논 · 문

백화점 화재 발생의 확률적 접근에 의한 심각성의 정량적 예측

A study with more probability for predicting the quantitative severity of fire occurance in department stores

구 진 영*
Ku, Jin-Young
김 광 일*
Kim, Kwang Il

Abstract

In this research, we studied reach the conclusion with more probability for predicting the severity which based on fire cases in domestic department stores for last 30 years. Considering the number of yearly fire cases in department stores and the cost of damage, we set the risk level.

Moreover, this research shows the severity of fire in department stores through its scenario applying to FPETOOL program which NIST in USA has developed. By the result of FPETOOL program operation, we could acquired information about the time reaching the point where people are in danger in temperature, smoke layer and gas concentration.

When a fire breaks out in a department store, a great loss of property and life is significant, as well as the potential risk is awfully considerable. Therefore, we should prevent a fire from occuring.

Keyword : SEVERITY, DEPARTMENT FIRE, RISK LEVEL, FPETOOL, PREVENT

국문요약

본 연구에서는 국내의 30년간 발생한 백화점 화재 사고사례를 토대로 그 심각성 예측을 위해 확률적인 접근을 하였다. 백화점 화재의 년간 발생 건수와 그 피해액 정도를 고려하여 위험 수준을 산정해 보았다.

또한 본 연구에서는 백화점 화재발생 시나리오를 작성해 미국 NIST에서 개발한 FPETOOL 프로그램을 이용하여 백화점에서의 화재에 대한 심각성을 예측하였다. FPETOOL 프로그램 실행 결과로 화

* 인제대학교 산업안전보건학과

재 발생시 인체가 위험해지는 온도, 연기층, 가스 농도의 수준에 도달하는 시간을 알 수 있었다.

백화점에서 화재가 발생했을 경우 그에 따른 재산피해, 인명피해가 매우 크며, 잠재하는 위험성이 매우 크므로 미연에 방지해야 한다.

1. INTRODUCTION

백화점의 기능이 점점 다양해져 과거의 단순한 판매기능에서 탈피해 각종 문화, 여가, 놀이시설, 식당, 스포츠센타, 매장, 지하상가, 지하철역과의 연결 기능 등으로 다양한 기능을 수행하는 만큼 현대 사회에서 백화점의 안전은 매우 중요하다. 또한 백화점 특성상 인구밀도가 높고, 도심에 위치하고 있어 차량이 혼잡한 관계로 화재가 발생했을 경우 소방차의 진입이 어려워 화재진압 시간이 길어질 뿐 아니라, 내부에는 수많은 플라스틱재 장식구나 매장에 진열되어 있는 옷, 가죽제품, 가구 등 화재하중이 큰 내장재를 포함하고 있으므로 화재 발생의 잠재위험 요소가 많고, 그 잠재 위험성은 매우 크다.

본 논문에서는 국내의 크고 작은 백화점에서 1969년부터 1997년까지 약 30년간 발생한 화재사고의 사례들을 살펴보고 사고로 인한 피해정도와 발생한 빈도를 고려해 위험수준을 산정해 현대사회에 있어서 백화점 화재에 대한 위험성을 인식하는데 확률적인 접근을 하였다.

