

“The building is your enemy”

1 Introduction

이 글의 제목은 미국에서 잘 알려진 인용구입니다. 전설적인 교육자이자 붕괴전문가였던 Frank Brannigan 은 소방관들이 화재가 발생한 건물에 내재된 위험을 인지하도록 교육하는 것을 평생의 일로 삼았습니다. 구조물의 전체 또는 부분적인 붕괴는 화재 현장에서 흔히 볼 수 있습니다.

건물은 매우 다양(크기, 재료, ...)합니다. 미국은 벨기에보다 목조 건축물이 더 많습니다. 이 인화성이 강한 목재 구조를 가진 건물은 화재 발생 시 기존의 벽돌 건물과는 다른 화재 행동을 보여줍니다. 또한, 오늘날 점점 더 많은 "목조 건물"이 우리 지역(벨기에)에 건축되고 있습니다. 그리고 에너지 절약형 주택에서도 목재 골조가 점점 더 많이 사용되고 있습니다. 건물의 내부 마감재로 목재 패널이 많이 사용 되기도 합니다. 이와 같은 건축물에는 많은 추가 연료 하중이 포함되어 있습니다. 내부 마감재로 목재 패널을 사용하는 것은 화재 시 열분해가 일어나는 표면적이 매우 커진다는 것을 의미하기도 합니다. CFBT 컨테이너와 비교할 수 있으며, 일반적으로 CFBT 컨테이너는 총 표면적이 10 ~ 12m²인 나무 보드가 연료로 사용 됩니다. 가로 4m, 세로 3.5m 의 방에는 약 45m² 정도의 벽이 존재할 수 있습니다. 만약 이 벽들이 인화성 물질로 지어진다면, 벽돌과 석고로 만들어진 방과는 다른 종류의 화재가 이곳에서 발생할 것입니다. 새로운 목재 골조 건물과 전통적인 건물의 또다른 중요한 차이점은 강도(내화성)입니다. 현대 건축물에서는 종종 얇은 목재 구조를 사용합니다. 이러한 건축 재료의 내화성은 그리 강하지 않습니다.

그러나 우리는 전통적인 건물들의 화재현장 에서도 종종 어려움에 직면합니다. 벽의 붕괴는 많은 소방관들에게 부상을 입혔습니다. 사고 이후 현장에 출동했던 소방관들은 종종 "우리는 이런 일이 일어날 줄 몰랐다"고 언급하곤 합니다. 이 글은 건물에 초점을 맞추고, 보다 구체적으로는 건물의 붕괴에 초점을 맞추고 기술할 것입니다.

1.1 Cases

1.1.1 Church fire

2004 년 3 월 9 일 네덜란드의 Haarlem 의 koningskerk(King Church)에서 화재가 발생 하였습니다. 거대한 나무 지붕 구조물이 순식간에 화염에 휩싸였습니다. 지붕의 표면적이 넓었고 교회의 크기가 컸기 때문에 내부 공격은 불가능하였습니다. 그러므로 화재 진압 활동은 외부에서 실행하기로 결정되었습니다. 화염의 크기는 엄청나게 확대되었습니다. 외부 공격은 그리 효율적이지 않은 진압방법 입니다. 많은 물이 화재 진압과 상관없이 흘러내리기만 할 뿐 이었습니다. 하지만 불행하게도 더 나은 대안이 없었습니다. 지붕구조물이 무너지고 불에 타 없어진 뒤에도 교회의 큰 벽은 여전히 서 있었습니다. 이 벽들 안에는 아직도 큰 화염이 보이고 있었습니다. 현장 지휘관은 한쪽에서 있는 벽이 심각한 붕괴 위험을 내포하고 있음을 깨달았습니다. 그는 붕괴 위험이 있는 벽과 인접한 도로를 폐쇄하라고 명령하였습니다. 왜냐하면 건물 바깥방향으로의 붕괴 위험성이 너무 높았기 때문입니다. 심지어 현장 지휘관은 소방차량 및 진압대원들조차 그 도로의 이용을 금지하라고 명령하였습니다. 그렇지만 화재 현장이 매우 넓고 수많은 소방관들이 배치되어 있어, 모든 진압대원들이 '특정 도로를 진압대원 모두에게 금지한다'는 명령을 인지한 것은 아니었습니다. 선착대가 도착한 지 한 시간쯤 지났을 때 우려했던 벽이 붕괴되었습니다.

