

Gas cooling: a new approach

2012년 8월에 나는 스웨덴의 레빙기에서 MSB의 Fire Behaviour Course에 참가하고 있었다. 이 과정에서 건축물 내부 화재진압에 관한 많은 주제가 나왔다. 특히 이번 훈련의 한 주제는 특히 주목을 끌었다: 건축물 내부 화재진압 중 가스 냉각의 적용이었다. 이후 2012년 9월 브람스 브라반트의 PIVO에서 3개의 강좌를 편성하여 T셀을 사용하여 CFBT 강사를 양성하였다. 호주인 강사 존 맥도너가 참석하여 가스 냉각 문제에 대한 그의 견해를 밝혔다. 두 나라(스웨덴과 호주)는 벨기에와는 다르게 가스 냉각 기법을 한 단계 끌어올렸다. 이 글은 이러한 새로운 내용을 설명하려고 작성한 글이다.

1 Fires in the growth stage

1.1 Wherein lies the problem?

오늘날 화재진압 기본교육과정은 가스냉각에 많은 시간을 할애하고 집중하는 경향이 있다. 결과적으로보면 연기로 가득한 구획실로 진입하는 화재진압대원은 위험을 감수하게된다. 플래시오버(환기형도 포함)나 백드래프트 상황에서 농연은 점화될 가능성이 충분하다. *환기형 플래시 오버-자연적으로는 소강기에 접어들 화재성상이 갑작스러운 환기로 플래시오버에 접어드는 현상 (ex.진압대원의 출입구 개방)

화재 성장기에는 두개의 영역이 확실히 구분된다. 천장부터 형성된 연기층영역은 성장기동안 갈수록 어두운 색을 띄고, 뜨거워지며 짙어진다. 연기층 아래 영역은 상대적으로 신선한 공기가 남아있다. 이 공기의 온도는 화재실 바깥과 비교해도 크게 차이나지 않는다. 연기층에서는 시야가 거의 확보되지 않는 반면 연기층 아래는 어느정도 시야가 확보된다. 3D 테크닉을 사용하면 진압대원은 연기속 가스들을 쉽게 냉각할 수 있다. 진압대원은 연기층과 그 아래영역을 구분지어놓기 쉬워지고 이는 곧 연기층아래에서 시야확보가 가능하다는 의미다.

1.2 Applying the 3D technique

3D 테크닉을 적용하게되면, 물은 펄싱의 형태로 연기층으로 주수된다. 물의 분사각은 40도에서 60도 사이로 맞춰놓는다. 노즐의 각도는 땅에서 45도나 그 이상이 이상적이다. 연기층 이곳저곳에 관창수가 몇번의 슛펄싱을 하는게 기본 개념이고 방 전체너비를 덮을 정도면 된다.(그림 1.1, 1.2 참조) 이론상으로는 연기층에서 펄싱된 물이 증발해야하지만 실제 현장에서는 벽이나 천장까지 물이 도달한 뒤에 거기서 증발이 이루어지기도 한다. 숙련된 관창수라면 대부분의 물이 연기층 안에서 증발하도록 주수할 수 있을 것이다.

1.3 Advantages of the 3D technique

본 가스냉각 방식은 이중으로 효과를 얻을 수 있다. 첫째로 가장 주요하게는 물은 가열되고 증발하기 위해 에너지를 사용한다. 그리고 나면 새롭게 만들어진 증기가 열을 고르게 퍼뜨린다. 냉각된 연기층 가스의 온도와 스팀의 온도는 증기로 상태변화하는 지점에서 열균형이 이루어진다. 앞에 서술된 일련의 과정에 더 관심있는 독자는 참고문헌([4]의 p.151 과 [3]의 챕터 2)을 참고바람. 물이 증기로 상태변화하기 위해

필요한 에너지를 연기층에서 가져오게 된다. 냉각된 연기층은 따라서 점화할 수 있는 가능성이 줄어들게 된다. 또한 테이블이나 의자, 쇼파, 장롱과 같이 복사열이 물체 아래까지 전달되었어도 열이 줄어들게 된다. 이것은 플래시오버의 위험을 줄여준다.