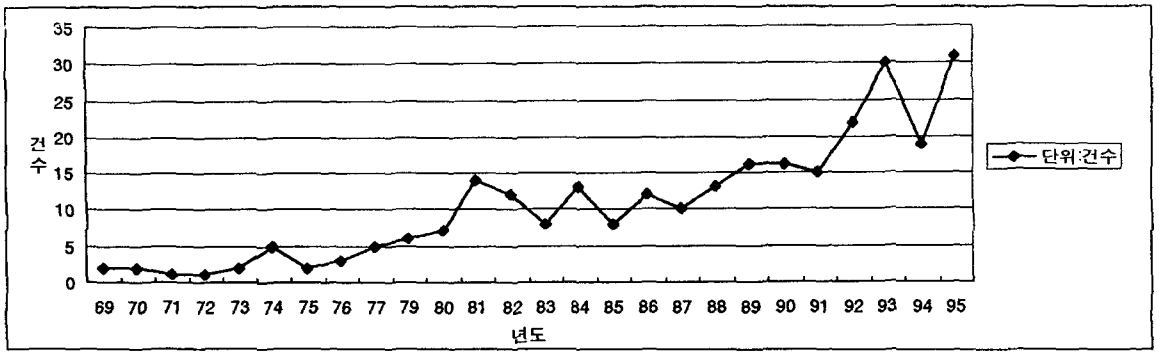
2. 사고사례 분석 및 위험수준 산정

국내 30년간 백화점 화재 사고사례[1]를 분석해 각 원인별 발생건수, 피해액 정도를 살펴본 결과 〈그림 1〉에서 볼 수 있듯이 '80년대 초반에 약 15건인데 반해 '90년대에 접어들면서 약 30건을 초과하는 현상을 보여 약 2배 가량 발생 건수가 증가함을 확연히 볼 수 있다. 또한 〈그림 2〉에서는 '70년대에 비해 '80~'90년대에 접어들면서 피해액이 점점 증가 추세임을 알 수 있다. 〈그림 3〉에서는 백화점 화재의 발생건수를 각 원인별로 나타내었는데, 총 284건으로 전기, 유류, 담배가 주 원인임을 알 수 있고, 〈그림 4〉에서는 그에 따른 피해액을 각 원인별로 나타내었는데 30년간 총 피해액은 약 96억원이다.

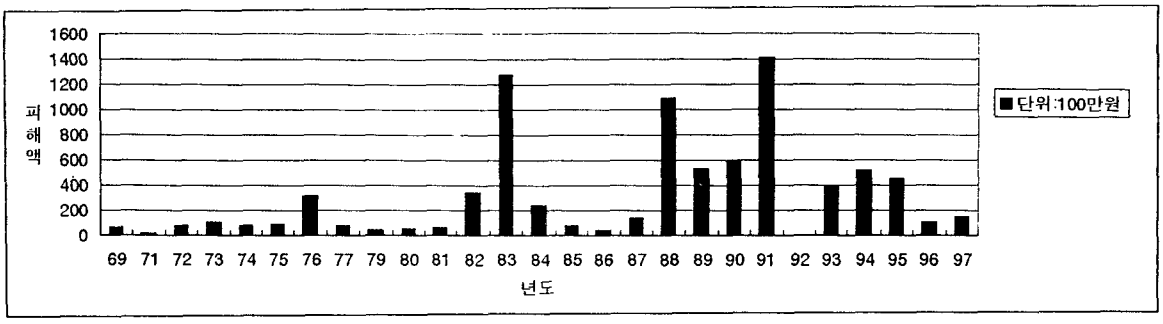
사례의 분석 결과치로, 우리 나라의 백화점 화재에 대한 위험수준을 산정해 보기로 한다.

위험수준의 산정을 간단히 공식화 하자면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[2]. 사고의 위험성은 발생 빈도(m)와 심각성(피해정도 D_1)이 크면 이와 비례해 당연히 높아진다.

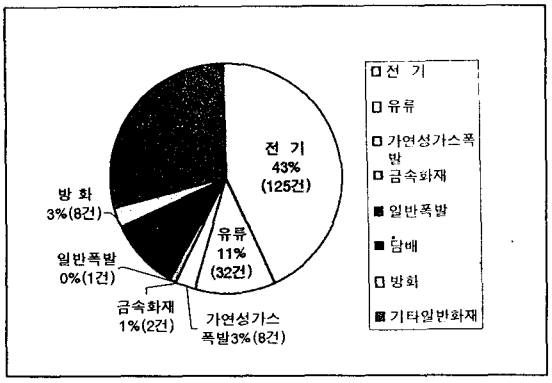
$$\text{Risk Level} = m \times D_1 \qquad (1)$$



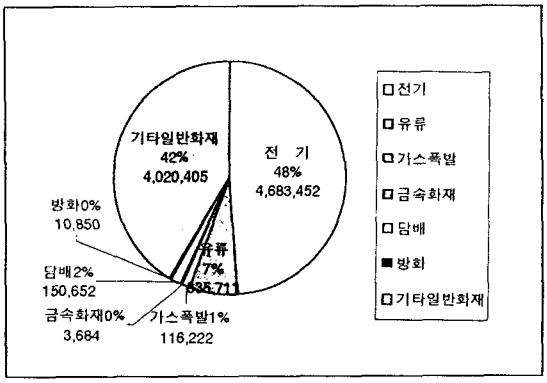
〈그림 1〉 30년간 백화점 화재 발생건수.



