

대형 쇼핑몰의 성능기준 화재안전 설계 분석에 관한 연구

임정원, 신승엽*, 유상빈*, 이수경*, 하동명**

한국소방안전협회, 서울산업대학교 안전공학과*, 세명대학교 산업안전공학과**

A study of Performance-Based Fire Safety Design Analysis of a Large Shopping Mall

Jung-Won Im, Seung-Yeop Shin*, Sang-Bin Yoo*, Su-Kyung Lee*,
Dong-Myung Ha**

Korea Fire Safety Association, Dept., of Safety Eng., SNUT*
Dept. of Safety Eng. Se Myung Univ.**

1. 서론

산업 발전과 인구의 급격한 증가에 따라 건축물은 고층화 및 인텔리전트화 되어가면서, 화재로 인한 인적·물적 손실은 계속적으로 증가하고 있다. 따라서 과거보다 구체적이고 근본적인 대책의 마련이 필요하게 되었다. 현재의 소방시설의 설계는 사양중심(Prescriptive Based)의 체계로 되어있다. 근래에 들어 여러 과학 및 기술의 눈부신 성장과 함께 화재의 여러 가지 물리, 화학적 현상들이 규명되었으며, 최근에는 화재의 성장과 전파 등을 거의 정확하게 예측할 수 있는 단계에 이르렀다. 그러므로 종래의 화재에 대한 경험으로 이루어진 사양위주의 설계보다는 모델링(Modelling)과 시뮬레이션(Simulation) 등의 공학적인 기법들을 이용하는 새로운 체계가 필요했다.

이러한 때에 외국에서는 공학적 도구와 연구를 바탕으로 하는 성능위주(Performance Based)의 방화설계에 대한 연구가 시작되었다. 성능위주의 방화설계(Performance Based Fire Safety Design)는 기존에 개발된 화재거동과 연기이동 및 피난의 소프트웨어를 이용하여 소방대상물의 열분포(Heat profile), 연기이동(Smoke Movement), 피난특성, 발생열량 및 내화도 등을 분석하므로써 소방대상물에 적합한 방화설계를 하는 것이다.

본 연구의 근본적인 목적은 성능기준의 화재안전 설계의 분석과 적용이다. 그러므로 본 연구는 독창적인 성능기준 화재안전 설계 모델을 만든다기보다는 적용사례에 초점을 맞추었다.

2. 성능기준화재안전 설계의 흐름

2.1 스웨덴[1]

현재 스웨덴에서는 자국에서 개발한 독창적인 기준을 사용하기보다는 영국의 BSI 기준을 많이 사용하고 있으며, 정량적 위험성 평가를 통해 화재안전에 접근하고 있다. 영국표준협회의 발전에 대한 초안 NO 240에서 건물내의 화재안전에 대한 공학적 접근에 대한 틀을 제시한다. 기본적인 화재안전설계프로세스는 그림1과 같다.

2.2 일본

화재안전설계수단은 일본에서 80년대 인기를 얻었다. 건설부의 종합화재안전설계시스템의 개발계획은 이정표가 되었다. 그 프로젝트는 설계가이드라인의 출판을 낳았는데 이는 화재안전전략과 공학적 수단의 근거이다. 그이후로 화재안전공학은 그 적용폭을 넓혀갔다. 화재안전공학의 경험은 새로운 화재안전시스템과 건축의 평가를 위한 더 많은 공학적 도구들의 요구를 낳았다.

최근 건설부의 건축물 화재안전성능평가개발에 대한 프로젝트에서 안전검사에 사용되는 새로운 공학적 수단들이 수집되어지고 제안되었다. 이들중 일부는 이미 오타와와 마우이에서의 케이스스터디 워크샵에서 적용되어 졌다.

