

북미 초고층건물에서 화재시 연기이동경로 사례

70년대 북미에서 있었던 화재의 사례를 근거로 초고층건물에서 연기의 이동경로를 소개한다.

유민영

현대건설(주) 기술개발원 기술연구소(minyoungyu@hdec.co.kr)

차광석

현대건설(주) 건축사업본부(kscha@hdec.co.kr)

박명식

현대건설(주) 기술개발원 기술연구소(mspark@hdec.co.kr)

서론

열보다 연기는 화재시 빌딩내 거주자를 위협하는 주된 위험으로 여겨진다. 화재가 대체로 발생 구획에 제한되는 반면 연기는 인접한 공간과 화재 근원지로부터 떨어진 빌딩내 구역으로도 잘 퍼진다. 연기는 계단과 엘리베이터와 같은 비상탈출경로를 오염시키고 거주자를 묶고 안전지역으로 탈출하지 못하게 막는다. 따라서 열보다 연기에 많은 사람들이 노출되기 쉽고 이로 인해 열에 의한 부상보다 연기 흡입으로 인하여 사망하는 경우가 더 많다.

연기는 특히 완전 피난을 위하여 많은 시간이 걸리는 빌딩에서 심각한 재해가 된다. 이 위험은 빌딩의 높이에 따라 증가한다. 이는, 빌딩내부가 연기로 차는 데 걸리는 시간이 피난에 걸리는 시간 보다 짧기가 쉽기 때문이다. 이런 맥락에서 고층빌딩은 피난 시간이 과도하다고 여겨지는 모든 빌딩으로 정의된다. 고층 빌딩은 소방설비관점에서 6층 이상으로 이루어진 빌딩으로 정의되기도 한다. 왜냐하면 고가 사다리로서 소방수가 닿을 수 있는 범위를 넘는다고 여겨지기 때문이다. 이런 빌딩에서 화재는 내부에서 소화하여야 한다. 이것은 화염에 접근하고 조절하는

데에 시간지연을 유발하고 따라서 빌딩내로 퍼지는 연기를 막는데에 지연을 유발한다.

20세기 전반부에 고층빌딩은 연기재해 문제의 주된 원인으로 여겨지지 않았다. 이는 부분적으로 당시 가연성 벽체와 천장 라이닝 재질의 사용이 제한적이었고 많은 구획으로 이루어졌기 때문이다. 그러나, 1950년 이래로 빌딩의 설계, 건축, 거주 관행에 대한 변화가 화재 하중의 증가와 빌딩내 구획의 감소를 가져왔다. 현대식 빌딩 내의 가연성 가구, 단열과 절연, 천장 타일, 파티션, 그리고 내부 라이닝은 이전 빌딩과 비교할 때 화재하중의 증가를 가져왔다. 더우기 화재시 짙은 연기를 뽑는 재질이 많은 이전 불연성 재질들을 대체하였다. 또한 많은 현대 빌딩들에서 공통적인 중앙 개방공간의 증가에 따라 화재구획의 크기도 증가하였다.

북미 고층빌딩의 화재

지난 30년간 북미지역의 어떤 화재들은 현대식 고층빌딩에서 심각한 화재가 발생하고, 이러한 화재에 의하여 엄청난 양의 연기가 생성되어 전체 빌딩내에 급속도로 확산될 수 있다는 것을 보여주었다. 또

한 방재구획의 사용에도 불구하고 화염이 층간으로 확산할 수 있다는 것을 보여 주었다. 여기에 기술되는 예들은 연기이동과 이들 빌딩내에서 연기재해가 증가하는 원인이 되었던 건축적 특성들을 상세히 열거하고 있다.

One New York Plaza, New York, NY- August 1970

오후 5:50, 경비원이 50층짜리 사무실 빌딩의 33층 천장에 있는 틈으로 연기가 나오는 것을 감지하였다. 빌딩은 완공된지 얼마 안되었고 부분적으로 입주하고 있었다. 32층 근무자 중에 4명이 불길을 찾을 수는 없었지만 연기냄새를 맡았고 33층에서 남동쪽 코너의 사무실로부터 짙은 검은 연기가 다가 오는 것을 보았다. 2명의 경비원과 전화국 직원이 39층 거주자들에게 화재사실을 알리기 위하여 엘리베이터를 탔다. 엘리베이터가 올라가다가 33층에서 멈췄다. 문이 열리고 연기와 화염이 밀려왔다. 엘리베이터는 움직이지 않았다. 경비원들은 타 죽었고 전화국 직원은 살아남았다. 다른 거주자들은 비상통보를 받고 피난하였다.

