

New insights into ventilation

2011년 3월 미국의 Indianapolis에서 국제 화재 강사 워크숍(IFIW: The International Fire Instructors Workshop)이 개최되었습니다. 수많은 소방관과 과학자들이 참여하기 위해 그곳에 모였습니다. 이 세션들 중 몇 개는 변화된 화재행동과 환기의 영향에 관한 것이었습니다. 이에 환기에 대한 정의가 다음과 같이 결정되었습니다. **'배연(환기)은 열, 연기 및 기타 화재가스를 신선한 공기로 바꾸는 계획되고, 체계적이며, 조율된 활동이다.'**

1. The fire formula

화재행동이 더 빨라졌다는 인식이 커지고 있습니다. 미국에서 "화재 공식(fire formula)"의 개념은 이러한 변화된 화재행동을 명확히 알기 위해 사용됩니다. 이 공식은 다음의 다섯 가지 요소로 이루어져 있습니다. 더 큰 집, 열린공간, 더 큰 화재하중, 숨겨진 공간, 새로운 건축 재료입니다. 이 다섯 가지 구성 요소는 더 빠른 화재확산, 더 짧아진 플래시오버까지의 도달시간, 더 빨라진 화재행동의 변화, 더 짧아진 대피시간 및 더 빨라진 구조물 붕괴시간과 동일하다고 명시되어 있습니다.

1.1 Bigger housing

미국에서는 주택의 규모가 커졌습니다. 지난 30년 동안, 주택의 표면적은 40% 증가했습니다. 벨기에에서는 주택의 규모가 빠른 속도로 발전하지 못하고 있습니다. 하지만, 지난 수십년간 건물의 규모는 계속 커지고 있습니다. 점점 더 많은 마을과 도시들이 중저층 아파트로 개발되고 있습니다. 주택건설용 땅이 부족해 아파트는 이전보다 더 크게 지어지고 있습니다.

1.2 Open spaces

과거 주택에서 부엌(kitchen)은 식탁(dining area¹)과 분리되었습니다. 거실은 또 다른 공간이었습니다. 이 공간들은 벽으로 분리되어 있었고, 대개 그 구역들은 출입문이 있었습니다. 오늘날 주방과 거실은 하나의 공간을 형성합니다. 개방된 부엌의 개념이 더 많이 적용됩니다. 이것은 하나의 넓은 공간이 만들지도록 합니다. 이러한 개방된 공간에는 훨씬 더 많은 연료와 더 많은 양의 공기(산소)가 포함되어 있습니다. 이때문에 화재로 인한 순간 열방출율이 증가되었습니다.

1.3 Greater fuel load

가구들의 특성 또한 지난 50년 동안 급격히 변화해 왔습니다. 오늘날의 의자의 좌석은 폴리우레탄으로 만들어져 있습니다. 폴리우레탄은 기름에서 나온 제품입니다. 그러므로 현대의 의자는 과거보다 훨씬 더 많은 에너지를 포함하고 있습니다. 이것 때문에, 그러한 좌석들은 종종 "고형 가솔린"으로 묘사되기도 합니다. 현대식 의자는 실내에 충분한 산소가 공급될 경우 3 ~ 4MW의 열량을 방출할 수 있습니다. 2 ~ 3MW의 열량은 실내 화재가 플래시오버로 진행하기에 충분한 열량입니다. 3인용 소파는 1인용 의자에 비해 3배 이상의 열량을 방출합니다. 의자와 소파 외에, 거실에는 화재하중을 더 큰 많은 다른 가구들이

¹ 서양식 주택은 음식을 만드는 공간인 부엌(kitchen)과 식탁이 있는 dining area가 따로 분리돼 있었다.

비치되어 있을 것입니다. 오늘날 이러한 가구들은 주로 합성 제품들로 이루어져 많은 화학에너지를 포함하고 있으므로 대개 산소 부족으로 인해 최대 열량이 공급되지 않는 경우가 많습니다. 이 때문에 중요한 양의 열분해물질은 연소되지 않고 방 안에 기체 형태로 남게 됩니다. 그래서 추가 산소를 공급한 후 어느 시점에서 화재의 위력은 빠르게 상승하게 될 것입니다.

