

# 건축물에서의 화재 존모델링 예측방법과 실제 (존모델 프로그램 FASTLite 적용사례를 중심으로)

임 홍 순 / 환경시험실 선임연구원

## 1. 서 론

건축물에서의 화재현상을 보다 경제적이고 간편하게 예측하기 위한 노력이 각국의 많은 연구진에 의해 이루어져 왔으며 이를 토대로 화재라는 현상을 수치적으로 분석할 수 있는 기본 도구 즉, 화재모델링기법을 정립하게 되었으며, 이를 컴퓨터를 이용, 복잡한 화재 현상을 수치적으로 손쉽게 계산 할 수 있도록 프로그램화하여 보다 많은 분야 즉 엔지니어, 건축사, 공무원, 감리자, 연구원 등의 사람들이 이 프로그램들을 이용, 건물 화재를 손쉽게 가상적으로 예측(이하 화재 컴퓨터시뮬레이션이라 함) 할 수 있게 되었다.

이러한 예측기법에는 실공간을 미소공간으로 나누어 고차원 해석방법에 의해 분석하는 필드모델(Field model)과 실공간을 상부 고온층과 하부 저온층으로 단순화 시켜 해석하는 존모델(Zone model)방법이 있다.

본 고에서 건물점검 및 설계검토 등에 간단히 계산하고 예측하는데 적용할 수 있는 실용적 방법으로 최근 미국에서 개발된 화재 컴퓨터시뮬레이션 존모델링 프로그램인 FASTLite의 특징과 절차에 대하여 사례연구를 통해 조사해 봄으로써 화재컴퓨터시뮬레이션의 응용연구의 기초자료로서 제시하고자 하였다.

## 2. 화재 존모델링 예측방법의 배경

미국의 예로서 연간 새로운 건설에 700억불을 쓰고 있으며, 이 중 약20%는 보험비용을 포함하

여 화재안전분야에 사용된다. 이러한 많은 비용은 화재손실을 경감하기 위하여 건물 등에 첨단 방화시설, 화재감지 및 소화설비시스템을 도입하는 단계에 쓰이고 있다.

최근 이들 첨단 화재방지설비시스템 도입에 따른 낭비적 비용을 줄이기 위한 노력으로 이들 시스템이 해당 건물내에서 그 방화성능이 과도하지도, 부족하지도 않는 적정 방화성능을 예측, 검증하여 법을 적용하고자 하는 적응 성능기반 화재기준(Performance-Based Fire code)이 대두되고 있다.

이러한 성능 검증 예측에는 실대 규모의 실험을 통하여 실제에 가까운 화재현상을 관측하여야 하나, 막대한 비용이 필요하며 현실적으로 불가능하다.

이에 그 동안 건축물에서의 화재현상을 보다 경제적이고 간편하게 예측하기 위한 노력이 각국의 많은 연구진에 의해 이루어져 왔으며 이를 토대로 화재라는 현상을 수치적으로 분석할 수 있는 기본 도구 즉, 화재 모델링기법을 정립하게 되었으며, 이를 컴퓨터를 이용, 여러 요소에 의한 화재 현상을 수치적으로 계산할 수 있도록 프로그램화하여 건물 화재를 가상적으로 예측할 수 있게 되었다.

이 화재 컴퓨터시뮬레이션은 필드모델(Field model)과 존모델(Zone model) 해석방법이 있다. 필드모델은 건물공간을 미소부분(cell)으로 나누

어 화재시 모든 주변조건(영향요인)을 감안한 많은 수의 고차원 수치 해석방법을 동원하여 풀어야 하기 때문에 고성능 컴퓨터가 필요하며 많은 영향조건을 설정해 주어야 하기 때문에 전문성이 필요하며 구입에 많은 비용이 든다. 반면 존모델은 주변조건(영향요인)중에서 무시할 수 있는 것들을 제거, 실공간을 상부 고온층과 하부 저온층으로 단순화시켜 분석하는 수치해석 모델로서 구입가격도 저렴하거나 무료로 배포된다.

미국의 사례로서 국립표준연구기관인 NIST (National Institute of Standard and Technology) 에서 FASTLite/CFAST/HAZARD 등의 존모델 프로그램을 개발 배포하여 엔지니어, 건축사, 공무원, 기타 연구자들에게 화재성능에 대한 검증 도구로서 사용을 확산시켜, 적정 성능의 건축물 방화시설 대책을 강구하므로써 국가적 낭비적 요소를 줄이고자 하고 있다. 이것은 존모델이 저렴하고 사용하기 쉬워 국가 방재적인 측면에서 누구나 폭넓은 분야에서 적용할 수 있는 평가도구로서의 효율적 방안으로 제시되고 있으며, 점차 이용이 확대되어 일부 엔지니어링회사에서 설계보고서 등에 적용한 사례가 나타나고 있다.