짙은 연기가 빌딩내 여러 층에 퍼졌다. 소방서는 알람이 울린지 3분만에 대응하였다. 그러나 그 때는 33층, 34층이 완전히 화염에 휩싸여서 소방대원들이 거의 손을 쓸 수 없었다. 5시간 만에 화재는 진압되었으며 천만달러의 손실을 가져왔다. 2명의 사망자와 50명이 넘는 부상자를 낳았다.

화재 발견 후 30분만에 화재의 강도는 너무도 강하여 33층 남쪽 지역의 모든 가연성 재질들이 타버렸고 화염은 같은 층 서쪽 지역으로 퍼져나갔다. 화재 초기에 공기 공급장치는 중단되었으나 한동안 반송송풍기(return air fan)는 작동하였다. 반송송풍기에 의해 유도된 중앙부로의 공기흐름 때문에 화염은 반송공기샤프트(return air shaft)쪽으로 퍼졌다. 화염은 전기, 전화실을 통하여, 층을 관통하는 공조용 플렉서블 덕트 주위의 공간을 통하여, 우편물 배달장치를 통하여, 그리고 층내의 전기연결(아마도 케이블)을 통하여 34층으로 전파하였다. 화염은 또한 35층으로 퍼졌다. 외벽의 플라스틱 단열재는 화염을 발화시키고 천장내 숨겨진 공간을 통하여 화염이 퍼질 수 있게 하였다. 또한 공조 덕트 주변의 공간을

통하여 퍼져나갔다.

연기이동(Smoke migration)

연기는 공급덕트를 통하여 이동하였다. 일부는 여러 층으로 연결된 반송공기샤프트(return air shaft)를 통하여 이동하였다. 연기는 거의 모든 층이 피난해야 할 만큼 짙었다.

이 화재는 현대식 고층, 개방형 사무실 빌딩의 초기 대형 화재 중의 하나였다. 이 화재는 층간 화염의 전파 위험성, 빌딩 전체로의 연기 확산, 엘리베이터 작동의 실패, 그리고 연기의 환기에 있어서의 어려움을 시사하였다. 또한 소방서에 연락하고 거주자를 빌딩에서 대피시키는 화재 전 계획의 필요성을 인식시켰다.

Hyatt Regency O'Hare Hotel, Rosemont, IL - April 1973

10층짜리 Hyatt Regency O'Hare Hotel은 아트리움을 둘러싼 외벽을 따라 객실과 아트리움으로 연결된 복도가 배치되어 있다. 방에서 외벽으로 확장된 발코니가 있었고 원형계단을 포함한 원형타워가 아트리움의 사방에 위치하였다. 엘리베이터가 아트리움의 중앙에 위치하였고, 복도에서 엘리베이터 사이에 계단이 있었다. 아트리움은 연기탐지 시스템에 의해 작동되는 연기배기 시스템을 갖추고 있었다.

1,000여명의 투숙객 중에서 한명의 사상자도 없었으며 한사람만이 약간의 치료가 필요하였다. 화염은 아트리움과 연결된 공간내에서 연기가 얼마나 빨리 생성되는지를 보여주었다. 연기에 의한 피해는 아트리움과 인근 객실에서 심각하였던 것으로 보고되었다.

연기이동(smoke migration)

화재는 1층의 스프링클러가 없는 나이트클럽에서 발생하였다. 오전 4:30에 발견되었으며 연기는 아트리움으로 향하는 출입구에서 나오는 것이 보였다. 소방대원들이 도착하였을 때 아트리움이 연기로 가득 차서 대부분의 아트리움 내부에서 3 m 이하의 가시거리 밖에 확보할 수 없었다. 아트리움 연기배기 시스템은 시스템이 꺼져 있어서 작동하지 않았다. 화재 초기에 일부 거주자들이 원형계단으로 탈출하였고 다른 사람들은 외부 발코니를 통하여 탈출하거나 발코니 문을 열은 채로 방에 남아있었다.