1.4 Hidden spaces and new building materials



Fig 1.1 Wooden frames. (Photo: NIST).

미국에서는 많은 주택들이 목재를 사용하여 건축되고 있었습니다. 과거의 주택들은 단단한 나무빔을 사용하여 건축되었지만 최근에는 더욱 정밀한 계산을 통해 빔보다 많은 서까래가 사용되고 있습니다. 기술자들은 목재와 금속이 결합된 'I'자형 목재빔과 프레임을 개발했습니다. 북미에서는 이를 "수학을 통한 질량의 대체(replacing mass with math)"라고 합니다.

이러한 종류의 건축방식은 격실 바닥이 보드 재료로 마감처리되면서 화재가스가 모일 수 있는 넓은 숨겨진 공간이 만들어집니다. 벽면을 석고판으로 마감처리할 때, 화재가스가 옮겨다니고 심지어 목조 구조물이 사용되는 곳에서 불꽃이 발생할 수 있는 숨겨진 공간이 만들어지고 있습니다. 만약 (부분적인) 붕괴가 일어나면, 숨겨진 불꽃이 바닥 아래에서 발견되어 그 주변으로 번질 수 있습니다. 최근 연구에 따르면 이러한 건축방식의 내화정도는 약 10 분으로 제한된다고 알려져 있습니다. 그러므로 미국에서 소방관들은 이러한 목조주택 화재현장에서 종종 바닥으로 떨어지는 문제를 경험하게 됩니다. 벨기에에서는 이러한 바닥 구조는 좀처럼 발견하기 드뭅니다. 그러나 목재는 건축자재로 점점 더 빈번하게 사용되고 있기 때문에 지금 미국에서 일어나고 있는 일은 앞으로 다가올 일에 대한 경고로 인식될 수 있습니다.

2. Research by UL

Underwriters Laboratories 는 미국에서 잘 알려진 연구소입니다. 그들은 화재, 내화 시험, 검사 등과 관련된 모든 종류의 연구를 수행합니다. 그들의 연구는 주로 산업에 집중되어 있었지만, 최근 들어 소방 분야에도 많은 연구가 행해지고 있습니다. 연구원들은 새로운 주택에서 환기가 화재 행동에 어떻게 영향을 미치는지에 대해 궁금해했습니다. UL 에는 대형 연구 시설(1,338 m³)이 있습니다. 이 연구시설 안에 단층집과 2 층집 두 채가 지어졌습니다. 총 15 건의 실제 화재실험이 이루어졌습니다. 화재행동이 관찰되었고 그 후에 집들이 환기되었습니다. 아래이 다섯 가지 시나리오가 연구되었습니다.

1. 현관문 열기
2. 현관문 열고 화점 가까이에서 수평으로 환기
3. 현관문 열고 화점로부터 먼 곳에서 수평으로 환기

4. 현관문 열기 전에 수평 환기
5. 현관문 열고 5 개의 창문을 통한 수평 환기

이 연구 결과는 온라인 교육 과정의 형태로 발표되었습니다. 그 주제에 관심이 있는 모든 소방관들은 이 과정을 살펴보기 바랍니다. 이 과정의 이름은 "현대 및 과거 주택에서 환기 작용이 화재 행동에 미치는 영향(Impact of ventilation on Fire Behavior in contemporary and legacy residential construction)"입니다. 그것은 www.ul.com/fireservice 에서 찾을 수 있습니다.