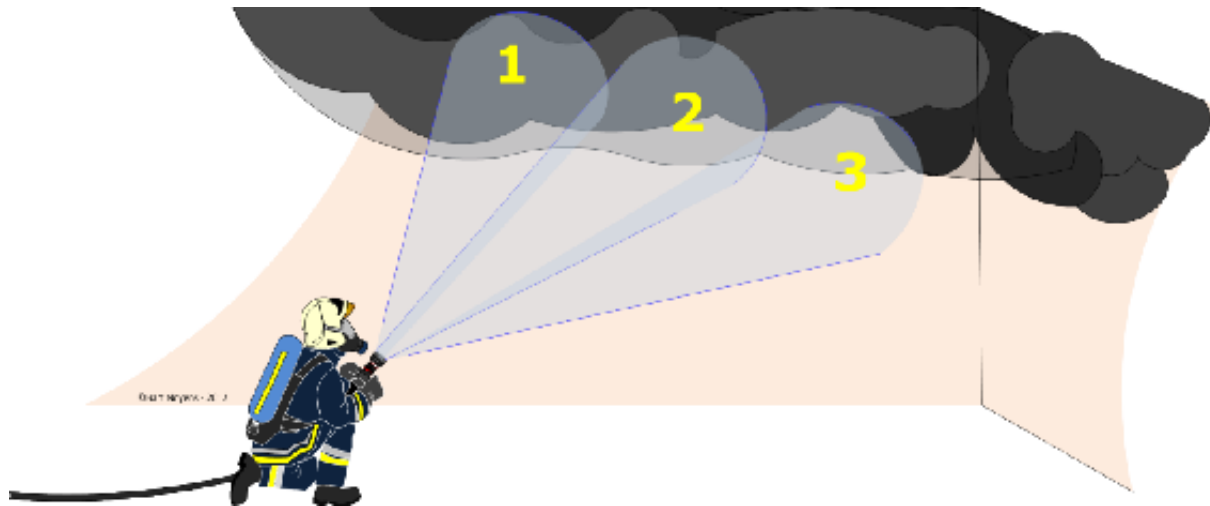


Figure 1.1 The nozzle operator is cooling smoke gases in the smoke layer during a fire in the growth stage. To achieve this he is using a series of short pulses directed into the smoke layer. The first pulse is directed to the left, the second one in the middle and the third one to the right hand side. (Image: Bart Noyens)

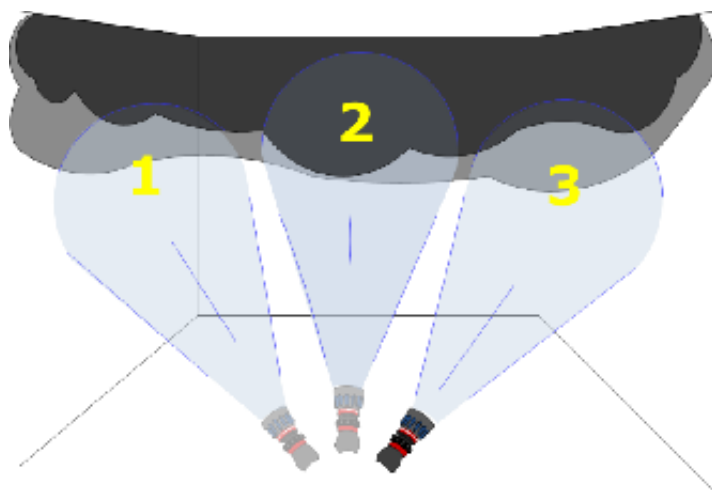


Figure 1.2 The 3D-technique as seen from the point of view of the nozzle operator. (Image: Bart Noyens)

두번째로 3D 테크닉이 화재를 진압할때 도움을 주는 이유는 수증기가 연기층에 그대로 남아있기 때문이다. 물방울은 증발하면서 큰 부피를 가진 증기가된다. 동시에 연기층은 줄어들 것이고 가연성 가스와 증기는 혼합된다. 연기층 내 가스와는 다르게 증기는 가연성이 아니다. 결과적으로 연기층은 연소가능성이 줄어들게되고 이는 '이너팅(inerting)' 이라고 불린다.

펼싱은 적은양의 물을 사용하게 된다. 한번의 펼싱에서 단지 1 리터나 2 리터의 물을 사용하게 된다. 이것은 고압이나 저압에서 관계없이 사용할 수 있다는 의미이다. 두개의 노즐을 각각 분당 150 리터와 200 리터 유량으로 분사할 수 있게 해놓더라도 효과는 효과는 같을 것이다. 이러한 방식은 과도한 물을 사용해서 발생하는 수손피해를 막을 수 있다. 둘째로 화점을 진화할때 소방차에서 공급되어야할 물을 절약할 수 있다.

