



초고층 건축물의 소방설계 사례

이 경 하

(주)하나기연 소장

(khlee@hanace.co.kr)

들어가며

문화 경제활동의 도시적인 기능성과 건축적인 효율성을 구현하기 위하여 초고층 건축물이 증가하고 있다. 그러나 초고층 건축물은 화재가 발생할 경우 대형 재해로 이어질 위험성에 대비한 피난대책과 초고층으로 인한 연돌효과, 수압력 증가, 풍하중 지진에 의한 건물 변위, Column Shortening의 영향으로 미치게 되는 소방시설 및 배관 등의 구조적인 보호 대책이 마련되어야 한다.

초고층 건축물의 화재 시 피난에서는 소방사다리차 높이의 한계, 헬리콥터 접근의 어려움, 가연물의 낙하로 2차적인 피해발생 등의 외부적인 문제점과 초고층 건축물의 특성상 다수의 재실자가 거주하는 문제점을 안고 있다. 그러므로 화재 발생 시 피난시간 확보를 위한 대책이 무엇보다 중요하다. 피난시간의 확보를 위해서는 피난동선을 단축시키고 피난계단의 수를 조절하거나 안전한 장소로 빨리 이동할 수 있는 피난시설을 갖추어 피난시간을 직접 단축시키는 방법과 제연설비에 의하여 연기의 이동기류를 제어하도록 하여 재실자가 피난시간을 확보하는 방법이 있다. 특히 초고층으로 인한 연돌효과는 제연설비의 성능에 큰 장애를 주게 되므로 세밀한 공학적인 검토가 요구된다.

초고층 건축물의 소방시설은 건축물의 용도 및 재실자의 구성뿐만 아니라 특히 고층화의 특성을 검토하여 설계하여야 한다. 지진이나 풍하중에 대한 초고층 건축물의 변위, 수직 하중에 의한 Column Shortening, 극심한 연돌효과, 소화수 배관의 수압력 문제, 각종 샤프트의 기류문제 등을 검토하여 소방시설이 제대로 유지되고 작동될 수 있도록 방지대책을 세워 설계하여야 한다.

다음에 제시하는 사례에서 초고층 건축물의 소방시설의 설계와 피난대책을 소개하고자 한다.

1. 각국의 초고층건축물 기준

- 한국 : 21층 이상의 건축물(내진설계에 의한 구조안전 확인대상물)
- 미국 : 용적률이 해당지역의 평균에 비해 상대적으로 높으며 수직운반을 위한 기계설비가 사용되고 일상적인 건축물과 다른 공법 및 기술이 요구되는 건물(시카고는 70층 이상의 건축물)
- 일본 : 20층 이상이며 높이가 60 m를 초과하는 건축물
- 중국 : 30 m 이상
- 홍콩 : 23 m 이상

2. 건축물 개요

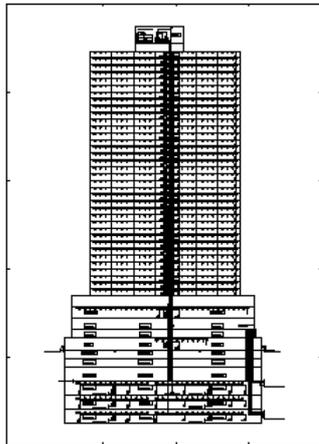
2.1 구조 : 지하7층/지상39층, 철근콘크리트조, 4개동(공동주택 A, B, C동, 업무시설)

