

A 호텔 & 카지노 아트리움의 화재 및 피난시뮬레이션을 통한 성능위주설계 사례연구

Case Study about Performance Based Design through Fire & Egress Simulation for Atrium of A Hotel & Casino

박창복[†] · 이영주* · 김민주 · 윤명오* · 최영화* · 박재성** · 김환진***

Chang-Bok Park[†] · Yong-Ju Lee* · Min-Ju Kim · Myong-O Yoon* ·
Young-Hwa Choi* · Jae-Sung Park** · Hwan-Jin Kim***

한방유비스(주), *서울시립대학교, **한국사이버대학교, ***RMS
(2008. 7. 23. 접수/2009. 4. 16. 채택)

요 약

본 연구는 아트리움이 설치되는 호텔에 층간방화구획의 완화에 따른 아트리움 인접공간에 대한 재실자의 피난안전성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하고 그 결과에 따른 소방설비 계획에 대해 분석한 내용이다. 화재시나리오인 방화구획이 설치되지 않은 아트리움 하단에서 화재가 발생하여 인접한 호텔 객실 복도에 미치는 영향과 자동화재탐지설비의 구성에 따른 재실자의 화재반응 속도가 고려된 피난시간을 비교하여 연기에 대한 피난안전성을 평가하는 것으로 구성되었다. 본 연구의 주요 목적은 성능위주의 화재영향평가를 위해 화재 및 피난시뮬레이션을 수행하여 재실자에 대한 피난 안전성을 검증하고, 결과가 만족하지 못할 경우 이에 대한 추가적인 대책을 마련하여 화재 및 피난안전성을 확보하기 위한 대안을 제시하는데 있다.

ABSTRACT

This study is related with fire risk assessment for occupant of the area adjacent to not enclosed atrium through the computer modeling and application of enhanced fire protection systems depending on the result. Fire scenario is intended to evaluate the impact of a fire from atrium base within the corridor adjacent to the atrium and to compare with egress time depending on the warning system. The major purpose of this study is to figure out fire life safety for occupant adjacent to atrium through the computer simulation and to suggest alternative option in case the occupant safety is not guaranteed.

Keywords : Fire risk assessment, Computer modeling, Fire scenario, Atrium, Alternative option

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

본 연구의 대상인 A Hotel & Casino 건물은 세계적으로 유명한 호텔 기업인 A 호텔 그룹이 운영하는 호텔 중 하나이다. 본 건물은 해외 모처에서 시공 중에 있으며 방재관련기준은 영국기준을 따른다. 본 건물의 디자인적 특징은 지상GL층 로비에서부터 최상부 객실 복도까지의 높이가 약 90m인 아트리움으로 연결된 특

이한 형태의 건물이다.

이러한 아트리움은 건축 디자인적으로는 공간의 개방감 및 미적요소를 부각시킬 수 있지만, 피난 안전 측면으로는 상층부로의 연기전파 등 위험요소가 존재한다.

본 건물에 적용되는 기준은 영국 BS(British Standard)이며, 아트리움에서 요구하는 안전기준은 층간 방화구획이다.¹⁾ 본 건물의 방재계획은 사양기준의 요구사항인 아트리움 층간방화구획을 완화하려는 건축설계팀의 요구로부터 출발하였다. 방화구획 완화를 위한 공간 성능분석이 계획설계에서부터 실시되었으며 현재 실시설계까지 진행 중에 있다. 성능위주의 설계를 진행함에

[†]E-mail: cbpark23@yahoo.co.kr

있어 BS의 성능설계 절차를 참고하였고, 현지 소방엔지니어와의 협의에 의하여 보다 객관적인 결과를 도출하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 대상건축물의 피난안전성 평가를 위하여 호텔 로비의 화재를 가상하여 위험분석을 수행하였다. 성능위주의 화재영향평가를 위해 화재 및 피난시물레이션을 수행하여 재실자에 대한 피난 안전성을 검증하고, 결과가 만족하지 못할 경우 이에 대한 추가적인 대책을 마련하여 화재 및 피난안전성을 확보하기 위한 대안을 제시하였다.

