

성능위주설계에서 화재위험성 예측 과정의 문제점 및 개선방안

이 세 명*

*경일대학교 소방방재학과

The Problems and Improvements of Process to Predict Fire Risk of a Building in Performance Based Design

Se-Myeoung Lee*

*Dept. of Fire Safety, Kyung-II University

Abstract

Performance based design(PBD) is the method to make a fire safety design against them after predicting the factors of fire risk in a building. Therefore, predicting fire risk in a building is very important process in PBD. For predicting fire risk of a building, an engineer of PBD must consider various factors such as ignition location, ignition point, ignition source, first ignited item, second ignited item, flash over, the state of door and fire suppression system. But, it is difficult to trust fire safety capacity of the design because the process in Korea' PBD is unprofessional and unreasonable. This paper had surveyed some cases of PBD that had been made in Korea to find the problems of the process to predict fire risk. And it have proposed the improvements of process to predict fire risk of a building.

Key words : Performance based design, PBD, The process to predict fire risk, The factors of Fire risk

1. 서 론

최근 전 세계적으로 도시 공간의 효율적 활용을 위해 (초)고층 건축물을 양산하고 있는 추세이다. 하지만, 초고층 건축물은 화재 및 각종 재난이 발생할 경우 기존의 소규모 건축물과 비교할 수 없을 정도로 대규모 인명 및 재산피해를 유발할 수 있다[15]. 이에 화재 등의 재난으로부터 건축물의 안전성을 높이기 위해서 화재 소방분야에서는 성능위주 소방 설계(이하 성능설계) 제도를 도입하여 시행하고 있다.

성능설계는 화재로 인한 인명 및 재산피해가 클 것으로 예상되는 초고층 복합 건축물에 대해 미래 발생 가능한 화재위험요소를 미리 예측하여 화재안전설계를 수립하는 설계방법이다. 건축물이 안고 있는 다양하고

복잡한 잠재위험요소를 정확하게 파악하고 이에 대한 안전대책을 수립하는 문제는 매우 복잡하고 어려운 문제이다[1]. 하지만, 성능설계가 화재안전설계의 본래 기능을 제대로 발휘하기 위해서는 화재위험 예측을 올바르게 하는 것이 선행되어야 한다. 우리나라는 2011년 7월 1일에 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준이 제정되고 대상건축물은 반드시 성능설계를 실시하도록 의무화함에 따라 성능설계 제도가 본격적으로 시행되었으나[2], 지금까지 수립된 성능설계의 화재위험 예측 과정에서 전문성과 합리성이 결여되어 성능설계안의 화재안전성능을 확신할 수 없다는 비판이 제기되고 있다. 이러한 배경에 기초하여 본 연구는 국내 성능설계 사례를 조사하여 화재위험 예측과정의 문제점을 분석하고 향후 개선방안을 제안하였다.

† Corresponding Author : Se-Myeoung Lee, Dept. of Fire Safety, Kyung-II University, 50 Gamasil-gil, Hayang-eup, Kyungsan-si, Kyungsangbuk-do, Korea.
M·P : 010-3198-8431, E-mail : lsm0023@naver.com

Received July 17, 2014; Revision Received September 5, 2014; Accepted September 19, 2014.

2. 성능설계와 화재위험예측

2.1 성능설계

성능설계는 다음과 같은 절차로 이루어진다. 첫 번째가 고객의 안전 목표에 따른 설계 목적의 설정, 두 번째로 화재시나리오와 설계화재의 개발, 세 번째로 설계안들의 개발 및 평가이다. 설계목적의 설정은 이해관계자의 최종목표(인명안전, 재산보호 등)에 대하여 구체적인 설계목표를 공학적 용어로서 구체화시키는 것이고, 화재시나리오의 개발은 건물 내의 발생 가능한 화재상황을 도출하여 그 화재의 발화로부터 화재성장 전 단계를 구어적으로 기술하는 것이며, 설계화재의 개발은 선정된 설계화재시나리오를 토대로 차후 시험설계안 개발의 기준이 되는 화재성장곡선을 설정하는 것이다. 그리고 시험설계안 개발 및 평가는 설계화재시나리오와 그것을 정량화한 설계화재에 상응하는 적절한 설계안을 개발한 후에 그것의 화재안전성능을 화재시물레이션 또는 실제 화재실험을 통해 평가하는 것이다[3].

이러한 성능설계의 전 과정 중에서 화재시나리오와 설계화재의 개발 및 선정은 건물 내 화재위험요소의 예측을 통해서 이루어지며 최종 성능설계안이 화재안전성능을 확보하기 위해서는 과학적이고 합리적인 과정에 따라 진행 할 필요가 있다.

2.2 화재위험예측의 고려사항

화재의 발생과 성장은 다양한 요소들에 의해 영향을 받기 때문에 미래에 발생할 화재위험을 예측하고 그것을 정량화하기 위해서는 이들 요소들에 대한 충분한 고려가 필요하다. 해외의 성능설계 관련 코드와 참고문헌에는 화재위험 예측과정에서 고려해야 할 사항들에 대해 기술하고 있으며 이들은 성능설계분야에서 널리 활용되고 있는 기술 참고문헌들이다. 문헌을 통해 살펴본 결과, <Table 1>과 같이 발화 장소 및 발화지점, 발화원, 최초 착화품목, 두 번째 착화품목, Flashover 발생여부, 출입문 상태, 소화설비 작동 등이 화재위험 예측을 위한 중요한 고려사항임을 확인할 수 있었고 이러한 요소들을 토대로 조사대상 사례들을 분석하였다.

3. 조사대상 및 현황

3.1 조사대상

본 논문의 연구를 위해 성능설계 시행 초기부터 최근까지 완료된 30건의 성능설계 보고서를 조사 분석하였다. <Table 2>에서 조사 대상은 2011년 7월부터 2011년 12월까지 7건, 2012 1월부터 2012년 6월까지 6건, 2012년 7월부터 2012년 12월까지 6건, 2013년 1월부터 2013년 6월까지 5건, 2013년 7월부터 2013년 12월까지 6건으로 작성 시기가 고르게 분포되어 있어서 기간의 편중됨 없이 화재위험 예측과정을 분석할 수가 있었다.