Fig 2.1 Single story house (112 m²) (Photo: UL)



Fig 2.2 Two story house (297 m²) (Photo: UL)

3. Opening the front door = venting

3.1 Experiment

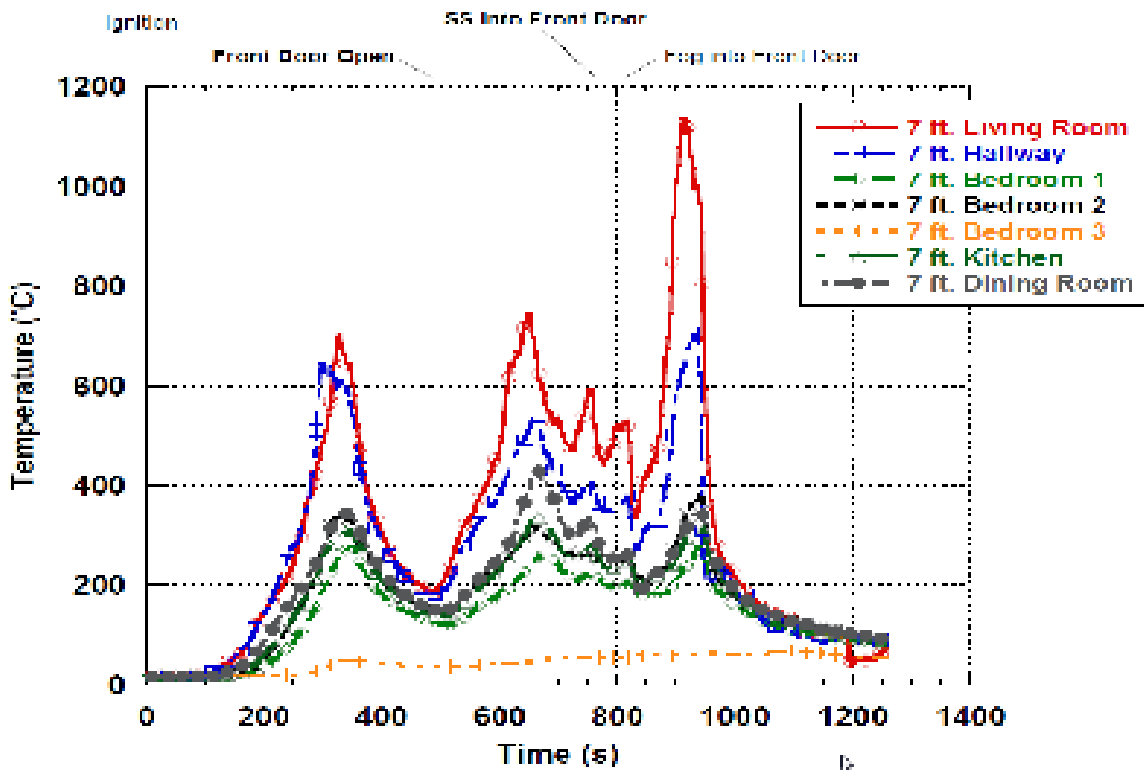


Fig 3.1 The temperature-time line of the experiment shows the start of the increase in power shortly after opening the door.(Graph: Underwriters Laboratories)

UL 에 의해 수행된 모든 다른 실험들 중에서, 특히 하나는 정말로 눈이 띄는 실험이 있었습니다. 그것은 현관문만 열리는 조건의 화재 시나리오 입니다. 발화 후 현관문이 닫힌채 화재는 성장할 수 있는 시간이 주어졌습니다. 예상대로 화재는 환기가 잘 안 되는 상태로 성장했습니다. 소방관들이 도착하는 것이 묘사되었고 현관문은 소방대원들이 화재를 진압하기 위해 했을 것처럼 열렸습니다. 현관문을 연 후 화재의 열 방출율(화세)이 어떻게 변화하는지 관찰하는 것은 매우 흥미로운 일입니다. 이 시점까지 화재는 환기가 잘 안 되고 산소 부족으로 화세가 제한되었습니다. 현관문을 열면 공기가 밀려들어올 수 있습니다. 화재는 산소의 공급을 기꺼이 받아들입니다. 현관문의 개방과 함께 열방출율이 급속하게 상승하는 시간은 약 80 초입니다. 사실 이것은 소방관들이 현관문을 열고 화재가 발생한 주택에 들어가 화재진압을 위한 준비에 소요되는 시간입니다. 진압대원이 건물내부로 진입하는 것은 갑작스러운 환기유도 플래시오버가 발생하기 전까지 화재실을 "냉각"하는 조건이 될 것입니다. 이런 상황을 알아채기 못한 진입대원들은 어려운 상황을 맞이할 것입니다.