〈그림 2〉 30년간 백화점 화재의 피해정도.



〈그림 3〉 30년간 백화점 화재 원인별 발생건수(총 284건).



〈그림 4〉 30년간 백화점 화재 원인별 피해정도(단위 : 천원)(총 9,620,976,000원).

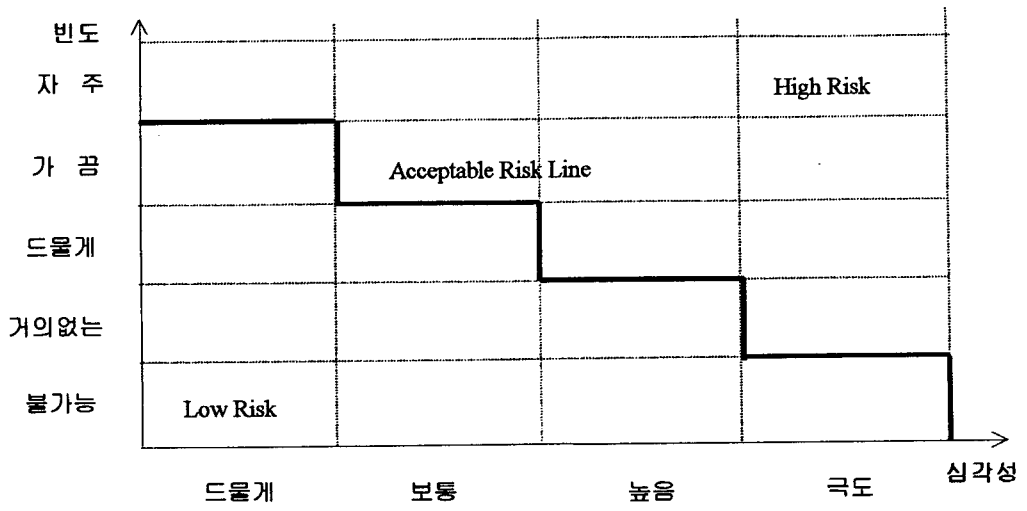
m : 발생빈도

D_1 : 심각성(피해액)

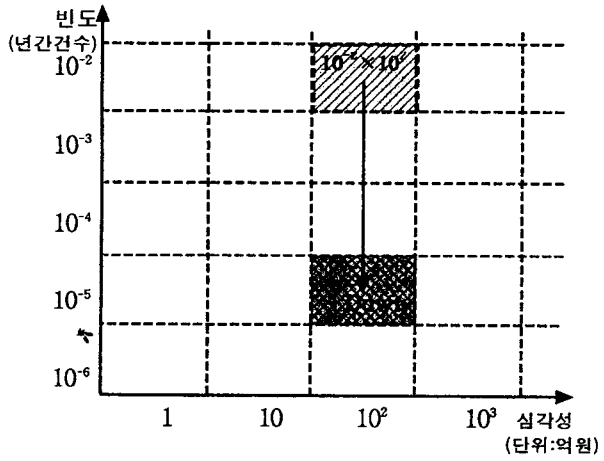
통계청 자료에 의한 국내 백화점 개수가 총 135개이고, 30년간 백화점 화재의 총 발생건수가 284건이다. 따라서, 국내에서 백화점 화재의 발생 빈도는 년간 7×10^{-2}건으로 자주 발생하고 있음을 알 수 있다. 참고로, 일반 화재에 의한 사고 발생 빈도가 2.8×10^{-5}, 자동차 사고가 2.4×10^{-4}, 추락사가 6.1×10^{-5}, 원자력 발전소가 1×10^{-6}, 그 밖에 자연 재해에 의한 사고로는 태풍에 의한 것이 1×10^{-5}, 천둥이 1×10^{-7}인데 이들과 비교해 보아도 상당히 높은 빈도임을 알 수 있다[3].

다음으로 심각성을 고려해야 하는데, 피해정도를 고려하는 데에는 몇 가지 어려움이 따른다. 직접적인 피해(D_1)는 경제 발전에 따른 화폐 가치의 변화를 적용시킨 화재의 피해액으로 나타내야 하는 등 여러 가지 변동요인들을 적절히 적용해야하는 어려움이 따른다. 따라서, 본 논문에서는 객관적으로 판단되는 피해금액으로써 피해정도를 나타내기로 한다.