<Table 1> the Factors Determining Fire Scenarios and Design Fires.

	Ignition location & point	Ignition source	First item ignited Second item ignited	Flashover	State of doors Fire suppression
ISO 13387-2 [Ref 4]	Geometry of the enclosure	-	Nature of combustibles Geometric arrangement of the fuel Ignitability of the fuel Rate of heat release characteristics External heat flux Exposed surface area	-	State of doors Fire suppression
NFPA 72 [Ref 5]	Proximity of fire to walls and corners Ceiling height	-	Type of fuel and ease of ignition Fuel configuration and orientation Location of secondary fuel packages	Flashover	-
NFPA 101 [Ref 6]	Ignition location	Ignition sources	First item ignited Second item ignited Fire spread Relative location	-	-
NFPA 5000 [Ref 7]	Room size Ignition location	Ignition sources	Fuel properties Furnishings and contents First item ignited	-	-
SFPE [Ref 8]	-	Ignition source	Initial fuels Secondary fuels Extension potential Target locations	Flashover	Whether doors are open or closed Fire suppression

3.2 조사대상의 화재위험예측 현황

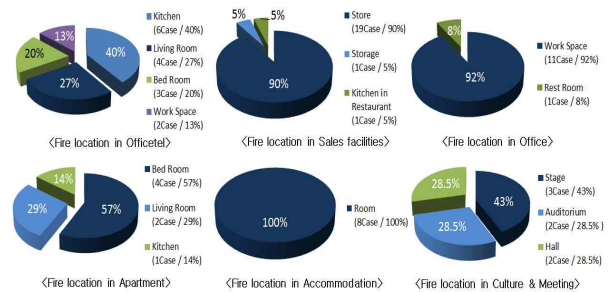
조사를 위해 선정된 30건의 성능설계 대상 건축물의 설계화재시나리오는 총 107건이었으며 1건의 성능설계 수립 시 약 3.6개의 설계화재시나리오를 선정하여 화재 위험예측 및 평가를 수행하였다. 소방시설 등의 성능위 주설계 방법 및 기준에는 가장 피해가 클 것으로 예상 되는 최소 3개 이상의 시나리오를 선정하여 화재 및 피난시물레이션을 수행하도록 규정하고 있으나, 필요한 경우에 성능설계 엔지니어의 자발적 의사 또는 성능설 계 심의 과정에서 심의위원의 요구에 의해 설계화재시 나리오를 추가하였다. 이들 설계화재시나리오 중에서 대표적인 6개용도(오피스, 공동주택, 오피스텔, 판매시 설, 숙박시설, 문화 및 집회시설)의 70개 설계화재시나 리오를 선정하여 화재위험 예측요소별로 정리한 것이 <Table 3>이다.

4. 화재위험예측과정의 문제점과 개선방안

4.1 용도별 발화 장소 및 발화지점 선정

70개 설계화재시나리오의 용도별 발화 장소 선정 빈 도를 조사해 본 결과, [Figure 1]과 같이 오피스와 판 매시설 그리고 숙박시설의 경우 각각 사무 공간, 판매 장, 객실이 발화 장소로 가장 많이 선정되었으며 오피 스텔은 주방(6건), 거실(4건), 침실(3건), 사무 공간(2 건), 공동주택은 침실(4건), 거실(2건), 주방(1건), 그리 고 문화 및 집회시설은 무대 부(3건), 객석(2건), 외부

홀(2건)의 순으로 발화 장소가 비교적 고르게 선정되었 다. 이것은 성능설계 엔지니어들이 해당 용도별 발화가 능성이 높은 장소를 이와 같이 예측하고 있음을 의미 하는 것이다.



[Figure 1] The ignition locations of six occupancies.

발화 장소는 화재위험을 예측·평가하는데 있어 중 요 항목이기 때문에 과거 화재 경험 및 통계 또는 화 재 공학적 견해를 바탕으로 가장 발생 빈도가 높거나 화재 발생 시에 피해가 가장 클 것으로 예상되는 장소 를 선정하여야만 한다. 그러나 조사 결과 해외의 화재 통계자료와 2011년 서울시 화재통계를 참고한 2건 외 에는 선정근거를 명확히 제시하고 있지 않아 발화 장 소 선정의 신뢰성을 확신할 수 없었다. 현재 상황에서 건물의 용도별로 발화 빈도 및 피해크기에 대한 확률 자료를 확보하기는 힘들다고 하여도 국내 화재통계 자 료를 활용하여 화재가 가장 많이 발생했던 장소와 화 재피해가 가장 컸던 장소에 대한 근거 자료를 마련하 여 발화 장소를 선정할 필요가 있다.

<Table 2> the Objects of Investigation.