일본의 건축기준법은 1999년 6월개정되었는데 기능적인 동등성의 개념을 일부 포함한다. 관련된 성능스케일들은 시행령에 포함되어질 것이다. 평가(안전검사)의 상세수단들은 아직 발표되지 않았다. 그러나 몇가지 제안들이 일본 화재연구 공학학회에 의해 일본건축물 센터의 화재안전지침 개발을 위한 위원회의 활동과 일본건축사협회의 화재안전설계 소위원회의 자발적인 활동을 통하여 만들어졌다.

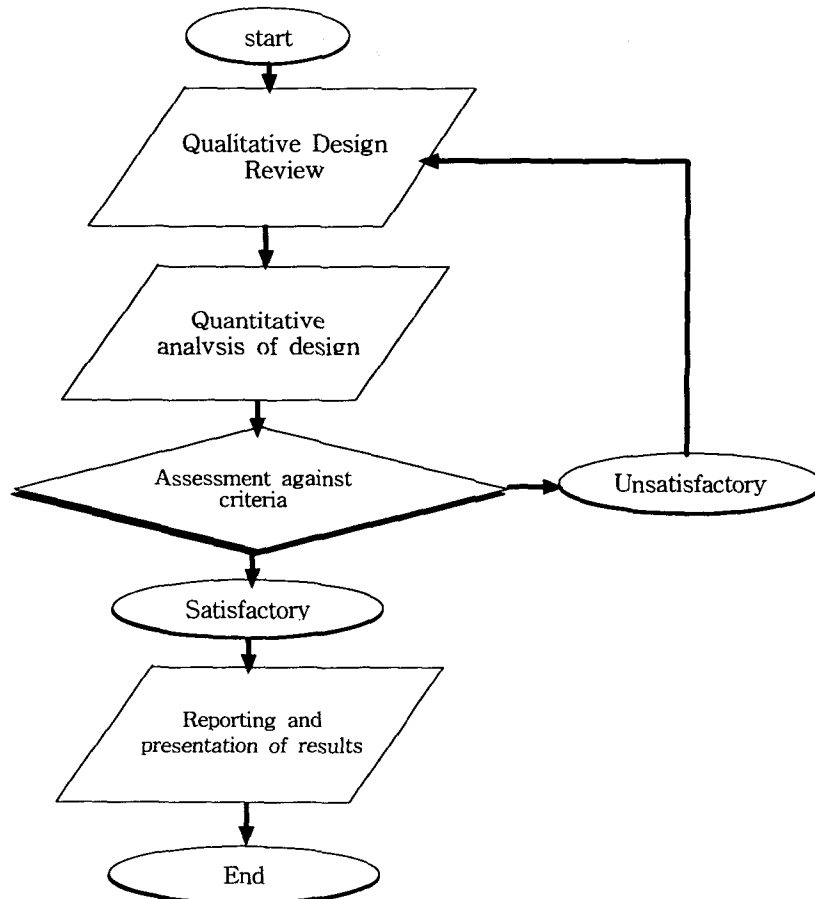


그림 1. 화재안전설계 기본흐름도

2.3 호주

호주의 건축법 시스템은 각 주와 지방정부의 기능이다. 그러므로, 각 주정부는

모든 적당한 건축 방법들에 대한 법률을 제정한다. 각 주정부에서 첫 번째 법률은 대개가 허가권, 권리를 만드는 규칙, 강제조항에 대한 법적 책임들을 세우는 의회법이다.

이러한 법률은 건축관리 시스템에 대한 매일의 집행에 대한 수단을 제공한다. BCA의 소개에 앞서, 이러한 법률들은 각 주정부들의 사양요구 사항들을 특성화시켰다.

BCA의 소개와 더불어 사양 법규들은 삭제되거나 BCA를 참조했던 개별정부의 건축 법률을 포함시켰다. BCA 90은 건축물 건설에 대한 건축 요구사항들을 최초로 호주 국내의 일관성 제공할 것을 시도하였다. BCA 96은 BCA 90에 대한 규정을 다시 제정하였고 처음으로 성능 요구사항을 첨가시켰다.

