

국·내외 기준개선을 통한 국내 초고층 건축물의 화재피해경감 대책에 관한 연구

A study on measures for the mitigation of fire damage in Korea super high-rise building through the improvement of domestic·foreign standards

Jaesun Ko^{a,*}

^a Dept. of Fire fighting Safety Management, Howon Univ.

ABSTRACT

Uniform laws and regulations and reasonable design is necessary for the prevention of possible fire in super high-rise building. To this end, this study focused on super high-rise and massive building-related architectural review · performance-based design (PBD) evaluation · disaster impact assessment (DIA), and provided fire engineering measures for improving fire prevention on the basis of performance-based design by analyzing the buildings subject to these systems and problems in terms of contents. Above all, in the aspect of law and standard improvement, first, with regard to dual parts of two statutes though significant portion of them has the same contents in performance-based design (PBD) evaluation and disaster impact assessment (DIA), it is necessary to operate the systems after making them conform with each other and consolidating or abolishing them. Second, if it is impossible to consolidate or abolish performance-based design (PBD) evaluation and disaster impact assessment (DIA), the areas of contents of performance-based design (PBD) evaluation and disaster impact assessment (DIA) should be precisely classified and established. Next, engineering improvement measures against fire hazard in super high-rise building are as follows. First, it is necessary to revise the provisions of straight-run stairs in special escape stairs. And in case of installing a mechanical smoke exhaust system instead of smoke vent, sandwich pressurization used in the United States should be permitted. Second, with regard to smoke control system for special escape stairs, it was shown that there was necessity for revising the standards in order to enable air to be supplied according to section in case of fire, carrying out performance-based design, and the like from the early design stages to the completion stages. In the future, it is expected that an epoch-making contribution will be made to a decrease in casualties and property damage due to fire in case of super high-rise building where the results can be reflected after carrying out a study on maintenance and carrying out an additional study on other considerations of super high-rise building together with reflecting the improvement measures provided in the above-mentioned study.

KEYWORDS

High-rise buildings, Performance-Based Design, Disaster impact assessment , Sandwich pressure method, Evacuation floor, Evacuation stairs, Stack effect, Accreditation system, Risk assessment techniques, National Fire Information System.

초고층 건축물의 발생 가능한 화재를 방지하기 위해서는 통일된 법 규정과 합리적인 설계가 필요하다. 이를 위해 본 연구는 초고층 및 대형 건축물관련 건축심의 · 성능위주설계(PBD)평가 · 재해영향평가(DIA)를 중심으로 이 제도의 대상이 되는 건축물과 그 내용상의 문제를 분석하여 성능위주 설계를 기반으로 하는 화재 공학적 화재예방 개선방안을 도출하였다. 먼저 법 기준개선측면에서는 첫째 성능위주설계(PBD)평가와 재해영향평가 등에 있어서 상당부분이 동일한 내용임에도 불구하고 두 개의 법령으로 이원화된 부분은 일치시키고 통폐합해서 운영하는 것이 필요하다. 둘째, 성능위주설계(PBD)평가와 재해영향평가(DIA)의 통폐합이 불가능하다면, 성능위주설계(PBD)평가와 재해영향평가(DIA)의 내용의 영역이 명확히 구분되어 정립되어야 한다. 다음 초고층 건축물의 공학적 화재위험성에 대한 개선방안으로는 NFPA 규정대로 첫째 특별 피난 계단에서 직통계단의 규정을 개정할 필요가 있으며, 배연창 대신 기계식 배연설비를 설치하는 경우, 미국에서 사용하는 샌드위치 가압방식(Sandwich Pressurization) 허용하고, 둘째 특별 피난계단용 제연설비는 화재시 구간별로 급기 할 수 있도록 기준의 개정 및 설계초기 단계부터 준공까지 성능위주설계 진행 등이 필요한 것으로 나타났다. 향후 이상의 연구에서 도출한 개선책 반영과 함께 초고층 건축물의 대한 또 다른 고려사항들에 대해 추가적인 연구가 진행되고, 또한 유지관리에 대한 연구가 진행되어 그 결과를 반영할 수 있는 초고층 건축물이라면 화재로 인한 인명피해 및 재산손실을 줄이는데 획기적인 기여를 할 것으로 예상된다.

고층 건물,
성능 기반 설계,
재난 영향 평가,
샌드위치 압력
방법,
대피 층,
피난 계단,
스택 효과,
인증 시스템,
위험 평가 기술,
국가 화재 정보
시스템.

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 010-6276-7694. Email. 119kjs@hanmail.net

ARTICLE HISTORY

Received May. 23, 2017

Revised May. 23, 2017

Accepted Jun. 30, 2017

1. 서론

초고층 건축물은 19세기 말 미국의 뉴욕과 시카고로부터 시작되어 초고층 건축물에 대한 열망은 세계 주요도시의 스카이라인의 변화를 가져왔다. 이러한 변화는 1990년대 이후 급격한 고도성장을 기반으로 한 아시아의 경제성장과 더불어 중국, 대만, 일본, 홍콩과 싱가포르 등 동남아 국가의 도시에서도 경쟁적으로 나타나고 있다. 우리나라도 이러한 초고층 건축물의 경쟁적 건설의 중심에 위치하고 있다. 2015년 말 기준으로 11층 이상의 고층 건축물이 103,222동에 이르고 있으며 31층 이상도 900여동, 51층 이상 84개동에 이르고 있다.(1,2) 또한 초고층 건축물뿐만 아니라 지하연계 복합건축물 및 대형 건축물이 서울, 부산, 인천, 경기 등을 중심으로 건립되고 있다. 이와 같은 초고층 및 대형 복합건축물이 건립되고 있는 상황에서 예측되는 대형 재해·재난사고 및 화재에 대한 적극적인 대책이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구는 초고층 및 대형 건축물의 안전과 관련된 3가지 범규정의 비교·분석 및 NFPA의 초고층 및 지하연계 복합 건축물의 화재안전기준을(3) 통해 세부기준의 문제점을 분석하고 개선방향을 제안하는데 목적이 있다. 본 논문의 방법 및 절차는 다음과 같다. 첫째, 국내 초고층 및 대형 건축물의 화재통계 및 사례분석 및 화재 위험성을 살펴보고, 둘째, 국외의 NFPA의 화재안전관련 규정 및 기준과 국내 초고층 및 대형 건축물의 화재안전과 관련된 건축법, 소방공사업, 초고층 특별법(2,3)의 내용 중 그 성격이 유사성이 있다고 판단되는 제도인 “PBD를 중심으로 대상이 되는 건축물의 심의 또는 평가의 내용에 대한 비교분석을 통해 문제점을 도출한다. 셋째, 이상에서 도출된 문제점을 PBD를 기반으로 개선방향을 제안하여 차후 연구에서 세부적인 개선방안 제시를 위한 기초적인 근거를 마련하고자 한다.