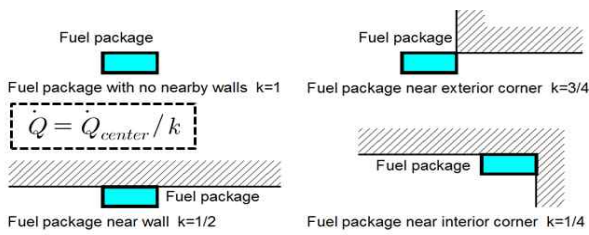
	Date (yy/mm)	Numberoffloors (Above/Under)		Occupancy		Date	Numberoffloors (Above/Under)		Occupancy
1	2011/08	28	2	O	16	2012/08	29	8	C/ Ot/ S
2	2011/09	39	5	Ot/ A/ S/ N	17	2012/09	35	4	Ot/ N
3	2011/10	28	5	P	18	2012/11	107	8	O/ S/ C/ C&M
4	2011/10	36	4	Ot	19	2012/12	27	7	O/ C&M/ N
5	2011/11	42	6	Ot/ P/ S	20	2013/02	13	7	O/ S/ C&M/ N
6	2011/11	35	3	P/ O/ N	21	2013/03	38	5	A/ O/ N
7	2011/12	25	6	O/ N	22	2013/04	19	5	A/Ot/O/C/S/C&M/N
8	2012/02	30	3	Ot/ N	23	2013/05	25	5	C/ N
9	2012/02	49	4	Ot/ P/ S	24	2013/06	29	6	C/ N
10	2012/02	40	4	Ot/ S/ N	25	2013/08	29	5	O/ N
11	2012/02	48	4	Ot/ A/ S/ C&M	26	2013/10	9	7	S/ C&M
12	2012/06	37	4	Ot/ N	27	2013/10	39	5	C/ S
13	2012/06	25	7	C/ N	28	2013/11	35	7	A/ S/ O/ Ot
14	2012/07	26	6	Ot/ N	29	2013/11	40	6	A/ S/ O/ Ot
15	2012/07	27	2	O	30	2013/12	32	4	S/O/Ot/C/C&M

O : Office, Ot : Officetel, A : Apartment, S : Sales facilities, C : Accommodation, C&M : Culture & Meeting facilities, N : Neighborhood facilities, P : Plant

<Table 3> the Factors to Consider for Prediction of Fire Risk (*): Fash over, (**): State of doors, (***): Fire suppression

Occu- pancy	Ignition location	Ignition point (yy/mm)	Ignition source	Ignited item		F/O (*)	Do (**)	Su (***)	Occu- pancy	Ignition location	Ignition point (yy/mm)	Ignition source	Ignited item		F/O (*)	Do (**)	Su (***)		
				First	Second								First	Second					
Officetel	Work space	P1 (12,02)	-	W1	-	○	open	×	Office	Work space	P4 (11,08)	E1	W2	-	×	open	○		
		P1 (12,02)	Trash bag	W2	Lo	○	close	×			P4 (11,10)	E2	W2	-	○	open	×		
	Living room	P1 (12,02)	-	So	-	○	open	×			P3 (11,11)	-	W1	-	○	open	×		
		P1 (12,02)	-	So	-	○	open	×			P2 (11,12)	E1	W2	-	○	open	×		
		P1 (13,04)	-	Ma	Fu	○	open	×			P2 (12,02)	-	So	-	○	open	×		
		P1 (13,12)	E1	Os	-	○	close	×			P4 (12,07)	Trash bag	W2	-	○	open	×		
	Bed room	P1 (11,09)	E1	Ma	-	×	close	○			P1 (12,12)	-	-	-	○	open	×		
		P1 (12,06)	E2	Ma	-	○	close	×			P2 (12,12)	-	-	-	○	open	×		
		P1 (12,09)	E2	Ma	-	○	close	×			P4 (13,02)	-	-	-	○	open	×		
	Kit- chen	P1 (11,10)	-	Si	-	○	close	×			P4 (13,08)	-	Re	-	○	open	×		
		P1 (12,07)	Trash bag	Si	-	○	close	×			P3 (13,11)	E1	W2	-	○	open	×		
		P1 (12,07)	Trash bag	Si	-	○	close	×			Bath room	P1 (11,12)	E1	Dr	-	○	open	×	
		P4 (12,08)	C1	Os	-	○	open	×		Living room		P4 (11,11)	-	So	-	○	open	×	
		P1 (13,03)	C2	Si	-	○	open	×				P4 (13,04)	-	Ma	Fu	○	open	×	
	Sales facilities	Storage	P4 (11,09)	-	Go	-	×	open		○	Apart- ment	Bed room	P4 (13,03)	E1	Ma	-	○	open	×
			P1 (11,10)	-	Ki	-	○	open		×			P1 (13,11)	E2	Ma	-	○	close	×
		P3 (11,10)	-	Ki	-	○	open	×		P4 (13,11)			-	Ma	-	○	open	×	
		P3 (11,11)	-	Ki	-	○	open	×		Kit- chen			P4 (12,02)	-	Ch	-	○	close	×
P3 (11,11)		-	Ki	-	○	open	×	Acco- mmo- dation	Room			P1 (12,06)	-	Ma	-	○	close	×	
P4 (12,02)		-	Ki	-	○	open	×			P1 (12,08)		E1	Dr	-	○	open	×		
P4 (12,08)		E3	So	-	○	open	×			P1 (13,05)	-	Ma	-	○	close	×			
P3 (12,11)		E1	Ki	-	○	open	×			P1 (13,05)	-	W2	-	○	close	×			
P3 (12,11)		-	Ki	-	○	open	×			P1 (13,06)	-	Dr	-	○	open	×			
P1 (13,02)		-	Ki	-	○	open	×			P1 (13,10)	E2	Ma	-	○	close	×			
P1 (13,02)		-	Ki	-	○	open	×			P1 (13,10)	E2	Ma	-	○	close	×			
P3 (13,04)		-	Ki	-	○	open	×			P1 (13,12)	-	Os	-	○	close	×			
P4 (13,10)		-	Ki	-	○	open	×			Hall	P4 (12,02)	-	Tr	-	○	open	×		
P3 (13,10)		-	Ki	-	○	open	×				P3 (13,10)	-	So	-	○	open	×		
P4 (13,10)		E1	Re	-	○	open	×			Culture & Meeting	Stage	P4 (12,11)	E1	Cu	Pa	○	open	×	
P4 (13,11)		E1	Re	-	○	open	×					P3 (13,04)	-	Cu	Pa	○	open	×	
P3 (13,11)		E1	Ki	-	○	open	×	P4 (13,12)	E1			Cu	Pa	○	open	×			
P3 (13,12)		E1	Ki	-	○	open	×	Audi- torium	P4 (13,02)		-	Lo	-	○	open	×			
P3 (13,11)	E1	Ki	-	○	open	×	P3 (13,10)		-		Ch	-	○	open	×				
P3 (13,11)	E1	Ki	-	○	open	×	W1: Three-sided workstation, W2: Two panel workstation So: Sofa, Ma: Mattress, Ma: Mattress, Si: Sink, Go: Goods Ki : Kiosk, Re: Refrigerator, Dr: Dresser, Os: Office storage unit												
Kitchen	P4 (13,05)	-	Si	-	○	open	×	Tr: Christmas tree, Cu: Curtain, Pa: Wooden pallet, Lo: Love seat, Ch: Chair metal flame minimum cushion(16.52kg)											
		P1: near fire escape stairs, P2: considering layout planning, P3: in the middle of the room P4: far from escape stairs E1: short circuit, E2: overheating of apparatus, E3: Short-circuit by insulation aging C1: Electric stove C2: Gas stove C3: Cooking																	