2.2 용도 : 주거·상가·업무 복합시설

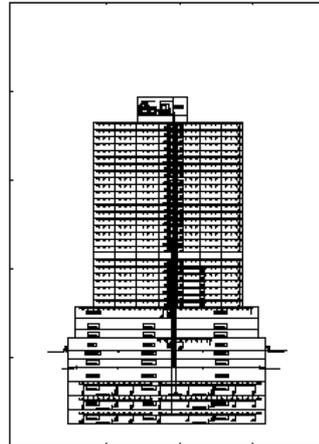
2.3 연면적 : 290,000 m²

2.4 층별 면적 및 용도

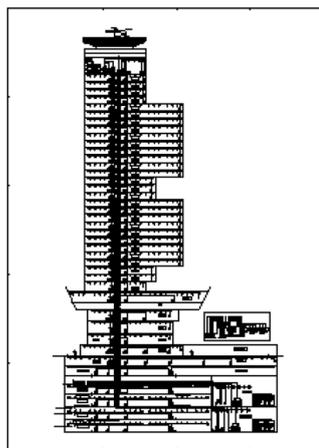
- (1) 지하7층(20,000 m²) : 기계실, 전기실, 발전기실, 주차장
- (2) 지하6층~지하3층(80,000 m²) : 주차장
- (3) 지하2층~지상3층(60,000 m²) : 판매시설
- (4) 지상4층~지상39층(100,000 m²) : 공동주택
- (5) 지상4층~지상34층(30,000 m²) : 업무시설



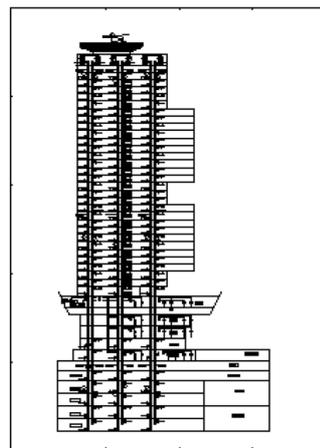
<공동주택 A동 소화설비 계통도>



<공동주택 B동 소화설비 계통도>



<공동주택 C동 소화설비 계통도>



<업무시설 계통도>

초고층 건축물의 소방설계 사례

3. 소화설비 법규검토

구분	소방시설	법규	적용
소화설비	소화기구	연면적 33 m ² 이상	전 층
	옥내소화전설비	면적 1,500 m ² 이상	전 층
	스프링클러설비	층수가 11층 이상	전 층
	청정소화약제소화설비(IG-541)	전기실로서 연면적 300 m ² 이상	당해부분
	옥외소화전설비	1층 및 2층의 바닥면적의 합계가 9,000 m ² 이상	소방대상물에 적용
경보설비	자동화재탐지설비	복합건축물로서 연면적 600 m ² 이상	전 층
	시각경보기	자동화재탐지설비가 해당되는 판매시설 및 업무시설	당해부분
	비상방송설비	연면적 3,500 m ² 이상	전 층
피난설비	비피난기구(완강기, 공기안전매트)	특정소방대상물의 모든 층	3층~10층
	인명구조용 공기호흡기	수용인원 100인 이상의 쇼핑센터	당해부분
	유도등	모든 특정소방대상물	전 층
	비상조명등	지하층을 포함하는 층수가 5층 이상인 건축물로 연면적 3,000 m ² 이상	전 층
	휴대용 비상조명등	수용인원 100인 이상의 쇼핑센터	당해부분
소화활동설비	상수도소화용수설비	연면적 5,000 m ² 이상	소방대상물에 적용
	제연설비	판매시설로서 지하층 또는 무창층의 바닥면적이 1,000 m ² 이상	당해 용도
		연결송수관설비	당해 부분
	비상콘센트설비	층수가 5층 이상으로 연면적 6,000 m ² 이상	전 층
		지하층을 포함한 층수가 11층 이상	해당 층
	무선통신보조설비	지하층의 층수가 3개 층 이상이고 바닥면적의 합계가 1,000 m ² 이상	지하 전 층
지하층의 바닥면적의 합계가 3,000 m ² 이상		지하 전 층	

4. 설계실무

4.1 소화설비

(1) 소화기구

① 개요

소화기구는 수동식소화기와 자동식소화기로 나누어 초기소화에 효과적으로 대응할 수 있도록 가연성 물질에 적합한 적응성소화기를 배치하였다.

② 적용

- 화재안전기준에 따라 능력단위별로 설치하여야 할 소화기의 수량을 산출하고 부속용도별로 추가하여야 할 소화기구를 산정하여 설치하였다.

