

화재시의 연기 제어

김 신 도

〈서울시립대학교 교수〉

1. 서론

최근 조사에 의하면 화재 1건 당 재해 면적은 줄어들고 있으나 이로 인한 손해액과 사망자, 부상자는 점점증하고 있으며, 특히 화재에 의한 사망자 중 약 80%가 연기에 질식사 사망한다고 보고되고 있다. 이러한 사실은 화재시 열원에 의한 1차적 피해보다 유독성 가스, 연기 등에 의한 2차적 피해가 훨씬 크다는 것을 말해 준다.

일반적으로 화재가 얼마나 빨리 번지는지, 화재에 의해 발생하는 연기의 양이 얼마나 되는지는 잘 알려져 있지 않다. 따라서 화재 발생시 발생하는 연기를 신속하게 배출, 인명 피해나 재산상의 손실을 줄이기 위하여 연기에 대한 인식과 연기 제어 시스템에 대한 관심이 필요하다.

ASTM(American Society for Testing and Materials)과 NFPA(National Fire Protection Association)의 정의에 따르면 연기(Smoke)는 물질의 열분해나 연소시 발생하는 고체, 액체상의 물질과 가스로 구성되어 있는 물질을 뜻한다. 또한 연기 제어(Smoke Control)라 함은 팬을

이용한 공기 흐름과 압력차를 이용하여 연기의 이동을 제어하는 것을 의미한다.

외국에서는 지난 40여 년 동안 공기 중의 오염 물질의 흐름을 제어하기 위하여 공기 흐름과 압력차를 이용하여 왔다. 예를 들면 실험실과 같이 독가스의 위험이 있는 곳, 무진(無塵) 환경이 요구되는 곳, 방사능 오염이 우려되는 장소, 병원과 같이 박테리아의 이동을 막을 필요가 있는 장소 등에 제어 시스템이 채택되고 있다. 또한 화재시 발생하는 연기 문제들을 해결하기 위하여 연기 제어 시스템이 개발되고 있다.

2. 연기 제어

가. 연기 이동

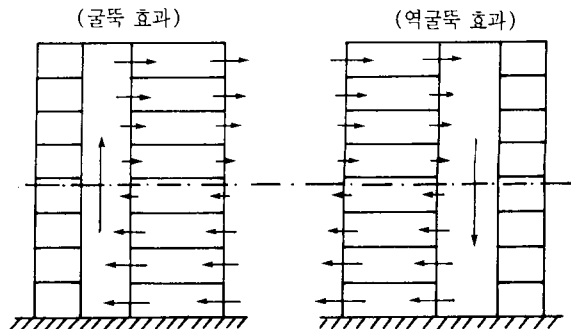
연기를 이동시키는 주요 추진력은 굴뚝 효과(Stack Effect), 부력(Buoyancy), 팽창(Expansion), 바람(Wind), 그리고 공기조화(HVAC) 시스템이다.

(1) 굴뚝 효과

〈그림 1〉에서와 같이 빌딩 내부의 온도가 외기보다 더 따뜻하고 밀도가 낮을 때 빌딩 내의 공기는 부력을 받아 계단, 벽, 승강기 등 건물의 수직 통로를 통해서 상향으로 이동하는데 이를 굴뚝 효과라 한다. 외기가 빌딩내의 공기보다 따뜻할 때는 건물내에서 하향으로 공기가 이동하며 이러한 하향 공기 흐름을 역굴뚝 효과라 한다. 굴뚝 효과나 역굴뚝 효과는 밀도나 온도 차이에 의한 압력차에 기인한다. 일반적으로 굴뚝 효과는 항상 빌딩과 외부 사이에 존재하는 것으로 생각된다. 따라서 건물 내에 누출 통로가 존재하게 된다면 화재가 발생한 층으로부터 다른 층으로의 연기 이동이 가능하게 된다.

(2) 부력

화재에 의한 높은 온도의 연기는 밀도의 감소에 따른 부력을 가지고 있다. 화재 구역과 그 주위 지역 사이의 압력차에 의한 부력에 의해 연기가 이동하게 된다. 화재 구역의 천정에 누출 통로가



화살표 : 공기의 이동

〈그림 1〉 굴뚝 효과와 역굴뚝 효과에 의한 공기의 이동

있는 경우 이 압력차에 의한 부력은 연기를 화재가 발생한 층으로부터 그 윗층까지 이동시킬 수 있다. 또, 이 압력은 연기를 화재 구역의 문 주위나 벽의 누출 부위를 통해 이동시키게 된다. 화염으로부터 연기가 이동할 때 온도가 강하는 열 전달과 희석 작용에 기인한다. 그러므로, 부력 효과는 화염으로부터 거리가 증가할수록 감소한다.

