How long does search & rescue take?

1 Introduction

지난 몇 년 동안 소방당국은 화재 행동을 더 면밀히 연구해 왔습니다. 10 년 전까지만 해도 우리가 알고있던 화재 행동에 대한 지식의 대부분은 플래시오버와 백드래프트 이었습니다. 우리는 화재 성장 곡선을 배웠지만, 이 곡선의 시간대에 대한 실제적인 이해는 완벽하지 못했습니다. 소방관들은 종종 플래시오버 발생 시간이 발화 후 3 분인지 30 분인지 3 시간인지 알지 못했습니다.

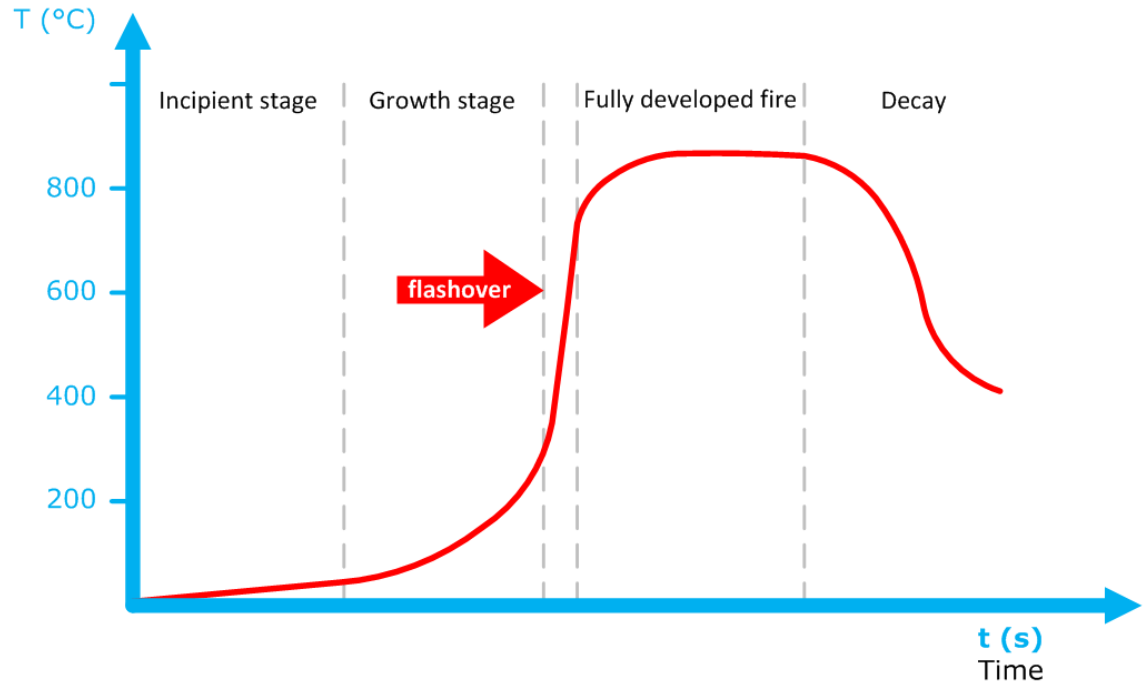

figure 1 The traditional fire growth curve. Nowadays this is defined as the ventilated fire development. The Y axis has several different temperature indications. However, the X axis has nothing. There are no numbers indicating different time units. *(Figure: Karel Lambert)*

어떤 사람들은 이 시점(time frame)이 변화하고 있다고 이해했습니다. 화재는 점점 더 빨리 성장하는 것 같았습니다. Steve Kerber 는 이 현상을 광범위하게 연구해 왔습니다. 그는 (일반주택을 대상으로) 현대식 가구가 배치된 거실에서 실화재 연구를 실시하였습니다. 50 년대 가구가 있는 거실에서도 실화재 연구를 실시하였습니다. 그는 현대 가구가 배치된 거실의 플래시오버(그림 1 에서 초기 및 성장 단계) 시간이 2 분에서 4 분 사이라는 것을 발견했습니다. 50 년대 가구를 배치한 거실에서는 30 분이었습니다. 이것이 우리가 어떻게 화재를 대처하는지를 결정하는 매우 중요한 차이입니다.