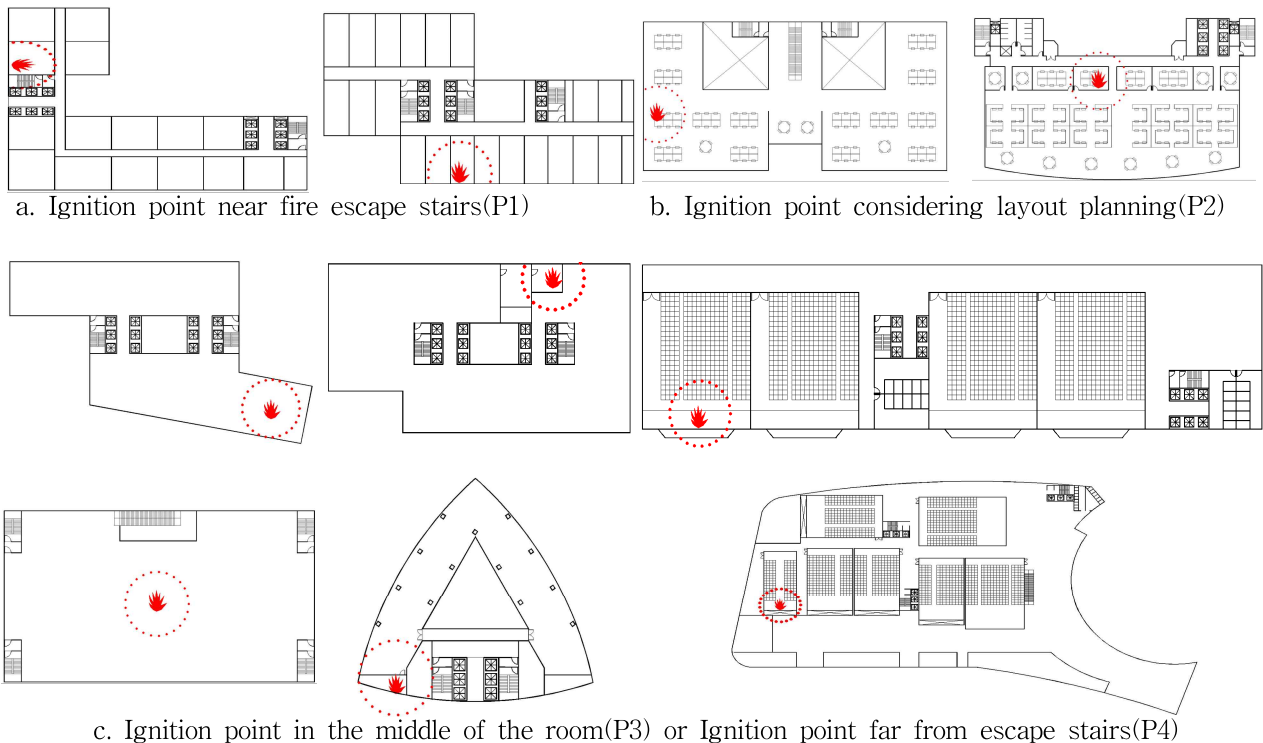
실내의 발화지점은 화재성장곡선에 영향을 미칠 수 있다. 화재가 벽에서 멀리 떨어진 실내에서 연소할 때는 공기는 모든 방향에서 플럼으로 유입할 수 있지만, 화재가 벽 또는 모서리에 근접한다면 화재 플럼으로 인입되는 공기의 양은 감소하게 되어 열방출률이 달라진다. [Figure 2]와 같이 실내의 가운데 지점에서 발화가 되었을 때의 열방출률을 \dot{Q} 라 하면 벽에 근접한 화재의 경우 $2\dot{Q}$ 가 되며 90°의 모서리 화재의 경우 $4\dot{Q}$ 가 된다[3]. (즉, $\dot{Q} = Q_{center}/k$)



[Figure 2] The effect of wall and corner

때문에, 같은 발화원이라 하더라도 발화지점에 따라 화재성장곡선은 달라질 수 있다. 하지만, 조사대상 중에서 벽 또는 모서리 효과를 고려하여 화재크기를 예측한 경우는 단 한 건도 볼 수가 없었다.