2. 수행절차

2.1 설계 수행절차

본 연구의 수행절차는 BS ISO/TR 13387: 1999에서

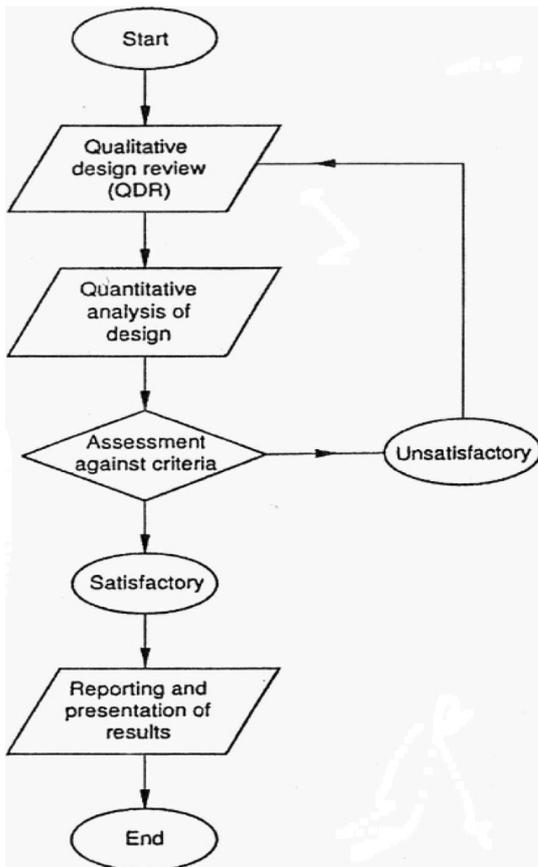


Figure 1. Design process.

명시한 설계 수행 절차에 의해 이루어 졌으며 그 과정은 아래 그림과 같다.^{2,3)}

2.2 수행목표

본 연구의 목표는 최하부층(GL) 로비 화재에 대한 방호되지 않은 아트트리움 공간에 있는 객실 재실자의 인명안전에 있다. 또한 화재발생 시 화염 및 연기에 의한 재실자의 피해를 최소화하고 신속한 초기대응 방법을 제시한다.

3. 건축물 개요

- 건축면적 : 9,675.49
- 연면적 : 61,465.97
- 층수 : 지상 24층(지하없음), 최고건물높이 105m
- 주요구조 : 철근콘크리트조 + 철골철근콘크리트조.

4. 적용기준

해당 국가의 경우 소방 및 방재에 대한 법규가 정립되어 있지 않아 본 건축물은 건축주의 요청에 의해 British Standard를 준용하였으며, 여기에 A Hotel Brand

Table 1. Building Descriptions

Use	Floor	Floor Area (m ²)
Hotel (tower)	4F~24F	30,053
Hotel (podium)	GL~3F	17,227
Casino	3F	1,683
Parking	GL~3F	12,452

Table 2. Applicable Code

Use	British Standard (BS)	A Hotel Brand Manual
Life Safety	- Approved Document B - Building Regulation - BS 5588 1~12 - BS 7974 2001 - ISO/TR 133387 - DD 240 : Part 1	1996, 2000, 2004
Fire Protection System	- BS 5306 Part 1~6 - BS EN 12845 - BS EN 12101 - BS 5839 - BS 7346	1996, 2000, 2004

Manual도 일부 적용하였다.

5. 소방 및 방재시스템의 구성

본 건물은 British Standard에 따라 특별피난계단(Fire Fighting Shaft), 피난거리, 피난용량, 내화구조 등 기본적인 건축방재시스템을 코드에 맞게 설계하였다.^{4,5)} 또한 스프링클러시스템, 자동화재탐지설비, 제연설비 등의 소방시스템이 관련법규에 맞게 설치되어 있다.⁶⁾ 특히, 본 연구는 방호되지 않은 아트리움에 대한 화재 위험도를 낮추고 화염과 연기 전파를 제어하기 위한 아트리움 보호용 개방형 스프링클러시스템을 설치하였다. 또한 아트리움의 높은 층고를 고려해 객실 재실자의 신속한 피난을 위하여 강화된 경보시스템을 추가하였다. 본 건물에 적용한 주요 소방 시스템은 다음과 같다.