2. 본론

2.1 초고층 건물의 개요

초고층 건물에서 마천루(skyscraper)라는 표현은 1885년 엘리베이터 및 압연철재의 발명에 기반을 둔 주철과 단철로 이루어진 미국 시카고의 높이 60m의 Home Insurance빌딩에서 유래되었다. Table 1에 나타난 바와 같이 초고층 건물에 대한 정의는 국가에 따라서 다르고, 국내에서는 통상 30층 이상, 높이 120m 이상의 고층 건물을 말하고 있으나, 국제적으로 통일된 기준도 없는 실정으로, 국제초고층 도시주거협의회(CTBUH:Council on Tall Building and Urban Habitat)(2)에서는 50층 또는 높이 200m 이상을 초고층 건물로 정의하고 있다.

Table 1. Classification of the world’s high-rise buildings

Classification	Contents	Other
U. S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Floor area ratio of the building is relatively high compared to the average of the region, ▪ Using the machine for vertical transportation equipment ▪ Those buildings that require a different method and technology used in routine low-rise building ▪ 70~100 floors 	Chicago
Germany	<ul style="list-style-type: none"> ▪ At least one of the rooms on the ground floor is more than 22m or artificial ground 	-
Japan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 20 floor more than ▪ Building the height exceeds 60m 	-
Korea	<ul style="list-style-type: none"> ▪ More than 20-story building as a target by seismic structural safety checks By seismic design ▪ Usually 30or more layers, more than120mhigh-risebuilding 	-
High-risebuildingsI nternationalAssocia tion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presented by more than 50 layers, more than 200m 	-
Technical review	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Building it is necessary to introduce a special type structure to resist lateral loads 	-

2.2 국내외 초고층 건물의 현황

2.2.1 국내 초고층 건물의 현황

현재 우리나라에서 가장 높은 건물은 부산 해운대구에 있는 주상복합아파트인 해운대 ‘두산 위브더제니스’이며 이 아파트 101동은 지상 80층에 높이가 299m에 이른다. 2010년까지는 서울 양천구 목동 현대하이페리온과 강남구 도곡동 타워팰리스 G동이 69층으로 가장 높았지만, 2011년 12월 해운대 위브더제니스가 완공되어 앞질렀다. 해운대 두산 위브더제니스는 101동~103동 3개동이 각각 80층, 75층, 70층으로 이뤄져 전국 고층 건축물 순위에서 1, 2, 4위를 차지하고 있다. Table 2는 국내 초고층건축물의 대략적인 현황이다.

Table 2. The status of the domestic high-rise buildings

Building Name	location	Building Scale	
63 Building	Yeongdeungpo-gu Yeouido-dong60	No. of floors	3 underground floor, ground floor 60
		Usage	Business facilities
		Total floor area	166,429m ²
International Trade Centre	Gangnam-gu Samsung-dong159-1	No.of floors	2 underground floor, ground floor 54
		Usage	Business facilities
		Total floor area	107,933m ²
AcademicSuites	Gangnam-gu Dogok-dong 467-7	No. of floors	6 underground floor, ground floor 51
		Usage	Apartment house(apartment)
		Total floor area	101,421m ²
Tower Palace(1)	Gangnam-gu Dogok-dong 467-17	No. of floors	6 underground floor, ground floor 55(2 building)
		Usage	Apartment house(apartment)
		Total floor area	292,018m ²
Tower Palace(2)	Gangnam-gu Dogok-dong 467-29	No. of floors	6 underground floor, ground floor 69
		Usage	Apartment house(apartment)
		Total floor area	195,058m ²
Hyundai Hyperion(1)	Yangcheon-gu mok-dong 916	No. of floors	6 underground floor, ground floor 69
		Usage	Apartment house(apartment)
		Total floor area	385,944m ²
Konkuk University sports complex Building Lot(A block)	Gwangjin-gu Jayang-dong 227-7	No. of floors	6 underground floor, ground floor 50(3 building)
		Usage	Sales, sales, business (office building)
		Total floor area	245,720m ²
The Classic 500	Gwangjin-gu Jayang-dong 227-342	No. of floors	6 underground floor, ground floor 50
		Usage	Seniors, sports,business facilities
		Total floor area	158,655m ²
International Finance Centre	Yeongdeungpo-gu Yeouido-dong23	No. of floors	7 underground floor, ground floor 54

		Usage	Sales, sales, cultural meetings, business
		Total floor area	507,524m ²
Seoul Forest e-easy-world	Seongdong-gu Seongsu-dong 685-700	No. of floors	7 underground floor, ground floor 51
		Usage	Sales, business, cultural meetings, apartments
		Total floor area	204,559m ²
Daesung D-Cube City(1)	Guro-gu Sindorim-dong 360-15	No. of floors	8 underground floor, ground floor 51
		Usage	Sales, business, cultural meetings, apartments
		Total floor area	350,054m ²