또한, 발화지점은 화재 실 출입구 또는 피난계단과의 거리에 따라 피난한계시간(ASET ; Available Safe Egress Time)에도 영향을 미친다. 출입구 및 피난계단과 먼 거리에 발화지점을 선정할 경우 상대적으로 연기 전파시간이 길어져 피난시간을 더 많이 확보할 수 있다. 때문에 발생 가능성이 높은 발화원의 위치와 실 내부 배치계획을 고려하여 발화지점을 선정하여야 신뢰할 수 있는 화재예측이 가능하다. 70개 조사대상에 대한 발화지점 선정 경향을 분석해 본 결과 크게 4개 지점 즉, 피난계단에 근접한 지점(P1), 내부 배치계획이 고려된 지점(P2), 실의 가운데 지점(P3), 피난계단에서 멀리 떨어진 지점(P4)을 발화지점으로 선정하고 있음을 확인할 수 있었다. 이 중에서 내부 배치계획(P2)을 고려하여 발화지점을 선정한 경우는 불과 3건에 불과하였고 피난계단에 근접한 지점(P1)을 발화지점으로 선정한 경우는 28건으로 이 중에서 22건이 오피스텔과 숙박시설이었다. 이들은 [Figure 3]의 (a)와 같이 피난계단에 근접한 화재지점을 선정하고 있지만 화재실의 최종 재실 자가 피난을 완료한 이후에는 출입문(방화문)이 닫히는 경우를 가정하고 있어 피난한계시간이 피난요구시간(RSET : Required Safe Egress Time)보다 길었다.



c. Ignition point in the middle of the room(P3) or Ignition point far from escape stairs(P4)

[Figure 3] The original points of ignition

그 외의 경우에는 피난한계시간을 늘리기 위해 실의 가운데(P3) 또는 피난계단으로부터 멀리 떨어진 지점(P4)을 발화지점으로 선정하는 경향이 보였다. 이는 실제 화재위험을 왜곡하는 결과를 초래할 수 있으므로 합리적인 근거에 기초하여 발화지점을 선정할 필요가 있다.

4.2 발화원의 선정

빈도가 높은 설계화재시나리오를 선정할 때 발화원은 중요한 선정기준이 된다. 발화원의 종류는 일반적으로 흡연, 나화, 전기적 발화원, 방화, 고온표면, 자연 발화, 복사열원 등으로 구분할 수 있으며 이 발화원을 건물 내의 실제 착화물품과 연관 지으면 다음과 같이 분류가 가능하다.[6]

- 걸 천을 씌운 가구에의 담뱃불 점화
- 소형전기제품, 전등, 과부하 된 콘센트에서의 전기적 점화
- 주방에서의 조리화재
- 쓰레기통(Trash can)화재
- 걸 천을 씌운 가구에의 불꽃(나화)점화
- 가연성 액체

이들 발화원은 화재크기와 최대 열방출률을 결정하는 요소라고 보기는 어렵지만, 초기 화재성장속도에 영향을 미친다. <Table 4>는 NFPA 101(Life Safety Code)에서 제시하고 있는 발화원에 따른 화재시나리오와 화재성장속도를 보여주고 있다. 이처럼 발화원은 건축물의 초기 화재특성 파악을 위해 중요한 고려요소임에도 불구하고 조사대상 중 발화원의 종류를 규정하고 있는 경우는 합선·단락(E1) 18건, 전열기구 과열(E2) 6건, 쓰레기통(Trash bag) 4건, 기타 절연열화(E3), 전기스토브(C1), 가스스토브(C2), 조리부주의(C3) 각 1건으로 총 32건 정도였으며 나머지는 발화원에 대한 언

급이 없었다. 그리고 발화원을 선정한 이유에 대해서도 명확한 근거가 없었다.

성능설계 엔지니어는 프로젝트의 설계단계 동안 건물 내용물에 대한 특별한 정보를 얻기가 쉽지 않다. 통상적으로 건물의 내용물은 준공 후 입주자들에 의해 결정되는 경우가 많기 때문이다. 따라서 건물에 대한 발화원 및 모든 잠재적이고 전형적인 가연물에 대한 전반적인 조사를 실행하여 건물 내에 있을 수 있는 발화원과 가연물이 무엇인지 이해하기 위한 모든 시도를 해 보아야 하며 그러한 노력을 통해 얻은 자료를 바탕으로 발화원을 선정하는 것이 화재예측의 기본과정이라 생각된다[3]. 하지만, 현재 건축·기계·전기 설계회사의 하도급을 받아 설계업무를 진행하는 많은 소방설계회사의 지위를 고려해 보았을 때 충분한 시간을 갖고 공학적 근거에 기초해 화재위험예측을 수행하는 것은 현재의 구조로서는 쉬운 일이 아닐 것이다. 하지만, 성능설계가 화재안전성을 확보하기 위해 꼭 필요한 제도로 발전하기 위해서는 현재와 같은 문제점들을 개선해 나가야 하며 그러한 노력이 없을 경우 머지않아 성능설계 제도의 위기가 닥쳐올 수 있을 것임을 간과해서는 안 될 것이다.

4.3 첫 번째 및 두 번째 착화물품의 선정

발화원이 초기 화재성장속도에 영향을 미친다면, 그 이후의 화재특성은 첫 번째 착화물품과 그것에 의해 연소 확대된 두 번째 착화물품의 연소특성에 의해 결정된다고 해도 과언이 아니다. 최초착화물품은 두 가지 면에서 중요성을 지니고 있는데 첫째는 최초착화물품의 연소특성에 따라 화재의 크기, 연기 및 독성의 크기가 결정된다는 것이며, 두 번째는 인접하고 있는 두 번째 품목을 착화시켜 위험을 더욱 가중시키는 문제를 안겨 줄 수 있다는 점이다[6].

<Table 4> General Scenarios and Fire Growth Rates According to Ignition Sources. [Ref 6]

Fire Type	Scenario	
	Occupant in Room of Fire Origin	Room of Fire Origin Normally Unoccupied
Slow developing fire	·Cigarette ignition of upholstered furniture ·Electrical ignition of small appliance or lighting or overloaded outlet	·Overloaded or failed wiring igniting switch gear, electrical devices, or insulation, followed by ignition of wooden structural members
Moderate developing fire	·Kitchen/cooking fire ·Trash can fire ·Open flame ignition of upholstered furniture	·Wildland or exposure fire(e.g., from a neighboring building or parked car) ·Lightning-induced ignition of building roof ·Laundry room fire
Fast developing fire	·Flammable liquids	·Flammable liquid storage