2.4 미국[2]

미국의 SFPE는 성능기준화재안전 설계에 대한 흐름도를 개발하였다. 그것은 다양한 빌딩과 비슷한 구조물에 대한 성능을 평가하기 위하여 결정론적이고 확률적인 평가를 모두 수행할 수 있도록 논리적인 프레임워크를 제공한다. 흐름도는 그림 2와 같다.

3. 건축물 개요

건축물은 판매시설로서 대형할인 매장이며 창고형 점포이다. 건축면적이 6,425.24㎡이며, 지하1층 지상 7층으로 구성되어 있다. 또한, 최고 높이는 33.3m이며 지상 1층에서 지상 4층은 판매시설로 활용되며 지상5층에서 지상 7층은 주차장 시설로 이용되고 있다.

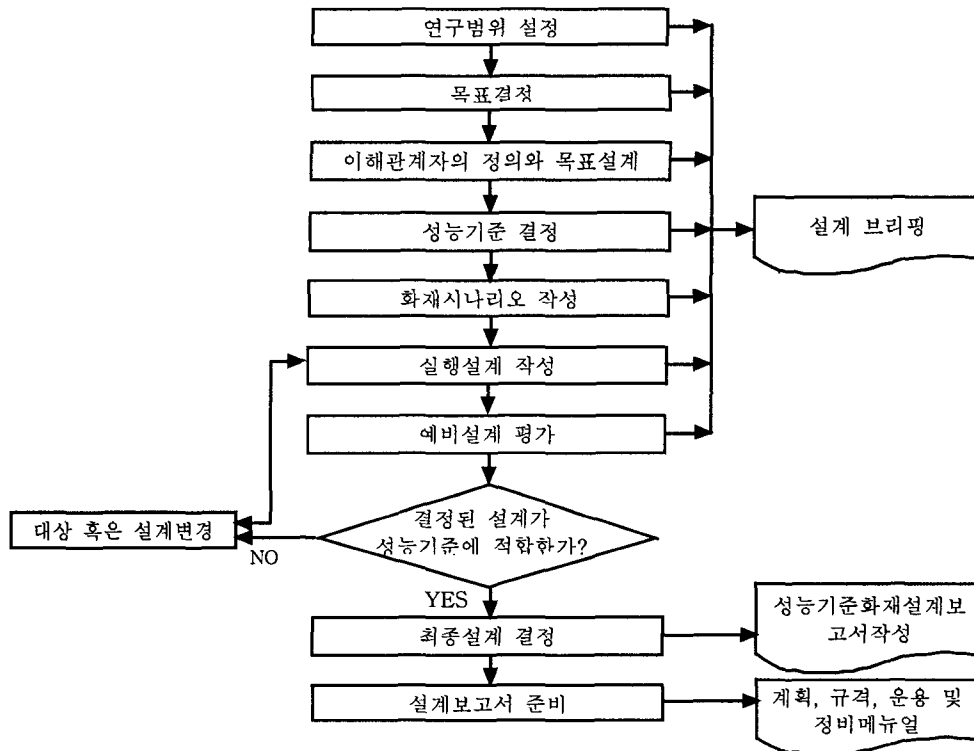


그림 2. 성능기준 화재안전 설계의 흐름도

4. 사양기준[3]

본 대상건물은 소방법시행령28조에 따른 옥내소화전 설비, 스프링클러설비 등을 설치하여야 한다. 또한, 소방법시행령제29조에 의거하여 자동화재탐지설비를 설치하여야 한다. 소방법시행령제32조에 의거하여 제연설비를 설치하여야 하나, 기술기준규칙제121조에 의해 제연설비를 설치하지 아니하였다.

건축법 제 39조와 제40조에 의거하여 피난시설과, 내화구조로 구성되어 있어야 한다. 또한, 시행령 제34조, 제35조에 의거하여 피난에 필요한 직통계단을 설치하여야 한다. 그리고 시행령 46조에 의해 방화구획을 두어야 한다.