과거에는 "먼저 (희생자를) 구조하고 다음에 화재를 진압하라(First we rescue, then we put the fire out)!"가 신조였습니다. 이는 검색 및 구조 작업을 수행할 수 있는 30 분의 여유 시간이 있을 때 가능합니다. 하지만 현재에는 화재 성장이 너무 급격하게 빨라졌기 때문에, "먼저 화재를 진압하라(First put the first out)!"라는 신조도 바뀌었습니다.

우리는 이제 화재 행동에 대해 더 많이 알게 되었고 화재 행동도 더 잘 이해하게 되었습니다. 그리고 플래시오버가 발생하는 시간을 계산할 수 있습니다. 하지만 특정 구획을 검색하는 데 걸리는 시간을 계산할 수는 없습니다. (왜냐하면 우리는 현장에서 벌어질 수 있는) 다양한 검색의 차이점이 무엇인지 잘 모르기 때문입니다. 과거에는 이것 또한 큰 문제가 되지 않았습니다. 즉 대원들이 검색을 마칠 시간은 충분했습니다. 이제 화재가 더 빠르게 성장함에 따라 대원들이 방을 얼마나 빨리 검색하는지 이해하는 것이 점점 더 중요해지고 있습니다. 그리고 지휘관들은 주어진 건물을 검색하기 위해 몇 명의 대원이 필요한지 평가해야 합니다.

2017 년 7 월, 검색 및 구조 방법에 대한 지식을 얻기 위한 실험이 Oostkamp 에서 수행되었습니다. 구획을 검색하는 데 얼마의 시간이 걸릴까요? 어떤 방법이 효율적이고 어떤 방법이 효율적이지 않을까요?

2 The experiments

2.1 The participants

이 실험은 금요일과 토요일 이틀 연속으로 실시되었습니다. 이렇게 해서, 직업 소방관들과 의용 소방관들이 모두 참여할 수 있었습니다. 12 개의 Flemish(Flandre) 소방서, Brussels 소방서, Netherlands 소방서의 소방관들이 실험에 참여했습니다. 총 88 명의 소방관이 44 개조(2 인 1 조)로 구성되었습니다. 참가자들은 벨기에에서 일반적인 소방관들이 펌프차를 운용하고 화재 현장에서 수색 구조 작업을 수행하는 모습을 잘 표현했습니다. 참가자들은 다음과 같았습니다.

- 나이는 21 세에서 62 세 사이였습니다.
- 소방관 복무 기간은 1 년에서 33 년 사이였습니다.
- 키는 168cm 에서 198cm 사이였습니다.
- 몸무게는 57kg 에서 118kg 사이였습니다.
- BMI 의 범위는 18 에서 36 까지였습니다.
- 참가자의 약 3 분의 1 은 직업 소방관(career firefighter)이었습니다.
- 출동이 많은 소방서 뿐만 아니라 출동이 적은 소방서에서도 참가자가 있었습니다.
- 실화재 진압 훈련을 정기적으로 받은 소방관들도 있었고, 그럴 기회가 거의 없는 소방관들도 있었습니다.

2.2 How the tests were conducted

두 명의 대원들은 각각 8 개로 구성된 실험을 거쳐야 했습니다. 각각의 실험이 끝나고 쉬는 시간이 있었습니다. 이러한 휴식 시간은 실험에 따라 달랐고 실험 사이에 모든 사람이 충분히 회복할 수 있도록 음료, 간식, 과일 등이 준비되어 있었습니다. 이것은 서로 다른 실험을 비교하기 위해 필요했습니다.