벽은 예상대로 바깥쪽으로 무너졌습니다. 하지만 발령된 명령을 몰랐던 진압대원 3 명이 무너진 담벼락 아래로 깔려 순직하였습니다.

1.1.2 Dormer

2012년 5월 16일, 벨기에의 Waregem 소방대(fire service of Waregem)가 주택 화재 현장에 출동하였습니다. 화재진압 활동 중에 지붕창(dormer)의 옆벽이 예기치 않게 완전히 무너졌습니다. 무너진 잔해는 SCBA를 착용한 진압대원에게 떨어졌습니다. 그의 헬멧과 면체의 일부를 타격하여 그 진압대원은 심각한 부상을 입었습니다. 몇 달간의 치료 후에도 그는 하반신이 마비되었습니다. 그러므로 우리가 활동하는 화재현장에는 네덜란드의 (화재현장에서 벽이 무너지는) 사례처럼 알려진 위험들 외에도 벨기에의 사례(지붕창도 무너질 수 있다)처럼 덜 알려지거나 심지어 잘 알려지지 않은 붕괴 위험들이 있습니다. 잠재적인 붕괴 상황을 감시하는 것은 모든 지휘관(소방관)의 책임입니다. 그러므로 우리는 사고사례를 분석함으로써 그러한 상황에 대한 지식을 늘려야 합니다. 또한 사례분석을 통해 사고 발생 가능성을 줄일 수 있기를 바랍니다.

1.2 Why does a building collapse?

미국에서 Richard Gasaway 박사는 "상황 인식"에 관한 캠페인을 진행하고 있습니다. 그는 소방관들이 주변 환경을 인식하는 것이 중요하다는 것을 가르치려고 노력하고 있습니다. 그의 웹사이트인 www.samatters.com에는 우리가 우리의 환경을 어떻게 알고 있는지에 대한 흥미로운 글들이 많이 올라와 있습니다. 그의 글 중 하나에서 그는 '모든 건물이 무너지는 과정에 있다'는 가설을 공식화하였습니다.

우리 모두는 중력을 알고 있습니다. 중력은 모든 것을 강제로 아래로 끌어당기는 힘입니다. 중력은 모든 건물에도 작용합니다. 모든 건물에는 중력에 대항하도록 설계된 "구조적" 요소가 있습니다. 중력을 제외한 다른 힘들도 그 건물에 작용하게 될 것입니다. 바람은 외벽에 엄청난 힘을 가할 수 있습니다. 모든 구조적 요소(바닥, 벽, 보, 기둥 등)를 통해 다양한 힘이 건물의 기초(foundations)에 전달됩니다.

구조적인 요소들이 원래 기능하는 한, 그 건물은 무너지지 않을 것입니다. 화재로 인해 구조 요소가 약해지면 건물이 붕괴될 수 있습니다. 우리는 붕괴를 예측하기 어렵지만, 어떤 다른 경우(예: 벽이 넘어지는 경우)는 예측이 가능할 수 있습니다.

1.3 Building materials

아래에는 건축에 일반적으로 사용되며 종종 붕괴되기 쉬운 몇 가지 건축 자재가 설명되어 있습니다. 이것은 매우 간단한 설명입니다. 제 목적은 붕괴의 작용원리 중의 일부를 강조하려는 것입니다.