5. 성능기준 설계

5.1 연구범위 설정

과정에서의 첫 과정은 연구범위 설정이다. 연구범위는 문제 확인과 정보 수집, 연구 관계자들, 과제의 특성, 예산, 적절한 시기 그리고 적용성 있는 조절이다.

반복되는 설계 시도의 분석은 사양. 법규로부터 방향 전환을 표현하는 각 설계 적용의 비용과 이익 산출을 문서화할 것이다. 각 설계에서의 성능은 정립된 목적과 관계자들의 동의된 대상 목표에 관련하여 측정된다.

5.2 목표결정

목적 A - 상해를 최소화하고 인명피해를 예방한다.

목적 B - 진압반들에게 화재에서의 상해를 최소화한다.

목적 C - 빌딩과 그 구조에 화재에서의 손상을 최소화한다.

목적 D - 목표 A, B, C에서 말한대로 화재와 생명 및 재산보호를 유지하기 위해 GLA를 증가함으로써 안전에 재투자를 늘려가라.

5.3 대상 규정(Define Objectives)

목적 A

대상 A-1. 화재의 영향으로 포위당하지 않고 안전한 장소로의 이동을 위해 발화 물질에 대처하지 못하는 사람들을 위한 충분한 시간 확보

대상 A-2. 화재의 영향으로 포위당하지 않고 화재를 구획하거나 외부로의 피난을 위한 충분한 시간 확보

대상 A-3. 피난층에서의 피난과 외부로의 탈출을 위한 충분한 시간 확보

목적 B

B-1. 화재시 건물 구조의 파괴 예방한다.

B-2. 화재 지점을 확인할 수단 제공한다.

B-3. 화재 진압 활동을 지원할 수단을 제공한다.

목적 C

C-1. 화재층에서 화염전파와 열적 손실 제한한다.

C-2. 화재층과 그 이상의 층에서 연기로 인한 피해 제한한다.

목적 D

D-1. 초기에서 20년동안 채워질 Life Cycle 비용 측정

D-2. 재실자, 진압반, 재산상에서 수용할 수 있는 위험관리를 위한 설계를 결정한다.

D-3. 목적 A, B, C에 있어서 최적의 화재 안전 및 재산 보호를 위한 목적을 갖는다.

목적 E

E-1. 증가하는 임대 지역으로부터의 20년간 수입 측정

E-2. 재실자, 진압반, 재산을 위한 수용할 수 있는 위험 유지 설계를 결정한다.

E-3. 목적 A, B, C에 있어서 최적의 화재 안전 및 재산 보호를 위한 목적을 갖는다.

5.4 성능기준의 결정

성능 기준은 그 대상들에 수적인 기술을 부여함으로써 설계 목적들을 정량화한다. 이 분석은 적정 설계의 성능 필요를 인명 안전, 진압반 안전, 재산 보호 관점에서 시험한다.

(1) 인명 안전 성능 기준[4]

열효과 - 복사 효과에 관련된 방호 기준은 재실자가 2.5kw/m² 보다 큰 복사열량에 노출될 것이라고 가정한다. 이 값은 Perkin와 Babrauskas에 의해 제공되었다. 가시거리 - 두 기준이 이 분석에 의해 섞여졌는데 거주 공간의 재실자에 있어서 OD/m = 0.5의 기준이 Barauskas에 의해 제공되었다. 연기의 농도에 있어 이 값은 거주자가 출구를 확인할 수 있는 가시거리인 2m의 값을 주었다. 매장에서와 같은 장소에서 Rashbash는 OD/m = 0.08이 되어야 약 10m의 가시거리의 확보를 가능하다고 제안하였다.