마지막으로 3D 테크닉은 연기층의 안정성을 유지해준다. 테크닉을 적용하면 두개의 분리된 영역이 지속적으로 유지된다. 천장 쪽에는 뜨겁고 연기로 가득차 시야가 확보되지 않는 영역이 있고 아래쪽 영역에는 신선하고 찬 공기가 선명한 시야를 제공해주며 남아있다. 만약 누군가 펼싱대신 직사주수를 하게 된다면 연기층은 완전히 망가져 두개의 분리된 층은 뒤엎키게될 것이다. 이러한 현상은 진압대원의

현장상황을 망치게 된다. 방의 아래쪽 온도는 올라갈 것이고 시야도 확보되지 않을뿐더러 설상가상으로 요구조자의 생존 가능성도 급격하게 떨어질 것이다.

1.4 Long Pulse

3D 테크닉을 교육할때 대부분의 경우 슛펄싱이 논의된다. 슛펄싱은 매우 한정적인 양의 물만이 연기층에 도달해 증기로 바뀐다. 이는 구획실 화재의 성장기에 진입하는데는 굉장히 효과적인 방법이다. 하지만 슛펄싱의 냉각능력은 다소 제한적이다. 호주에서 팀장으로 있는 John McDonough 는 슛펄싱이 효과적으로 쓰이지 못한 예를 하나 들었다. 복도에서 최성기에 다다른 침실쪽으로 향해 전진할때 슛펄싱은 그다지 효과적이지 않았다고 한다. 많은양의 에너지가 창문을 통해서 밖으로 나가지만 뜨거운 가스는 복도쪽으로도 밀고 들어온다. 이렇게 많은 양의 에너지를 슛펄싱으로 흡수한다는 것은 불가능하다. 호주에서는 슛펄싱 뿐만 아니라 롱펄싱에한 논의도 활발하다.



Figure 1.3 & 1.4 In the left image a short pulse is shown. The angle of the nozzle in regard to the ground level is 45°. The angle of the water cone ranges from 40° to 60°. The photograph on the right shows a long pulse. The angle between the nozzle and the ground level is approximately 30° and the angle of the cone is also 30°. (Photos: Geert Vandamme)

롱펄싱을 할때는 슛펄싱이나 3D 테크닉을 적용할 때와 몇가지 다른 점이 있다. 지면과 노즐의 각도가 30 도로 줄어든다. 마찬가지로 분사각또한 30 도로 줄어든다.(그림 1.3 과 1.4 참조) 노즐은 더이상 최대한 빨리 열고 닫을 필요는 없다. 이로써 펄싱되는 물의 범위가 넓어지고 물의 양또한 많아지게 된다. 그리고 관창수는 먼 거리에서도 연기층 가스를 냉각시킬 수 있게되는데, 매우 고온의 가스인 경우 슛펄싱에 비해 효과는 월등해진다. 슛펄싱의 경우엔 노즐에서 물이 나오자마자 바로 증발해 버릴것이다. 매우 고온의 가스가 복도나 구획실 체류하는 상황에서는 롱펄스가 대원의 안전도를 많이 향상 시켜줄 것이다.

2 Underventilated fires

2.1 What exactly is an under ventilated fire?

건축시공 방식의 변화(단열성이 높아지고 특히 공기밀폐도가 높다.)로 진압대원들은 점점더 저환기형 화재와 맞닥뜨리게 될것이다.

"저환기형 화재는 환기에 의해 플래시오버가 좌지우지되는 것을 말한다."