1.3.1 Brick

벽돌은 매우 널리 사용되는 건축자재입니다. 대부분의 경우 벽을 쌓는데 사용됩니다. 벽돌이 쌓여진 벽은 수직력에 대항하는 데 매우 적합합니다. 벽돌은 각 층 바닥의 하중을 기초에 전달합니다. 그러나 벽돌은 측면하중에 약합니다. 석공(건축업자?)들은 축조한 벽돌담이 강한 바람이 불 때 무너질 수 있다는 것을 잘 알고 있습니다. 바람은 벽에 의해 형성된 표면(측면)에 큰 압력을 가합니다. 이 힘이 너무 커지면 벽이 넘어질 것입니다. 벽

상부에 바닥층(horizontal support floor)이 있으면 이 위험이 감소됩니다. 이 바닥층(horizontal support floor)은 바람의 수평력을 흡수하여 다른 벽에 분산시킵니다. 건물의 경사지붕(gables)에서도 마찬가지입니다. 서까래를 붙이고 나면 건물이 튼튼해집니다.



Figure 1 The fixation points of the bales have been partially burnt through. When wind conditions are fierce, these gables may collapse. The chimney is probably attached to the rafters as well. There may be damage at this point also. (Photo: unknown)

화재현장에서는 건물 붕괴로 이어질 수 있는 두 가지 요소가 있습니다. 첫 번째 요소는 나무 서까래가 연소하는 것입니다. 이 과정은 대개 시간이 좀 걸립니다. 우선 화재는 완전히 성장해야 합니다. 그런 다음 화염이 서까래를 완전히 연소시켜 서까래가 무너질 때까지 지속되어야 합니다. 어느 시점까지 지붕은 아직 무너지지 않을 것입니다. 하지만 강풍이 불 경우 경사 지붕은 위험해집니다. 바람의 방향과 세기에 따라 그 경사지붕은 안쪽으로 또는 바깥쪽으로 무너질 수 있습니다. 이러한 현상은 화재진압 중에 아니면 잔화 정리 중 또는 화재가 진압된 후 오랜 시간이 흘러 발생할 수 있습니다. 벽이 지붕을 지지하고 있지 않으면, 지붕이 붕괴될 수도 있습니다.

두 번째 요소는 벽이 가열되는 것입니다. 지붕까지 연소되는 화재는 보통 온도가 매우 높다는 것을 의미합니다. 건물의 벽체는 이러한 온도의 영향을 받습니다. 건물 내부에서는 1,000°C 를 초과할 수 있지만 건물의 바깥쪽은 그렇게 뜨겁지 않을 것입니다. 가열된 물체는 팽창하는 경향이 있습니다. 벽의 안쪽은 팽창하고 싶어할 것이고, 바깥쪽은 팽창하지 않을 것입니다. 그 결과 벽이 뒤틀리려고 할 것입니다. 벽의 하단부는 기초나 바닥에 고정되어 움직일 수 없습니다. 하지만 벽의 윗부분은 헐거워져서 바깥쪽으로 움직일 것입니다. 그러면 벽은 바나나 모양처럼 뒤틀릴 것입니다. 이러한 것들을 가정하면, 뜨거운 내부는 팽창하려고 하고 차가운 외부는 팽창할 필요가 없습니다. 만약 이 과정이 계속된다면, 결국 벽은 무너질 것입니다. 그러므로 화재로 인해 무너지는 벽은 항상 바깥쪽으로 무너집니다.

1.3.2 Steel

강철 역시 널리 사용되는 건축 자재입니다. 강철은 매우 강한 물질이고 또한 부러지기 전에 매우 잘 휘어질 것입니다. 일반적으로 강철 구조물은 붕괴되기 전에 구부러지는 것을 볼 수 있습니다. 강철은 열을 매우 잘 전달하는 재료이기도 합니다. 강철을 가열하면 다른 재료와 마찬가지로 팽창합니다. 따라서 가열된 강철 빔과 강철 트러스 구조는 벽에 엄청난 수평력을 가할 수 있습니다. 이 힘은 너무 커져서 벽이 넘어질 수도 있습니다. 따라서 이 상황에서는 벽도 바깥쪽으로 붕괴 될 수 있습니다.

벨기에의 산업 건축물에 관한 새로운 건물 법률("bijlage 6" in Belgium)에 따르면 산업 건축물은 붕괴 시 건물 내부로 무너질 수 있도록 구조물을 설계해야 합니다. 현대 산업 건축물의 경우 이는 (외부로의) 붕괴 위험이 사전에 제거되었음을 의미합니다.

