

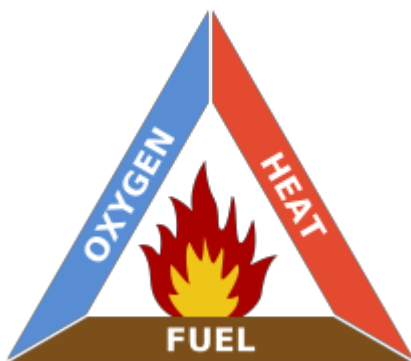
# Evolution in the knowledge about interior firefighting

우리들 대부분은 몇 년 전에 소방관 기본과정 교육을 받았습니다. 어떤 사람들에게는 수십 년 전에 소방관 기본과정 교육을 받았을지도 모릅니다. 80년대 이후 우리 사회는 큰 변화를 겪었습니다. 어떤 사람들은 그 당시에 그들의 첫 차를 구입했고 만약 우리가 그 사람의 첫 차를 보고 그것을 지금 우리가 사는 새 차들과 비교한다면, 우리는 몇 가지 큰 차이점을 발견할 것입니다. 우리가 주택과 건물을 짓는 방식도 마찬가지로 80년대에 비해 오늘날의 주택은 고성능 이중유리 또는 심지어 3중유리로 건축되어 집니다. 집과 건물은 단열성이 좋아졌습니다. 우리는 밀폐형 조립식 주택도 만듭니다. 우리가 이 건물들에서 싸워야 할 화재형태도 역시 변했다는 것은 분명합니다. 오늘날 소방관들은 40년 전만 해도 존재하지 않았던 화재현상에 직면해 있습니다. 다행히도 화재진압에 사용되는 도구와 장비 또한 향상되었습니다. 오늘날의 관창은 옛날 관창에 비해 많은 것이 변했습니다. 그리고 화재에 대한 지식과 화재과학도 많이 발전했습니다. 자, 좀 더 자세히 봅시다. 이 글에서 저는 오늘날 우리가 어디에 있는지 같이 살펴보고 싶습니다. 화재진압에 대한 새로운 접근법뿐만 아니라 진압활동과 관련이 있는 오래된 지식과도 관련이 있는 글입니다. 이 글에서 우리는 항상 있어왔던 두 가지 주제, 즉 연소의 삼각형과 환기에 의한 화재성상에서부터 출발합니다.

## 1 The fire triangle

### 1.1 The start of a fire

모든 사람들은 연소의 삼각형 모델을 알고 있습니다. 연소의 시작을 설명하기 위해 사용되고 있으며 세 가지 구성 요소는 연료, 공기(산소) 및 (활성화) 에너지입니다. 에너지라는 단어는 다른 맥락에서는 온도나 열로 대체되는 경우가 많으며, 연소가 진행되려면 이 세 가지 구성 요소가 충분히 갖추어 주어야 합니다.



**Figure 1** The fire triangle  
(graphic: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

연소 과정은 연료입자와 산소 사이의 화학적 상호작용입니다. 이 과정은 열(에너지)을 발생시킵니다. 이 과정을 시작하려면 이용 가능한 점화원(에너지원)이 있어야 하고 이러한 점화원의 예는 양초, 과충전된 전선등 이 될 수 있습니다.

일단 연소가 진행되고 불이 붙기 시작하면 산소가 소비됩니다. 공기중에는 보통 21%의 산소가 존재합니다. 밀폐된 공간에서 화재가 진행되면 산소를 너무 많이 소비해서 공간내의 산소 농도가 더 낮아집니다. 어느 순간

산소 부족으로 인해 연소 과정이 멈추게 됩니다. 일반적으로 연소는 산소 농도가 14~15% 이하일 때 멈춘다고 명시되어 있습니다. 이것은 불이 붙은 양초를 유리컵으로 덮으면 쉽게 알 수 있습니다. 촛불은 사실상 밀폐된 공간 안에서 타오르게 됩니다. 그 공간에 존재하는 공기(산소)는 소비되고 결국 촛불은 저절로 꺼집니다.

