 좋은 생각일 것입니다. 그 방에 있는 거주자들도 당장 위험하지는 않을 것입니다. 거주자들을 그 방에서 대기토록 하고 다른 대원들에게 이 사실을 알리고 안심시킬 수 있는 방법이 더 낳은 방법이 될 수도 있습니다. 동시에, 화재를 진압하고 PPV 송풍기를 사용하여 대부분의 연기를 제거할 수도 있습니다. 그렇게 하면 대부분의 연기가 제거된 방을 통해 거주자들을 대피시킬 수 있습니다. 이 전술을 수행할 때 검색대원들이 지휘관과 명확하게 소통하는 것이 필수적입니다.

거주자들을 더 긴 시간 동안 깨끗한 구획실에 대기시키는 것이 항상 가능한 것은 아니라는 것을 명심해야 합니다. 때때로 화재가 진압되기까지는 시간이 많이 걸릴 수도 있습니다. 그럴 경우, 더 많은 연기가 옆방으로 확산될 수 있을 것입니다. 방을 분리하는 방화문이 있어도, 연기가 유입되는 경우가 있습니다. 대부분의 방화문은 유입되는 연기를 완전히 막을 수 없습니다. 브뤼셀 소방대원들에게 12 층 고층 건물 화재에서 다음과 같은 일이 일어난 적이 있습니다. 이 아파트 화재현장에서 소방대원들은 다양한 문제에 직면했습니다(소화수 공급 불량, 어떤 물건이 출입문을 막아 개방이 어려웠던 연료 부하가 매우 큰 구획 등). 이런 문제 때문에 소방당국이 화재를 진압하기까지는 오랜 시간이 걸렸습니다. 12 층 복도 건너편에는 어린 자녀 4 명과 함께 엄마 1 명이 아파트에 갇혀 있었습니다. 복도는 짙은 검은 연기로 가득찬 상태였습니다. 첫 번째 작전은 거주자들을 깨끗한 그들의 아파트에 머무르게하고 화재를 진압하는 것이었습니다. 그러나 45 분 후 그녀의 아파트 내부로 연기가 너무 많이 유입되어 그들을 대피시켜야만 했고 이 작업은 구조마스크를 사용하여 수행되었습니다(그림 4 참조).

figure 4 A rescue mask which can be put on the victim's head. A regulator or lung demand valve has to be attached, preferably with an extra-long hose so that both victim and firefighter can move easily alongside each other. *(Photo: Pieter Maes)*

화재현장에서는 다양한 종류의 마스크가 사용됩니다. 일부는 필터를 사용하여 작동하며, 다른 일부는 공기 탱크를 필요로 합니다. 필터로 된 마스크를 사용할 때는 연기 속에 산소가 충분히 남아 있어야 거주자들이 안전하게 대피할 수 있습니다. 공기 탱크와 함께 BA 를 사용할 때에는 이 조건이 필요하지 않습니다. 만약 연기의 온도가 충분히 낮다면, 사람들은 이 구조 마스크를 사용하여 매우 짙은 연기를 통해서도 대피할 수 있습니다.

검색팀이 연기가 덜 유입된 방의 출입문을 열었을 수도 있지만, 여전히 방안에 있는 거주자들에게 안전 문제를 일으킬 수 있는 경우가 충분히 있습니다. 화재현장에서 흑백을 가릴 수 있는 명확한 문제는 거의 없습니다. 검색대원들이 어떤 전술을 사용할지 대하여서는 현장 상황을 면밀히 평가해야 할 것입니다.

3 Second compartment on fire: some possible curves

소방관들은 환기가 양호한 구획실 화재의 온도 곡선을 매우 잘 알고 있습니다. 이것이 그림 1 의 그래프입니다. 화재가 두 번째 구획으로 확산될 때 그 그래프는 어떻게 바뀔까요?

그림 5 에서는 그림 1 의 화재가 빨간색 곡선으로 다시 표현되었습니다. 이 빨간색 곡선이 첫 번째 구획(예를 들어 침실)의 화재 행동을 묘사한다면 침실의 출입문이 열려 있기 때문에 연기가 침실에 인접한 두 번째 구획(예: 거실)으로 확산됩니다. 출입문의 개구부 상단 아래로

연기층이 하강하는 순간 옆 방으로 유입되는 연기의 흐름이 만들어 질 것입니다. 위에서 설명한 바와 같이, 뜨거운 연기는 그 아래에 있는 모든 물체에 열을 방출할 것입니다. 거실에 있는 소파는 그렇게 복사열을 받을 것입니다.