대부분의 건물화재는 발화원에 의해 최초로 착화되는 물품의 연소특성에 따라 화재가 성장해 나가게 된다. 최초의 물품에 착화된 이후의 화재양상은 두 번째 물품으로의 착화여부와 착화시간에 따라 크게 달라질 수 있다. 최초착화물품과 주변의 물품이 충분히 이격되어 더 이상의 화염전파가 이루어지지 않을 경우에는 최초착화물품의 화재성장곡선과 유사하게 화재가 성장되어 Flashover에 도달하게 되거나 그 전에 소멸하게 된다. 만약, 두 번째 착화물품에 착화가 된다면 화재성장속도가 급격히 증가하여 화재크기가 더욱 커지게 될 것이다. 미국의 International Building Code에는 첫 번째 착화물품에서 인접하고 있는 물품으로 화염이 전파될 수 있는 이격거리(Separation distance)를 구하는 식을 다음과 같이 제시하고 있다. 여기서, q'' 는 발화에 요구되는 입사 복사 열유속(kW/m^2), Q 는 화재의 열방출률(kW), 그리고, R 은 이격거리(m)를 의미한다[9].

$$R = \sqrt{\frac{Q}{12\pi q''}} \quad (1)$$

그리고 스웨덴 SP연구소(SP Technical Research Institute of Sweden)의 보고서[10]에서는 첫 번째 착화물품의 열방출률에 따라 인접한 물품으로 화염이 전파될 수 있는 이격거리를 <Table 5>와 같이 제시하고 있다. 이것은 착화물품의 열방출률이 $500kW$ 이고 그것으로부터 0.6m 이격되어 있는 인접 가연물은 $35kW/m^2$ 의 열유속을 받아 15초~30초 사이에 착화되기 시작한다는 것을 의미한다.

<Table 5> Separation distance from target to center of fuel.

Heat release of burning object	Distance in meters from burning object to reach $35kW/m^2$	Distance in meters from burning object to reach $50kW/m^2$
100 kW	0.3	0.2
500 kW	0.6	0.5
1,000 kW	0.8	0.7

이처럼 해외의 성능설계 관련 코드와 참고문헌에서는 첫 번째 착화물품과 두 번째 착화물품간의 이격거리에 따른 화염전파에 대해 고려를 하고 있으나 우리나라의 경우, 70개의 설계화재시나리오 중 두 번째 착화물품을 고려하여 설계화재의 크기를 선정한 경우는 단 6건이었으며 이들도 첫 번째 착화물품과 두 번째

착화물품의 인접거리에 대한 고려 없이 첫 번째 착화물품의 화재크기에 두 번째 착화물품의 화재크기를 단순 합산하여 설계화재 크기를 선정하였으며, 인접한 물품으로의 착화로 인한 화재성장속도의 상승은 고려하지 않고 있었다. 그리고 첫 번째 착화물품의 선정에 있어서도 다소 불합리한 경우를 찾아 볼 수 있었다. 예를 들어, 판매시설 매장과 오피스 업무공간의 Refrigerator, 오피스 화장실의 Dresser, 숙박시설 객실의 Two panel workstation, 문화 및 집회시설의 Love seat 등은 다소 현실성과 보편성이 떨어지는 착화물품을 선정한 사례들이다. 이러한 문제점이 발생하는 이유는 우리나라가 보유하고 있는 가연물의 실 화재 실험 자료가 많지 않아 우리와 생활패턴 및 가연물의 종류가 다른 외국의 자료를 참고하여야 하는 한계로 인해 발생하는 것이며, 앞으로 연구소 및 대학기관을 통해 점진적으로 우리나라의 실정에 맞는 실 화재 실험 자료를 구축해 나갈 필요가 있다. 그 전에 성능설계 엔지니어는 현재의 한계상황에서도 실제 화재상황에 가장 부합하는 착화물품의 선정과 관련 화재특성자료를 성능설계에 반영하려는 노력이 요구된다.

4.4 플래시 오버(Flash Over) 발생여부

플래시 오버(Flash Over)는 열방출률, 온도, 연기 및 독성가스 발생량이 빠르게 상승하기 때문에 화재위험 예측에서 중요한 단계이다. 플래시 오버가 발생하면 해당 실의 재실 자는 생존 할 수 없고 화재확대로 인한 재산피해 역시 증가하게 되므로 플래시 오버가 발생하지 않도록 하는 것은 인명안전과 재산보호를 위한 중요한 설계목적이 된다[8]. 또한, 플래시 오버의 발생여부는 설계화재크기를 선정하는 문제에서 중요한 고려요소이다. 실제 화재성장단계에서 플래시 오버는 항상 발생하지는 않는다. <Table 6>은 외국의 아파트 화재 유형에 관한 것으로서 플래시 오버가 발생할 확률은 호주, 미국, 캐나다 모두 20% 이하로 나타나고 있다[11]. 하지만, 성능설계가 안전율이 높은 설계가 되기 위해서는 플래시 오버의 발생을 염두에 두고 설계화재의 크기를 선정할 필요가 있다. 조사대상을 분석해 본 결과, 우리나라는 성능설계 시행 초기의 2건을 제외하고는 플래시 오버를 거쳐 최성기에 도달하는 상황을 전제로 설계화재크기를 선정하고 있어 플래시 오버와 관련해서는 보수적 설계가 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 2건의 경우는 2011년 8월과 9월에 작성된 것으로서 스프링클러설비의 작동을 고려하여 화재크기를 작게 설정하였다.

<Table 6> Probabilities of Fire Types for Apartment Buildings.