## 1.2 The fire quadrangle

때때로 연소의 사각형도 언급됩니다. 이 경우에는 화학적 연쇄반응(연료/공기 비율)도 고려됩니다. 작은 나무 조각들을 그릇에 담았다고 가정 합니다. 이 곳에 불을 붙이는 것은 매우 쉬울 것입니다. 작은 나무 조각은 공기에 노출된 표면적이 큼니다. 이것은 좋은 연료/공기 비율이 있다(연쇄반응이 잘 이루어진다)는 것을 의미합니다. 만약 우리가 같은 점화원으로 나무장작에 불을 붙이려고 한다면 불이 쉽게 붙지 않을 것입니다. 나무장작은 공기에 노출된 표면적이 나무 조각에 비해 훨씬 작습니다. 우리는 나무장작을 연료/공기 비율이 좋지 않다고 표현합니다.

## 1.3 The role of the fire triangle in rapid fire progress

화재진행 속도가 빠른 경우(플래시오버, 백드래프트, 화재가스 점화)에는 연소 삼각형이 중요한 역할을 합니다. 이러한 급속한 화재현상 중 하나가 발생할 때마다 연소삼각형을 적용할 수 있습니다. 언급된 현상들 중 하나를 촉발하기 위해서는 항상 특정한 비율의 연료, 산소, 에너지가 필요합니다. 이것의 간단한 예는 백드래프트 입니다. 백드래프트의 전단계에서는 산소가 부족하지만 농후한 연료혼합물이 존재합니다. 높은 실내 온도때문에 연소 삼각형의 두 구성요소인 연료와 에너지가 존재할 수 있습니다. 세번째 구성요소인 산소를 연소 반응구역에 추가되면 백드래프트가 일어날 수 있습니다. 다시 말해서, 우리가 백드래프트 현상을 확인하려면 연소 삼각형의 세 구성요소가 모두 존재해야하는지를 확인해야 합니다. 이것은 다른 모든 급속한 화재 현상에 대해서도 똑같이 적용됩니다.

## 2 The ventilated fire

화재의 상황이 화재성장에 결정적인 역할을 합니다. 화재에 이용 가능한 공기의 양이 화재의 상황을 결정할 것입니다. 이것 때문에 우리는 두 종류의 화재상황으로 분류할 수 있습니다. 연료지배형 화재는 역사적으로 우리가 가장 많이 보았던 화재입니다. 이런 종류의 화재는 화재가 계속 성장하기에 충분한 환기(공기 공급)를 가지고 있습니다.

### 2.1 Ignition and start of the fire

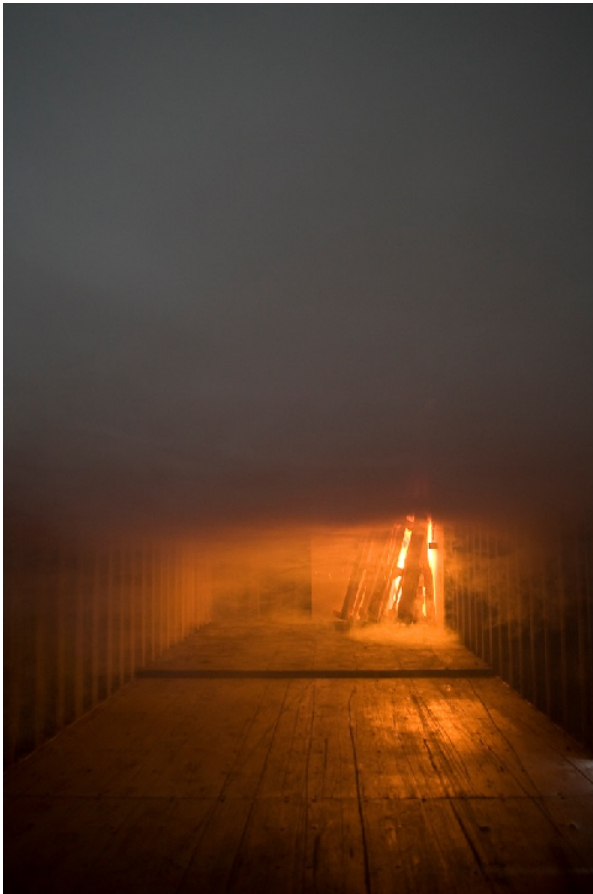
연료와 산소가 존재하는 곳에서 특정순간에 점화가 일어날 것입니다. 각 구획에는 보통 21%의 산소가 존재하며 화염이 발생하면 화염이 계속 유지될 수 있는 충분한 산소가 있습니다. 얼마 후 산소가 화재로 인해 발생한 연기때문에 구획실의 산소 비율은 감소할 것입니다. 그러므로 우리는 이 단계 동안 연료가 화재를 제어한다고 말할 수 있습니다. 연료의 양이 화염을 얼마나 빨리 키울 수 있는가를 결정한다는 뜻입니다.