MGM Grand Hotel, Las Vegas, NV- November 1980

MGM Grand Hotel은 26층의 객실과 1층에 대규모의 카지노, 영화관, 그리고 컨벤션센터를 가진 건물이다. 객실건물은 3개의 날개를 가지고 있으며 이중구조의 복도가 각 날개에 두 개씩 있는 계단으로 연결되어 있다. 각 날개는 그 끝에 가압 계단통로(stairwell)와 부속된 기계식 환기현관(방연 타워(smokeproof tower))과 엘리베이터 로비와 날개 끝 사이의 중간에 있는 내부 계단으로 이루어져 있다. 투숙객들은 어느 층의 계단으로나 진입할 수 있으나 출구 층을 제외하고는 같은 층으로의 재진입을 막기 위하여 계단 문이 잠겨있다. 따라서 투숙객들은 계단으로 들어서면 1층까지 계단을 따라 내려가서 빌딩 밖으로 통로를 걸어 가도록 되어 있다. 이 계단들은 지붕으로 이어지지만 옥상으로의 문은 평상시 잠겨있다.

공조기를 거친 공기는 복도와 객실 층의 엘리베이터 로비로 천장의 유니트를 통하여 공급된다. 보충 공기는 객실문 위쪽으로 복도를 따라 설치된 그릴을 통하여 공급된다. 이 그릴들은 퓨즈식 화재 댄퍼가 설치되어 있다. 또한, 공기는 복도를 통하여 팬코일 유니트를 통해 벽체에 있는 덕트를 통하여 객실로 통하게 되어 있다. 마지막으로 객실내 화장실 배기와 전선등을 위한 수직샤프트들이 다수 존재하였다.

화재는 1층의 레스토랑에서 레스토랑이 문을 닫던 시간에 시작하였다. 카지노에서 대피하라는 공지 방송을 제외하고는 아무런 경보도 작동하지 않았다. 화재의 결과로 85명의 사망자와 600명의 부상자가 나왔다. 카지노 층의 18명의 사망자는 심한 화상과 연기 질식으로 사망하였고 호텔 객실의 16층에서 26층 사이에서 발견된 61명의 사망자는 연기 질식으로 사망하였다. 지붕에서 발견된 3명의 희생자 중 2명은 병원에 도착했을 때 사망하였고 1명은 병원에서 일주일만에 사망하였다.

연기이동(Smoke migration)

화재는 주방과 식당을 잇는 공간(serving station)에서 시작하여 레스토랑을 뒤덮었다. 한 직원이 출입문을 열었을 때 문을 통하여 카지노쪽으로 옮겨갔다. 레스토랑과 카지노에서 불길의 확산되고 있을 때, 천장위의 빈 공간을 통하여 대량의 연기가 확산

되었다. 방호되지 않은 몇 개의 수직개구부와 밀폐가 덜 된 개구부들을 통하여 고층부로 확산되었다. 이 수직 개구부 중에는 지진대비용 조인트(seismic joints), 내부계단, 방연계단실(smokeproof stair enclosures), 화장실 배기샤프트, 그리고 다른 서비스용 유입구들, 예를들어 파이프샤시 등이었다.

승객용 엘리베이터의 승강로는 카지노 층의 엘리베이터 문이 열려 있었고, 두 대의 엘리베이터 케이블이 끊어지면서 연기 확산의 대로가 되었다.