각각의 실험은 브리핑로 시작되었습니다. 브리핑은 각 대원들이 정확히 동일한 정보를 얻을 수 있도록 인쇄물을 통하여 실시하였습니다. 첫 번째 목표는 소방관들이 활동할 장소를 연기가 가득한 환경으로 시뮬레이션하는 것이었습니다. 시야 부족 환경을 만들기 위해 참가자들의 눈을 가렸습니다. 이렇게 하면 아무것도 볼 수 없게 됩니다. 두 번째로, 목표는 대원들이 웅크리고 있거나 바닥에 가까운 낮은 자세로 있는 현대적인 접근자세을 시뮬레이션하는 것이었습니다. 그래서 참가자들은 항상 적어도 한쪽 무릎은 바닥에 닿도록 지시받았습니다.

각 실험이 시작되기 BA 의 압력, 심박수 및 산소 포화도 등 관련 정보가 수집되었습니다. 참가자들은 이전의 실험에서 충분히 회복되었는지를 연구자들에게 알려 주어야 했습니다.

다음으로, 대원들은 눈을 가린 상태에서 모든 개인보호장비와 BA 를 착용한 채 실험을 진행했습니다. 8 가지 실험 중 7 가지 실험은 검색 및 구조 작업입니다. 마지막 실험은 소방 호스를 가지고 화점을 향해 접근하는 것이었습니다.

각 실험을 완료한 후 BA 압력, 심박수 및 산소 포화도를 다시 측정했습니다. 참가자들은 실험이 얼마나 힘들었는지를 연구자들에게 알려주야 했습니다. 그 작업은 당신에게 얼마나 어려웠나요?

2.3 Seven search & rescue experiments

임시 공사용 울타리를 이용하여 7 개의 다른 방을 만들었습니다. 이 울타리들은 플라스틱 가림막으로 덮여 있어서 사람들이 밖에서 그 방의 세팅이 무엇인지 볼 수 없었습니다. 또한, 참가자들이 실험을 시작하기 전에 상황을 파악하기 위해 문을 열고 안을 들여다볼 수 없도록 벽을 추가로 쌓았습니다.

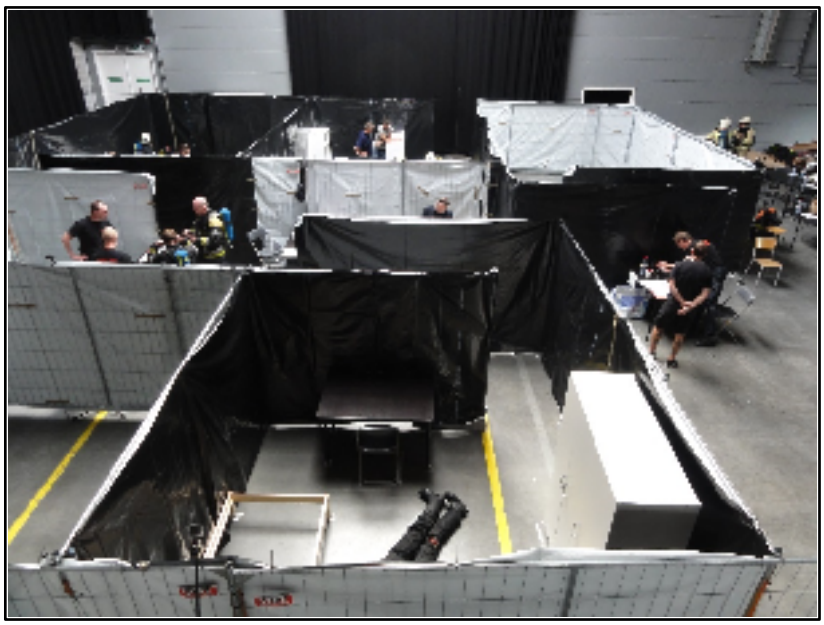

figure 2 A view on the inside rooms made of construction fencing. *(Photo: Nathalie Van Moorter)*