특히 완공 예정인 서울 송파구 제2롯데월드는 지상 123층으로 높이 555m에 달한다. 지역별로는 서울이 전국 초고층건물의 45.6%가 몰려 있고, 한국의 초고층 건물은 1970년 건축한 삼일빌딩(110m)을 시초로, 1985년 63빌딩이 건설되었으며. 최근에는 인천타워(610m, 151층), 상암DMC 랜드마크(580m, 130층), 제2롯데월드(522m, 112층), 부산월드 비즈니스센터 (500m, 110층) 등 100층 이상 초고층 건물들이 추진 중 에 있다. Table 3을 살펴보면 2015년 기준 전국의 초고층건물은 311개소이며, 서울시의 경우에는 지하연계복합건축물을 포함하여 143개소이며 초고층 건물은 16개소이며, 31층 이상 전체 고층 건물은 총 89개소가 있다.

Table 3. Regional status for high-rise buildings & underground links Complex

Classification	Total	High rise buildings	Underground link
Seoul	143	16	127
Busan,	55	26	29
Daegu	30	7	23
Incheon	27	16	11
Daejeon	13	8	5
Ulsan	2	2	0
Gyeonggi	40	13	27
Chungnam	1	1	0
Total	311	89	222

2.2.2 국외 초고층 건물의 현황

1931년 미국 엠파이어스테이트 빌딩(높이 381m, 102층)이 100층을 넘어선 후, 현재 세계 최고의 초고층 건물은 2010년 1월에 준공된 부르즈 칼리파(Burj Khalifa : 높이 828m, 162층)이다. 1990년대 이후, 동남아 지역(중국, 대만, 말레이시아 등)을 중심으로 활발하게 건설되고 있다. 세계 20위 내의 초고층 건물의 80%가 아시아 지역의 도시에 위치하고 있으며, 대부분이 호텔, 아파트, 사무실 등이 들어선 복합건물인 것으로 나타났다. Table 4는 국외 초고층건물의 현황을 나타낸 것이다.

Table 4. The status of the world's high-rise buildings

Building Name	location	Height(M)	Number of stories
Burj Khalifa	UAE(Dubai)	828	162
Taipei 101	Taipei	509	10
Shanghai IFC	China (Shanghai)	492	101
Kuala Lumpur City Centre	Malaysia	452	88
Sears Tower	United States (Chicago)	442	108
Jin Mao Centre	China (Shanghai)	421	88
International Finance Centre	China (Hong Kong)	415	88
CITIC Plaza	China (Guangzhou)	391	80
Shun Hing square	China (Shenzhen)	384	69
Empire State Building	United States (New York)	381	102
Central Plaza	China (Hong Kong)	374	78
Bank of China Tower	China (Hong Kong)	374	78
SEG Plaza	China (Shenzhen)중국(선젠)	356	72
Emirates Office Tower	UAE(Dubai)	355	54
Teontek Sky Tower	Taiwan (Kaohsiung)	348	85
Aon Centre	United States (Chicago)	346	83
Dae Centre	China (Hong Kong)	346	73
John Hancock 센터	United States (Chicago)	344	100
Shanghai Shimao International Plaza	China (Shanghai)	333	60
Rose Tower	UAE(Dubai)	333	72

2.3 초고층 건물의 화재 통계 분석

Table 5는 NFPA(National Fire Information System)(3,4)에서 최근 3년 동안의 초고층건물의 화재피해를 분석한 것으로서 전체 화재건수는 1596건으로 2012년에는 564건, 2013년에는 511건, 2014년에는 521건으로 분석되었고, 사망자수는 2012년 3명, 2013년 10명, 2014년 5명으로 분석되었다. 또한 Table 6의 국내 초고층 화재통계를 살펴보면 초고층 화재는 꾸준히 발생하고 있고 발화층은 50층에서 60층 사이에서 대부분 발생하는 것으로 분석 되었다. 또한 2012년부터 2014년까지 초고층화재는 총 42건 발생하였고, 서울이 5건, 부산이 5건, 인천이 5건 등이 발생한 것으로 분석되었다. Table 7의 최근 초고층건축물에서 발생한 화재 발화요인을 분석한 것을 살펴보면 최근 4년간 총발생건수는 40건으로서 부주의가 18건으로 가장 많은 발화원인으로 분석되었고, 전기적 요인이 13건, 미상 6건, 그리고 기계적 요인, 위험물 요인, 가스누출이 각 1건 순으로 분석되었다.

Table 5. Seoul Metropolitan number of high-rise building fire (National Fire Information System)

Yr	No. of accidents	Casualties		Damage to property (Unit : Ten million won)
		Death	Injury	
2012	564	3	24	129
2013	511	10	26	139
2014	521	5	19	146
Total	1,596	18	69	414

Table 6. Fire statistical analysis of the domestic high-rise fire(2015)

Classification	2012				2013				2014				Total			
	No. of accidents	Death	Injury	Damage to property	No. of accidents	Death	Injury	Damage to property	No. of accidents	Death	Injury	Damage to property	No. of accidents	Death	Injury	Damage to property
Seoul	-	-	-	-	3	0	0	9492	2	0	0	59696	5	0	0	69,188
50	-	-	-	-	1	0	0	463	1	0	0	48410	2	0	0	48,873
51	-	-	-	-	1	0	0	8721	-	-	-	-	1	0	0	87,212
55	-	-	-	-	1	0	0	308	-	-	-	-	1	0	0	308
59	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	11286	1	0	0	11,286
Busan	4	0	2	2707	1	0	0	882	-	-	-	-	5	0	2	3,589
51	1	0	0	974	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	974
52	3	0	2	1733	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0	2	1,733
72	-	-	-	-	1	0	0	882	-	-	-	-	1	0	0	882
Daegu	-	-	-	-	1	0	0	590	-	-	-	-	1	0	0	590
52	-	-	-	-	1	0	0	590	-	-	-	-	1	0	0	590
Incheon	-	-	-	-	2	0	0	8599	3	0	0	7914	5	0	0	16,513
53	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	6787	1	0	0	6787
64	-	-	-	-	2	0	0	8599	2	0	0	1127	4	0	0	9,726
Daejeon	1	0	0	946	1	0	0	14	2	0	0	47	4	0	0	1,007
50	1	0	0	946	1	0	0	14	2	0	0	47	4	0	0	1,007
	1	0	0	1278	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	1,278
Ulsan																
54	1	0	0	1278	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	1,278
Total	12	0	4	13,515	16	0	0	39,154	14	0	0	135,314	42	0	4	262,821