3.2 Conclusions

이 실험의 결론은 진입준비가 된 진압대원과 충수된 소방호스 없이 화재실의 문을 여는 것은 바람직하지 않다는 것을 분명히 보여주고 있습니다. 문이 열리는 순간부터 시간은 빠르게 흐르기 시작합니다. 문을 연 지 얼마 안 되어, 화재의 위력은 맹렬하게 성장할 것입니다. 문을 닫으면 빠르게 흐르던 시간이 멈출 수 있습니다.

4. Research by NIST in a building containing student flats.

4.1 The building

미국의 NIST 는 아칸소 대학으로부터 철거 예정인 건물을 기증받았습니다. 그 건물은 학생용 아파트 용도로 사용하던 것이었습니다. 50 년대에 지어진 이 건물은 콘크리트 구조물이 하중을 지지하는 구조로 만들어졌고 석조공법(콘크리트 블록?)으로 만들어진 벽이 공간을 구획하고 있었습니다.

건물 1 층은 실험실로 사용되었습니다. 이곳에는 길이 19m, 폭 2.5m, 높이 2.4m 의 대형 복도를 통해 5 개의 학생전용 아파트가 연결돼 있었습니다. 각각의 학생용 아파트는 3.44m x 4.48m 이었습니다.



Fig 4.1 View on the hallway (Picture: NIST)

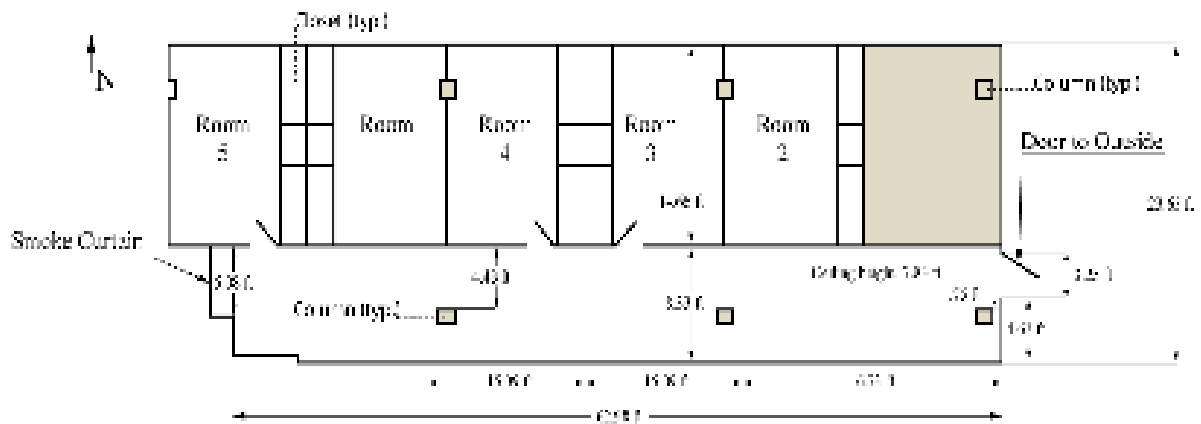


Fig 4.2 Floor plan for the ground floor. (Image: NIST)

4.2 The experiments

4.2.1 The fuel load

모든 방은 일반적인 학생용 아파트와 비슷한 화재하중을 가지고 있었습니다. 바닥에 카펫이 깔려 있었고 베개가 있는 침대, 컴퓨터가 있는 책상, 서재, 벽에 포스터, 옷장 등이 있었습니다.