4 개의 방은 침실처럼 꾸며졌고, 나머지 3 개는 사무실을 표현하기 위해 만들어졌습니다. 빈 침실과 빈 사무실이 만들어졌습니다(둘 다 가구 없이). 침실은 12m²(3.5m x 3.5m) 이었습니다. 사무실은 약 31m²(6.82m x 4.5m) 이었습니다. 이 방들의 배치도 구체적인 지시사항에 따라 가구와 함께 만들어졌습니다. 세 번째 시설은 침실과 사무실 안에 가구와 구조대상자가 있었습니다. 구조대상자는 70kg 의 더미였습니다. 이 여섯 개의 방은 건물 내부에 설치되었 습니다. 목표는 각 대원들이 소방 호스 없이 이 방들을 검색하도록 하는 것이었습니다. 이 방들의 검색을 위해, 참가자들은 공격 대원들이 이미

화재 진압을 완료하고 있다는 보고를 받았다고가정하였습니다. 일곱 번째 방은 구조대상자가 있고 가구가 배치된 침실로 건물 외부에 설치되었습니다. 일곱 번째 방에서 충수된 소방 호스로 실험을 해야 했습니다. 이에 따라 이 실험의 브리핑이 별도로 이루어졌습니다.

2.4 One hose line advancement experiment

figure 3 The hose line advancement experiment *(Photo: Nathalie Van Moorter)*

마지막으로, 공사용 울타리를 이용하여 10m 길이의 복도를 만들었습니다. 다시 한번 플라스틱 가림막을 이용하여 아무도 실험이 가상의 복도에서 진행되는 것을 볼 수 없었습니다. 이 실험의 목적은 대원들이 화점을 향해 복도를 따라 전진하는 것을 시뮬레이션 하는 것 이었습니다. 전진하는 동안 대원들은 뜨거운 연기를 충분히 냉각해야 합니다.

3 Results

3.1 The bedrooms

4 가지 침실을 시뮬레이션한 실험에는 분명한 차이가 있었습니다. 빈 침실은 가장 짧은 시간 안에 검색되었습니다. 이 작업은 평균 4.63m²/min 의 속도로 수행되었습니다. 하지만 대원들 사이에 큰 차이가 있었습니다. 가장 빠른 대원은 평균의 절반도 안 되는 시간에 검색을 완료했고, 가장 느린 대원은 평균보다 세 배의 시간이 더 필요했습니다.

	Average (min)	Fastest (min)	Slowest (min)
Empty	2.33	0.95	7.28
		41%	312%
Furnished	3.17	0.83	6.33
		26%	200%
With victim	3.84	1.42	7.60
		37%	198%
With hose line	6.14	1.98	19.53
		32%	318%

Table 1 Test results of the four bedroom experiments: the average time for searching the room as well as the fastest and the slowest time. The fastest and slowest time were also calculated as percentages of the average time.

figure 4 Searching with a hose takes longer and air consumption is higher. *(Photo: Steve De Blauwe)*

가구가 배치된 침실을 검색하는 데 시간이 좀 더 걸렸습니다. 만약 대원들이 구조 대상자를 구출해야 한다면, 검색 시간이 더 늘어날 것입니다. 대원들이 탈진하지 않도록 의도적으로 구조대상자(더미)를 문에 가깝게 배치했다는 점에 유의해야 합니다. 모든 대원들은 동일한 조건에서 각각의 실험을 시작할 수 있어야 했습니다.

소방 호스를 지참하고 검색하는 것이 많은 시간이 소요되었습니다. 평균적으로 소방 호스를 지참하지 않고 실시하는 검색과 달리 소방 호스를 지참코 실시하는 검색은 약 60% 정도 더 많은 시간이 필요했습니다.

소방 호스를 지참하고 구획을 검색 하는 것은 시간만이 영향을 받은 것은 아닙니다. 공기 소비량은 상황에 따라 달라집니다. 소방 호스 없이 활동하면 분당 66~70 리터의 공기 소비량이 발생합니다. 그리고 개인차가 굉장히 큽니다. 이 차이의 범위는 분당 29~184 리터입니다. 소방 호스를 지참코 검색 시 평균 소비량은 분당 84L 입니다. 그것은 평균 소비량보다 약 21% 더 높습니다. 검색 시간이 오래 걸리고 공기 소비량이 증가하여 소방 호스를 지참코 검색 시 사용되는 총 공기의 양은, 소방 호스 없이 검색하는 것보다 소요 시간이 약 두 배 가까이 늘어났습니다.