1.3.3 Wood

목재 빔도 건축물에 자주 사용됩니다. 역사적으로 거대한 들보는 목재 빔으로 만들었습니다. 목재는 비록 인화성 물질이지만 강도가 뛰어난 재료입니다. 바닥층(support floor)을 떠받치고 있는 들보는 건물 화재 발생 시 3 개의 다른 방향에서 화염에 의한 "공격"을 받게 될 것입니다. 바닥과 양측면에서 목재 빔을 이루는 나무가 연소할 것입니다. 그러면 목재 빔의 강도가 약해 집니다. 불이 꺼지거나 빔이 무너질 때까지 이 작업은 계속될 것입니다. 오래되고 거대한 목재 빔의 경우, 화염이 그것들을 충분히 약화시키려면 시간이 좀 걸릴 것입니다.



Figure 2 Wooden trusses (Photo: NIST)

현대 건축물에서는 점점 더 많은 경량 목재가 사용됩니다. 이러한 유형의 건축물은 오랫동안 지붕 구조물에 경량 목재가 사용되어 왔습니다. 대부분의 경우 "일반 서까래"가 사용 됩니다. 이것들은 가로 3.5cm, 세로 18cm 의 나무 널빤지입니다. 이 서까래는 완전히 성장한 격렬한 화재 시에는 빠르게 연소합니다. 너비가 3.5cm 에 불과한 목재 입니다. 최근에는 바닥판 (support flooring)으로도 사용 되고 있습니다. 지하층에서 화재가 발생하면 이 바닥 들이 빨리 무너지는 것은 말할 필요도 없습니다.

북미대륙에서는 경량화 공사가 한 걸음 더 나아갑니다. 그곳에서는 목재 트러스를 사용하고 있습니다(그림 2 참조). 이러한 구조물의 강도는 트러스의 상부 및 하부 목재 사이의 대각선 이음부에 의해 부분적으로 결정됩니다. 이 대각선 연결부는 화재 시 매우 빨리 연소되어 없어질 것이라는 것은 자명합니다. 캐나다에서 행해진 연구에서는 그러한 목재 구조의 내화성이 10 분 미만이라는 것을 보여주었습니다.

1.3.4 Prefabricated concrete

산업용 건축물에서는 조립식 건축방식(prefab concrete)이 자주 사용됩니다(그림 4 참조). 콘크리트로 만들어진(공장에서 미리 제작된) 벽이 철골 구조(steel frame)에 결합되어있는 형태 입니다. 화재가 발생할 경우 벽과 철골 구조를 연결하는 연결부가 심하게 변형됩니다. 이 연결부들이 휘어지고 벽이 무너질 가능성이 있습니다. 특히 높이가 높은 벽이 무너질 경우 잔해가 원래 벽에서 상당히 멀리까지 떨어질 수도 있습니다.

1.4 Avoiding accidents

화재현장에서 언제나 붕괴를 피할 수 있는 것은 아닙니다. 화재는 건물의 하중 지지 능력을 약화시킵니다. 때문에 모든 지휘관들과 대원들이 붕괴 위험을 인식하고 붕괴를 대비 하는 것이 중요합니다. 소방관들이 예측할 수 있었던 붕괴로 순직하는 일은 결코 일어나서는 안 됩니다.

1.4.1 Collapse zone.

모든 소방관들은 붕괴구역이라는 용어가 무엇을 의미하는지 알아야 합니다. 붕괴구역은 벽이 넘어지거나 건물이 무너질 때 잔해가 떨어지는 지역입니다. 일반적인 경험규칙은 '붕괴 구역의 크기가 벽 높이의 1.5 배와 같다.'고 알려져 있습니다.

벽이 무너진 후 진압대원들은 종종 화점에 가까이 다가가기 위해 잔해를 뚫고 전진해야 합니다. 벽이 무너진 후에 이것은 그리 큰 문제가 되지 않습니다. 위험은 없어졌기 때문입니다. 벽이 무너지기 전에, 붕괴구역에 들어가는 것은 매우 위험합니다. 붕괴 시 낙하하는 잔해들이 진압대원들에게 떨어질 수 있기 때문입니다.