- 아트리움 상부 배연설비 및 하부 급기
- 아트리움 전용 확장형 스프링클러 헤드(Extended coverage sprinkler head)
- 확장형 스프링클러 전용 불꽃 감지기
- 로비 라운지 및 아트리움 전용 불꽃 감지기
- Voice Alarm System(Live 생방송)

본 건축물에 설치되는 아트리움 전용 확장형 스프링클러 헤드(Extended coverage sprinkler head) 및 불꽃 감지기는 UL⁷⁾ 또는 한국소방검정공사에서 성능을 인정하는 제품을 사용하여 소방설비에 대한 신뢰도를 높였다.

6. 화재 및 피난시물레이션을 통한 안전성 분석

6.1 개요

서론에서 언급한 것처럼 본 건축물에 설치된 아트리움은 층간 방화구획이 되지 않아 아트리움에서 화재가 발생할 경우, 호텔 객실에 면한 피난로가 연기에 의해 위험에 그대로 노출될 가능성이 있다. 호텔 특성상 객실 화재를 통한 화재시나리오를 예상할 수 있으나, 객실은 방화구획 및 스프링클러에 의해 방호됨에 따라 상대적으로 위험요소가 크다고 판단되는 아트리움의 화재로 선정하였다. 화원의 위치는 GL층 로비의 ‘소파 화재’로 설정하였고, 화재 및 피난시물레이션 프로그램을 이용하여 아트리움의 연기확산 및 재실자의 피난시간 등을 분석하였다.

6.2 사용 소프트웨어

본 프로젝트에 사용된 화재시물레이션은 미국국립 표준기술연구소에서 개발하여 일반에게 공개한 FDS 4.0.7로서 연소공간에서 일어나는 다양한 종류의 화재 현상을 전산유체역학 모델에 의하여 해석하는 프로그램이다.⁸⁾ 피난시물레이션은 스코틀랜드의 IES사에서 개발된 Simulex를 사용하였다. 이 프로그램에 사용된 피난자의 특성은 사람들의 즉각적인 행동, 놀라서 움직이는 행동, 사람들이 무리지어 움직이는 행동과 줄지어 움직이는 현상 등을 자세히 모델링하여 거의 실제에 가까운 데이터를 얻을 수 있어 프로그램의 기초적인 자료로 사용된다.⁹⁾

화재시물레이션 : FDS 4.0.7

피난시물레이션 : Simulex 11.1.2

6.3 성능평가기준

화재시물레이션에 의하여 허용피난시간을 산정할 때는 여러 가지 평가요소(criteria)가 있지만, 그 중에서 가장 많이 사용하는 것은 호흡안전선에 의한 평가이다. 화재로부터 생성된 독성연기가 사람의 호흡선까지 내려오면 피난하는 사람이 연기를 들며마시게 되어 위험하게 된다. 본 연구는 BS 7346-4에서 명시한 호흡안전선 기준인 2.5m 지점까지 연기가 내려오기 전에 모든 재실자들은 피난을 완료하는 것으로 평가를 실시하였다.¹⁰⁾ 아래의 표는 호흡선에서 제안하는 성능기준을 정리한 것이다.¹²⁾

Table 3. Tenability Criteria (Temperature)

제안하는 성능기준		Lower Limit	Upper Limit
열에 의한 영향	복사열	2.5[kw/m ²] 이하	2.5[kw/m ²] 이하
	대류열	65[°C] 이하	190[°C] 이하

Table 4. Tenability Criteria (Visibility)

제안하는 성능기준	Lower Limit
대공간의 가시거리 확보	10m

Table 5. Recognition Time

용도	반응시간(분)		
	경보시스템 종류		
	W1	W2	W3
호텔	< 2	4	> 6

※ Table 3에서 밑줄 친 부분은 시뮬레이션에서 채택한 기준을 나타낸다.

본 연구에서 피난시 재실자는 호텔 객실에 머물고 있기 때문에 화재 시 피난을 준비하기 위한 반응시간에 대해서 신중히 고려할 필요성이 있다. 따라서 재실자의 인지시간을 British Standard에서 제시하고 있는 경보시스템(W1~W3)에 따라 반응시간을 고려하여 산정하였다.

W1 : 실시간 경보 방송설비(live 생방송).