화재의 시작 단계에서 점화원(예: 담뱃불)이 가연성 물질과 상호 작용을 합니다. 이 가연성 물질은 처음에는 연기만 발생할 것입니다. 다시 말해서, 점화 후에는 불꽃없이 느리게 연소

하는 형태의 화재단계로부터 시작됩니다. 그 후 열분해를 통해 점점 더 많은 연료가 화재에 공급될 것이고 그러면 화염도 더 커지고 온도도 올라갈 것입니다.

조금 있으면 피어오르는 연기에 불이 붙을 것입니다. 이 불꽃은 그 자체로 복사열을 생성합니다. 연기 속에 불꽃이 튀는 순간 연소 과정이 가속화될 것입니다. 화염에서 나오는 복사열은 더 멀리까지 도달할 수 있습니다. 화재 주변 가연물들의 온도가 올라가기 시작할 것입니다. 이 가연물들이 충분한 열을 받으면 우선 증기를 방출하고 그 다음 열분해 가스를 방출할 것입니다. 열분해 가스는 모두 밝은색(흰색에서 회색까지)으로 보일 것입니다.

## 2.2 The growth phase



**Figure 2** Establishment of the neutral zone in an attack cell. Above we find dark grey smoke. Below there is still a good visibility. (Picture: Stef Vandersmissen - Zaventem Fire department)

화염이 존재합니다. 이 화염은 연기를 통해 확산하며 화점에서 멀어질 것입니다. 이런 현상을 롤오버라고 합니다. 롤오버의 등장은 화재의 성장단계의 마지막 단계입니다. 연기층에서 나오는 복사열 때문에 주변 온도는 매우 빠르게 상승할 것이고 플래시오버가 발생할 것입니다.

성장기에는 점점 더 많은 연료가 화염에 공급됩니다. 화염이 거세지고 화세도 커집니다. 화재는 점점 더 많은 산소를 필요로 하고 동시에 구획 내 산소 비율이 내려가기 시작할 것

곧 점화된 불꽃 위로 치솟은 연기에 화염이 보이면 화재는 성장단계에 들어선 것입니다. 구획 안에서 불이 나고 있다는 것은 이제 아주 명백합니다. 연기가 많이 보이고 온도는 분명히 오르고 있습니다. 연기층이 내려오기 시작할 것입니다. 화재로부터 발생한 연기층은 천장부터 쌓이고 열복사를 통해 발생한 열분해가스도 쌓이고 있습니다.

성장 단계 중에는 중성대 또는 중성 구역이 나타날 것입니다(그림 2). 시각적으로 말하면, 우리는 연기층의 하단에 선을 그을 수 있습니다. 연기층에는 가스상태의 연료가 계속 증가하는 반면 연기층 아래에는 여전히 많은 산소가 존재합니다. 또한 연기층 아래의 시야는 여전히 양호합니다.