〈그림 5-1〉에 보이는 Acceptable risk line은 그 사회에 따른 안전 문화에 만족하는 수준이라고 볼 수 있는데, 이 수준 이하가 될 수 있게 안전관리를 해야 할 것이다. 백화점 화재사례의 발생빈도와 피해액을 고려하여 백화점이 갖는 화재에 의한 잠재 위험수준을 산정 해 그 위험성을 도식화하면 〈그림 5-2〉와 같은데, Risk Level = $10^{-2}\times10^{2}$(억)으로 매우 높은 위험 수준이므로 안전관리를 더욱 철저히 해서 확률을 Top Down 시켜 10^{-5}정도로 Down시켜야 한다. 이처럼 백화점 화재의 위험성이 매우 심각하므로 다음장에서는 화재 시뮬레이션에 의한 사례연구를 통해 그 대책을 검토 하겠다.



〈그림 5-1〉 Risk Chart.



〈그림 5-2〉 백화점 화재의 Risk Level.

3. 화재 시뮬레이션에 의한 사례연구 (Case study)

국내 백화점 화재에 대한 30년간의 자료를 분석해 보고, 일반적인 백화점 화재에 대한 특성도 살펴 본 결과 상당한 재산피해, 인명피해가 발생하는 등 상당한 위험수준임을 알 수 있었다. 따라서, 본 장에서는 화재 시나리오를 작성해 백화점 건물에서 한 곳을 화재 발생 원인 장소로 가정하고 FPETOOL(화재 시뮬레이션 프로그램)을 사용해 그 심각성을 예측해 보기로 한다.

3-1. 시뮬레이션 개요

1) FPETOOL 프로그램 소개(NIST in USA)

이 프로그램은 미국 NIST에서 개발한 화재 시뮬레이션 프로그램으로써, 가상 시나리오를 작성해 이 프로그램에 적용시키면, 시간의 경과에 따른 온도, 연기층, 열 방출, 일산화탄소와 산소 농도의 변화를 볼 수 있어 위험 수준에 도달하는 시간을 알 수 있다. 이 프로그램의 사용목적은 방화를 하기 전 화재의 성상을 파악하여 Concequence Modeling을 하는 것으로 인간이 화재로 인해 당할 수 있는 피해를 줄이기 위한 것이다. 따라서 위험수준에 도달하기 전에 각종 소방설비나 공조설비 시스템이 작동할 수 있게 설비하여, 실제 화재가 발생하였을 때 재산피해나 인명피해를 줄일 수 있게 되는 것이다.

2) FPETOOL의 이론적 배경

이 프로그램에 적용되는 열 방출률(q)은 식(2)로 구해진다. m은 질량손실률 이고, H_c는 연소열로 단위는 kJ /kg이다. 열 방출률은 질량손실률과 연소열에 비례한다.

$$q = mHc \qquad (2)$$

3) Flashover에 영향 주는 인자

실내에서 화재가 발생했을 경우 불길의 성수

기가 되기까지의 시간에 영향을 미치는 중요한 인자로는 ① 발화원 ② 연료 층 높이 ③ 체적, 밀도 ④ 내장재 ⑤ 개구부 인자로 5가지가 있다[4]. 발화원이 방의 중심 쪽에 위치할수록, 연료 층의 높이가 높을수록, Bulk 밀도가 낮은 내장재일수록 화염이 더 급속히 전파해 성수기가 빨리 오게 되는 것이다. 또한 실내의 천장이나 벽을 구성하는 내용물질에 따라 그 시간이 달라지는데, 콘크리트나 Brick와 같은 고밀도의 물질로 구성된 경우 Flashover가 약 23분 후에 나타나고, 이에 반해 저밀도의 단열판 같은 경우 빠른 속도로 타들어가 약 6분내로 실내의 모든 것이 타게 된다.