첫 번째 구획(침실)에서 플래시오버가 발생한 후, 화염이 침실로부터 출입문을 통해 거실로 빠져나가면, 거실의 온도가 빠르게 오르기 시작할 것입니다. 이 경우 열복사량도 급격히 상승할 것입니다(절대온도 K 변화량의 4 제곱에 비례). 이렇게 되면 거실에서도 화재가 발생합니다. 두 번째 구획의 화재는 파란색 곡선으로 표시되어 있습니다. 이 곡선의 화재 또한 성장 단계를 거쳐 플래시오버 단계에 들어갑니다. 소방관들이 서로 다른 방에 있는 두 화재가 서로 다른 단계에 있을 수 있다는 것을 깨닫는 것은 매우 중요합니다. 침실 화재는 완전히 성장(플래시오버 이후)한 단계 일 수 있으며, 거실 화재는 여전히 성장하고 있는 단계(플래시오버 이전)에 있을 수 있습니다. 한 방에서 화재가 최성기 상태일 때 옆 방에서 플래시오버가 발생하지 않는다는 것이 아닙니다. 다시 말해서, 진압대원들이 완전히 성장한 화재실을 향해 전진하는 동안, 그들이 지나고있는 방에서 플래시오버가 발생할 수 있다는 것입니다.

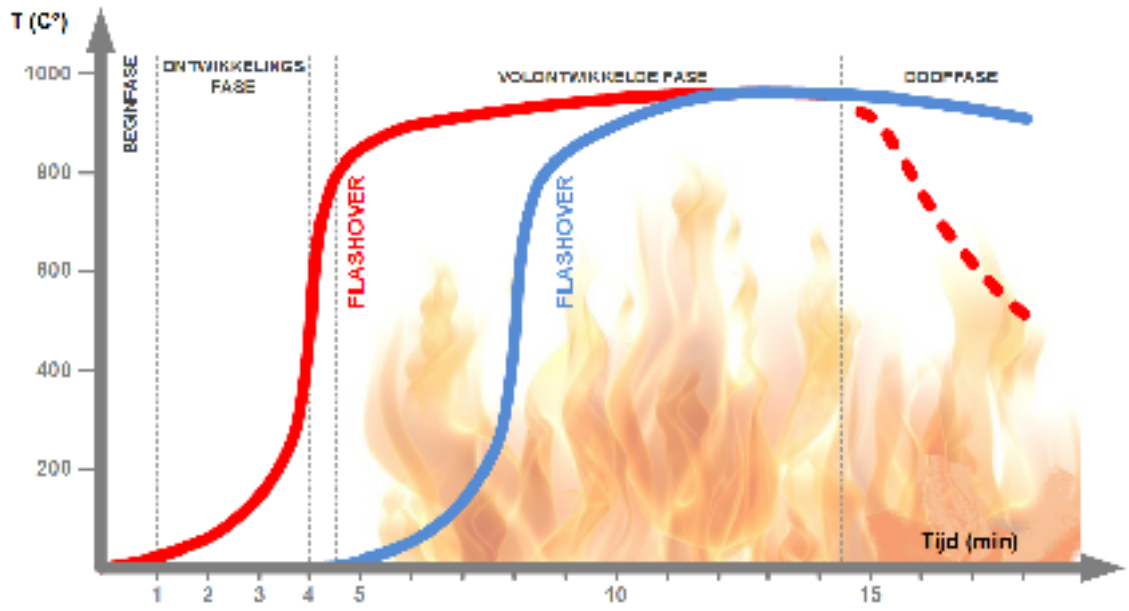

figure 5 Fire development in multiple rooms. The red line depicts the fire development in the room where the fire originates. During the fully developed stage, flames exit the room through a door opening. The flames enter a second room. The radiant heat of these flames will create a secondary fire (blue line). After a few minutes, that secondary fire will progress into flashover. *(Drawing: Bart Noyens & Karel Lambert)*

일정 시간이 지나면 첫 번째 구획의 연료가 고갈될 것입니다. 화재의 강도가 낮아질 것입니다. 화재는 소멸 단계에 들어갈 것입니다. 그러나 거실의 화재는 여전히 맹렬하게 타오르고 있을 것입니다. 그 화재는 완전히 성장한 단계입니다. 다시 말하지만, 두 구획의 화재는 다른 방식으로 행동하고 있습니다.

우리는 또한 HRR 곡선도 살펴볼 수 있습니다. 이것은 화재가 발생하는 동안 축적되는 에너지 또는 HRR 을 보여줍니다. 이 곡선은 그림 5 의 곡선과 완전히 다릅니다. 주의할 점은 다음과 같습니다. 두 곡선의 온도는 더해질 수 없지만 두 곡선의 HRR 은 더해질 수 있습니다!

그림 6 의 주황색 곡선은 침실 화재(그림 5 의 빨간색 선)의 HRR 을 나타내며, 초기 단계부터 성장 단계까지, 그리고 완전히 발전된 단계의 HRR 을 나타냅니다. 소멸 단계는 묘사되지 않았습니다. HRR 의 진행은 단순화된 방식으로 묘사됩니다. 화재가 완전히 발달된 단계에 도달하면 HRR 은 그대로 유지됩니다. 화재는 환기가 통제되고 HRR 은 실내로 유입될 수 있는 공기의 양에 따라 결정됩니다.