화재가 성장하면 연기층이 더 내려올 것입니다. 이 연기층의 내려오는 속도는 화재가 얼마나 빨리 성장하고 있는지를 알려주는 지표입니다. 연기층이 빠르게 내려온다는 것은 화재가 빠르게 성장하고 있다는 것을 의미하며 매우 위험해집니다.

특정한 시간이 되면 솟아오르는 연기 속의 화염이 천장에 부딪쳐 천장을 따라 수평으로 이동할 것입니다. 그 지점에는 연기층 내에

입니다. 특히 격실의 천정부근에서는 연소로 인한 연소생성물(화재가스)로 가득차게 됩니다. 화재는 여전히 연료지배형이지만, 환기지배형 화재로 바뀌려고 하고 있습니다.

### 2.3 Flashover

성장 단계 동안 구획에 있는 모든 가연물들은 열분해하기 시작했습니다. 그 연소 과정에서 많은 연기가 발생되었습니다. 이 연기에는 CO와 같은 가연성 가스가 일정량 함유되어 있습니다. 뜨거운 연기층은 본질적으로 뜨거운 기체 연료의 저장고가 됩니다. 이 저장고에 롤오버 현상에 의해 불꽃이 접근하면 모든 열분해 가스에 불이 붙습니다. 그러면 온도는 빠르게 상승할 것이고 몇 초 안에 구획의 한 지점에서 발생한 불이 구획 전체를 집어삼키는 화재로 변합니다. 그리고 나서 우리는 2차원의 화염이 3차원의 화재로 바뀌는 것을 보게 됩니다.

즉, 플래시오버를 다음과 같이 정의할 수 있습니다.

'플래시오버는 성장단계의 화재에서 최성기의 화재로 갑작스럽고 연속적으로 바뀌는 상태이다.'

플래시오버 이후에 온 격실이 완전히 불길에 휩싸입니다. 연소 과정에 소비되는 연료의 양은 훨씬 더 많아졌습니다. 그러므로 화재는 이제 플래시오버보다 더 많은 산소를 필요로 합니다. 그 화재는 환기지배형 화재로 바뀌었습니다. 격실화재에서 최성기의 화재는 환기를 통해 공급될 수 있는 훨씬 더 많은 산소를 필요로 하기 때문입니다.