- 33 m²이상의 실로 구획된 장소에는 수동식소화기를 추가로 설치하였다.

이 경 하

- 보행거리에 따라 수동식소화기를 추가로 설치하였다.
- 공동주택의 주방에는 연료가스에 적응할 수 있는 자동식소화기를 설치하였다.
- 전기실과 발전기실에는 50 m²마다 적응성소화기(를) 설치하였다.

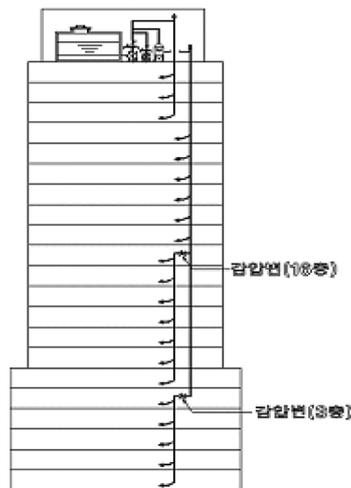
(2) 옥내소화전설비

① 개요

소방대의 출동 전에 건물에 상주하는 관계인의 초기소화에 이용되며 설치위치를 수평거리만을 적용하면 살수에 장애를 초래하는 장소가 발생할 수 있으므로 계단실 주위에 우선으로 하고 소방대상물의 구조적 특성을 감안하여 살수가 실제 적용 가능하도록 설치하였다.

② 적용

- 층별로 옥내소화전을 설치하고 최다설치 층(5개)을 기준으로 유량과 수원을 산정하였다.
- 옥내소화전설비용 옥상수원은 4.4 m³이상 확보하였다.
- 최고위층의 살수장치를 기준으로 양정을 산정하고 펌프를 선정하였다.
- 방수구는 층별로 설치하고 수평거리가 25 m이하가 되도록 배치하였다.



<소화배관 계통 개념도>

③ 초고층 건축물의 변위에 따른 배관의 영향

- 초고층에서 풍하중이나 지진에 의하여 건축물의 변위가 발생하거나, 건축물 수직하중에 의한 Column Shortening이 발생할 수 있다. 이 경우 소화수 배관의 파손에 의하여 누수가 생기면 소화설비의 기능을 상실하게 된다.
- 따라서 이에 대한 대책으로 배관에 적합한 슬리브형 또는 볼 조인트형 신축이음을 설치하였고 필요한 곳에는 배관 Loop를 형성하도록 하였다.

④ 수원 및 높은 수압대책

- 신뢰성이 높은 고가수조방식으로 가압송수장치를 선정하였다. 고층부는 고가수조의 자연수압으로 방수압력을 설정하되 자연수압으로는 방수압력이 부족한 최상층 3개층은 별도로 가압 펌프를 설치하였다. 건물 높이에 따라 방수압력이 높아지는 저층부에는 감압변을 사용한 독립배관방식으로 적용하였다

초고층 건축물의 소방설계 사례

(3) 스프링클러설비

① 개요

화염에 직접 살수하여 화세를 제어하거나 주위의 가연물을 적셔 화재의 확산을 방지하는 자동식소화설비로 주수소화에 효과가 있는 장소에 설치하며, 물을 사용하는 관계로 동파의 우려가 있는 장소에는 별도의 대책이 필요하다.

② 적용

- 11층 이상인 소방대상물로 기준개수는 30개를 적용하여 유량과 수원을 산정하였다.
- 스프링클러설비용 옥상수원은 16 m³이상 확보하였다.
- 스프링클러헤드는 살수장애와 미포용구간이 없도록 설치하고 공동주택에는 조기반응형헤드를 설치하였다.
- 최고위층의 살수장치를 기준으로 양정을 산정하고 펌프를 선정하였다.

③ 초고층 건축물의 변위 및 수압 관련사항

- 스프링클러설비의 수원 배관은 옥내소화전설비와 같이 공용으로 구성되어 있으므로 옥내소화전설비에서 언급한 내용과 같이 초고층에서의 풍하중, 지진, Column Shortening에 의한 변위 및 높은 수압에 대한 대책을 적용하였다.