1.4.2 Deployment of personnel

화재진압 중 붕괴 가능성을 경계하는 것이 담당 지휘관(안전관)의 임무입니다. 화재 현장에 도착해서 처음에 정신없이 바쁜 순간에는 건물의 붕괴 여부를 확인할 시간이 없을 것입니다. 한편, 대부분의 건물 붕괴는 소방관의 화재 현장 개입의 초기에는 일어나지 않습니다. 단, 근래에 건축물에 점점 더 많이 사용되는 경량 목재 골조는 예외입니다.

장시간의 화재진압 작전에서는 어느정도 시간이 흐르면 모든 진압대원들이 각자의 위치에 배치되어 있을 것입니다. 그러면 최고 현장지휘관과 지휘부들은 스스로에게 물어보아야 합니다. "무언가가 무너질 수 있을까? 무엇이 무너질 수 있을까? 떨어지는 잔해들은 어디로 가게 될까?" 만약 이러한 질문에 대한 대답이 "진압대원, 다른 지원요원, 관계자 또는 민간인의 부상 가능성이 예측된다!"면, 그에 따른 예방 조치를 취해야 합니다.

진압대원들이 올바르게 배치되면(그림 4 참조) 많은 문제를 예방할 수 있습니다. 붕괴 구역 밖에 배치된 진압대원들은 붕괴 발생 시에도 피해를 입지 않은 채로 남아 있을 것입니다. 진압대원들이 건물에서 일정한 거리에 떨어져 배치될 때, 왜 그들이 "이렇게 멀리" 서 있어야 하는지 말해주는 것도 중요합니다. 또한 특정 지역이 출입 금지 구역이라는 것을 모든 소방관들에게 알리는 것도 중요합니다(그림 3처럼 바리케이트 설치). 극단적인 상황에서는 감시대원을 배치할 수 있습니다. 예를 들어, 장시간 동안 진압대원들이 사용했던 건물 내부 진출입 통로가 더 이상 사용할 수 없는 경우입니다. 이것은 극단적인 조치처럼 보일 수 있고 임무를 수행하는 소방관은 아마도 그것을 하는 것을 달가워하지 않을 것입니다. 하지만 우리가 감시대원을 배치하는 것과 중상이나 사망한 소방관이 발생하는 것을 비교한다면, 감시대원의 배치는 실행하기 쉬운 효율적인 조치라고 말할 수 밖에 없습니다.



Figure 3 After a fire only the walls are left standing. Using crowd barriers and barricade tape the collapse zone is outlined. (Photo: Herman De Wit)



Figure 4 A fire in an industrial building made up out of prefab wall panels. Because of the risk for collapse, distance to the wall is kept. Afterwards, any loose panels are removed to eliminate the any risk for collapse. (Photo's: Peter Vangierdegom)

1.4.3 Preventive collapse of walls and gables

화재가 진압된 후 붕괴 위험이 있는 것이 분명해지면 필요한 조치를 취해야 합니다. 최선의 선택은 위험을 완전히 제거하는 것입니다. 소방 지휘부는 벽이 무너지도록 내버려두거나, 잔화정리를 하기 전에 중형 크레인을 동원하여 벽의 일부를 파괴할 수도 있습니다. 강제로 위험한 부분을 쓰러뜨리는 것은 건물주들이 보기 좋아할 일은 아니지만, 붕괴로 인한 부상이나 사망자가 발생하여 지불하는 비용에 비해 재건축 비용이 더 적습니다.