다만 존모델은 주어진 한계성 때문에 사용상 평가 오류를 범할 위험성이 높다. 가령 존모델의 건물내 평가대상 구획실의 수는 연속된 3개 정도이며, 건물의 최대 크기가 제한되어 있는 등 존모델 개발자들이 실제 실험을 통해 차이가 나는 부분들을 한계조건으로 하는 가정 하에서 이용할 수 있도록 하고 있다. 그러나 존모델의 한계는 어디까지나 파격적인 형태의 신공법 건물에 해당되는 문제로 보편적 대부분의 건물에 있어서는 이용 범주내에 든다고 할 수 있다.

### 3. 존모델링기법의 FASTLite적용과 실제

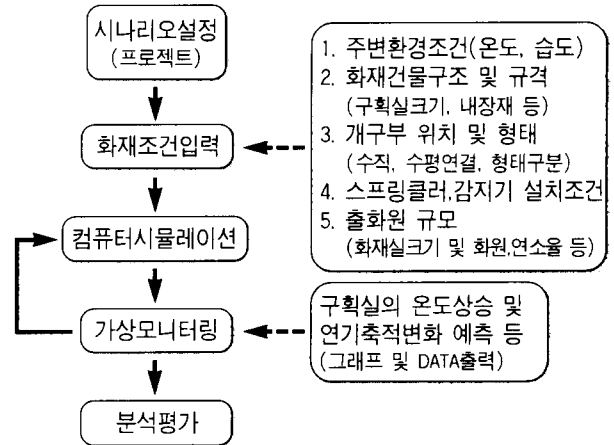
#### 가. 개요

FASTLite(Fire growth And Smoke Transfer)는 1997년 미국 국립표준연구소(NIST)에서 개발된 존모델(Zone model) 화재성장 및 연기유동예측

프로그램으로 이전에 개발된 화재 존모델링 프로그램인 CFAST(Fire and Smoke Transfer)를 사용자 편의성을 고려한 그래픽화면 입출력방식(GUI:Graphic User Interface)으로 개선한 프로그램이며, 건축사, 공무원, 기술사, 안전관리자 등에게 공학적 계산을 제공하기 위한 도구로서 활용되고 있다.

이러한 존모델링 기법의 FASTLite를 적용하여 그 결과를 비교, 그 분석기법의 절차와 특징을 알아보면 다음과 같다.

#### 나. 기본절차

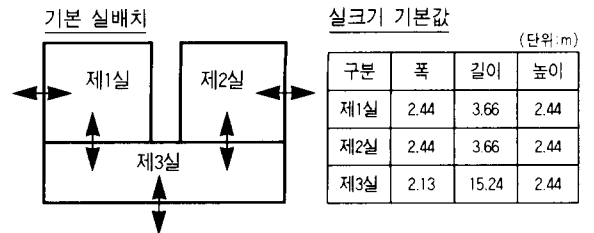


#### 다. 화재조건을 기본설정값

이 Fastlite 프로그램에서 기본값으로 설정하고 있는 화재조건은 다음과 같으며, 주어진 조건에 따라 변경하여 사용한다.

##### 1) 실배치 및 크기

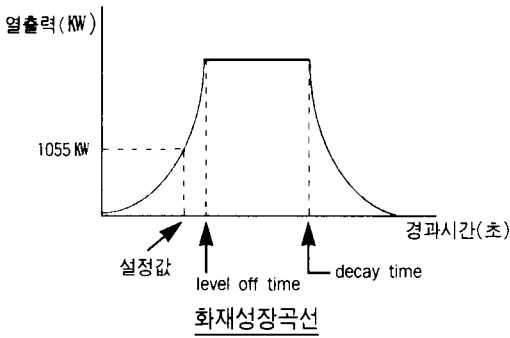
연속된 3개 까지의 실로 구성할 수 있으며, 한변은 최대 499m까지 가능하다. 기본 설정값은 다음과 같다.