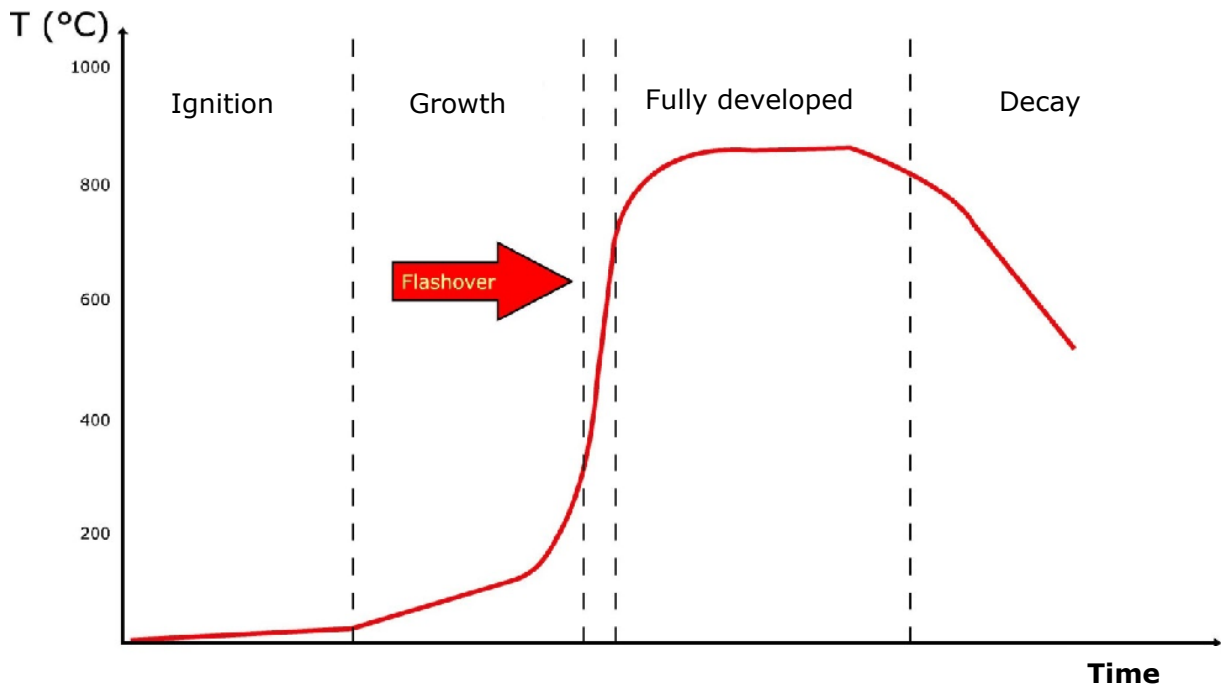


Figure 3 The ventilated fire (Graphic: Karel Lambert)

### 2.4 The fully developed fire

일단 화재가 플래시오버 이후단계로 진행하면 전체 격실이 화염으로 가득차입니다. 격실 안에 있는 것은 모두 타버렸습니다. 화염을 둘러싸고 있는 건축 요소(바닥, 천장, 벽 등)의 내화성에 따라 화염이 계속 유지될지 아니면 다른 격실로 화염이 전파될지가 결정됩니다.

문을 열어두면 인접한 방으로 화염이 빠르게 전파될 것입니다. 한 격실에 최성기의 화재(포스트 플래시오버)상태이고, 옆방에 성장기의 화재(플래시오버 이전)의 화재가 있을 수도 있습니다. 최성기의 화재가 있는 격실은 완전히 다 타버릴 것입니다. 화재는 당시 환기지배형 화재였습니다. 그것은 연료가 다 타버릴 때까지 계속 될 것입니다.

## 2.5 Decay of the fire

화염이 소멸할 때까지 점점 더 많은 연료를 소비할 것입니다. 불타는 단계가 끝나면 화세가 감소할 것입니다. 생성되는 가스도 줄어들 것이고 이렇게 해서 격실내의 공기량이 증가할 것입니다. 연소에 의해 소비되는 연료의 양은 줄어드는 반면 산소의 양은 증가하게 될 것입니다. 어떤 때는 연소 상황이 환기지배형 화재에서 연료지배형 화재로 되돌아갈 수도 있을 것입니다.

불이 꺼지는 동안에도 계속 화염을 내뿜을 만큼 뜨거운 가연물들이 남아 있을 수도 있습니다. 화재의 강도는 훨씬 낮을 수 있고 열분해 가스의 지속적인 방출로 소방관들은 아직도 위험할 수 있습니다.

## 3 References

- [1] *Hartin Ed*, [www.cfbt-us.com](http://www.cfbt-us.com)
- [2] *Mcdonough John*, *New South Wales Fire Brigade, personal communication, 2009*
- [3] *Raffel Shan*, [www.cfbt-au.com](http://www.cfbt-au.com), *personal communication, 2009*
- [4] *Grimwood Paul, Hartin Ed, Mcdonough John & Raffel Shan*, *3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [5] *Grimwood Paul*, [www.firetactics.com](http://www.firetactics.com), *personal communication, 2008*
- [6] *Lambert Karel & Desmet Koen*, *Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009 (in Dutch or French)*
- [7] *Bengtsson Lars-Göran*, *Enclosure Fires, 2001*
- [8] *Gaviot-Blanc, Franc*, [www.promesis.fr](http://www.promesis.fr)

Karel Lambert