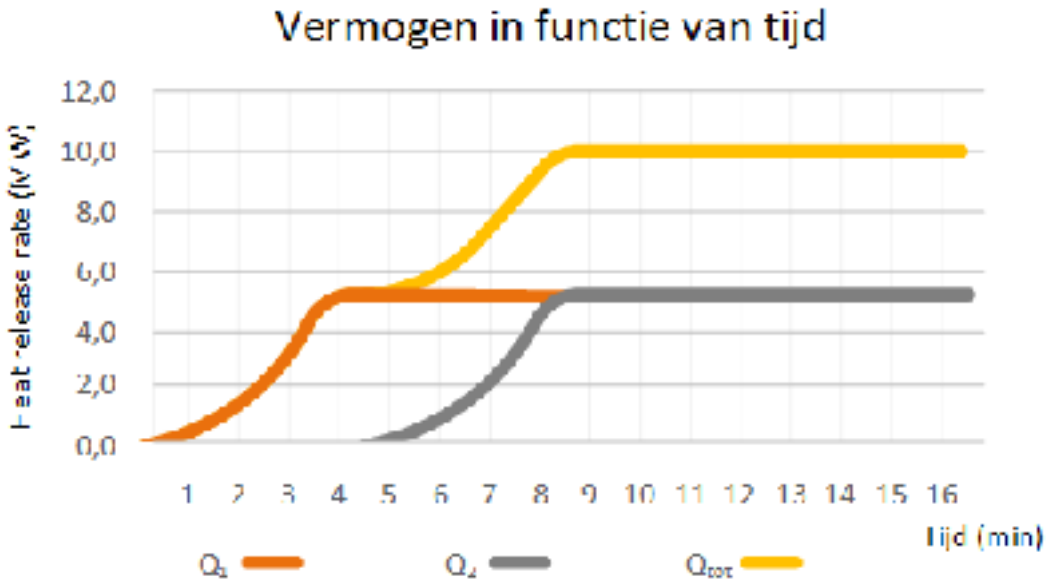

figure 6 A simplified representation of the buildup of HRR in a fire that extends into a second room. Two different HRR may be added together. *(Figure: Bart Noyens & Karel Lambert)*

회색 곡선은 두 번째 구획의 HRR 을 나타냅니다(그림 5 의 파란색 선). 여기서도 플래시오버 이후의 HRR 은 동일하게 유지됩니다. 그 곡선 완전히 정확하지는 않습니다. 실제로, 거실의 플래시오버가 침실의 화재에 영향을 미칠 것입니다. 침실 화재에 필요한 산소의 상당 부분이 거실 화재에서 사용될 수도 있을 것입니다. 하지만 단순하게 설명하기 위해, 이것은 고려하지 않겠습니다.

노란색 곡선은 생성된 총 HRR 을 나타냅니다. 노란색 곡선은 다른 두 곡선이 더해진 것입니다. 두 화재 각각 5MW 의 HRR 을 생성한다면 총 HRR 은 10MW 가 됩니다.

온도가 소방관들에게 익숙한 물리량임에도 불구하고, 우리는 소화수의 소화력을 HRR 이나 MW 로 표현합니다. 화재의 HRR 보다 항상 더 많은 소화력을 가지고 있는 것이 우리 자신의 안전을 위해 중요해집니다. 이 글의 목표는 모든 상황을 완전하게 다루지 않는 것입니다.

4 Closing remarks

하나의 구획실에서의 화재행동은 소방관들에게 매우 잘 알려져 있습니다. 하지만 여러 구획실에서의 화재 행동에 적용되는 규칙은 훨씬 더 복잡합니다. 이 글은 가장 중요한 규칙을 단순하게 제시하려고 시도하였습니다. 그 주제를 완전히 다루지 않았습니다. 따라서

독자들은 이 글이 상황을 단순화시켜 설명하였고 현실은 여기에 제시된 것보다 훨씬 더 복잡하다는 것을 명심해야 합니다.

5 Bibliography

[1] *Lambert K & Baaij S (2018) Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast; 2nd edition, Sdu, Nederland*

[2] *Lambert K (2019) De brandcurve anders bekeken, De BrandweerM/V, mei 2019*

[3] *CFBT-BE (2019) Bijscholing instructeurs Attack Cell 2019*

[4] *Drysdale D (1999) An introduction to fire dynamics, 2nd edition, John Wiley & sons, England*

[5] *Merci B (2010) Active fire protection II: smoke and heat control, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent.*

[6] *Merci B (2011) Fire dynamics, postgraduate studies in fire safety engineering, Universiteit Gent.*

[7] *Karlsson B, Quintiere J (2000) Enclosure fire dynamics, CRC press*

[8] *Lambert K (2016) Brandbaarheidsgrenzen, De BrandweerM/V, november 2016*

[9] *Lambert K (2019) Waarom sterven mensen in een brand, De BrandweerM/V, maart 2019*

Karel Lambert