↔ : 개구부를 통한 연결관계를 나타냄

2) 화재성장조건

건물내 화재실의 성장조건 규정하며 그림1과 같으며, 열방출율이 1055kW(1000Btu/s)에 도달되는 데 필요한 시간을 기준으로 한다. 설정값은 600초(Slow), 300초(Medium), 150초(Fast) 3가지로 구분되며, 기본값은 300초(Medium)이다. 또한 성장 한계값에 도달하는 시간(Level off time)과 감쇠를 시작하는 시간(Decay time)을 각각 설정해야 하며, 그 기본값은 각각 600초와 1200초이다.



3) 내장재

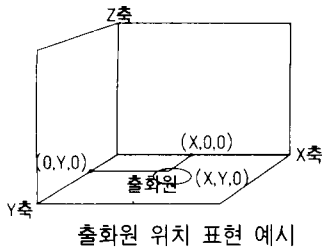
구획실에 설치되는 천정, 벽, 바닥의 실내에 노출된 내장재를 규정하며, 기본값은 천정 및 벽은 석고보드, 바닥은 합판이다.

4) 화재실 배치

출화원이 배치되는 실, 즉 화재실을 규정하며, 기본값은 제1실로 한다.

5) 출화원 위치

화재실내 출화원의 위치를 규정하며, 바닥의 구석 모서리를 중심으로한 XYZ좌표로서 표현하며, 기본 설정값은 실바닥 중앙이다.



6) 하한 산소농도

화재시 연소 가능한 하한 산소농도를 규정하며 기본값은 14%이다.

7) 연소열 : (목재기준 이론값)

출화원의 연료 1그램당 연소열량으로 나타내며, 기본값은 목재의 연소열인 12.6KJ/g이다

8) 연소가스 착화온도

연소가스가 착화되는 온도값은 화재실에 인접한 실로의 열방출량을 결정하는데 영향을 미치며, 전형적인 고체 재질의 착화온도는 300-400°C이며, 기본값은 강화된 200°C로 하고 있다.

4. FASTLite 적용 실제

이 적용 실제는 FASTLite에서 기본으로 설정하고 있는 값을 기준으로, 벽개구부 영향, 출화원 위치, 스프링클러 설치효과 등 주요 항목의 변수를 입력하여 결과를 그래프상으로 출력 비교하였다.

가. 기본 구획실의 상층온도 및 연기축적특성

기본 설정조건에서 인접된 3개 실별 상층부 온도 및 연기 축적변화를 보면 그림1 및 그림2와 같다. 여기에서 화재실(제1실)의 프래시오버는 약 300초 경과시 발생하는 것으로 나타났으며, 연기축적은 천정부근에서 높이 1.5m까지 급속히 아래로 증가하는 것을 나타내 주고 있다.

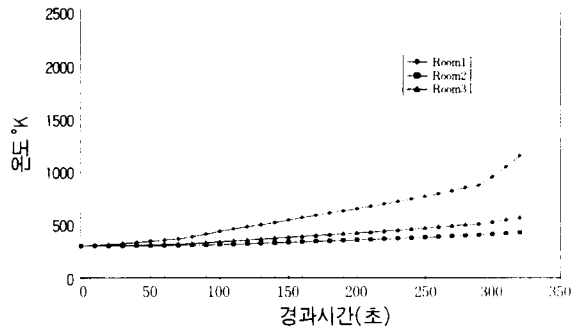


그림1 기본 구획실 상부 온도상승 변화

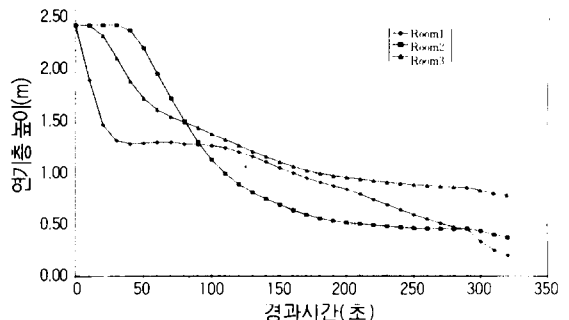


그림2 기본 구획실 상부 연기축적 변화

## 나. 벽개구부 조건에 따른 각실 온도 및 연기축적 변화

인접된 3개실의 연결개구부(외기포함) 설치조건에 따른 각실 온도 및 연기축적 변화를 보면 다음과 같다.

출입문이 닫혀진 상태에서의 화재실 온도변화는 그림3에서와 같이 160초 경과시 약423°K(150°C)를 정점에 도달하였다가 감소하며, 기타 실은 거의 온도 변화가 없었다. 또한 연기는 그림4에서와 같이 화재실에서는 100초만에 연기가 바닥면까지 급속히 축적되고, 기타 실은 서서히 축적됨을 알 수 있다.