4) 백화점 화재 시나리오 조건

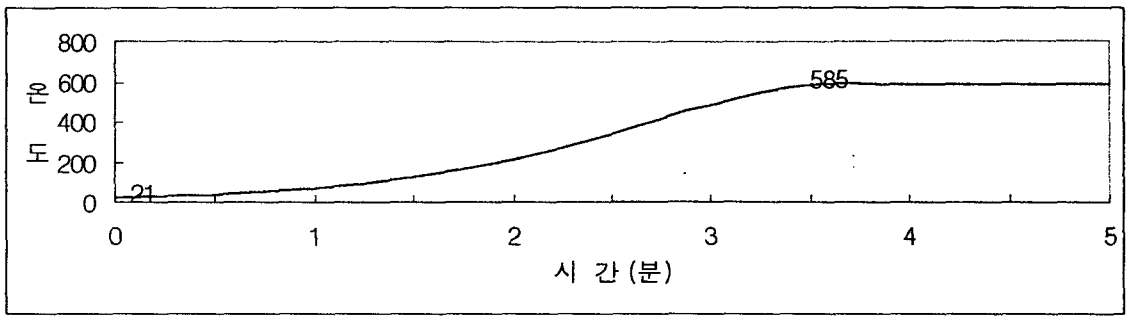
전체 10층 높이 백화점의 4층에 위치한 백화점 사무실에서 한 사무원의 담배꽁초 부주의로 인한 화재가 발생했다고 가정하고, 화재 시뮬레이션을 위한 몇 가지 조건을 다음과 같이 설정하였다. 사무실의 높이 2.5m, 면적 53.9m², 방 천장의 재질은 단열재(Fiber Insulation Board) 50%, 단열재(Adiavatic) 50%이고, 방 벽의 재질은 콘크리트 블록이 40%, 석고보드 30%, 단열재 30%로 구성되어 있다. 그리고, 스프링클러, 열 감지기, 연기 감지기, HVAC시설을 갖추지 않았다고 가정하고, 불의 높이는 0.3m로 하였다. Flashover의 온도는 600℃, 산소 결핍 시점은 10.0% by volume이다. 이상의 몇 가지 설정조건하에 화재 시뮬레이션한 결과를 분석, 검토해 보았다.

3-2. 결과 분석 및 검토

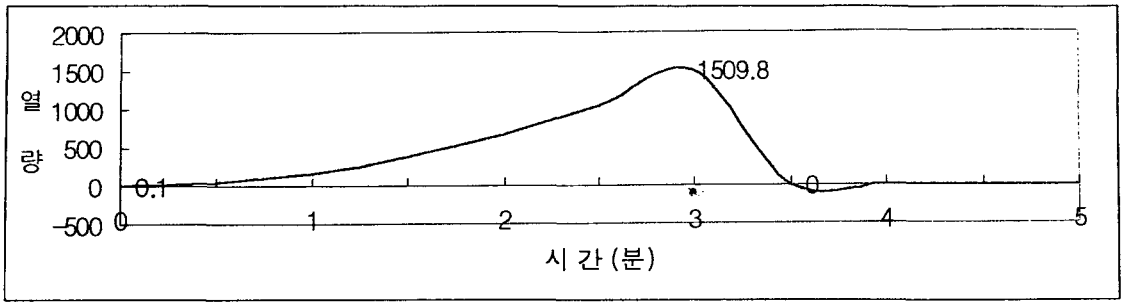
FPETOOL프로그램을 실행시킨 결과, 시간에 따른 온도, 연기층, 열방출률, 가스농도의 변화상태를 분석해보면 다음과 같다.

〈그림 6〉과 〈그림 7〉을 보면 화재 발생 후 시간에 따른 온도변화 및 열방출양을 볼 수 있다. 약 3분이 경과하면 열방출량의 최고치를 나타내는데, 연소에 의한 내장재의 질량손실이 급격히 증가하고 곧이어 내장물질이 모두 타버린 후부터는 열 방출량은 급격히 감소한다. 약 3분 30초 지점에서 Flashover가 발생하고 그 후 화염의 성수기가 나타남을 볼 수 있다. 〈그림 8〉은 방안에서 연기 층의 차 내려옴을 보여주는데, 이 실험에서는 1분이 약간 지난 후부터 연기층이 천장에서부터 차내려와 1.3m 높이까지 도달해 위험수준에 도달하게 되고, 3분이 지나면 피난하는데 큰 지장이 있다. 따라서 1분 경과후 배연 설비의 작동이 이루어져야 하고, 3분 이내에 모두 대피해야만 한다.