	Australia	USA	Canada
Smouldering fire	24.5 %	18.7 %	19.1 %
Non-flashover fire	60.0 %	63.0 %	62.6 %
Flashover fire	15.5 %	18.3 %	18.3 %

4.5 출입문 상태와 소화설비 작동여부

출입문의 상태는 연기 및 연소생성물의 확산시간에 영향을 미치므로 화재위험성 예측과정에서 중요하게 다루어야 할 부분이다[6]. 출입문은 화재에 견디는 성능에 따라 일반출입문과 방화문(갑종 또는 을종)으로 구분할 수 있다. 우리나라는 방화구획선 상에 설치하는 출입문, 피난계단 출입문 그리고 특별피난계단의 출입문 등은 방화문으로 설치토록 규정하고 있다[12]. 방화문은 언제나 닫힌 상태를 유지하거나 화재로 인한 연기의 발생 또는 온도의 상승에 따라 자동적으로 닫히는 구조의 문을 의미한다[13]. 또한, 제연구역의 방화문도 언제나 닫힌 상태를 유지하거나 화재로 인한 연기의 발생 또는 온도의 상승에 따라 자동적으로 닫히는 구조로 설치하도록 규정하고 있다[14].

이러한 법 규정에 비추어 보았을 때 방화문이 설치된 공간은 화재 시 닫힌 상태를 유지할 것으로 예상하는 것이 바람직하다. 그러나 판매시설과 다중이용시설 그리고 공동주택 부속실의 경우 상품의 잦은 이동, 환기, 그리고 물품 수납 등의 이유로 방화문을 개방상태

로 유지 관리하는 경우가 많다. 그리고 화재가 발생했을 때 재실 자가 문을 개방한 상태로 피난하거나 다수의 재실 자들에 의한 연속적 피난이 발생할 수 있다는 점을 감안하여 판매시설, 오피스, 공동주택, 문화 및 집회시설의 경우 대부분 출입문을 개방한 상태로 화재위험예측·평가를 수행하고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 오피스텔과 숙박시설의 경우에는 사생활보호 측면에서 항상 문을 닫고 생활하기 때문에 출입문을 폐쇄상태로 가정하는 것에 대해 큰 무리가 없다고 판단된다. 일반적으로 화재실의 출입문이 폐쇄될 경우 연기 및 화염의 확산을 일정시간 차단하여 인명안전측면에서 더 유리하다. 반대로 출입문이 개방된 상태로 화재위험을 평가할 경우 좀 더 보수적인 설계가 이루어질 수가 있다.

소화설비의 작동여부는 설계화재의 크기 선정에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 스프링클러 설비가 정상적으로 작동된 경우 화재는 플래시 오버에 도달하기 전에 제어되거나 진압될 가능성이 높으므로 설계화재크기를 상대적으로 작게 선정하는 것이 가능해진다. 이와 관련하여 NFPA 101(Life Safety Code)에서는 성능설계를 수립하기 위해 빈도는 높으나 피해규모는 작은 상황, 빈도는 낮으나 피해규모가 큰 상황, 그리고 특수 상황을 고려하여 최소 3개 이상의 화재시나리오를 선정하도록 권장하고 있고, 그 중에서 처음 두 종류의 시나리오는 소화설비가 설계된 대로 작동 될 것이라는 가정을 내포하고 있으며 세 번째는 소화설비에 문제가 발생하는 경우를 가정한 시나리오이다[6].

<Table 7> Design Fire Scenarios

	Required Design Fire Scenarios
Fire Scenario 1	Design Fire Scenario 1, which is an occupancy-specific design scenario representative of a typical fire for the occupancy
Fire Scenario 2	Design Fire Scenario 2, which is an ultrafast-developing fire in the primary means of egress, with interior doors open at the start of the fire,
Fire Scenario 3	Design Fire Scenario 3, which is a fire that starts in a normally unoccupied room that can potentially endanger a large number of occupants in a large room or other area
Fire Scenario 4	Design Fire Scenario 4, which is a fire that originates in a concealed wall space or ceiling space adjacent to a large, occupied room
Fire Scenario 5	Design Fire Scenario 5, which is a slow-developing fire, shielded from fire protection systems, in close proximity to a high occupancy area
Fire Scenario 6	Design Fire Scenario 6, which is the most severe fire resulting from the largest possible fuel load characteristic of the normal operation of the building
Fire Scenario 7	Design Fire Scenario 7, which is an outside exposure fire
Fire Scenario 8	Design Fire Scenario 8, which is a fire originating in ordinary combustibles in a room or area with each passive or active fire protection system or fire protection feature independently rendered ineffective.

즉, 소화설비의 작동을 고려하여 화재시나리오와 설계화재의 크기를 선정하고 있다는 것이다. 이에 반해 우리나라의 경우에는 성능설계 시행초기(2011년 08월·09월)에 작성된 2건의 성능설계 보고서 이외에는 대부분이 소화설비가 작동하지 않는 상황을 가정하여 화재 위험성평가가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 「소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준」 별표1의 화재 및 피난시물레이션의 시나리오 작성기준에서 그 원인을 찾을 수가 있다. <Table 7>은 성능설계의 기술참고문헌인 NFPA 101(Life Safety Code)과 NFPA 5000(Building Construction and Safety Code)에 명시되어 있는 설계화재시나리오들이다. 우리는 이 중 8번째 시나리오를 제외한 7개의 시나리오를 그대로 성능설계 기준에 반영하여 사용하고 있으며, 이 8번째 시나리오가 바로 소화설비에 문제가 발생할 수 있는 특수상황을 고려한 시나리오이다. 외국의 경우 8번째 시나리오가 존재함으로 인해 나머지 7개 시나리오는 소화설비의 정상작동 상황을 고려한 시나리오 작성성이 가능하지만, 우리는 8번째 시나리오가 제외됨으로써 7개 시나리오 모두에 대해 소화설비가 작동하지 않는 상황을 기본 전제로 하여 시나리오를 선정하고 있다. 이는 성능설계 시행초기에 발생할 수 있는 여러 시행착오에 대해 좀 더 보수적인 화재안전설계를 유도하기 위한 조치였다고 판단이 된다. 하지만, 성능설계의 기본 취지가 건축물의 화재위험성을 미리 예측·평가하고 그 위험성에 기반 하여 소방 설계를 한다는 측면에서 보았을 때, 현행과 같이 소화설비의 성능에 따른 설계의 융통성을 발휘할 여지가 없다면 성능위주 소방설계라는 이름에 걸맞지 않게 해당 건축물이 갖고 있는 화재위험성을 건축피난방화 설비에만 의존해서 해결해야 하는 모순이 발생하게 되고 이는 우리 스스로 성능설계에서 소방 설계의 역할을 축소시키는 결과를 초래할 수도 있다. 소화설비의 작동을 고려하지 않을 경우 비경제적으로 과도한 설계가 이루어질 수 있고 또 한편으로 소화설비를 고려하여 화재위험성을 평가하기에는 아직 우리의 기술력이 그것을 검증할 단계에 이르지 못한 상황임을 감안해 보았을 때 소화설비가 작동하지 않았을 경우와 정상적으로 작동하였을 경우에 대한 화재위험성평가 결과를 성능설계 보고서에 함께 제시하도록 하고 두 결과 값을 토대로 해당 설계안의 허용여부를 심의기관에서 합리적으로 결정하는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.