Table 7. Analysis results for Ignition factor of the recent high-rise buildings

Factor / yr	2011	2012	2013	2014	계
Careless (Embers, food cooking, etc.)	3	3	7	5	18
Electrical factors(short circuit)	5	1	2	5	13
Mechanical factors(such as the automatic control)	-	1	-	-	1
Hazardous materials	-	-	-	1	1
Gas leak	1	-	-	-	1
Unknown	2	3	-	1	6
Total	11	8	9	12	40

2.4 초고층 건축물 관계자들에 대한 화재위험도 인식 설문조사

Table 8은 초고층건축물과 관련하여 관계자들에 대한 화재위험도조사로서 2015년 6월15일부터 6월 28일까지 우편조사를 실시하였다. 설문조사 대상자는 초고층건축물의 방재센터 직원 100명, 입주자 100명, 소방기술사, 소방시설관리사, 위험물기능장 100명, 소방공무원 200명 등 500명을 대상으로 설문조사를 받아, 회수된 324개의 통계자료를 활용하여 분석을 한 결과이다. 설문조사결과는 SPSS 19.0 win프로그램을 활용하여 조사하였고, 빈도분석(Frequency Analysis)을 통해 빈도백분율을 산출하였다. 아울러 검증에 위해 카이제곱 검정을 실시하였다. 살펴보면 초고층건축물에서 화재 발생시 소규모 화재 발생 가능성에 대해 매우 낮다는 4.44%, 매우 높다는 6.85%로 응답하였으며, 중규모의 화재 발생가능성에 대해서는 매우 낮다가 4.15%, 상대적으로 높다가 31.53%로 응답하였고, 대규모 화재발생가능성에 대해서는 매우 낮다 는 5.31%, 상대적으로 높다는 40.46%로 응답하여 전체적으로 보면 초고층건축물에 대한 화재 발생가능성에 대해서 대규모 화재가 발생할 가능성이 높은 것으로 분석되었다.

Table 8. Within the next three years, the possibility of fire occurrence in high-rise buildings

Possibility(%)	Very Low	Relatively low	Current level	Relatively high	Very High	No answer
Small-sized fires	4.44	11.33	35.76	30.17	6.85	11.45
Medium-sized fire	4.15	10.51	37.58	31.53	3.12	13.11
Large-sized fires	5.31	9.27	28.55	40.46	4.73	11.68

Table 9. Analysis results for effective fire suppression to the most dangerous part by evacuation stairway in high-rise buildings

A very dangerous part of the high-rise buildings	No. of answers	The most efficient method in the initial fire fighting	No. of answers	Fire suppression possibilities By fire fighters after entering advantage evacuation stairs	No. of answers
Underground floor	54	An advantage of the indoor fire hydrant initial fire suppression by own the fire department	57	Physically impossible	77
The first floor & lobby	14	The initial fire suppression using fire-fighting facilities after fire fighters quickly entered	49	It takes a long time	74
Within 30 to 50 floors	57	The initial fire suppression by fire at the facility itself, such as S / P	205	Deadlock causes of refugee and entrant in the middle of the stairway evacuation Entry considered	101
more than 50 floors	199	Fire fighting difficult	13	through other means considered	72

또한 Table 9를 살펴보면 먼저 초고층 건축물에서 화재 발생시 어느 부분이 가장 위험하다고 생각 하느냐에 대한 질문에 지하층은 54명, 지상1층 및 로비부분은 14명, 중간층인 50층 이내에서는 57명, 고층부분인 50층 이상에서는 199명으로 응답하였으며, 초기진압에 가장 효율적인 방법은 무엇이라는 질문에 자위소방대가 발화층에서 옥내 소화전을 이용하여 초기진압 한다가 57명, 소방관이 발화층에 신속하게 진입하여 소방시설을 이용하여 진압한다가 49명, 잘 정비된 스프링클러 등 자체소방시설을 이용하여 초기 진압한다가 205명, 초고층 건물에 화재가 나면 진화가 어렵다가 13명이라고 응답하였다. 또한 소방관이 50층 이상인 화재층까지 진입하여 화재진압에 대한 생각을 묻는 질문에는 소방장비 착용 등으로 인하여 체력적으로 불가능하다가 77명, 피난자와 소방 진입자가 중간에 만나기 때문에 불가능하다가 101명, 초고층까지 올라가는데 시간이 많이 소요 된다가 74명, 다른 방법으로 발화층까지 올라가는 방법이 있다면 그 방법을 선택한다가 72명이라고 응답하였다.

3. 초고층 및 대형 건축물의 국내기준 및 NFPA에 따른 화재 공학적 위험성

3.1 피난 및 소방시설의 문제점

Table 10에 나타난 바와 같이 피난시설 등의 설치기준을 살펴보면 현재 공포된 「건축법」에서는 초고층 건물에 대하여 정의 및 피난안전구역 설치 및 용적률 산출 등에 대한 기본 내용만 규정하고 있을 뿐, 피난시설(직통계단, 피난계단, 출입구)이나 안전에 대한 규정이 일반 건물 기준을 적용하고 있어 초고층 건물에 대한 안전대책이 매우 미흡한 실정이다. 또한 소방시설 설치기준의 문제점을 살펴보면 Table 11에 나타난 바와 같이 “화재예방, 소방시설 및 설치유지관리법”에 따라 소방대상물의 소방시설 설치기준은 소방대상물별의 용도·층수·바닥면적·연면적에 따라 다르게 적용되고 있다.