(3) 팽창

부력과 더불어 화재에 의해 방출되는 에너지는 팽창에 의한 공기 이동을 유발시킨다. 단지 1개의 개구부가 존재하더라도 화재 구역에 있어서 빌딩내 찬 공기는 화재 구역 안으로, 뜨거운 연기는 화재 구역 밖으로 배출된다. 일반적으로 건물내 화재 부위의 주변에는 열려 있는 문이나 창문이 존재하며 화재 구역에서 개구부 사이의 압력차는 무시된다.

(4) 바람

많은 경우 바람은 빌딩 내에서 연기를 이동시키는 주요 인자이다. 바람의 영향은 기밀하게 건설되지 못한 빌딩, 창이나 문이 많은 건물에 있어서 더욱 중요하다. 만일 창문이 화재 구역에서 바람부는 반대쪽에 위치한다면 바람에 의한 부압에 의해 연기는 화재 구역으로부터 배출된다. 이것은 빌딩 내의 연기 이동을 크게 감소시킬 수 있다. 그러나 만약 깨어진 창문이 바람부는 방향에 있다면 바람은 연기를 화재가 발생한 층으로부터 다른 층으로 빠르게 확산시키면서 이동시킨다. 이 경우 빌딩 내 근무자나 화재 진압 요원 모두를 위협하게 만든다. 바람에 의한 압력은 상대적으로 커서 빌딩내의 공기 흐름을 쉽게 주도할

수 있다. 따라서 화재가 진행중인 곳에서 창을 부수는 것은 큰 피해를 낼 수 있게 된다.

(5) HVAC 시스템

종종 HVAC 시스템은 빌딩 화재시 연기를 전달하게 된다. 화재 초기 단계에서 HVAC 시스템은 화재 검출에 도움을 줄 수 있다. HVAC 시스템은 사람들이 있는 공간으로 연기를 전달함으로써 사람들이 화재에 기민하게 대처할 수 없게 하기도 한다. 그러나 화재가 진행되면 HVAC 시스템은 화재 구역으로 공기를 제공하여 연소를 돕게되고 이 연기를 다른 지역으로 전달, 빌딩 내 모든 사람을 위협하게 한다. 이러한 이유에서 화재 발생시 HVAC 시스템은 정지하도록 되어 있어야 한다. 건물의 화재는 늘 있는 것은 아니지만 이에 대한 대책을 소홀히 함으로써 큰 화를 당하게 되므로 신중히 검토되어야 한다.

나. 연기 관리

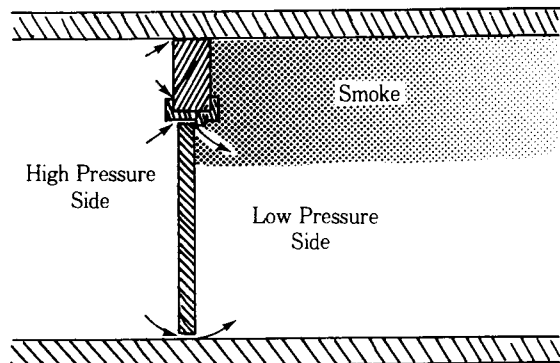
연기 관리라는 말은 건물내 근무자나 화재 진압 요원의 안전을 위해, 또 재산상의 피해를 줄이기 위해 연기의 이동을 조절하기 위한 모든 수단을 포함한다. 벽체 연기 배출구, 연기 통로의 이용이 연기 관리의 전형적인 방법이다.

연기의 이동을 제한하는데 있어서 벽체의 효율은 벽의 누입 통로와 벽 전후의 압력차에 기인한다. 파이프가 벽이나 바닥을 통과하는 구멍, 벽과 바닥이 만나는 갈라진 틈과 문 주위의 틈이 누입 가능한 통로들이다. 이들 벽체 전후의 압력차는 앞에서 기술한 굴뚝 효과, 부력, 바람, HVAC 시스템에 기인한다.

연기 배출구와 연기 통로의 효율은 화재 발생지와와의 근접성, 연기의 부력과 다른 추진력의 존재에 기인한다. 스프링클러에 의한 진화 작업은 연기를 냉각시켜 연기 배출구와 연기 통로의 효율을 오히려 크게 감소시킨다. 화재시 빌딩 내에서 승강기 통로는 연기 통로로 이용된다. 그러나 이들 통로는 연기를 화재 발생지로부터 멀리까지 이동시키기도 한다. 따라서 화재 발생층 이외의 층에서의 누입이 없도록 특별히 설계된 연기 통로가 모색되어야 한다.