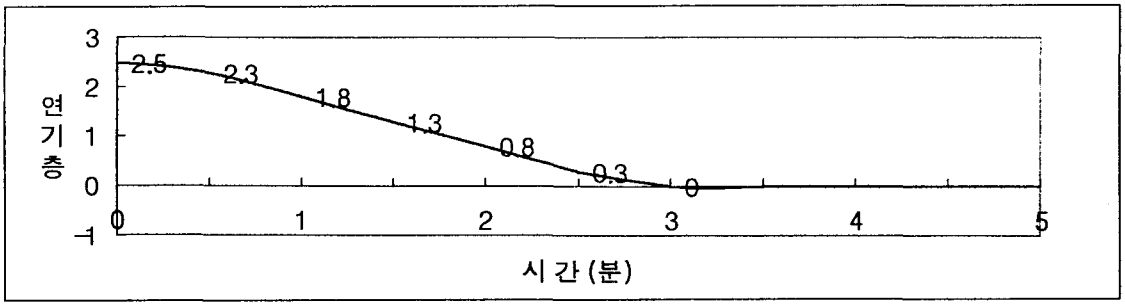
〈그림 9〉, 〈그림 10〉에서는 산소와 CO의 농도의 시간에 따른 변화를 보여주고 있다. 화재가 지속되는데는 산소농도가 중요한 역할을 한다. 공기 출입이 거의 없다는 가정에서 초기 산소농도가 21%였는데, 약 3분 경과 후 실내 산소가 10%이하로 떨어지고, 거의 같은 시간대에 CO농도는 급격히 증가한다. CO의 LC_{50}은 4600ppm이기 때문에 3분 30초의 CO농도 536ppm이면 매우 위험한 수준이다.



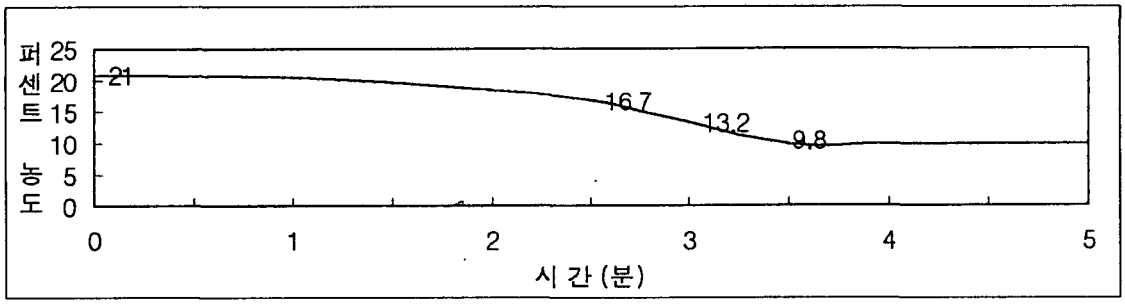
〈그림 6〉 화염의 시간에 따른 온도변화(℃).



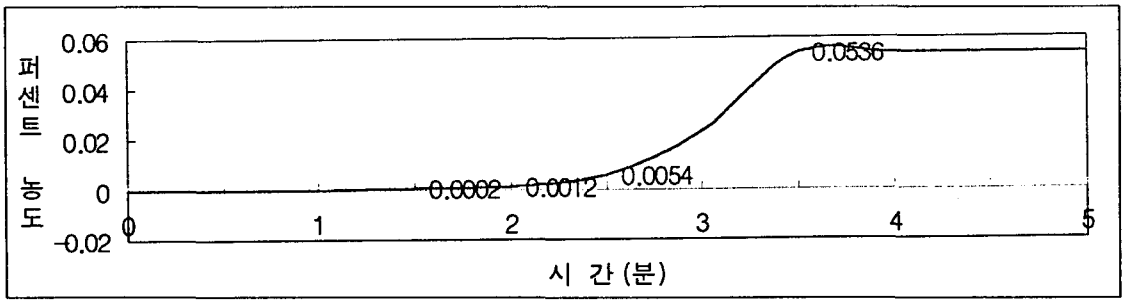
〈그림 7〉 시간에 따른 화염의 열방출양(kw).