Table 10. General building standards that apply to evacuation facilities in high-rise buildings

Classification	The main evacuation facilities	Target Building(legal installation standards)		
General buildings that applies to high-rise buildings	Count	2 places(more than)		
	Direct stairs	Walking distance	50m(Below), The main part of the structure to the refractory structure or non-combustible materials building	
		The width of the stairs and stairs areas	1.2m (more than)	
		Entrance effective width	0.9m (more than)	
	Evacuation stairs	Count	60 floors	2 places (more than) : 바닥면적 5,600㎡
			99 floors	4 places (more than) : 바닥면적 10,000㎡
The width of the stairs and stairs areas		1.2m (more than)		
Entrance effective width		0.9m (more than)		
Passenger elevators	60 floors	3 (more than)		
	99 floors	5 (more than)		

	Emergency elevators	60 floors	3 (more than)
		99 floors	4 (more than)
	The width of the corridor		2.4m (more than)
	Secondary entrance(exit)		2 Secondary entrance (2m) or exit 2 places

Table 11. Fire Fighting Facilities Installation Standards

Type	Main fire extinguishing facilities
1. Fire extinguishing facilities	- Fire extinguishers, indoor hydrants [Total floor area more than 1,500m ²], S.P [Complex, Total floor area more than 5,000m ²] - Water spray, etc.[garage parking, floor area of more than 200m ²]
2. Alarm Equipment	- Emergency alert[Total floor area more than 400m ²], automatic fire detection equipment [Total floor area more than 500m ²] - Life saving device [7 floors or more tourist hotels, five or more floors Hospital] - Breathing apparatus, emergency lighting[more than 5 floors including Total floor area more than 3,000m ²]
3. Evacuation equipment	- Portable emergency lighting [accommodation, such as multi-purpose] - Evacuation appliances[evacuation floor, all floors except the ground floor 1.2 & 11 floors or more floors]
4. Water extinguishing equipment	- Water extinguishing equipment[Total floor area more than 5,000m ²] - Smoke ventilation equipment, pipelines connecting equipment [5 floors more than, Total floor area more than 6,000m ²]
5. Fire extinguishing activity equipment	- Connect spray equipment[more than basement 150m ²] - Emergency outlet facilities, wireless communication auxiliaries

3.2 피난공간 설치 미비

국내 50층 이상의 초고층 건축물 중 2012년도를 기준으로 완공된 건축물 및 공사 중 44개의 건축물 중 피난공간이 설치되었거나 설치계획이 있는 건축물의 현황은 다음의 Table 12와 같다. 전체 44개 건축물 중 전층에 피난공간이 설치된 건축물은 4개로 9.1%이며, 부분적으로 설치된 경우는 22개 동으로 50.0%이며, 미설치된 건축물도 14개 동으로 31.8%에 달하고 있다. Table 13은 피난안전구역 관련 규정 해외사례로서 한국은 피난안전구역 면적은 해당 구역 상부층 전체 인원의 50% 수용하여야 하고, 대피층을 기준으로 상부층과 하부층의 특별피난계단이 분리되어야 한다고 규정하고 있다. 중국은 100m를 초과하는 공공건축물에서 15층마다 중간 대피층 설치하여야 하고, 홍콩은 25층을 초과하는 모든 건축물은 20~25층 사이의 간격마다 대피층 설치하도록 규정되어 있다. 또한 미국은 미국소방협회(NFPA)101(3) 인명안전규정에서는 대피공간을 방화설비와 구획, 둘 이상의 피난경로를 갖춘 공간 또는 건물 내에서 화재와 분리되어 안전지대로의 접근을 확보하여 피난여유시간을 벌여 주는 역할을 하는 공간으로 정의하고 있다.

Table 12. evacuation space installation status on high-rise building of 50-story or more of domestic (NEMA data, 2014)

Classification	Install entire floors	Partial installation	Not installed	Other	Total
No. of buildings	4	22	14	4	44
(%)	9.1	50.0	31.8	9.1	100

Table 13. Safety regulations to Evacuation zones in offshore

National	Evacuation safety zone standards
	<ul style="list-style-type: none"> - Semi-high-rise buildings (30 floors more than 49 layers or less) <ul style="list-style-type: none"> • The evacuation floor or evacuation safety areas the directly connected with direct stair leading to the ground on that are more than one place install within five floors from on one half of the building entire floors (Exempt if the width of the stairs you have installed more than just direct 1.5m) - More than 50 floors and a height of more than 200m high-rise buildings <ul style="list-style-type: none"> • Evacuation floor or up to the evacuation safe area that is directly connected with the direct stairs leading to the ground floor from the ground floorto install more than one place every 30(evacuate the space provided on the intermediate floor for evacuation and safety of the building) - The minimum size criteria of safety evacuation areas are one people/0.28m² - Evacuation safety zone area accommodates 50% of the total number of people upper zone - Based on the evacuation floor separating the upper and lower floors of special evacuation stairs
Korea	
China	<ul style="list-style-type: none"> - Public buildings exceeding 100m evacuated intermediate floors installed every 15 floors - Minimum standards for evacuation area consists of five peoples/ m² & Based on the evacuation floor separating the upper and lower floors of special evacuation stairs
Hong Kong	<ul style="list-style-type: none"> - All buildings exceeding 25 floors evacuation floor is provided in each interval between the floors 20-25 - The evacuated space and fire protection equipment compartment in United States Fire Protection Association(NFPA) 101 Life Safety regulations
USA	<ul style="list-style-type: none"> - The area with at least two escape routes or separate from the fire in the building gaining access into safety zones - Defined as a space that serves as a evacuation to earn extra time (If that do not have a fixed fire-related equipment, mandate the temporary evacuation space through the disability laws, However, if sprinklers are to be installed exemption)