예) 폐쇄회로 TV로부터 감지 후 방재센터로 알려 실시간 방송

W2 : 경보 방송설비(녹음) 또는 시각 경보장치

W3 : 알람, 사이렌 및 기타 이와 유사한 경보장치

6.4 화재시뮬레이션

6.4.1 설계화재

본 건물의 화재시나리오는 아트리움 바닥인 GL층 로비의 소파세트 화재로 설정한다. 기본설계단계에서는 호텔로비에는 가연물이 없는 것으로 진행되었는데 실시설계로 계획이 진행되면서 건축계획팀의 요구에 의해 아트리움의 중앙에 소파세트가 설치되는 것으로 변경되었다. 일반적으로 오피스 바닥 등의 아트리움에



Figure 2. Atrium.

서는 5.2MW의 최대 열 방출율(Heat Release Rate)을 가진 화재가 고려되는데,¹¹⁾ 본 건물의 경우는 A 호텔 방재팀과 협의 후 소파화재로 화원을 설정하였다. 화원의 특성데이터는 NIST에서 실험한 소파 화원 Data를 근거로 소파 2개가 연소한다는 것을 가정하여 최대 열 방출율을 약 7MW로 설정하였다.^{8,13,14)}

6.4.2 시나리오

방호되지 않은 아트리움 하단부에 소파 2개소가 연소하여 발생한 연기가 상층부로 확대되어 피난로 및 재실자에 미치는 영향을 분석하였다. 단, 배연설비는 작동하지만 아트리움 방호용 스프링클러는 작동하지 않는 조건으로 가정하였다. 피난 시 재실자의 반응시간은 British Standard에 따라 기존의 감지기 및 경보시스템(W2)을 설치한 경우의 반응시간을 적용하였다.

6.4.3 화재시뮬레이션 결과

아트리움과 인접한 최상층인 지상 23층에 대한 화재시뮬레이션 결과는 Table 6과 같다.

6.5 피난시뮬레이션

6.5.1 시나리오

호텔 객실에 머물고 있는 재실자는 화재 시 경보시스템에 의해 아트리움과 직접 통해 있는 피난로를 통해 2개의 특별피난계단(Fire Fighting Shaft)으로 피난하게 된다. 본 연구의 피난시뮬레이션은 화재시뮬레이션과 연동하여 진행하였고, 영국 기준에 따라 전층 피난 대상이므로 전체 객실에 대한 상황을 고려해 수행하였다. 여기에 소파화재 시 발생할 수 있는 연기 유동을 분석하여 재실자들의 피난시간과 비교 검토하였다. 객실의 수용인원은 Approved document B-Volume B의 Appendix C : Methods of measurement에 의해 산

Table 6. Result of Fire Simulation on 23rd Floor

층	화재시뮬레이션	평가위치
23층	4분22초	각 특별피난계단 전실문

Table 7. Number of Occupant

층	용도구분	수용인원계수 (m ² /인)	수용인원 (명)
객실 층 (4층~23층)	숙박시설	7.0	1,173
총계			1,173

Table 8. Result of Egress Simulation

Egress time	피난시뮬레이션
Detection time	2분
Recognition time	4분(W2)
Response time	30초
Travel time	56초
총 피난시간	7분26초

Table 9. Evaluation of Simulation

층	화재시뮬레이션	피난시뮬레이션	평가
23층	4분22초	7분26초	NO

정한 후 균등하게 분포되어 있는 것으로 설정하였다. 객실의 총 인원은 다음과 같이 산정되었다.

본 피난시뮬레이션은 호텔에 설치되어 있는 소방설계 상황을 검토한 후 Table 5에 명시된 기준에 따라 이에 맞는 경보시스템 W2를 적용하여 4분이라는 재실자 반응시간(recognition time)을 피난시간에 반영하였다. 여기에 감지시간(detection time), 반응시간(Response time)에 대한 가정을 더해 최종 피난시간을 산정하였다.⁷⁾

6.6 결과

본 시뮬레이션의 분석은 방호되지 않은 아트리움의 최상층인 23층 피난로에서의 열에 의한 영향 및 가시도에 의한 영향 2가지를 분석하였다. 결과 값을 분석한 결과 배연설비가 설치되지 않았을 경우 주변온도는 영향을 주지 않지만 가시도는 약 4분22초 후 최상층 재실자 피난에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 피난시뮬레이션 결과 약 7분26초 후에 23층 재실자가 특별피난계단까지 도달하는 것으로 분석되어 허용안전시간 내에 피난하지 못하는 것으로 나타났다.