3.2 The office

실험을 위해 준비한 사무실은 침실의 약 2.5 배 크기였습니다. 그렇다고 해서 검색 시간이 2.5 배나 길어진 것은 아닙니다. 빈 사무실을 검색하는 데 걸린 시간은 빈 침실을 검색하는 데 소요되었던 시간의 약 22% 정도가 추가되었습니다. 이것은 가구가 배치된 사무실과 구조대상자가 포함된 사무실에서는 약 70% 정도의 시간이 추가로 소요 되었습니다. 세 가지 사무실 실험의 평균 공기 소비량은 분당 62 에서 74 리터까지 다양했으며 소방 호스 없이 활동했던 침실 실험과 비슷했습니다.

	Average (min)	Fastest (min)	Slowest (min)
Empty	2.85	1.15	5.40
		40%	189%
Furnished	5.46	2.58	9.50
		47%	174%
With victim	6.48	2.50	10.07
		39%	155%

Table 2 The test results of the 3 office experiments: the average time needed to search the room, as well as the fastest and the slowest time. The fastest and slowest time are also calculated as percentages of the average time.

3.3 The hose advancement experiment

소방 호스 전개 작업 시 10m 를 전진하는 데 필요한 시간은 평균 1.71 분입니다. 가장 빠른 팀은 0.63 분 만에 복도에서 10m 를 전진했고, 가장 느린 팀은 4.57 분이 걸렸습니다. 검색 작업과 비교했을 때 중요한 차이점은 공기 소비량입니다. 평균 공기 소비량은 분당 98 리터였습니다.

4 Lessons for the fire service

이 모든 실험들이 소방관들에게 어떤 의미가 있을까요? 실험 횟수는 제한적이지만, 몇 가지 결론을 도출하고 몇 가지 권장사항을 제시하는 것은 가능할 것입니다.

4.1 Air consumption

우리가 사용하는 BA 는 300bar 의 압력으로 2,040 리터의 공기를 사용합니다. 50bar 의 안전 압력은 예비로 유지됩니다. 이것은 소방관들이 화재현장에서 활동에 사용할 수 있는 1,700 리터의 공기를 가지고 있다는 것을 의미합니다.

일부 교육훈련 과정에서는 화재 현장에서 진압 활동 시 분당 40 리터의 공기 소모량을 주로 설명합니다. 그러나 소방 호스를 지참하지 않고 실시하는 검색 및 구조 작업을 위해서는 분당 70 리터의 소모량이 필요합니다. 소방 호스를 지참하고 이동해야 할 경우 분당 84 리터가 됩니다. 평균적으로, 대원들은 소방 호스 없이 24 분 동안, 그리고 소방 호스를 가지고 20 분 동안 검색할 수 있었습니다. 소방 호스를 가지고 화점 쪽으로 전진할 때 공기 소비량은 평균 분당 98 리터입니다. 이는 다양한 교육 과정에서 제시한 소모량의 2.5 배에 달하는 소모량 입니다. 이러한 공기 소비량은 약 17 분 정도의 활동 시간으로 이어지는데, 이는 교육에서 배우는 시간보다 상당히 짧은 시간 입니다. 소방관 교육 과정과 현장 지휘관 및 최고 책임자의 교육 과정을 수정 및 보완하여 화재 현장에서 단일 BA 공기 용기의 사용 시간을 보다 현실적으로 추정할 수 있도록 해야 할 것입니다.

4.2 Search & Rescue

여러 대원들 사이에는 큰 차이점이 있었습니다. 어떤 대원들은 검색 작업을 매우 빨리 끝낼 수 있었고, 다른 대원들은 훨씬 더 오래 걸렸습니다. 여기에는 몇 가지 이유가 있었습니다.