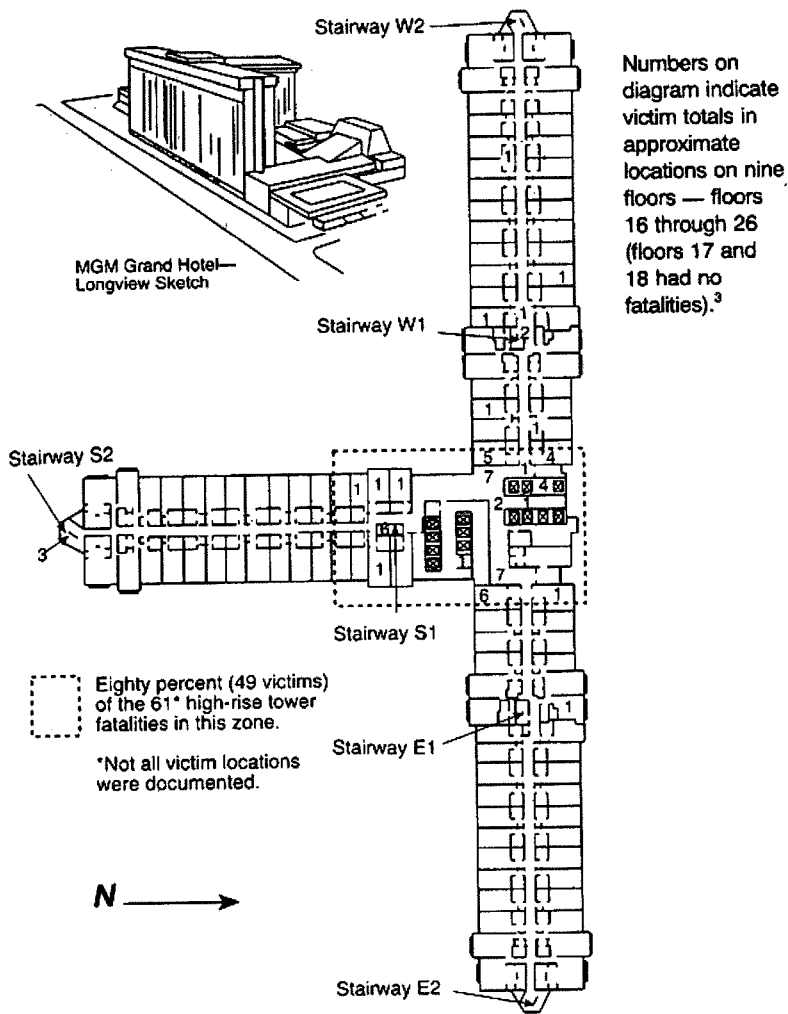
복도로 공기를 공급하는 공조 유니트는 계속 운전되면서 엘리베이터 샤프트를 통해 들어온 연기가 섞인 공기를 펜트하우스에 공급하고 샤프트에서 펌핑하여 객실 복도로 공급하였다. 더우기 객실의 보충공기를 제공하는 팬코일유니트는 공기를 복도에서 뽑기 때문에 팬코일 유니트가 작동 중이던 방은 복도에서 연기가 내부로 유입되었다. 화장실 환기시스템으로도 연기가 욕실로 새어 들어왔다. 사망자가 난 방의 절반에서 투숙객들이 창문을 켜다. 객실을 통하여 연기를 밖으로 환기시키려는 이러한 시도는 연료효과에 의해서 연기를 복도에서 객실로 유입시켰다.

표 1은 호텔에서 사상자가 생긴 위치를 보여준다. 이는 화재시 연기의 이동을 보여주는 자료이다. 호텔에서 발생한 사상자의 모두가 빌딩의 중성대(mid-height)보다 높은 15층 이상에서 발생하였다.

그림 1은 Grand Hotel의 layout과 희생자 위치를 나타낸다.

<표 1> Location of Fire Fatalities in the Tower of the MGM Grand Hotel

층수	객실	복도	계단	엘리베이터	합계
26	-	-	-	1	1
25	3	2	1	-	6
24	1	9	-	-	10
23	8	3	3	-	14
22	1	1	1	-	3
21	5	1	2	-	8
20	4	6	-	4	14
19	2	-	2	-	4
18	-	-	-	-	0
17	-	-	-	-	0
16	1	-	-	-	1
합계	25	22	9	5	61



[그림 1] MGM 그랜드 호텔에서 사상자의 건물내 위치

Inn on the Park Hotel, North York, ON - January 1981

Inn on the Park는 23층의 육각형 구조로된 대형 호텔이다. 1, 2층으로는 옆의 부속 건물과 복도를 통해 이어지게 되어 있는 복잡한 구조로 되어 있다. 객실 층은 육각형이고, 객실은 외벽쪽으로 위치하고 있다. 복도는 중앙부의 승객용, 서비스용 엘리베이터로 연결되고 3개의 승객용 엘리베이터는 1, 2 층과 객실층에서 열리도록 되어있다. 반면 서비스용 엘리베이터는 서비스 엘리베이터 로비에서 열리도록 되어 있다.

어 있다. 5대의 엘리베이터 외에 중앙부에 2개의 계단통로(stairwell)이 있으며 자물쇠는 없지만 저절로 닫히는 문을 열고 들어가야 한다. 계단통로 중의 하나는 화재가 발생한 세미나 실이 있는 2층으로 연결되어 있었다.

화재는 2층 세미나 실의 전기 배선반에서 새벽 2:15에 발생하여 인근 방으로 퍼져나갔다. 세미나실은 삼면이 유리벽으로 되어 있었고 빌딩의 외벽에 해당하였다. 이들 유리벽 중 일부가 세미나실을 호텔과 연결된 복도와 분리시키고 있었다.

4명이 연기질식으로 서쪽 계단통로에서 사망하였다. 또 다른 2명이 22층에서 사망하였으며 이중 한명은 객실에서 한명은 복도에서 사망하였다. 67명의 부상자가 발생하였다.