Table 14. Domestic & international high-rise building fire safety regulations review

Classification	Applicable law	
	Domestic law	NFPA 101
Evacuation stairs and structure of a special evacuation stairs	Building Code Act Article 39	NFPA 101 - 7.4.1.2
The width of the corridor and installation standards	Rules on standard 15-2 on evacuation fire protection structural of the building	NFPA 101 - 30.2.3.3
Movement distance	Building Code Act Article 34	NFPA 101 - 5.6.1
evacuation exit separation distance	Rules on standard 8 on evacuation fire protection structural of the building	NFPA 101 - 7.5.1.4
Fireproof compartments	Rules on standard 15 on evacuation fire protection structural of the building	NFPA 101
A quantitative review of the evacuation exit capacity	No standard	NFPA 101 - 7.3.3.1

또한 Table 14를 살펴보면 국내 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제15조와 NFPA 101에서는 층간 방화구획을 해야 하는 것으로 규정하고 있고, 특히 국내법은 3층 이상의 층과 지하층은 층마다 구획할 것을 요구 한다.

4. 초고층 및 대형 건축물의 국내기준 및 NFPA에 따른 화재피해경감 개선방안

4.1 연돌효과의 억제방안

국내 건축법 시행령에 따르면 건축물의 각 층에서 피난 층 또는 지상으로 통하는 직통계단을 설치하도록 규정하고 있다. 초고층 건축물에서 이러한 직통계단은 일반적으로 높이 300m이상 굴뚝이 되기 때문에 강력한 연돌효과가 발생되며, 이로 인한 부속실의 계연설비 차압 형성이 불가능하게 된다. 따라서 계단은 일정 구간별로 상하를 완전히 구획하여 연돌효과를 줄여야 한다. 계단을 상하로 분리하는 방법은 여러 가지일 수 있으나 피난 안전구역에서 분리하는 것이 일반적이라 할 수 있다. 그렇게 되면 피난 안전구역이 30개 층 이하마다 설치되므로 계단 역시 30개 층 이하마다 상하로 구분이 될 수 있게 된다. 실제로 말레이시아 Petronas 빌딩에 적용된바 있다.

4.2 피난용 엘리베이터의 활용

초고층건물에서의 전체 피난시에 초고층 건물의 경향에 부합하는 기준의 제정이나 성능위주설계에 기초한 연구결과를 바탕으로 초고층 건물에서 엘리베이터를 이용한 피난을 예외적으로 수용할 수 있는 제도적 절차가 도입되어야 할 필요성이 있다. Table 15는 화재사례분석에 근거한 화재방호방안을 설명한 것으로 피난계단실과 엘리베이터실의 연돌현상 방지를 위한 대책을 NFPA기준에(3,6) 의해 정리한 것으로, 성능위주평가로 피난계단실에서는 압력차를 20Pa~80Pa 이내에 두고, 엘리베이터실에서는 Vent Area를 전체 Shaft area에 약 3.5% 면적이나, 엘리베이터 개수 당 0.28m² 면적 중 큰 값으로 설계하는 방법을 제시하고 있다. 현재 국내에 설치된 엘리베이터는 초속 40m의 강풍에 견디는 구조로 고층용 E/L는 풍속17m/sec 이상인 경우 1차 감속으로 300m/min, 초속이 23m/sec이상인 경우 2차적 감속으로 180m/min, 41m/sec 이상인 경우는 운행 정지되는 구조이다.

Table 15. Fire prevention measures in accordance with the analysis of case reports

Accident Type	Law	problem	Preventivemeasures
1. Evacuation staircase stack phenomenon	NFSC 501A	Deaths occur in the high floors but fire occur in the first floor as the stack effect of elevator room & evacuation staircase when fire in high - Rise Buildings (MGM & DuPont Plaza fire)	<ul style="list-style-type: none"> - Risk determine as assessment of the performance-based - Evacuation stairs is divided into several sections (every 30m when there is no performance calculation) - Keep the pressure difference within the minimum 20Pa maximum 80Pa - Risk determine as assessment of the performance-based - Keep the pressure difference within 12Pa - Vent area is designed to a large value Among of about entire shaft area 3.5% or 0.28m² area per the number of elevators
2. Elevator room stack phenomenon	No law regulation		

4.3 샌드위치 가압방안 활용

건축법상 6층 이상의 건축물로서 관람집회시설, 판매시설, 숙박시설, 업무시설 및 위락시설 등의 거실에는 바닥면적의 1% 이상의 유효면적을 가진 배연구를 설치하거나, 기계식 배연설비를 소방법규의 기술기준에 맞추어 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 소방법규상의 제연설비 규정은 초고층 부분에 대해서는 너무 강한 규정으로 층고를 많이 높여야 하는 등의 심각한 문제로 대두되었다. 미국의 경우에는 우리나라의 규정과 달리 화재 층에서는 배기를 하여 부압을 형성하게 하고, 화재층의 직상 층과 직하 층에는 급기를 하여 양압을 형성시키는 샌드위치 가압방식(Sandwich Pressurization)을 주로 사용하고 있다. 이 샌드위치 가압방식은 버즈 두바이 빌딩, 진마오 빌딩에서도 적용된바 있다.