- 넓은 구역 검색 방법의 차이

  : 서로 나란한 위치 설정

- 빠른 검색 방법의 차이
- 상황 인식의 차이

figure 5 When searching a room, firefighters can perform a broad sweep by positioning themselves alongside one another. This allows them to cover a larger surface area more quickly. *(Photo: Steve De Blauwe)*

과거 SCBA 훈련은 교육생들이 한 줄로 나란히 서거나 한 줄로 앞뒤에 위치하도록 하여 실시되었습니다. 그것은 과거의 운영 방식 입니다.

오늘날, 대원들은 실내에서 화재 진압 작업을 할 때 서로 몇 미터 떨어져 있을 수 있다고 배웁니다. 그래야 소방 호스를 더 쉽게 이동할 수 있습니다. 소방 호스를 가지고 있지 않은 상태에서 구획을 검색할 때 대원들은 서로 손을 묶고 더 넓은 패턴으로 검색을 할 수 있습니다. 이렇게 하면 더 짧은 시간에 더 넓은 영역을 검색할 수 있습니다.

몇몇 대원들은 검색 활동에 주저했습니다. 진행율이 그리 빠르지 않았고 대원들은 때때로 검색을 중단하기도 했습니다. 또다른 대원들은 이 구획을 매우 빠르게 검색하였습니다.

차이가 큰 세 번째 이유는 일부 대원들이 상황 인식 능력이 좋지 않았기 때문입니다. 그들은 방의 일부분을 여러 번 수색하였습니다. 이렇게 함으로써 귀중한 시간을 잃게 되었습니다.

figure 6 This crew uses the old method and stays in a single file. The second firefighter holds on to the BA of the first one as was taught in the past. This slows down their progress and efficiency. The lead firefighter has not even noticed the victim next to him. If the second firefighter would position himself alongside the first, they would have immediately found the victim. *(Photo: Steve De Blauwe)*

이와 반대로, 검색 속도가 빠른 팀들은 검색중에 방의 일부를 잊거나 건너뜁니다. 예를 들어, 모든 대원들이 옷장 안을 뒤지거나 침대 밑까지 충분히 확인하지 않았습니다. 대원들은 검색 속도와 정밀함 사이에서 타협해야 합니다.

이 세 가지 항목은 소방관 기본훈련 과정에서 수정 및 보완되어야 합니다. 시뮬레이션 훈련과 실화재 훈련과 더불어 우리 모두는 이러한 행동 실험을 통해 더 많은 것을 배울 수 있을 것입니다.

또한 이 실험에서는 검색 및 구조 작업중에 소방 호스를 지참하고 작업하는 것이 필요한 전체 시간과 공기 소비량을 모두 증가시키는 것으로 나타났습니다. 이는 단일 BA 용기를 사용할 때 작업시간이 훨씬 줄어든다는 것을 의미합니다. 어떤 상황에서는 반드시 검색팀이 소방 호스를 가지고 있어야 합니다. 대표적인 경우가 아직 화재 진압이 완료되지 않은 상황에서의 아파트 내부 검색입니다. 이 상황에서는 검색팀이 화염과 마주하여 가스를 냉각이 필요한 상황일 수도 있습니다. 한편, 소방 호스가 필요하지 않은 상황도 있을 수 있습니다. 그 예로는 화재가 발생하여 검색이 필요한 아파트의 바닥이 콘크리트인 경우입니다. 여기서, 검색대원 들은 물을 필요로 할 가능성이 적어집니다.

이 판단은 최고 지휘관과 여러 현장 지휘관 모두에게 달려 있습니다. 그러므로 그들의 훈련에는 그들이 이러한 선택을 하는데 도움을 줄 수 있는 무언가가 있어야 합니다.

일반적으로 검색 속도가 가장 빠른 대원은 더 많은 경험을 쌓았고 더 많은 교육 기회를 가졌습니다. 여기에 소방관들에 대한 또 다른 교훈이 있습니다. 검색과 구조 훈련이 충분히 이루어져야만 화재 현장에서 신속하게 검색과 구조가 이루어 질 수 있습니다. 말 그대로 목숨이 달려있습니다.