(4) 청정소화약제 소화설비

① 개요

가스계소화설비는 상주인원의 유무와 설치장소에 따라 소화약제의 종류와 설계농도를 신중히 정하여야 하고 약제 방사 후 인명피해 또는 내부시설물의 손괴가 없도록 설계하여야 한다.

② 적용

- 청정소화약제 소화설비는 Inergen 가스를 적용하고 설계에는 KFI인증을 받은 설계프로그램을 사용하였다.
- 설계농도, 배관의 구경, 오리피스스의 직경 등은 설계프로그램을 통해 얻은 값을 기준으로 하여 제조공급사에서 제시하는 수치를 적용하였다.
- Inergen 가스의 과압이 우려되는 장소에는 과압 배출구를 별도로 설치하였다.
- 수동조작함, 방출표시등, 전자싸이렌은 방호구역별로 설치하고 화재감지기는 오동작을 고려하여 교차회로방식으로 설계하였다.

(5) 옥외소화전설비

① 개요

화재 발생 시 인접 건물로의 화재 확산방지를 위하여 설치하며, 건축물 관계인과 소방대 모두 사용할 수 있다.

② 적용

- 화재안전기준에서 정한 기준 이상으로 수원을 확보하고 노즐선단의 방수압력 및 펌프의 방수량을 정하였다.
- 수평거리는 40m이하가 되도록 설치하되, 접근이 쉽고 사용이 편리한 장소에 설치하였다.

4.2 경보설비

(1) 자동화재탐지설비

① 개요

화재의 조기발견으로 초기진화를 기할 수 있으며 재실자에게 화재경보를 발령하고 제반 자동식소화설비를 작동시킨다.

② 적용

- 방재센터를 정하여 인텔리젠트 R형 시스템을 적용하여 각 동별 수신기를 네트워크화하여 Stand alone기능과 Peer to peer기능을 수행 할 수 있도록 구축하였다. 제반 소방설비의 감시확인 및 작동제어가 가능하도록 중앙 집중방식으로 설치하였다.
- 경계구역에 따라 화재감지기회로를 구성하고 발신기를 설치하여 수동으로도 화재신호를 발신할 수 있도록 설치하였다.
- 수신기에서는 자동 또는 수동으로 발신된 화재신호를 받아 경보설비와 자동소화설비를 연동할 수 있도록 구성하였다.

③ 초고층에서의 화재경보

- 초고층 건축물은 규모가 크고 동선이 길므로 정확한 화재발생을 통보받는데 시간이 걸리고 비화재보가 발생할 수도 있어 음향장치만으로 화재가 발생했다고 단정하기 어려워 현장 확인을 필요로 하기 때문에 화재발생 판단이 늦어질 우려가 있다.
- 따라서 인텔리젠트 R형 시스템으로 중앙감시실을 구축하여 화재감지 설비감시 작동제어를 통합적이며 효율적으로 운영할 수 있도록 하였다.

(2) 시각경보기

① 개요

음성의 화재경보에도 불구하고 화재발생상황을 인지하기 어려운 청각장애인을 위하여 설치한다.

② 적용

- 불특정다수인의 출입이 가능한 로비, 복도, 식당, 휴게소 등의 장소를 중심으로 설치하였다.

(3) 비상방송설비

① 개요

초기경보에 미온적으로 대처하는 경우라도 화재발생상황을 음성으로 확실하게 전달하여 피난개시가 가능하게 한다.

② 적용

- 실내의 어느 장소에서도 화재발생상황을 통보할 수 있도록 설치하였다.

③ 초고층에서의 비상방송

- 비상방송설비를 설치하여 음성경보에 의한 화재통보를 통해 정확한 화재통보가 가능하도록 하였고 일시적으로 대규모 인원이 피난하는 경우 2차 피해를 줄이기 위해 순차방송시스템을 적용하였다.

4.3 피난설비

(1) 피난기구

① 개요

화재가 확산되어 피난계단을 통한 피난이 불가능한 경우 외부로의 직접피난이 가능하도록 한다.