독성 - 혈류에서의 CO의 퍼센트는 다음과 같은 식을 이용하여 결정한다.

$$\%COHb = (3.317 \times 10^{-5})(ppmCO)^{1.036}RMV(t)$$

(2) 소방관 안전 성능 기준

건물 붕괴 - 강철의 임계온도(T_s)는 538°C (ASTM E-119) "Standard Test Methods for Tests of Building Construction and Materials" 보호된 강철의 온도는 공식을 반복함으로써 계산된다.[5]

$$\Delta T_s = \frac{K_i}{C_{sh}W/D} (T_f - T_s)\Delta t^{10}$$

(3) 재산보호 성능기준

화재확산 - 임대공간의 화재 확산을 조사한다. 임대공간 외부에서 기인하는 화재로부터 화재확산은 대부분의 유기적 고체가 열분해되는 평균온도가 상부층의 온도 325°C에 의해서 경계를 접하게 된다.

연기확산 - 어떤 질과 양의 연기는 재산에 Damage를 발생시킬 수 있다.

5.5 화재시나리오 작성

여러 가지 주된 가정들이 화재시나리오의 설계분야가 좁아지는 것에 대해 기대되어져 만들어진다.

1. 다중적으로 동시에 일어나는 화재의 경우는 시도하지 않을 것이다.
2. 완벽히 저지른 방화에 대한 경우는 사용되지 않을 것이다.
3. 진화설비들은 각각의 설계에 따르는 작동과 작업순서에서 가정되어 질 것이다.
4. 수동적이고 능동적인 시스템들이 절충되어진 동시에 일어나는 화재 발생과 다른 자연재해들이 일어나지 않을 것이다.

화재설계는 다음과 같이 두 가지로 나누어 설계한다.

1. 일반 소매지역에서의 화재
2. 주차장에서의 화재

5.6 실행설계 작성

6번째 단계는 실행설계를 개발하는 것이다. 실행설계(Trial design)는 3단계에

서 정의된 프로젝트 설계 목적을 이루려는 것이다.

첫 번째 실행 설계는 2개의 피난로를 제거함으로써 감소하게 될 피난용량을 제외한 사양설계 요구사항의 모든 것이 적절하다.

두 번째 실행 설계는 구조적 요소들과 바닥, 천장의 재료들이 세시간 또는 두시간 비율에서 한시간으로 감소된 것을 제외하고 사양 설계 요구사항에 적합하다.

5.7 실행설계 평가

실행설계 평가는 크게 세 부분으로 나누어 실행한다.

- ① 피난평가 - 핸들링 수식과 EXODUS[6]
- ② 화재효과 평가 - 열적 효과(FASTLite), 가시도, 검증[7]
- ③ 구조적 평가 - 구조물 강의 내화성
- ④ 위험성 평가 - 노출시간과 심각도

5.8 경제성 평가

초기비용과 라이프 사이클 코스트를 사양설계 해법과 성능기준 설계 대안과 비교하여 비용편익 분석을 실시하여 평가한다.

6. 결론

이 적용 사례는 크게 두가지의 목표를 가지고 시작하였다. 첫 번째는 미국에서 개발한 "SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings"의 분석에 관심을 모았다. 두 번째는 이를 이용한 국내 적용사례를 시도하는 것이었다. 우리는 이 두가지 모두를 해내었다. 그러나, 국내에 적용할 수 있는 코드 및 법규가 존재하지 않아 미국 NFPA 코드에 의존하였다.

참고문헌

1. SFPE, "3rd International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods Proceedings", SFPE, 2000.
2. NFPA, "SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings", NFPA, 2000.
3. 소방법규편찬위원회, "소방관계법규집", 도서출판 技多利, 1997
4. NFPA, "Life Safety Code, NFPA 101", NFPA, 1997.
5. James A. Milke, "Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Steel Members", SFPE Handbook 1st Edition, 1995.
6. University of Greenwich, "Building EXODUS 2.0 On-Line Manual Revision 2.0", 1999.
7. NIST, "FASTlite : Engineering Tools for Estimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST, 1996.