이러한 유형의 화재는 산소의 양이 상당히 부족하다. 새로 지은 건물은 공기가 거의 새지 않는다. (이는 문이나 창문이 닫혀있다면 매우 적은 양의 신선한 공기만이 유입됨을 뜻한다.) 그렇게 되면 화재는 산소의 결핍으로 더이상 발전하지 않는다. 플래시오버가 일어나기 이전에 화재의 성장이 멈춰버리면 저환기형 화재와 만나게 되는 데 거기서 부터 화재는 건물의 특성에 따라 다르게 발전한다. 만약 창문이 깨지면 신선한 공기가 불쪽으로 유입될 것이고 화재는 다시 발전해서 결국에 환기가 플래시오버를 유발하게 된다. 대부분 진압대원들은 현장에 도착하면 연기로 가득찬 방들을 만나게 된다. 연기는 건물의 균열들 사이로 밀고나온다. 이런 종류의 화재는 화염은 없지만 다량의 연기를 보인다. 진압대원들이 방문을 여는 순간, 두개의 흐름이 눈에 보인다. 위쪽에는 연기가 밖으로 빠져나가고 아래쪽에는 신선한 공기가 유입된다. 심한 저환기성 화재에서는 터널효과까지 발생하기도 한다. 신선한 공기는 열린문의 일부에서 터널로 빨려들어가고 열린문의 나머지에서는 이로 인해 연기가 밀려나오게 된다.

2.2 Risks

Steve Kerber 의 조사에 의하면 단층 건물에서 발생한 저환기형 화재가 환기가 되면 약 80 초후에 플래시 오버가 발생한다. 2 층 건물의 경우에는 160 초가 걸린다.([5] 참조) 정확한 시간에 매달리는건 그리 현명한일은 아니다. 결국 시간은 집의 배치와 화점의 위치 그리고 공기의 인입구와 출입구에 달렸다. 수칙들이 말해주듯이 저환기형 화재에서 환기를 하게되면 상황은 급속도로 손쓸 수 없게 되버린다.

종종 다음과 같은 일련의 사건들이 일어난다. 진압대가 저환기형 화재현장에 도착한다. 진압대는 내부의 화재를 진압을 시작하려고 문을 열거나 강제로 진입을 시도한다. 이로 인해 신선한 공기가 유입된다. 화세가 강해진다. 화세가 너무도 빠르게 강해져 진압대원들은 화점을 찾기 어려워 진다. 진압대원들은 어쩔수 없이 탈출해야하고 환기유발형 플래시오버로 발전한다. 많은 사례에서 진압대원들은 연기로 가득찬 구획실에 진입하는 도중 갑작시 사방으로 화염에 둘러싸인적이 있음을 증언했다. 이 상황에서 진압대원들은 살기 위해 말그대로 기어나와야 했다. 몇몇은 유리창을 깨고 탈출하기도 했다. 갑작스럽고 빠른 화세의 발전은 진압대원들을 놀라게하지만 이런 화재 발전양상으로 놀라서는 안된다. 저환기형 화재에서 공기가 공급되면 화세는 강해질것이다. 화점에 주수되지 않는다면 환기유발형 플래시오버가 발생할 것이다.

2.3 Solutions

성장기때 화재와 마찬가지로, 가스냉각이 하나의 해결책이 될 수 있다. 가스냉각은 연기에서 에너지를 빼앗을 것이고 동시에 증기가 혼합되면서 이너팅이 이루어 진다. 어떤이는 이를 두고 "시간을 벌었다."고 얘기한다. 화재의 발전속도는 늦춰지고 소방대는 각자의 임무수행 시간을 좀더 확보할 수 있다. 허나 화점에 주수가 되지 않는이상 여전히 매우 위험한 상황이다.