다. 연기 제어

연기 제어는 공기 흐름을 막는 구조물과 기계적으로 팬에 의해 발생하는 압력차를 이용한다. <그림 2>는 연기의 이동을 제어하기 위해 설치된 벽 전후의 압력차를 나타내고 있다. 벽내에 문이 있다



(그림 2) Pressure difference across a barrier of a smoke control system preventing smoke infiltration to the high pressure side of the barrier

면 문의 고압력부는 도피 지역 또는 탈출로이어야 하며, 저압력부는 화재로 발생한 연기가 흐르도록 설계되어야 한다. 문 주위의 틈과 다른 건축물의 틈을 통한 공기의 흐름은 연기 누입을 막는다. 문이 열려 있을 때, 열려 있는 문을 통해 공기가 이동하게 된다. 공기의 유속이 낮을 때는 <그림 3>과 같이 연기가 공기의 흐름과 반대로 도피 지역이나 탈출로로 흐를 수 있다. 그러나 <그림 4>와 같이 공기의 유속이 충분이 클 때는 연기의 역흐름은 없어지게 된다. 역흐름을 막기 위해 필요한 유속의 크기는 화재시의 에너지 배출량에 기인한다.

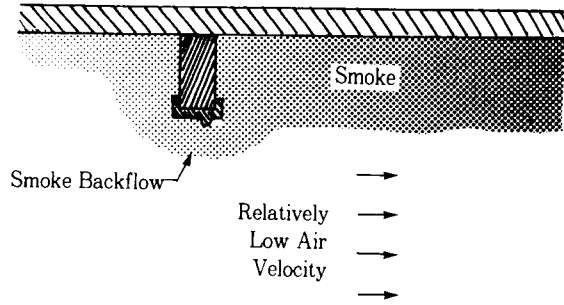
연기의 제어에는 다음의 2가지 기본적인 원칙이 있다.

첫째, 공기의 평균 유속이 충분한 크기라면 공기의 흐름 자체로써 연기의 이동을 제어할 수 있다.

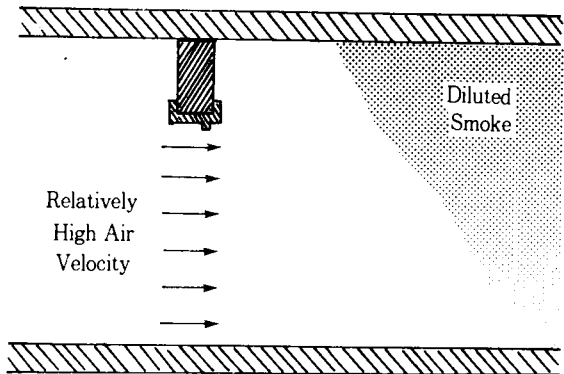
둘째, 벽 전후의 압력차로 공기의 이동을 제어할 수 있다.

연기를 제어하기 위한 벽 전후의 압력차의 이용은 종종 가압(Pressurization)이라는 말로 표현된다. 가압은 닫혀진 문 주위의 작은 틈새와 건축물의 틈을 통한 빠른 공기의 유속을 발생시킨다. 그러므로 이들 개구부를 통한 연기의 역흐름을 방지할 수 있다.

또한 수동적 연기 관리에 비해 연기 제어는 굴뚝 효과나 부력, 바람의 영향을 덜 받는다. 연기의 제어가 없는 경우에는 이들 추진력이 연기의 이동을 주도하게 된다. 그러나 연기 제어 시스템이 가동되면 압력차와 공기의 흐름이 이들 추진력을 방해하게 된다. 또 연기 제어는 공기의 흐름에 의해 벽내의 열린 문을 통해서도 연기



<그림 3> Smoke backflow against low velocity through an open doorway



<그림 4> No smoke backflow with high velocity through an open doorway

가 흐르지 않도록 설계할 수도 있다. 연기의 이동은 단순히 화재가 발생한 곳에 많은 양의 공기를 제공하여 희석하는 것으로는 제어할 수 없다.

따라서 누입 면적, 기상 데이터, 압력차, 공기량, 열린 문의 수 등이 고려된 안전하고 경제적인 연기 제어 시스템의 설계가 필요하다.

3. 맺는 말

오늘날 건물이 대형화되고 고층화되어 감에 따라 화재 발생시 많은 인명 피해와 재산상의 손실이 예상되고 있다. 그러므로 방재 대책으로는 화재 발생시 신속한 진화와 연기 제어 시스템의 설치가

불가피하다. 연기를 제어한다는 것은 화재시 발생하는 연기를 건물 밖으로 배출함으로써 인명의 피해를 줄이는 데 그 목적이 있다고 할 수 있다.

대부분의 건물들이 자동 진화장비를 가지고 있어 화재의 대형화나 번짐을 막을 수 있지만 연기의 이동을 제거하거나 감소시키지는 못한다. 반면에 잘 설계된 연기 제어 시스템은 배출 통로를 따라 연기를 신속하게 배출시켜 안전한 상태를 유지할 수는 있으나 화재 진압 자체에는 별 영향을 끼치지 못한다. 따라서 화재 진압 장비와 연기 제어 시스템 사이의 상호작용이 충분히 고려되어야 한다.