5. 결론

현행 성능설계의 화재위험 예측과정을 살펴본 결과, 발화원, 발화지점, 착화품목 등의 선정이 과학적인 자료와 통계에 근거하지 않고 성능설계 엔지니어의 직관과 다른 성능설계 보고서 내용을 그대로 적용하는 경우가 많음을 확인할 수 있었다. 화재위험예측이 합리적으로 이루어지기 위해서는 다음과 같은 개선이 필요하다. 첫째, 용도별로 가장 빈도가 높거나 피해규모가 클 것으로 예상되는 발화원을 통계자료 등을 통해 규명하고 자료화할 필요가 있으며 그러한 자료를 토대로 설계단계에서 공간 내의 모든 가능한 가연물에 대한 조사가 이루어져야 한다. 둘째, 미래 공간의 배치계획에 대한 다양한 경우의 수를 고려한다. 만약, 화재로부터의 안전을 확보하기 어려운 배치계획이 발견될 경우에는 성능설계 보고서의 제한사항 항목에 기재함으로써 준공 후 배치계획 수립 단계에서 배제되도록 하고, 더 나아가 건물용도 변경으로 화재위험성을 예측·평가할 경우에도 반영이 되도록 한다. 셋째, 자동식 소화설비(스프링클러설비 등)의 경우 보수적인 화재안전설계를 위해 작동하지 않는 경우를 기본으로 하되, 피난한계시간(ASET)과 피난요구시간(RSET)의 차이가 크지 않을 경우에는 현재의 성능설계 결과의 높은 불확실성을 감안하여 자동식 소화설비 작동에 따른 효과도 함께 제출하도록 하여 성능설계 심의과정에서 종합적으로 고려할 필요가 있다. 넷째, 출입문의 경우에는 개방되어 화염 및 연기가 원활히 전파되는 조건을 기본으로 하되 상시 폐쇄상태를 유지할 것으로 예상되는 오피스텔과 숙박시설 객실의 주출입구는 상황에 따라 폐쇄상태로 화재위험 예측·평가를 수행하는 것을 인정해 줄 필요가 있다. 성능설계는 화재발생 위험을 미리 예측하고 그것에 대해 화재안전설계를 하는 것이므로 화재위험예측이 잘못되면 그 설계안도 신뢰할 수 없음을 충분히 인지하여 합리적이고 체계적인 화재위험 예측과정을 통해 안전도를 극대화하려는 노력이 필요하다.

6. References

- [1] Son Bong Se (2008), "The basic study on standardization of criteria to evaluate fire safety capacity in high-rise building", Fire Technology Research, pp. 32~33.
- [2] Lee Yang Ju, Ko Kyoung Chan, Park Woe Chul (2012), "A Study on Performance-Based Design Enforcement", Fire Science and Engineering, Vol. 26, No. 1, p. 68.

- [3] Cho Ho Sung (2006), "Performance Based Design", Gidari Publishing Group, pp 1~2, p 209, 248, 286.
- [4] ISO TR 13387-2 (1999), "Fire Safety engineering. Part 2. Design fire scenarios and design fires", ISO/TR 13387-2: 1999, pp. 1~16.
- [5] NFPA 72 (2010), "National Fire Alarm and Signaling Code", 2010 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 267~274.
- [6] Ron Cote, Gregory E. Harrington (2012), "Life Safety Code Handbook", 2012 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 96~103.
- [7] NFPA 5000 (2009), "Building Construction and Safety Code", 2009 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 75~76.
- [8] SFPE (2007) "SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection", Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, pp 72~77.
- [9] ICC (2006), "International Building Code. Sec. 909. 9. 2", Falls Church, VA: International Code Council, Inc.
- [10] Hoglander. K, Sundstrom. B (1997), "Design Fires for Preflashover Fires-Characteristic Heat Release Rates of Building Contents", SP Report 1997:36, Boras, pp. 35~36.
- [11] Leif Staffansson (2010), "Selecting design fires. Appendix A.2", Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety Lund University, Sweden.
- [12] Korea Ministry of Government Legislation(2014), "The regulation for evacuation and fire protection structure in building".
- [13] NFSC 501A(2013), "National fire safety code of smoke control system for stair hall and ancillary room of specific fire escape stair", National Emergency Management Agency.
- [14] NFSC 501 (2012), "National fire safety code of smoke control system", National Emergency Management Agency.
- [15] Lee Jung Il (2012), "The Way of Operations and Tactics For Disaster Plan of High-rise Buildings", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol. 14, No. 3, p. 77.

저 자 소 개

이 세 명



서울시립대학교 건축공학과 학사, 서울대학교 환경조경학과(도시설계전공) 석사, 서울시립대학교 재난과학과 박사, 현재 경일대학교 소방방재학과 조교수로 재직 중.
관심분야 : 화재소방, 소방시스템 성능설계, 건축방재, 재난안전 등.

주소 : 경상북도 경산시 하양읍 가마실길 50 경일대학교 소방방재학과 (712-701)