7. 설계수정 및 대안

7.1 설계수정에 대한 개요

건축적인 설계 컨셉과 A 호텔의 아트리움 로비의 운영적 측면을 고려해 변경된 가연물에 대한 소방설계 및 방재 전략을 수정하였다.

7.2 화재시뮬레이션

7.2.1 설계화재

화재설정은 기존의 화재시나리오와 동일하게 최대

열 방출율을 약 7MW 소파화재를 그대로 적용하였다.

7.2.2 시나리오

방호되지 않은 아트리움 하단부에 소파 2개소가 연소하여 발생한 연기가 피난로 및 재실자에 미치는 영향을 분석하였다. 단, 배연설비는 작동하지만 아트리움 방호용 스프링클러는 작동하지 않는 조건으로 가정하였다. 피난 시 재실자의 반응시간은 British Standard에 따라 강화된 감지기 시스템 및 경보시스템을 적용했을 경우의 반응시간을 적용하였다.

7.3 피난시뮬레이션

피난시뮬레이션 역시 기존 소파화재와 동일하게 시나리오를 설정하였다. 소파화재는 화재시뮬레이션에 따라 재실자의 안전을 보장할 수 없다고 판단되어 설계의 수정이 필요하였다. 따라서 피난시간을 줄일 수 있는 방안을 마련하여 시뮬레이션을 통해 증명하고 설계에 반영할 수 있는 대안을 도출하였다. 즉, British standard 에서 제시하고 있는 경보시스템을 W2에서 W1으로 강화하여 피난 인지시간을 줄였다.

7.4 결과

소파화재 시 전체 열방출율과 연기 생성율로 인해 최상층인 23층 피난로에 약 4분22초 후 가시도에 영향을 미친다. 하지만 경보시스템을 실시간 피난방송으로 변경해 줌으로써 W2에서 W1으로 인지시간을 줄였다. 여기에 아트리움에 대한 전용 불꽃감지기 설치로 감지기 시간을 약 1분30초 줄여 재실자의 총 피난시간은 3분56초로 산정되었다. 강화된 경보시스템에 의한 피난시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

수정설계안에 따른 피난시뮬레이션 결과와 기존의

Table 10. Result of Egress Simulation Based on Enhanced Alarm System

Egress time	피난시뮬레이션
Detection time	30초
Recognition time	2분(W1)
Response time	30초
Travel time	56초
총 피난시간	3분56초

Table 11. Evaluation of Simulation

층	화재시뮬레이션	피난시뮬레이션	평가
23층	4분22초	3분56초	OK

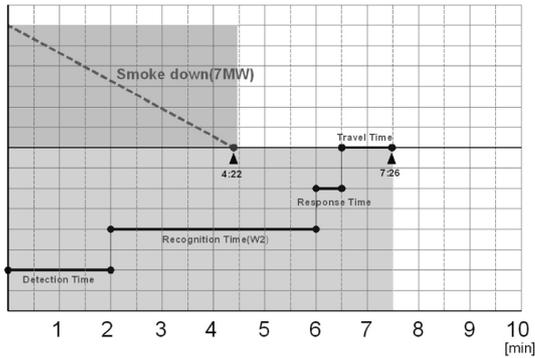


Figure 3. Fire scenario - existing.

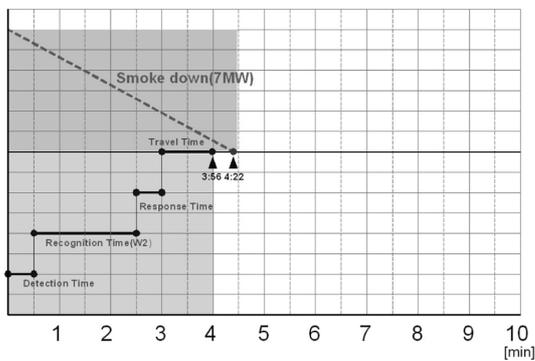


Figure 4. Fire scenario - new.