4.4 피난 안전구역의 배치 및 특별안전계단

4.4.1 피난층

초고층건축물에는 건축법시행령 제 34조 제 3항에 따라 피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단과 직접 연결되는 피난안전구역(초고층건축물의 피난안전을 위하여 지상층로부터 최대 30개 층마다 설치하는 대피 공간)의 설치를 의무화 하고 있다. 하지만 건축법에 정의된 층수가 50층 이상이거나 높이가 200m 이상인 초고층건축물뿐 아니라 고가사다리차가 닿지 않는 50층 이하의 고층건물에도 요구된다. 미국의 경우는 NFPA Code에⁹⁾ 피난층의 설치를 소극적으로 권장하고 있고, 중국의 경우는 매 15층마다 설치토록 규정하고 있다.

Table 16. The width of the corridor and installation standards

Classification	Standard	Base
Domestic law	more than 1.2m	Rules on standard 15-2 on evacuation fire protection structural of the building
	more than 0.91m (Less than 50 people)	
NFPA	more than 1.12m (more than 50 people)	NFPA 101 - 30.2.3.3

또한 Table 16에 나타난 것처럼 복도의 너비 및 설치 기준으로는 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제15조2에 의하면, 공동주택의 경우 건축물의 양 옆이 거실인 복도는 1.8미터 이상, 기타의 복도는 1.2m 이상으로 설치해야 한다. NFPA 101(3)에서는 층별 수용 인원이 50명 미만일 때는 0.91m이상, 50명 이상일 때는 1.12m 이상 설치하여야 한다.

4.4.2 특별안전계단 제연설비

특별피난계단(Specific fire escape stairs)은 Table 17 나타나 바와 같이 옥내 부분과 계단실과의 사이에 연기를 배출할 수 있는 부실, 발코니 등의 완충 부분을 두고, 화재 시에 화재와 연기의 침입을 방지할 수 있는 피난 계단으로 국내 기준 건축법 시행령에(1) 따르면 피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단을 2개소 이상 설치하여야 한다. NFPA 101의 규정에 따르면(3) 피난계단은 거주인원에 따라 달라지며 층별 수용 인원이 500명 미만일 때는 2개소, 500명 이상 1,000명 미만일 때는 3개소, 1,000명 이상일 때는 4개소 이상 설치하여야 한다. 또한 미국의 NFPA Code(3)에 따르면 스프링클러가 설치된 경우에는 어느 정도의 안전이 보장되기 때문에 차압 유지기준이 12.5Ps로 완화되며, 어느 한 층에서의 화재시에도 급기뎀퍼를 전 층에서 동시에 개방하지는 않는다. 따라서 화재가 발생하게 되면 전 층의 급기뎀퍼를 동시에 개방한다는 것은 문제가 있으며 구간별로 급기하는 방안의 도입이 필요하다.

Table 17. Structures of special evacuation stairs and evacuation stair

Classification	Standard	Base
Domestic law	more than 2 places	Building Code Act Article 39
NFPA	more than 2 places	NFPA 101 - 7.4.1.2

4.5 성능위주설계의 적용 강화

성능위주설계평가(PBD)와 재해영향평가(DIA)의 통합함에 있어서 통합이 불가능하다면 성능위주설계평가(PBD)와 재해영향평가(DIA)의 내용의 영역이 명확히 구분되어 정립되어야 한다. 아울러 화재안전의 목표는 일반적으로 이해관계자에 의해 광범위한 조건으로 정의되고, 추가적인 목적이나 2차적인 목적도 있을 수 있다. 따라서 방화엔지니어는 성능위주설계를 수행할 때 Table 18에서와 같이 최종목표를 이해하여야 한다. 또한 Fig. 1과 같이 성능위주설계와 관련한 국외 추세로는 ISO 2394, 유럽코드, 성능설계기준에 대한 국제적, 지역적으로 통용될 수 있는 설계코드 개발에 대한 국제적인 동향이 1995년에 WTO(World Trade Organization) / TBT(Technical Barriers to Trade)에 의해서 조약이 맺어졌고, 이러한 목적을 위해 성능중심 설계법(Performance based design, PBD)과 한계상태설계법(Limit state design, LSD)이 기본 설계법으로 채택하여 시행하는 것이 적극 검토되어야 한다.^(13,15)

Table 18. Examples of safety goals

The basic final goal	Potential final goal
<ul style="list-style-type: none"> Prevention loss of life and Minimize of injuries associated with fires prevention Minimize damage to buildings, contents and historic features, property Minimize damage of revenue and facility operating due to fire Limit the environmental impact of fires and protective measures 	<ul style="list-style-type: none"> Provide adequate training and awareness to ensure the safety of occupants from fire Reduce costs while maintaining adequate life safety and management methods Maximizing the flexibility of the design Minimize structural damage to historic buildings

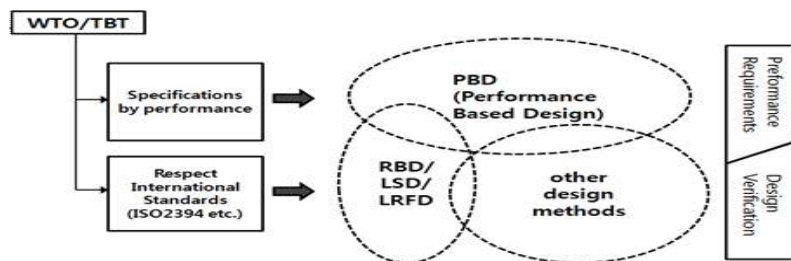


Fig. 1. WTO & TBT treaty on the Performance-Based Design.