4.2.2 The tests

첫 번째 실험에서는 1 번 방에서 화재가 시작되었습니다. 출입문이 닫혀 있었습니다. 화재는 발화 210 초 후에 제한된 최성기에 도달했고, 그 후 감소기에 들어섰습니다. 최고 온도는 천장 아래 30cm 지점에서 200°C 로 관찰되었습니다(그림 4.3 참조).

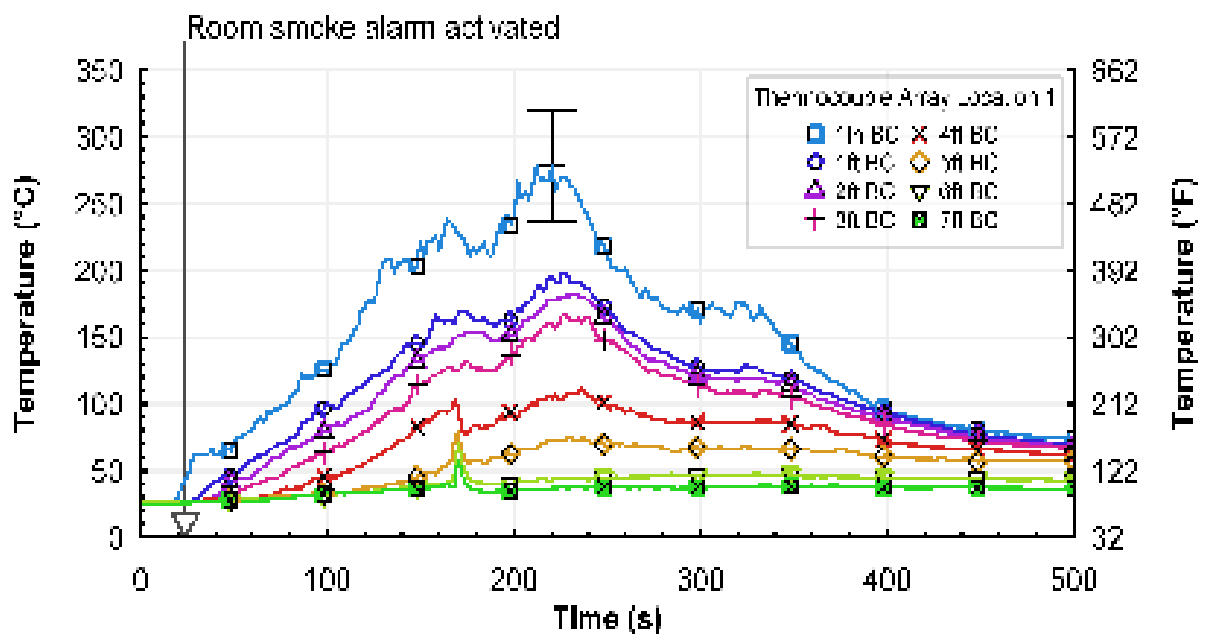


Fig 4.3 Development of the temperature inside the room with the door closed. (Graph: NIST)

5 번 방에서의 실화재 실험은 출입문이 열린 상태로 수행되었습니다(그림 4.4 참조). 그러므로 유사한 다른 방의 실험과는 완전히 다른 결과를 보여주었습니다. 우선 형성된 연기층의 온도 분포가 첫 번째 실험(room 1) 때보다 훨씬 더 높게 관찰되었습니다. 발화 200 초 후에 천장 아래의 온도는 빠르게 증가하기 시작했고 400 초 후에 플래시오버 현상이 일어났습니다. 첫 번째 실험과는 달리, 아파트 전체가 화염에 휩싸였습니다. 게다가 이 화재는, 실제로는, 건물 전체를 위험에 빠뜨릴 수 있다는 점에 주목해야 합니다. 건물에 연기 감지기가 있다면 거주자들은 안전하게 지낼 수 있을 것입니다. 화재로 인한 뜨거운 열과 연기가 복도와 이웃 방으로 확산될 것입니다. 진압대원들이 재빨리 움직이지 않는다면 화재는 급속히 확대될 것입니다.