화재시뮬레이션의 결과는 Table 11에 비교 평가하였다.

여기에 아트리움에 전용 확장형 스프링클러(Extended coverage sprinkler heads)를 설치하여 소파 가연물에 대한 열방출율을 현저히 낮춰 실제 피난안전시간은 시뮬레이션에서 도출된 결과보다 크게 확보될 것으로 예상된다.

Figure 3과 Figure 4는 기존 설계 안에 따른 시나리오와 수정 보완된 설계에 따른 시나리오를 비교한 결과를 종합한 그래프이다. 결국, 경보시스템을 보완함으로써 피난 인지시간과 화재감지 시간을 줄여 효과적인 피난을 가능하게 해 줄 수 있다는 것을 보여준다.

8. 결 론

본 논문에서는 case study를 통해 성능위주의 설계를 바탕으로 인명안전에 대한 화재영향평가에 대한 지침 사항으로 실무에 적용하기 위해 실제로 설계되고 있는 A 호텔의 계획 설계안을 British Standard에 명시된 성

능위주의 설계 절차에 따라 안전성 평가를 실행하였던 사례를 분석 하였다. 본 연구에서는 특수한 아트리움을 가진 구조에 건축주의 요청 및 설계 방향에 따라 방화구획을 설치하지 않아 사양위주의 설계를 적용하기 어려웠던 건축물에 성능위주의 설계를 통해 시나리오를 작성하고 컴퓨터 시뮬레이션 등 공학적 방법을 통해 방호 되지 않는 아트리움에 대한 화재 및 피난 안전성을 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 법규에 의한 사양위주의 설계는 기본적인 소방 및 방재시스템을 구축할 수 있으나, 복잡한 구조의 건물에는 한계를 드러내는 특성을 보인다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해서 성능위주의 설계를 통해 위험요소를 파악하여 보다 효과적인 방재 설계를 할 수 있다.

2. 아트리움의 건축적 특성을 고려하여 화재에 대한 화재설계 및 시나리오 설정에 의한 컴퓨터 시뮬레이션의 화재안전성 평가를 통해 아트리움을 방호할 수 있도록 확장형 스프링클러 및 불꽃 감지기 설치 등 대안적인 방법을 도출할 수 있다.

3. 호텔의 객실은 프라이버시를 중시하여 차음성이 높은 구조로 설계되어, 숙박자가 수면 중에는 비상경보를 듣지 못하는 경우에는 조기피난이 어렵다. 이러한 객실자의 특성을 고려해 비상방송설비를 강화한 후 피난인지 시간(Recognition time)을 짧게 하여 총 피난 시간을 3분 이상 줄일 수 있다는 결론을 얻었다. 이 같은 조치는 스프링클러 및 제연설비에 대한 신뢰도와 관계없이 인명안전에 대한 효과적인 요소로 작용할 수 있다는 것을 보여준다.

참고문헌

1. BSI, British Standard 5588-part 7, Code of practice for the incorporation of atria in buildings(1997).
2. BSI, BS ISO/TR 13387-1, Application of fire performance concepts to design objectives(1999).
3. BSI, BS ISO/TR 13387-2, Design fire scenarios and design fires(1999).
4. Approved document B-Volume 2, Buildings other than dwellinghouses.
5. 김시권, 건축규정상의 화재 시 인명안전과 관련된 조항의 비교분석 및 문제점 연구 : 한국, 미국, 영국, 서울시립대 방재공학 공학석사학위 논문, pp.42-43, pp.62-64, pp.141-143(2004).
6. BS 5306-2:1990 Specification for sprinkler system.
7. Underwriters Laboratories (UL), Fire Protection Equipment Directory(2007).
8. <http://www.fire.nist.gov/>

9. <http://www.iesve.com/>
10. BS 7346-4 Component for smoke and heat control system.
11. NFPA, SFPE 방화공학 핸드북 제 3판 pp.3-12, 3-111~3-115(2005).
12. 윤인섭, 김원국, 김환진 등 성능위주의 소방설계, 국내 사례, p.36(2004).
13. James G. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", p.115(1998).
14. Bjorn Karlsson, James G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", pp.39-45(2000).
15. BSI, British Standard DD 240 part1, Guide to the application of fire safety engineering principle(1997).