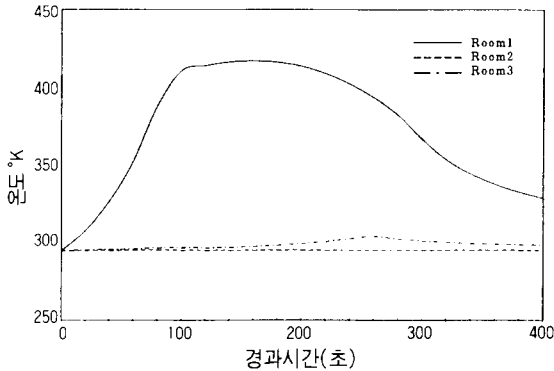


그림3 제1실 및 제2실의 복도출입문이 닫혀진 틈으로 연결되는 경우 각 실 상부 온도상승변화

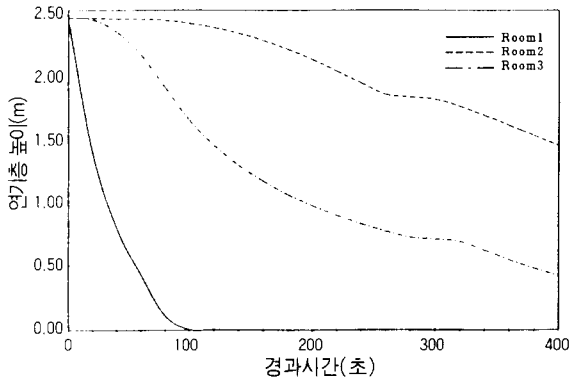


그림4 제1실 및 제2실의 복도출입문이 닫혀진 틈으로 연결되는 경우 각실 상부 연기축적 변화

한편 각실의 외기에 면한 창문과 각실 복도출입문을 개방했을 경우 그림5에서와 같이 화재실은 약 320초 경과시 플래시오버 현상으로 온도가 급격히 올라가며 이때 기타 실은 화재실의 플래

시오버의 영향으로 완만하게 온도 상승을 가져온다. 또한 연기변화는 그림6에서와 같이 3실 모두 천정부분에서 높이 1.5m까지 급속히 축적되다가 화재실의 플래시오버 직전까지 완만하게 진행하다가 플래시오버 시점에서 급속히 연기가 아래로 축적됨을 나타내 주고 있다.

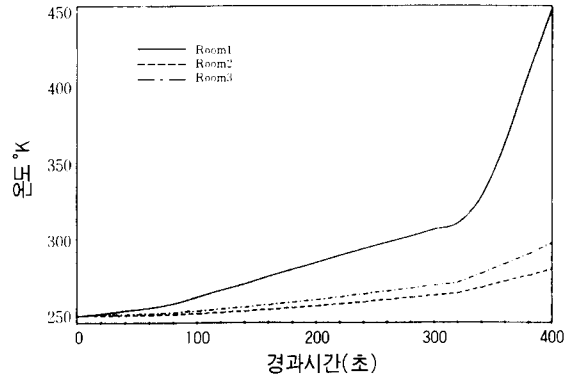


그림5 외기에 면한 창문과 각실 복도출입문을 개방한 경우 각실 온도상승변화

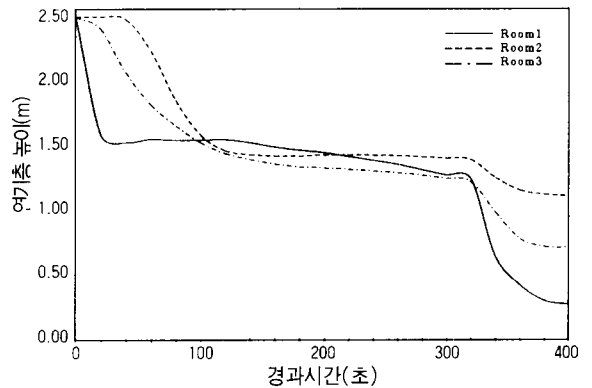


그림6 외기에 면한 창문과 각실 복도출입문을 개방한 경우 연기축적 변화

## 다. 화재실 배치 및 출화원 위치에 따른 변화

그림7에서 나타난 바와 같이 바닥 화재인 경우 급속히 성장하여, 프래시오버 및 최대 열방출에 도달하며, 완만히 감소한다. 그러나 천정 화재인 경우 서서히 증가하여 완만한 최대 열방출에 도달하였다가 제로로 감소한다.