연기이동(Smoke migration)

화재발생시 외부온도는 영하 15도였고 풍속은 18 ~ 29 km/hr(5 ~ 8 m/s)였다. 외부온도는 연돌 효과를 일으킬 만큼 낮았다. 화재가 발견된 후의 연기이동 패턴을 고찰하여 보면 MGM Grand Hotel의 경우와 마찬가지로 승객용 엘리베이터 샤프트는 연기이동의 주경로가 되었다. 연기이동에 영향을 준 다른 수직 축은 서쪽 계단과 서비스 엘리베이터였다.

화재시 두 대의 엘리베이터 승강문이 2층에서 열려 있었고 연기가 6층에서 22층에 걸쳐있는 객실층으로 이동하였다. 오염은 최고층으로 갈수록 심하였다. 연기는 샤프트를 통하여 복도로, 복도에서 객실로 퍼져나갔다. 서쪽 계단통은 호텔 투숙객이 지붕으로 가는 문을 열었을 때 환기가 되었다. 서쪽 계단통로는 지붕으로의 개구부뿐만 아니라 2층 세미나실 창문이 깨진 것에도 영향을 받았다. 세미나실 층의 서쪽 계단통로 문은 자물쇠가 없어서 화재시 연돌효과에 의해 나타나는 압력을 견딜 수 없었던 것이다.

First Canadian Place, Toronto, ON - June 1983

First Canadian Place는 72층짜리 사무용 건물로 컴퓨터에 의해 제어되는 공기 공급송풍기와 댐퍼가 계단통과 엘리베이터 샤프트로 연기가 이동하지 못하게 막도록 되어 있다. 이 건물은 4개의 계단통로가 있으며 방화벽(fire-rated wall)으로 구획되어 중앙부에 위치하고 있다. 보안상의 이유로 매 5층만 층내로 출입이 가능하게 되어있다. 그리고, 이 건물은 모두 스프링클러가 설치되어 있다.

화재가 난 날 34층 접수계원이 로비문의 서비스 엘리베이터 아래서 연기가 나오는 것을 목격하였다. 그리고 그녀는 서비스 엘리베이터 로비에서 스프링클러가 작동되는 소리를 들었다. 다른 사람들에게 알려려고 할 때, 33층, 34층, 35층에서 경보가 울렸다. 그 시간에 그녀는 소방서에 전화를 하고 있었다.

서비스 엘리베이터의 스프링클러가 작동했을 때

빌딩콘트롤 센터의 제어판에 달린 알람이 작동하였다. 화재를 발견한 접수계원은 또한 콘트롤센터에 연락하여 화재의 발생장소를 확인하여 주었다.

화재는 단 하나의 스프링클러에 의해 조절되었다. 화재가 난 층과 바로 위, 아래층은 모두 피난하였다. 다른 층의 피난은 단계적으로 이루어 졌다. 바로 위, 아래 5개층씩으로 시작하여 20 ~ 71층까지의 거주자가 피난하였다. 추측컨대 이 피난 계획은 불이나지 않은 층의 거주자들이 연기냄새를 맡고 수동으로 화재 경보를 작동하였기 때문에 확대되었다.

첫 경보가 울리고 51개 층의 거주자들, 약 10,000명이 빌딩밖으로 피난하였다. 5명의 경상자가 보고되었으며 피난 중의 화상에 의한 것이었다.

연기이동(Smoke migration)

화재 중 짙은 연기가 발생한 것이 보고 되었다. 이 중 일부는 서비스 엘리베이터 샤프트로 유입되었다. 34층의 서비스 엘리베이터 로비 문이 소방대원들에 의해 열렸을 때 연기는 근방 승객용 엘리베이터 지역과 엘리베이터 샤프트로 퍼져나갔다. 이때 퍼진 연기가 다른 층에서 맡은 연기 냄새의 주범이었던 것으로 추측된다. 계단으로는 연기가 보이지 않았던 것으로 보고되었다. 화재층으로부터 10 ~ 20층 떨어진 곳의 거주자들은 사고시 연기냄새를 맡을 수 있었다. 이로 인하여 수많은 이차 경보가 빌딩 콘트롤 센터에 들어왔다. 빌딩관리자는 또한 1층으로도 주엘리베이터를 통하여 연기가 내려왔다고 보고하였다.