② 적용

- 10층 이하의 층에 바닥면적에 따른 수량의 완강기를 설치하였다.
- 공동주택에는 공기안전매트를 별도로 설치하였다.
- 피난기구는 조작이나 착용이 필요한 피난기구보다 별도의 조작 없이 사용할 수 있는 미끄럼대를 설치하도록 하였다.

(2) 인명구조용 공기호흡기

① 개요

화재 발생시 유독가스로부터 인명을 보호하기위하여 설치하며 용기에는 축압된 공기를 저장하고 필요시에 마스크를 통하여 공기를 공급받을 수 있는 기구이다.

② 적용

- 판매시설의 층별로 2개 이상의 인명구조용 공기호흡기를 설치하여 유독가스가 발생하였을 경우 피난 시 사용할 수 있도록 눈에 띄기 쉬운 장소에 비치하였다.

(3) 유도등

① 개요

화재 시 정전과 연기 등으로 시야확보에 어려움이 발생하기 때문에 상시 점등되어 있는 유도등을 설치하여 피난이 용이하도록 한다.

② 적용

- 피난구와 통로 등에 유도등을 설치하여 피난동선에 따른 피난이 신속하고 정확하게 이루어질 수 있도록 설치하였다.

(4) 비상조명등

① 개요

화재발생으로 정전이 발생하는 경우 비상전원으로 점등되는 등으로 거실 및 피난통로에 설치하여 재실자의 피난이 용이하도록 한다.

② 적용

- 별도의 비상전원(자가발전설비)와 축전지를 사용하여 정전 시에도 점등이 가능하도록 구성하였다.
- 거실 및 피난통로에 설치하여 재실자의 피난에 장애가 발생하지 않도록 피난동선을 고려하여 설치하였다.
- 비상조명 등의 배선에는 점등스위치를 배제하여 비상시 자동점등에 지장이 없도록 설계하였다.

(5) 휴대용 비상조명등

① 개요

소방대상물의 구조 및 피난동선에 익숙하지 아니한 불특정다수를 위한 시설로 화재 시 필요에 따라 이용할 수 있도록 설치한다.

② 적용

- 휴대용 비상조명등은 화재 시 보기 쉬운 장소에 설치하고 그 설치장소에는 표지를 부착하도록 하였다.
- 거치대에서 분리하는 순간 자동으로 점등되는 구조로 하였다.
- 장시간 사용하지 않는 경우 방전할 수 있으므로 방전방지조치를 하였다.

4.4 소화용수설비

(1) 상수도소화용수설비

① 개요

대규모시설물의 경우 대형화재로 전개될 위험이 크며 그에 따라 다량의 소화수가 필요하다. 소방대의 수원이 부족한 경우에도 상수도의 수원을 이용할 수 있도록 상수도소화용수설비를 설치한다.

② 적용

- 소방차의 진입이 가능한 부분에 우선 설치하여 소방대가 쉽게 확인하고 접근할 수 있도록 하였다.
- 수평거리 140 m 이내로 설치하여 소방대의 수원확보에 지장이 없도록 하였다.

4.5 소화활동설비

(1) 거실제연설비

① 개요

거실에 화재가 발생하는 경우 화재실에서 직접 송풍기를 통해 기계배연을 실시하고 화재실 주위에서 급기를 실시하여 연기의 부력과 급기에 의해서 연기를 외부로 배출할 수 있는 설비로 풍량의 선정과 제연구획의 구분이 중요하다.

② 적용

- 예상제연구역을 정하여 화재실의 배기와 주변의 급기로 연기를 제어할 수 있도록 설치하였다.
- 통로와 인접한 거실의 경우 거실의 배기와 통로의 급기로 연기를 제어할 수 있도록 설치하였다.
- 화재실 주변이 벽 등으로 마감된 경우 벽면의 하부에 그릴(Grill)을 설치하여 급기가 가능하도록 설계하였다.