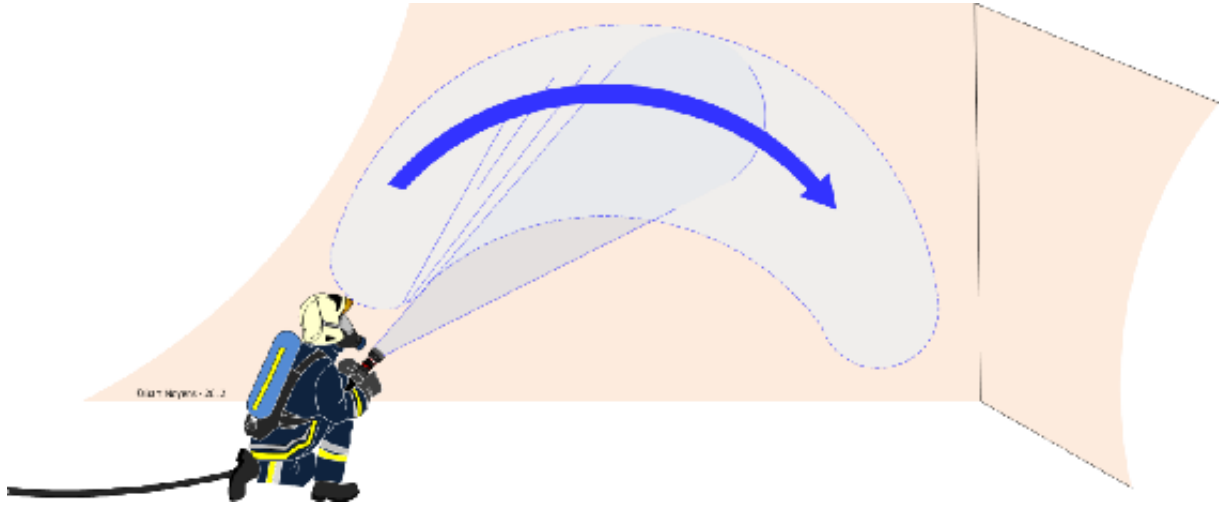


Figure 2.1 The nozzle operator is cooling smoke gases in an underventilated fire. He activates the nozzle and moves it in the form of an arch from left to right. The entire operation should be executed in a time frame of maximum 3 seconds. (Image: Bart Noyens)

이 상황에서 3D 테크닉은 그다지 적절한 해결책은 아니다. 3D 테크닉의 목적은 소량의 물을 연기층에 직접분사하여 안정성을 유지하고 물이 뜨거운 벽이나 바닥에 직접 물이 닿지 않게하기 위함이다. 저환기형 화재에서는 분리된 영역이 없다. 연기층은 이미 바닥까지 내려와있고 방안은 연기로 가득차 있다. 진압대원들은 더이상 어느정도의 수손피해를 고려할 필요는 없다. 연기로 가득차 있었기 때문에 모든 면을 페인트 칠해줘야 한다.

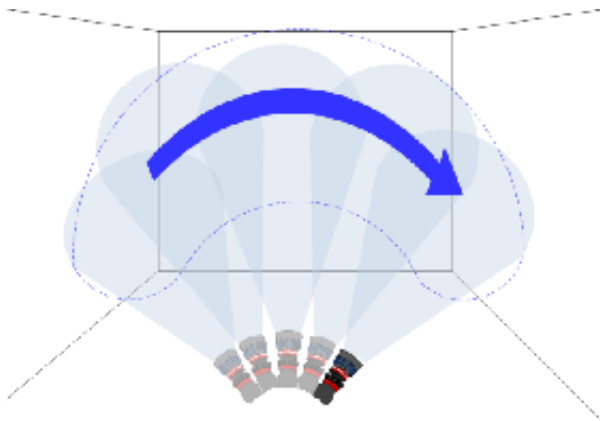


Figure 2.2 The nozzle is activated on the left hand side of the room and subsequently moved in the form of an arc to the right at which point it is closed again. (Image: Bart Noyens)

그렇다고 이제 과도하게 물을 써도 된다는것을 뜻하지는 않는다. 더이상 펄싱만이 이상적이지 않다고 볼 수 있다. 분무주수로 아치를 그리는게 더 낫다.(그림 2.1 와 2.2 참조) 노즐을 열자마자 아치를 그리고나서 곧바로 닫아야 제대로 수행한 것이다. 3D 테크닉(또는 슛펄싱)과 마찬가지로 유량은 분당 150-200 리터로 제한한다. 분사각은 40-60 도에 맞춘다. 본 가스냉각 기법에서 노즐은 2-3 초 가량 열어놓는다. 이 기법을 사용하면 연기와 증기가 뒤엉켜 난류가 형성된다. 하지만 진입할때부터 전혀 시야확보가 안되기 때문에 실질적으로 문제가 생기지는 않는다.

화재 성장기에서는 호스가 진입하자 마자 3D 테크닉을 사용한다. 저환기형 화재에서는 방에 진입하고 대체기법을 사용한다. 연기온도가 진입하기 어려울 정도로 지나치게 높다면 추가적인 냉각이 필요하다. 왜냐하면 아치형을 그리는 것은 방너비 전체를 덮을 수 있을정도가 되어야 사용할 수 있다. 저환기형 화재는 성장기의 화재와는 다르게 전혀 시야가 확보되지 않아 방안의 사이즈를 가늠할 수 없게된다. 단순

성장기 화재에서는 연기층 아래 시야가 확보된다. 바로 이러한 점 때문에 저환기형 화재에서 방안 전체를 냉각하는데 어려움을 겪게된다.