경보접수 직후 컴퓨터로 작동하는 기계식시스템은 수동으로 화재 모드로 들어갔다. 화재모드로 들어가면 모든 빌딩의 팬이 즉시 정지된다. 다음으로 계단통로와 엘리베이터 샤프트로 향하는 외부 공기 댐퍼가 열리고 건물내부로 향하는 공급 공기 댐퍼가 닫힌다. 컴퓨터는 그 후 외부 공기팬을 재시동하고 이것이 계단과 엘리베이터 샤프트를 가압하여 수직 샤프트로의 연기이동을 최소화하게 된다. 반송공기샤프트로 향하는 모든 반송공기댐퍼는 닫힌다. 이 때, 34층의 반송공기댐퍼는 수동으로 열렸고 반송공기팬들이 재시동되어 화재층으로부터 외부로 연기가 배기되었다.

이 화재는 캐나다에서 연기제어장치가 설치된 고층사무용 빌딩중 최초로 일어난 화재였다. 결과는 연기 제어 장치가 설계대로 작동하였다.

First Interstate Bank of California, Los Angeles, CA - May 1988

First Interstate Bank of California는 1973년에 지어진 62층, 중앙식 사무용 건물이다. 이 건물은 중심에 위치한 4개의 주 계단을 가지고 있다. 각 계단통로는 방연 타워로 건축되었다. 스프링클러 시스템은 90% 완성되어 있었다. 12층의 개방형 오픈플랜 사무실에서 화재가 발생하였다. 화재가 난 지역에서는 모듈형 사무용 가구가 있었고 많은 개인용 컴퓨터와 터미널들이 증권 및 채권 트레이터들에 의해 사용되고 있었다. 불은 12층 위로 확산되었다. 빌딩의 외부와 층 슬라브의 가장자리를 따라서 주로 확산되었다. 불은 45분에 한 층 정도씩 전파되었고 각 층에서 90분간 맹렬히 타올랐다. 화재는 16층에서 마침내 멈췄다. 3시간 반의 소방활동의 결과였다. 화재시 스프링클러 시스템은 작동하지 않았다.

12층의 연기 감지기에서 첫 경보가 울렸다. 그러나 보안 담당자에 의해 감지기는 리셋되었다. 2분 후, 12층의 3개의 감지기가 더 경보를 울렸다. 그러나 이것들도 리셋되었다. 2분후 4개의 감지기가 또 울렸지만 리셋되었다. 첫 감지가 작동 후 6분이 지나고 수많은 감지기가 12 ~ 30층 사이에서 작동하였다. 관리인은 12층에 화재가 났는지 보러 갔다. 그는 서비스 엘리베이터의 문이 화재 층에서 열렸을 때 사망하였다.

이 화재로 인한 재산상의 피해는 약 미화 2억달러가 넘을 것으로 추산한다. 이 화재는 스프링클러 시스템과 적절한 구획이 없는 현대식 건물에서 수직, 수평 화염 확산이 매우 빠르게 일어난다는 것을 보여주었다. 비슷한 고층 화재가 Philadelphia, PA에 있는 38층짜리 건물인 One Meridian Plaza에서 있었다. 1991년에 22층에서 29층까지 퍼진 화재에서 수직 확산은 30층의 자동 스프링클러 시스템에 의해 멈췄다. 화재 당시 전체 건물은 완전 스프링클러 시스템으로 보수되었다.

연기이동(Smoke migration)

서비스 엘리베이터는 지상층에서 62층까지 운전되었고 전 층으로의 연기 확산의 주 경로가 되었다. 여러 층의 감지기가 작동한 것으로 보아 연기는 화재 층에서 윗층으로 순식간에 퍼졌다. 방연타워는 연기

를 계단통로에서 차단하는데 실패하였다.

로비문은 승객 엘리베이터를 보호하기 위하여 12층을 비롯한 여러 층에 설치되어 있었다. 그러나 엘리베이터 로비 문이 아직 설치되지 않은 층을 통하여 엘리베이터 샤프트는 연기와 열전달에 추가적인 경로가 되었다.