4.3 Further research

이러한 실험은 범위가 다소 제한적이었으며 여러 가지 면에서 현실과 달랐습니다.

- 각각의 실험은 하나의 구획을 검색하는 것이었습니다. 실제로 대부분의 경우 여러 개의 구획을 검색해야 합니다.
- 실험은 방 입구에서 시작되었습니다. 실제로 검색을 시작하기 전에 이동 경로가 있는 경우가 많습니다. 소방관들은 방을 검색하기 전까지 BA 의 공기를 소비할 것입니다. 이 경로는 또한 소방관들에게 물리적으로 부담을 주기 때문에 소방관들 대부분이 심박수가 상승한 상태로 검색을 실시할 것입니다. 계단을 오를 때 특히 그렇습니다.
- 방의 크기는 12m²와 31m²로 제한되었습니다. 실제로는 훨씬 더 큰 방을 검색해야 할 경우가 더 많을 것입니다.
- 방 안에는 소방관들이 지치지 않도록 문과 비교적 가까운 곳에 구조대상자가 한 명 있었습니다. 왜냐하면 참가자들은 다음 실험을 시작하기 위해 완전히 회복할 수 있어야 했기 때문입니다. 이러한 상황도 실제 화재 현장에서는 다를 것입니다.
- 실제 연기도 없고 열도 없었습니다.
- 대원들은 아무것도 볼 수 없도록 눈을 가리고 있었습니다. 실제로 화재 현장에서 대원들은 조금이나마 앞을 볼 수 있을 것입니다.

앞으로, 위의 몇 가지 제약이 해제되는 새로운 실험이 필요할 것입니다. 그러한 실험은 우리가 어떻게 검색과 구조를 하는지에 대한 더 많은 통찰력을 줄 수 있을 것입니다. 실제 연기를 사용 할 수 있게 되면, 우리는 눈을 가리지 않고 열화상 카메라를 사용하여 실험을 할 수 있습니다. 이것은 우리가 무엇을 할 수 있고 무엇을 할 수 없는지에 대한 더 큰 통찰로 이어질 것입니다. 소방당국은 우리의 능력과 한계를 아는 것이 중요합니다.

5 Word of thanks

이러한 실험을 수행하기 위해 많은 다양한 사람들과 조직의 노력이 필요했습니다. KCCE 가 실험 계획을 승인했습니다. 관할 소방서에서는 펌프차와 BA 충전기와 이를 작동시킬 인력을 함께 지원하였습니다. 이케아는 실험 시 사용할 가구를 공급했습니다. CFBT-BE 는 기타 필요한 모든 비용(음식, 울타리, 안대 등)을 지원했습니다.

Fire departments Zone 1, Midwest, Westhoek, Antwerp, Brussels, East, Kempen, Rand, Waasland, Noord-Limburg, Fluvia, Meetjesland, Flemish Ardennes 에서 이러한 실험에 지원한 참가자가 있었습니다. 이 소방관들은 기꺼이 일련의 실험에 참여했습니다. 그룹 분위기가 좋았고 모두가 즐거워했습니다.

또한 실제 실험 기간 동안 29 명의 자원봉사자들이 참가자들을 무료로 도와주었습니다. 실험 전후에 다른 8 명의 자원봉사자들이 장비와 가구의 설치와 청소를 도와주었습니다.

마지막으로, 저는 이러한 실험에 대한 논문을 쓰고 매우 가치 있는 통찰력을 제공해주신 소방안전공학과 학생인 Neja Jekovec 에게 감사를 드리고 싶습니다.

많은 사람들과 다른 조직들과 함께 일함으로써, 검색과 구조에 대한 약간의 과학적인 연구가 이루어졌습니다. 바라건대, 우리는 미래에 이것을 기반으로 성장 할 수 있기를 바랍니다.

6 Bibliography

[1] *Kerber (2012) Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operational Timeframes, Fire Technology, 48, 865–891*

Karel Lambert