때로는 잔화정리 중에 벽이 불안정한 상태로 내버려두는 선택을 하기도 합니다. 건물이 건축적 가치를 지니고 있기 때문에 이런 일이 일어납니다. 이러한 경우, 더 이상 소방관의 진입이 금지된 구역에 대한 명확한 기준이 제시되어야 합니다(진압활동 중에 아직 파악되지 않은 경우). 해외의 일부 소방서에는 다른 색상 조합을 가진 통제선(바리케이드 테이프)이 사용됩니다(예: 노란색/녹색). 소방관들은 전형적인 통제선(빨간/흰색 테이프)을 무시하는 경향이 있습니다. 이러한 소방활동 중에는 일반적인 통제선(빨간/흰색 테이프)이 민간인의 접근을 거부하는 데 사용되는 반면, 대체 색상의 조합은 즉각적인 위험을 나타내며 모든 사람(소방관 포함)의 접근을 제한하는데 사용됩니다.

1.4.4 To shore

벽에 버팀대(예: 지주목)를 세우는 것은 붕괴 위험을 제거하는 마지막이자 중요한 방법입니다. 특히 불안정한 벽을 세워두기 위한 선택이 이루어졌을 때, 이 벽들은 안정화 될 필요가 있습니다. 때로는 화재 진압 활동이 끝나야 이 작업을 할 수 있습니다. 이러한 버팀대 작업은 전문화된 회사에서 하는 것이 바람직합니다. 화재 진압 후에 실시하는 버팀대 작업에 전문가를 대신하여 소방관들이 작업을 하는 것은 현명하지 못합니다. 왜냐하면 전문가들이 벽과 건물에 버팀대를 세우는 것에 대해 더 잘 훈련되고 적절한 장비를 갖추고 있기 때문입니다.

1.5 Final thoughts - "I have a dream"

저는 마틴 루터 킹의 말을 인용하여 이 글을 마무리하고 싶습니다. 이 글의 첫 번째 사례인 koningskerk(King Church) 화재는 사건 이후 철저히 조사되었습니다. 공공 안전 조사의 최종 보고서("Inspectie voor open bare orden bailigheid")는 220 페이지에 달하는 방대한 최종 조사 보고서입니다. 치명적 사고의 발생과 전개를 전면적으로 재구성하려고 시도

했습니다. 당시 현장에 있던 수많은 사람들이 인터뷰에 응하였습니다. 사고가 어떻게 일어날 수 있었는지에 대한 분석이 나왔고 향후에는 어떻게 하면 동일한 사고를 예방할 수 있는지에 대한 연구가 행해졌습니다. 또한 관련된 교육 과정을 개발하였습니다.

2008년 5월 9일 네덜란드의 De Punt 에서 그 악명 높은 화재가 발생하였습니다. 이 화재로 세 명의 소방관이 순직하였습니다. 소방관, 교수, 직업안전 전문가로 구성된 팀이 구성되었습니다. 2008년 6월 18일(한 달 후) 이 그룹은 우선적인 것들과 가장 중요한 것들을 모아 예비 보고서를 작성했습니다. 2009년 4월 15일, 256 페이지의 최종 분석 보고서가 작성되었습니다. 이 그룹에서 중점을 둔 것은 "누구 탓인가"가 아니라 "다음에 더 잘할 수 있는 것이 무엇인가?"였습니다. 네덜란드 소방국에서 활동하는 모든 사람들에게 이 불행한 사건을 배울 수 있도록 교육용 비디오가 배포되었습니다. 소방관 과정의 내용은 각색되었고 새로운 운영 지침이 개발되었습니다.

네덜란드 소방국은 사고로부터 배우려고 노력하고 있습니다.

벨기에(대한민국)에서도 같은 일을 시작할 수 있을까요? 웨트렌의 열차 참사 같은 대규모 재난(the train calamity in Wetteren)과 소방관이 순직하거나 중상을 입는 것과 같은 사고들로부터 배우려는 노력을 할 수 있을까요?!

제게는 꿈이 있습니다!

2 Bibliography

- [1] *Every building is in the process of falling down*, www.samatters.com, Richard Gasaway, februari 2012
- [2] *Brand in de koninkkerk te Haarlem - onderzoek naar het brandweeroptreden, Inspectie openbare orde en veiligheid (IOOV), maart 2004*
- [3] *IFIW 2010, visit to the Canadian National Research Council, May 2010*
- [4] *Talks with Benito Mahieu and Piet De Vos of the fire service of Waregem*

Karel Lambert