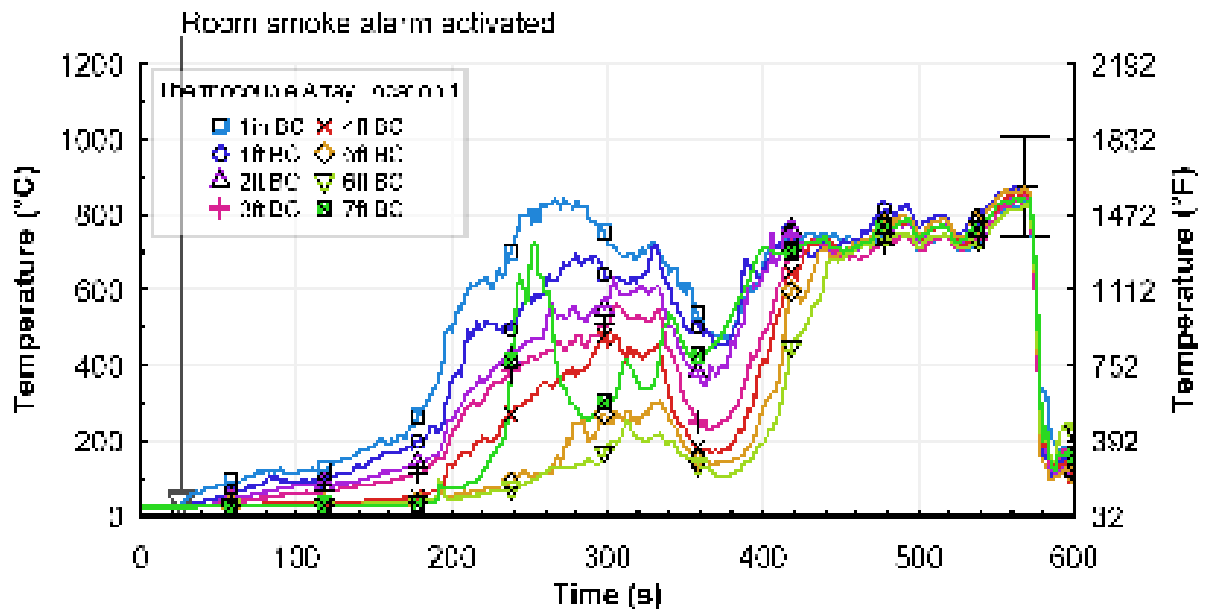


Fig 4.4 Temperature development inside the room with an open door. The temperature rises significantly after 200 seconds. Flashover occurs after about 400 seconds. (Graph: NIST)

4.3 Conclusion

이 일련의 실험은 우리에게 환기가 화재행동과 관련하여 매우 중요한 역할을 한다는 것을 보여줍니다. 보통 크기의 방에서는 문과 창문을 닫으면 화재가 플래시오버로 발전할 수 없습니다. 소방관들은 이 정보를 몇 가지 다른 방법으로 사용할 수 있습니다. 화재실의 열려 있는 문을 닫음으로써 화재의 성장 속도를 늦출 수 있습니다. 반면, 진압대원들이 화재실의 출입문을 여는 행동이 공기가 화재실 안으로 공급되게 할 수 있게 한다는 것을 확실히 깨달아야만 합니다. 이 새로운 공기의 공급은 화재의 강도를 높일 것입니다. 극한 조건에서는 환기유도 플래시오버가 발생할 것입니다. 따라서 환기는 화재진압 활동에 유익하거나 불리할 수 있습니다. 우리는 누구일까요?

공기를 조절하는 자, 불을 조절하는 자...

5. Bibliography

- [1] *Kerber Stephen & Madrzykowski Dan, Fire Dynamics for the fire service, presentation at FDIC, 2011*
- [2] *Kerber Stephen, Ventilating today's residential fires, presentation at FDIC, 2011*
- [3] *Madrzykowski Dan, The impact of ventilation on Line-of-duty Deaths, presentation at FDIC, 2011*
- [4] *Hartin Ed, www.cfbt-us.com*
- [5] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011*

Karel Lambert