빌딩내 연기이동에 대한 건축관행의 변화에 따른 영향

고층빌딩은 대도시의 상승하는 땅값을 만회하기 위한 표준이 되어왔다. 전기식 자동 엘리베이터의 출현과 더불어 빌딩의 높이는 증가하였다. 대규모 화재의 경험으로 방화(防火)식 건축에 의한 화재안전에 대한 진보가 이루어졌으나 이로 인하여 빌딩의 높이는 더욱 증가하였다. 철골구조의 빌딩이 지주식(bearing-wall) 건축을 대체하였다. 지주식 건축은 저층의 유효공간을 줄이는 단점이 있었다. 내부 환경의 제어를 개선시키는 공기조화시스템과 기계식 환기시스템의 증가로 인하여 전체층 규모가 증가하였다. 이로 인하여 창문의 크기를 최대화 하고 현재 가장 인기있는 사무용빌딩의 계획이 된 중앙식 사무용빌딩의 디자인이 나타났다. 빌딩디자인의 이런 변화는 다음과 같은 두가지 심각한 문제를 가져왔다. 첫째, 층공간의 적은 구획은 대규모 화재의 가능성을 낳았다. 둘째, 보다 높은빌딩은 거주자에 대한 연기 질식의 위험을 증가시키고 완전대피에 걸리는 시간을 증가시켰다.

초기에 빌딩은 배관망에 의한 스팀과 온수시스템으로 난방을 하였다. 난방시스템은 이후 수/공기 또는 공기시스템으로 전환하였다. 공기난방 시스템은 공조된 공기와 환기를 위한 외부공기를 운반하기 위한 공기덕트를 갖추게 하였다. 이런 공기분산덕트는 빌딩 전체공간을 서로 연결하게 되었고 화재시 연기가 이동하는 추가 경로가 되었다. 예전에는 환기를 위한 외부공기는 수동식 창문과 외부로 난 틈으로의 침투에 의하여 이루어 졌다. 빌딩의 높이가 올라감에 따라 수동식 창문은 고정된 판유리로 바뀌었고 외기를 공급하는 기계식 환기시스템으로 대체되었다.

1970년대의 에너지위기는 다음과 같은 두가지 큰 변화를 가져왔다. 첫째, 외부공기침투를 줄이고 냉/



난방 부하를 줄이기 위한 보다 치밀한 외벽의 공사. 들째, 에너지 낭비가 심했던 재열시스템에서 변풍량 공기시스템(VAV)으로의 변화였다. 또한 환기를 위한 외부공기의 유입을 줄이는 방향으로의 변화를 가져왔다. 에너지위기에 대처하는 방안들은 “메스꺼운 빌딩(sick building)” 증후군을 낳았다. 내부공기의 질적저하 결과였다. 오늘날의 경향은 거주자, 빌딩 재질, 집기류 및 설비에 의한 내부공기오염을 희석하기 위하여 외부공기 공급을 증가하게 하였다. 또 다른 경향으로는 중앙식 HVAC 시스템을 대체하여 층별 난방, 환기 및 공조 시스템의 사용이 나타났다. HVAC 관행의 변화는 연기제어 시스템의 설계에 영향을 미쳤다. 왜냐하면 이들 시스템이 연기를 반대로 확산시키거나 연기이동을 제어하는데에 사용될 수 있었기 때문이다.

아트리움을 가진 빌딩

거대빌딩의 아트리움은 1963년 Atlanta에 23층 짜리 Hyatt Regency Hotel을 지은 건축가인 John Portman에 의하여 소개된 상대적으로 최근의 건축적인 특성이다. 이후로 사나운 날씨로부터 보호되는 거대한 내부공간을 제공하는 아트리움 빌딩은 상당한 인기를 얻었다. 거주자들은 그들의 공간밖의 활동과 밀접하게 연결되었고 조각, 장식 그리고 주변 경관들을 즐길 수 있게 되었다.

아트리움은 빌딩내의 층간공간을 서로 연결하고 따라서 전통적인 층별 구획에 의한 화재 확산과 연기이동의 제한원칙과 대비 되었다. 재난의 위험성이 증가하게 되었으므로 모든 미국과 캐나다 빌딩 규격에서 아트리움과 인근 층내 공간에 스프링클러 시스템을 의무화 하였다. 스프링클러는 층내공간에서 화염을 억제하는데 매우 효과적이었다. 그러나 20m가 넘는 높이의 아트리움에서는 지연응답으로 인하여 덜 효과적이었다. 또한 스프링클러에서 나오는 물 때문에 연기가 덜 올라오고 아트리움 층에서 머물게 하였는데 이는 아트리움 전체와 인근 공간이 단시간내에 연기로 오염되어 거주자, 특히 탈출에 시간이 덜 걸리는 바로 윗층의 거주자들의 생명을 위협하였다. 현재까지 설계자들이 이러한 아트리움 빌딩의 재난을 평가하고 이런 빌딩들의 연기제어 시스템을 평가할 만큼 많은 화재경험이 없다.