또한 향후 건축·소방 기준 통합화 및 국제화, 정보화를 통해 사용자 편의성 증대 필요성측면에서 독립적인 기준 운영주체 혹은 운영주체와 별도로 이를 조율하는 역할을 하는 이원화된 시스템 운영을 통해 기준의 국제 적합성 및 다양성에 대응 가능하도록 기준 운영 시스템을 구축하는 것이 필요하다. (ICC, 일본건축센터 등) 특히 성능기반기준의 경우 평가인증시스템과의 병행을 통해 효율적 관리를 꾀하여야 한다. 아울러 건축·소방기준 운영주체의 일원화와 체계적 관리를 통한 기준의 국제경쟁력 제고측면에서 현재 건설과 관련된 기준은 대부분 국토해양부 건설기준과에서 관리하고 있고, 소방, 전기등의 분야는 타부처(국민안전처)등에서 관리를 하고 있어서, 부처 간에 이견이 있을 경우, 이를 해소하기 위한 적절한 협력이 필요한 상태이다. 이상과 같이 국내외의 기술 기준 분석을 통해 도출된 향후 필요기술은 다음 Table 19의 내용과 같이 전망된다.

Table 19. Future technology needs derived from domestic & Foreign technologies analysis

Summary of technical standards of the domestic & Abroad	Necessary technology
<ul style="list-style-type: none"> - Obscure the subject to perform the standards operation and revised - There is a conflict standards do not match or conflict of interagency standards - There is management committee (japan center building) serving to coordinate the operation or independent operational entities (ICC) in abroad - ICC : The dual operation of the Group A / Group B, evaluation service providers - It highlighted the need of global trend of performance-based criteria(ISO) & performance certification assessment - Increasing need for the development and exchange of information using the same IT technology 	<ul style="list-style-type: none"> - Unified architecture • fire protection standards management body - Efficient, integrated building • fire protection standard system construction & Continued management systems needs - Coordinating between departments & systems & establish subject to arbitration - Build & establish performance evaluation system of performance-based certification standards - Provision of user-oriented services that correspond to the various architecture • fire protection demand - Electronic system provided & english of architecture • fire protection standards and English electronic system of fire protection standards laid Information exchange systems & standards related services provided using IT Technology

5. 결론

초고층 건축물의 발생 가능한 화재를 방지하기 위해서는 재산과 인명을 보호하기 위한 합리적인 설계와 균형 있는 법 규정이 필요하다. 따라서 본 연구는 국내·외 초고층 및 대형복합 건축물의 화재안전 관련 기준의 비교와 화재공학적인 화재안전 개선방안 도출에 관한 연구로 국내의 초고층 및 대형 건축물관련 건축심의·성능위주설계(PBD)평가·재해영향평가 및 국외의 NFPA를 중심으로 이 제도의 대상이 되는 건축물과 그 내용상의 문제를 분석하여 얻어진 결론은 다음과 같다. 먼저 법 기준개선측면에서는 성능위주설계(PBD)평가와 재해영향평가는 통·폐합이 어려울 경우 성능위주설계(PBD)평가와 재해영향평가의 내용의 영역이 명확히 구분되어 정립되어야 한다. 다음 초고층 건축물의 공학적 화재위험성에 대한 개선방안으로는 먼저 초고층 건축물의 제연설비에 대한 개선방안으로 특별 피난 계단에서 직통계단의 규정을 개정할 필요가 있으며, 둘째 배연창 대신 기계식 배연설비를 설치하는 경우 미국에서 사용하는 샌드위치 가압방식을 적극 권장해야하고, 특별 피난계단용 제연설비는 화재시 구간별로 급기 할 수 있도록 기준의 개정 및 설계초기 단계부터 준공까지 성능위주설계 진행 등이 필요한 것으로 나타났다. 향후 이상의 연구에서 도출한 개선책 반영과 함께 초고층 건축물의 대한 또 다른 고려사항들에 대해 추가적인 연구가 진행되고, 또한 유지관리에 대한 연구가 진행되어 그 결과를 반영할 수 있는 초고층 건축물이라면 화재로 인한 인명피해 및 재산손실을 줄이는데 획기적인 기여를 할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 호원대학교 교내학술연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

National Emergency Management Agency, (2014), "Special Act on the complex high-rise buildings and underground links

Disaster Management”, NEMA.

National Emergency Management Agency, (2015), “Fire Administration statistics 2015”, NEMA.

NFPA, (2009), "NFPA 101 Life Safety Code", National Fire Protection Association.

Ministry of Public Safety and Security, (2015), Disaster Statistical Yearbook, MPSS, pp. 241~243.

J. P. Choi, B. J. Jang, Y. S. Park, Y. J. Lee, (2005), “Introduction of the concept evacuation floor and shelter space for high-rise building” Architectural Institute of Korea, Vol. 21, No. 3, pp. 147~154.

Municipal Development Institute, (2010), “Ensuring method of fire safety in high-rise buildings”, pp. 193~194

H. S. Hwang, (2013), “Disaster prevention measures in high-rise buildings”, Fire magazine, Vol. 1, pp. 19~24.

S. H. Choi, (2009), “Improvement method for ventilation equipment of high-rise building”, Facilities Journal, Vol. 38, No. 11, pp. 26~33.

H. S. Hwang, (2009), “Complex high-rise building fire protection facilities design practices” , Facilities Technology Association of Korea, Vol. 26, No. 12, pp. 39~47.

J.Y. Kim, (2010), “Technology Status of ventilation facilities in high-rise buildings”, Korea Institute of Construction Technology, Construction Technology Trends, pp. 34~35.

C. H. Choi, (2009), “Performance-Based Fire Protection Design Case in high-rise buildings”, Facilities Technology Association of Korea, Vol. 26, No. 12, pp. 48~59.

J. S. Choi, (2011). “BIM application method of high-rise buildings” Ssangyong Institute of Construction Technology.

Y. D. Kim, (2007), “Disaster prevention facilities of high-rise building”, Facilities Technology Association of Korea, Vol. 24, No. 1, pp. 79~86.

Y. J. Lee, (2014), “A Study on the Fire Safety Regulations for High Rise Buildings and Megastructure”, Fire magazine, Vol. 2, pp. 58~67.

S. C. Lee, (2013), “Consideration for the Improvement of ventilation equipment in high-rise buildings”, Fire magazine, Vol. 1, pp. 15~18.