③ 초고층의 연돌효과 대책

- 연돌효과에 의한 영향으로 거실제연설비의 성능이 장애를 받을 수 있다.
- 따라서 건축적으로 수직통로를 줄여 수직기류를 최소화하였고 이중문/회전문 및 방풍실을 설치하여 외부와의 기밀도를 향상시켰다.
- 각종 설비의 개구부를 기밀화하여 기류를 최소화하였다.

(2) 특별피난계단의 제연설비

① 개요

피난을 위한 안전통로인 특별피난계단의 부속실 계단실의 연기유입을 방지하기 위하여 부속실 계단실에 급기 가압하여 화재실에서 발생한 연기가 차압에 의해 부속실 계단실로 유입되지 않도록 설치한다.

② 적용

- 부속실 계단실 동시제연방식을 적용하였다.
- 부속실의 과압을 방지하기 위해 자동차압조절형댐퍼를 설치하였다.
- 옥내로 유입된 유입 풍량을 유효하게 배출 할 수 있는 수직풍도에 의한 기계배출식의 배출설비를 설치하였다.
- 피난문은 자동으로 닫히는 구조로 평상시 폐쇄상태로 사용하거나 개상상태로 사용하는 경우에는 옥내의 연기감지기와 연동하여 자동으로 닫히는 구조로 설계하였다.
- 부속실 계단실 동시제연설비가 작동하는 경우 피난문은 개방 또는 폐쇄에 지장이 없도록 설계하였다.

③ 초고층 건축물에서의 문제점 및 대책

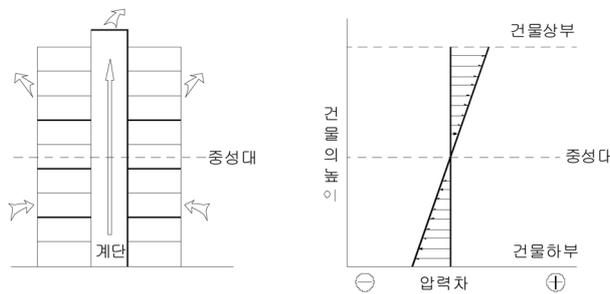
- 초고층 건축물에서는 연돌효과에 의한 기류가 발생할 수가 있는데 이는 가압제연설비의 성능에 영향을 끼치게 된다. 특히 수직 통로가 될 수 있는 특별피난계단의 수직 계단에서 연돌효과가 생기게 되면 가압이 어려워지고 최상부는 과압이 생기게 되어 피난문을 열 수가 없게 된다.
- 또한 화재 시에는 유독성 연기와 화염이 상부로 급속히 확산될 수 있어서 위험하게 된다.
- 따라서 건축적으로 계단실로 연결되는 피난층에 이중문/회전문 및 방풍실을 설치하여 외부와의 기밀도를 향상시켰다. 그리고 수직통로를 줄여 수직기류를 최소화하였고 PD, AD, EPS 등 수직/수평 개구부를 최소화하고 각종 설비의 개구부를 기밀화하여 기류를 최소화하였다.

초고층 건축물의 소방설계 사례

- 초고층 건축물에서는 화재 시 주로 재실자들이 특별피난계단으로 피난하게 되는데 가용피난시간(Available Safe Egress Time, ASET)을 충분히 확보되는지 점검할 필요가 있다. 따라서 재실자가 피난 동선을 통하여 피난할 경우 소요피난시간(Required Safe Egress Time, RSET)이 어느 정도 될 것인지 성능위주의 피난설계를 위하여 피난시물레이션을 실행하였다.

※ 연돌효과(굴뚝효과, Stack Effect)

건물의 외부온도가 실내온도보다 낮을 때는 건물내부의 공기는 밀도 차에 의해 상부로 유동하게 되고, 이로 인해 건물의 높이에 따라 어떤 압력차가 형성되는데 이런 현상을 연돌효과라 한다.



(3) 연결송수관설비

① 개요

소방대가 사용하기 위한 소화용수로 소방차에 연결하여 수원을 확보하거나 건축물 내에 설치된 가압펌프로 별도로 확보된 수원을 송출한다.