고층빌딩 내의 연기위험에 대한 연구

고층빌딩에서의 연기이동과 긴 피난시간은 선진국에서 안전시스템에 대한 위협으로 인식되어 왔다. 캐나다에서는 1960년대 초반에 NRCC에 의해 처음으로 이문제가 제기되었다. 고층빌딩에서 연기이동에 영향을 주는 연돌효과와 빌딩 공조시스템에 의한 공기이동에 대하여 9 ~ 45층의 사무용건물에 대한 실측이 수행되었다. 1970년 판 The National Building Code of Canada와 이후 북미규격에서 소개된 다양한 연기 제어방안에 대하여 수학적 모델이 개발되었다.

1970년대에 NRCC의 연구자들은 몇 개의 고층빌딩에 대하여 비화재 조건하에서 실측을 수행하였다. 이는 연기제어 기술을 조사하고 설치된 연기제어 시스템의 성능을 평가하기 위함이었다. 1980년대와 90년대에 이들 연구는 10층짜리 실험용 화재빌딩에서 화재시 조건까지 확장되었다.

1968년 처음으로 화재위험에 대한 지속적인 심포지움이 ASHRAE에 의해 뉴욕 Lake Placid에서 열렸다. 여기서 HVAC 시스템과 관련된 화재 위험과 고층빌딩에서의 연기이동에 대한 화재위험에 대한 논의가 있었다. 다른 심포지움이 1969년 4월에 영국의 Watford College of Technology에서 열렸다. 여기서는 연기의 생성과 이동, 그리고 연기오염으로부터 피난통로의 보호에 대한 논의가 있었다.

1970년대에 서울, 보고타, 그리고 상파울로에서 대규모의 고층빌딩 화재가 있었다. 결과적으로 고층빌딩 화재문제에 대한 해결책의 발전에 대하여 전세계적인 관심이 집중되었다. 중요한 이벤트 중의 하나는 1971년 4월에 버지니아 Warrenton에서 U.S. General Services Administration(GSA)의 주최로 열린 고층빌딩의 화재안전에 대한 국제 학술대회였다. 여기서 고층빌딩의 완전대피는 비현실적이며 따라서 이런 빌딩들의 경우 화재는 내부에서 소화되어야 한다는 것을 인정하였다. 또한 고층빌딩의 성공적인 화재안전 시스템을 위해 필요한 기술적 수준에 도달하기 위하여 추가적인 연구와 개발이 필요하다는 것이 인식되었다. 1975년 영국 Watford에서 Conseil Internationale와 Batiment(CIB)에 의해 컨퍼런스가 열렸는데 이 컨퍼런스에서는 연기생성·이동, 기계식 가압과 환기에 의한 연기이동의 제어 그리고 다

른 관련 주제에 대한 최신기술이 소개되었다.

연기이동과 제어에 대한 미국내 연구는 주로 미국 표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology) 산하 빌딩화재연구실험실(Building and Fire Research Laboratory)에 의해 수행되었다. NIST의 연구는 다음 두가지 중요한 부분을 포함하고 있다. 실측 및 실험실 연구, 그리고 계단과 엘리베이터 가압 시스템 및 구획별 연기 제어 시스템을 다루는 수학적 모델 연구이다. 또한 Plaza Hotel의 화재 실험이 구획별 연기제어 시스템의 성능을 평가하기 위하여 수행되었다. 화재실험은 다른 기관들에 의하여도 수행되었다. 뉴욕 향만청빌딩, 그리고 아틀란타의 Henry Grady Hotel에서도 수행되었다. 이들 실험은 계단 가압시스템의 성능을 평가하기 위하여 수행되었다. 화재시험은 또한 시애틀 소방국에 의해 United Pacific 빌딩에서도 수행되었다. 이 시험은 shielded sprinkler 화재조건하의 가압된 계단의 성

능을 조사하기 위한 것이었다.

맺음말

초고층 건물을 설계할 때 화재시 연기의 이동경로 등을 고려하여 설계하는 절차시스템이 필요하다고 생각된다. 싱가포르에서는 건물 설계시 전산수치해석 기법 시행이 의무화 되어 있어서 시방서 작성시 반드시 도면에 반영하도록 법으로 제정되어 있다. 국내에서도 일정규모 이상의 건물은 이러한 절차가 있어야 한다고 생각한다.

참고문헌

1. George T. Tamura, 1995, "Smoke Movement and Control in High-rise Buildings", National Fire Protection Association, pp. 1 - pp. 14. (☉)