3 Alternative approach

스웨덴에서는 1973년 첫번째 오일쇼크 이후로 건축방식이 바뀌기 시작했다. 이때 이후로 겨울철 온도가 많이 떨어지기도 했다. 이는 단열시공이 모든 부분에 똑같이 적용된다면 벨기에(스웨덴보다 남단에 위치해서 따뜻하다.*역주)보다 훨씬 많은 난방이 필요하다는 것을 의미한다. 스웨덴 사람들은 기존의 방식(손상된 벽, 단일창, 우풍이 들어오는 틈 등에 추가 단열시공 하지 않는것)은 길게 봤을때 지양해야 된다고 빠르게 인지하기 시작했다. 오늘날 스웨덴에서 삼중창은 표준으로 자리잡았다. 벨기에에서 지금 새로운 건축방식으로 제기되는 문제들은 스웨덴에서는 80년대에 부터 쭉 이어져 오고 있었다. 수년간 스웨덴 업계사람들은 이 문제에 대한 수많은 해결책들을 제시해 왔다.

3.1 TIC, cobra and ventilation

2010년에 일명 코브라라고 하는 냉각 절단 소화장치 소개행사에 참여했다. 이 장비는 문이나 벽, 바닥에 몇미리정도의 작은 구멍을 낼 수 있고 300바의 매우 강한 압을 분사하기 위해 물에 연마제 물질이 첨가된다. 구멍이 생기고나면 물은 방을 관통해서 건너편까지 도달한다. 고압이기 때문에 가스냉각에 최적인 매우 미세한 물분무 입자가 생성된다. 유량은 되려 분당 60리터로 제한되는데 이는 완전잡는데 사용되는 양은 아니다. 최성기에 달한 화재를 재진압시도 하거나 저환기형 화재에서 뜨거워진 연기층을 이너팅 하는데 사용하는 수단이다.

코브라만 단독으로 있을때 완전한 진화장비가 되진 못한다. 스웨덴 현장지휘관은 늘 꼼꼼한 조사끝에 대응단계를 격상한다. 꼼꼼한 조사가 이루어지는 동안 대원들은 건물 내부로 진입할 준비를 한다. 격상을 준비하면서 현장지휘관은 화재성상에 대한 평가를 하게된다. 열화상카메라의 도움을 받아 가장 높은 온도 지점을 찾게된다. 바로 이곳에 코브라가 사용될 수 있다. 현장지휘관은 코브라가 효과적으로 적용되는지 평가하게 될것이다. 체류하고 있는 연기층의 온도 변화를 관측할 수 있다. 가스가 확실히 냉각되도록 코브라는 다양한 위치에 자리를 잡고 사용된다. 매 위치마다 물이 드릴작용을 하면서 방을 뚫고 들어가고 물은 짧은 시간동안 내부로 분사된다.

코브라의 사용이 끝나고 몇가지 절차를 수행하게 된다. 불 근처로 가서 환기용 배출구를 만들고 진입문을 연다. 양압환기를 시작해 냉각된 가스를 배출한다. 그리고 나서 내부 진입후 화점공격을 하게된다.

이런 일련의 절차가 순조롭게 수행되는게 무엇보다 중요하다. 코브라는 그 다음 단계가 모두 준비되어있을때 비로소 사용의 의미가 있다. 공기호흡기를 장착한 진입대원이 대기하고 있어야한다. 코브라사용이 끝나면 환기(인입구, 배기구, 팬) 작업이 대원들이 내부로 진입하자마자 곧바로 이어져야 한다. 이런 수행과정은 인접된 곳에 확대연소로 인한 추가피해를 막아준다.

3.2 The piercing nozzle: "a poor man's cobra"

코브라 시스템은 굉장히 비싸다. 조금 저렴한 대안책이 있기는 하나, 활용도가 좀 떨어지는건 사실이다. 스웨덴 교관중에 하나가 한마디 덧붙였다. "코브라가 너무 비싸면, 먼저 피어싱 노즐을 구입해요. 수차례 화

재동안 많은 손실을 줄여줄 건데 그돈으로 코브라를 사요. 진짜 끝내주거든요"

피어싱노즐은 금속으로된 튜브로 저압과 고압호스 모두 사용가능하다. 밸브를 통해서 물을 보내고 잠글수 있다. 튜브 앞쪽은 원뿔형에 작은 구멍이 몇개 나있다. 전동드릴을 사용해 물을 주수할 방안의 문, 창틀 또는 벽에 구멍을 뚫는다. 구멍을 뚫고나면 피어싱노즐을 안에 넣고 몇초동안 물을 주수한다. 압력이 낮기 때문에 피어싱 노즐의 물분무 입자는 코브라에 비해 상당히 큰편이긴하다. 분사되는 범위도 적다. 피어싱 노즐이 상대적으로 효율이 떨어지는 이유다. 그렇긴 하지만 코브라에 비해서 훈련을 많이 하지 않아도 간편하게 쓸수있는 도구이기도 하다.