〈그림 8〉 화재발생 후 시간에 따른 연기층 깊이의 변화(m).



〈그림 9〉 화재발생 후 시간에 따른 O_2 농도(%) 변화.



〈그림 10〉 화재발생 후 시간에 따른 CO 농도(%) 변화.

4. 결 론

사고사례를 보면 30년간 국내에서 발생한 백화점 화재 발생건수와 피해정도가 점점 증가하는 추세를 보인다. 사례분석 결과 전기, 유류, 담배로 인한 화재의 건수가 많은 비율을 차지하고 있는데, 특히 작은 '부주의'로 인해 엄청난 규모의 피해를 입는 경우가 많으므로 늘 위험을 인식하고 주의를 기울여야겠다.

또한 위험정도를 알기위해 백화점 화재의 발생 빈도와 심각성을 고려해 그 위험수준을 산정해 보았다. 그로 인해 백화점 화재가 심각한 위험성을 품고 있음을 알고, 화재 시뮬레이션 프로그램인 FPETOOL로 사례연구를 실시한 결과를 분석해 몇가지 보완책을 제시해 본다.

백화점은 화재하중이 상당하므로 화재가 발생할 경우, 그에 따른 재산피해와 인명피해가 매우 심각하다. 따라서, 건물 자체의 내장물질을 내화성이 강한 물질로 사용하거나 벽과 천장의 경우 강화 콘크리트를 사용하는 등의 세심한 대책이 필요하다. 또한, HVAC와 개구부가 없다고 가정한 결과 3분내에 호흡하는 위치에서 일산화탄소의 농도가 급격히 증가하고 산소의 농도가 10% (by volume)이하로 감소해 위험수준에 도달했다. 따라서, 한 시간당 1회 정도 실내공기를 교체해주고 적당한 개구부와 HVAC시설을 갖추어 주어야 한다. 이 밖에도 연기층으로 인한 질식사나 대피시 방해받을 가능성에 대비해 배연설비를 2분 이내에 작동시켜 차내려오는 연기를 배출시켜 대피시간을 좀 더 연장시키고, 비상대피시설 완비로 인명피해를 줄이도록 해야겠다. 이러한 갖가지 내장재나 설비의 완비를 기본으로 하고, 화재발생에 대한 예방대책과 잠재 위험요소를 파악해 정기적 점검등 완벽한 안전관리가 반드시 이루어져야 한다. 이와 더불어 모든 화원에 대해서는 주의와 안전교육을 실시하는 등 화재예방 인식에 대한 적극적 홍보가 필요하다.

현대의 백화점은 다양한 상품의 비치로 높은 화재하중을 갖는다. 또한 예전의 단순한 판매기능을 뛰어 넘어 각종 스포츠 센터, 식당, 놀이시설, 문화센터 등을 갖추고, 지하 마켓이나 잡화물 코너가 직접 지하철역과 지하상가로 바로 이어지는 신종기능을 갖는다. 다양한 연령의 고객층, 높은 인구밀도를 갖는 백화점에서 화재 발생시 그에 따르는 재산피해, 인명피해는 매우 심각하므로 그 위험성을 인식하고 미연에 방지하기 위한 투자를 아끼지 않는 것이 현대사회에 있어서 매우 중요하다 하겠다.

백화점에서 화재 발생시, 신속하고 현대적인 소방진화법으로 피해정도를 줄이는 것이 중요하므로 화재억제 능력의 신장을 위해 정부의 적극적 지원이 있어야겠다. 또한 정기적인 예방점검, 세심한 안전관리자의 책임이 막중한 때이다. 이상의 것들을 다 갖춘 상태에서 무엇보다 중요한 것은 '화재예방, 화재안전'에 대한 인식을 갖는 것이다.

참 고 문 헌

1. 事故事例(백화점 화재 : 1969~1997년), Chollian RMI 문헌정보
2. Eric W. Marchant, International Symposium on Fire Science and Technology, p.11~19.
3. 김광일, 위험성 평가에 관한 기법.
4. Dougal Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, p.299~300, p.328~330.
5. NFPA 101 (National Fire Protection Association Code 101, 5장, 6-5장)
6. '96火災統計年報, 내무부
7. 火災事例집, 韓國火災保險協會, 第 1~2輯