② 적용

- 건축물의 높이가 지면에서부터의 70 m이상이므로 고층부에 송수를 위하여 가압송수펌프를 추가해서 설치하였다.
- 방수구는 피난계단의 5 m 이내에 우선하여 설치하였다.
- 11층 이상의 부분에는 쌍구형방수구를 설치하였다.
- 방수기구함은 3개층마다 설치하여 소방대가 유용하게 사용하도록 설치하였다.

(4) 비상콘센트설비

① 개요

화재 시 출동한 소방대가 보유한 조명장치나 파괴기구 등을 접속하여 전원을 확보할 수 있도록 지하층이나 고층건축물에 설치한다.

② 적용

- 피난계단의 5 m 이내에 우선 설치하여 사용이 용이하도록 설계하였다.
- 전원회로는 층별로 2개 이상 설치하고, 3상 200 V 또는 380 V인 것과 단상 100 V 또는 220 V로 설치하였다.
- 하나의 전원회로에 설치하는 비상콘센트는 10개 이하로 설치하여 전원공급에 지장이 없도록 하였다.

(5) 무선통신보조설비

① 개요

지하층에 진입한 소방대와 지상의 소방대의 무선연락이 가능하도록 누설동축케이블을 이용한 설비로 소화활동에 필요한 설비이다.

② 적용

- 무선접속단자는 방재센터와 옥외의 소방차 진입이 가능한 장소에 설치하여 소방대가 사용하기에 편리하도록 설치하였다.
- 누설동축케이블은 사람이나 차량의 통행에 방해가 되지 않도록 설치하고 견고히 지지하도록 설계하였다.

4.6 기타 사항

(1) 연돌효과에 의한 연소 확산

① 문제점

초고층건축물은 계단실, PS, ES 등 수직통로에 발생하는 연돌효과에 의하여 화재 발생 시 화염 및 연기가 상층부로 급속히 확산될 우려가 크다.

② 대책

- 건축물의 내장재를 불연 재료로 하였으며 방염대상물은 방염처리를 하였다.
- 각종 설비의 개구부를 기밀화하여 공기 유동을 최소화하도록 하였다.
- 구획을 통한 연소의 확대 방지 및 수직 수평 관통부를 내화 충전재로 충전하여 연소의 확대를 방지하였다.
- 저층부의 출입구에는 이중문 또는 회전문을 설치하고 필요한 곳에는 충분한 크기의 방풍실을 설치하였다.

(2) 철골구조의 내화설계

① 문제점

이 건축물은 철골구조로서 철골이 화염에 노출되면 높은 온도에 인장강도가 급속히 저하되어 초고층 건축물의 구조가 붕괴될 우려가 있다.

② 대책

- 철골구조의 내화뿔칠을 하도록 내화설계를 하였다.

마치며

초고층건축물에서는 풍하중, 지진에 의한 변위와 높은 수압력을 고려하여 배관계통을 설계하여야 하고 배관 재료 부속품의 선정, 배관의 지지, 설비의 고정에도 주의를 기울려야 한다. 여기서는 중간기계실을 설치하지 않았지만, 아주 높은 초고층에서는 건축물 높이 증가에 따른 배관 설비 시스템의 압력 상승을 분산하기 위하여 중간기계실을 검토해볼 필요가 있다. 이 중간기계실을 화재 시 피난을 위한 안전구역으로 적용하는 것을 구상해 볼 수도 있을 것이다.

초고층에서 무엇보다도 중요한 것은 인명피해를 최소화하기 위한 제연 피난 대책일 것이다. 특별피난계단의 가압제연설비의 설계에 취약점을 세밀히 파악하여 공학적 분석을 통한 성능위주의 설계가 이루어져야 하겠고 미국 9.11 사태 이후 부각되고 있는 건축물 외부로의 피난대책 방안도 초고층에 적극 적용할 필요가 있다.

참고문헌

1. NFPA 101 Life Safety Code
2. NFPA 72 Fire Alarm Code
3. 소방기술자료집 - 한국소방안전협회
4. 건축법, 소방법, 국가화재안전기준 (National Fire Safety Code)
5. 대한건축학회 논문집