화재현장에서 피어싱노즐 적용은 코브라와 비슷하다. 구멍을 만들고 피어싱 노즐을 넣고 주수를 멈춘 뒤 배기구를 만들고 문을 열고 팬을 작동시키고 내부로 진입을 시작하는 작업들의 협업이 필요하다. 현장에서 전술을 결정하기 전에 현장지휘관의 화재진행에 대한 충분한 지식과 파악능력이 주요한 역할을 한다.

3.3 Positive Pressure Attack (PPA)

또한 스웨덴에서는 내부 진입전에 가스를 냉각하지 않는 전술들도 상당수 있다. 이 전술은 미국에서 공격적 전술(PPA)과 실질적으로 같다. 이 주제에 대한 추가 정보는 참고문헌 [7]을 참조하기 바란다.

스웨덴 대원들은 이 전술에 한가지를 더 추가했다. 내부 진입을 시작하는 순간부터 진압대원이 가스냉각을 실시하는 것이다. 이 전술이 적절하게 수행되면 화세를 빠르게 잡을수 있을 뿐만아니라 배연도 수월해진다. 몇몇 스웨덴 대원들은 요구조자의 생존가능성 또한 높아진다고 얘기한다. 구획실 화재나 열린 문이 있는 구획실 화재에서도 위의 내용이 사실인지 연구결과로 밝혀지긴 해야한다. Steve Kerber가 수행한 연구에서는 문이 닫혀있는 구획실 화재에서 요구조자가 생존할 확률이 높다는 결론을 내렸다.(참고문헌 [5] 참조) 진압대원의 빠른 진입은 요구조자가 유독가스를 흡입하는 시간을 줄여줄 수 있다.

이런 이점에도 불구하고 이 전술은 몇가지 위험성을 갖고 있는데, 신선한 공기의 유입으로 환기유발형 플래시오버로 화세가 급작스럽게 발전할 수 있다는 점이다. 공격전술을 하는 대원들은 신속하게 진입해서 플래시오버가 발생하지 않도록 해야한다. 마찬가지로 현장지휘관은 공격적으로 진압할때 많은 신경을 써야하고 전문적인 지식이 필요하다. 2012년 벨기에에서 진행한 지휘관 교육과정은 그리 유용하지는 못했다는 평가를 받고있다. 70 시간의 이론적인 학습뿐 실화재 연습이 없었으니 수영을 글로 배운 꼴이나 다름없었다. 앞으로 좀더 나은 훈련교육과정이 생기길 바란다.

4 Acknowledgments and thanks

이 글은 KCCE와 Johan Schoups의 도움없이 세상에 나오지 못했을 것이다. 특별히 브뤼셀 소방서장인 It-kol Desneyder 씨에게 지식적인면에 많은 도움을 받았고 Kasterlee에서 팀장으로 근무하고 있는 Bart Noyens 이 시간을 할애해 멋진 사진과 그림을 제공해 주어서 고맙게 생각한다.

5 Bibliography

- [1] *Fire Behaviour and Fire Suppression Course for instructors, MSB, August 2012, Revinge, Zweden*
- [2] *Binnenbrandbestrijding, Koen Desmet & Karel Lambert, 2008 & 2009*
- [3] *Lambert Karel, Baaij Siemco, Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2011*
- [4] *Särdqvist Stefan, Water and other extinguishing agents, 2002*
- [5] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*
- [6] www.wikipedia.org
- [7] *CCS-Cobra training program, Boras, Zweden, maart 2010*
- [8] *Lambert Karel, invoeren van ventilatie: drie verschillende benaderingen, de brandweerman, september 2012*
- [9] *CFBT Instructors course level 2: the T-cell, September 2012, Relegem, Belgium*

Karel Lambert