그림8에서 나타난 바와 같이 천정화재인 경우 연기축적이 완만히 증가하며, 바닥화재인 경우 연기축적이 급속히 진행되며, 프래시오버 근방에서 재차 연기가 급속히 증가한다.

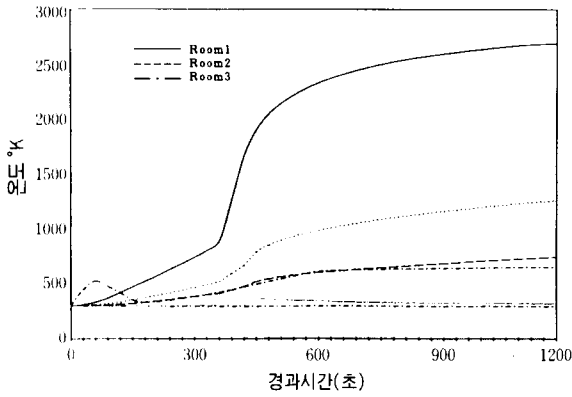


그림7 화재실 배치 및 출화원 위치에 따른 온도변화

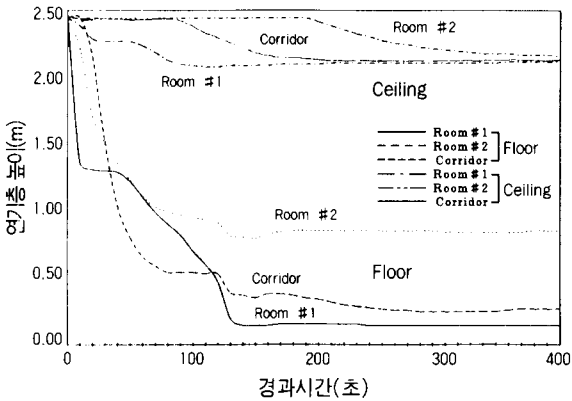


그림8 화재실 위치 및 출화원 위치에 따른 연기축적 변화

### 라. 스프링클러 설치효과

설치되는 반응 작동시간(RTI), 방수밀도, 설치위치, 실천정높이에 따른 화재실의 화재특성변화를 보면 그림9, 그림10, 그림11, 그림12, 그림13과 같다.

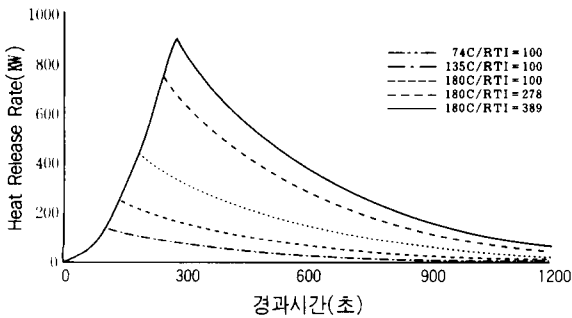


그림 9 스프링클러 작동반응시간의 효과

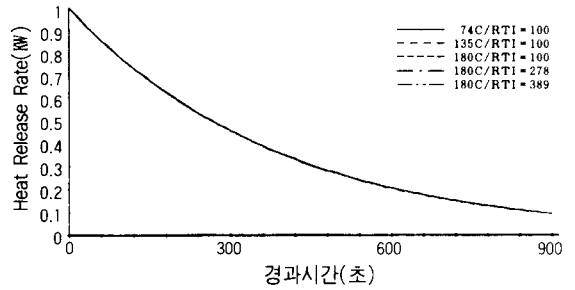


그림10 스프링클러 작동후 열방사율비

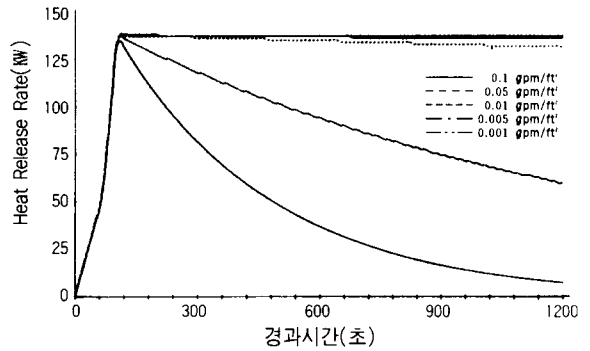


그림11 스프링클러 방수밀도 효과

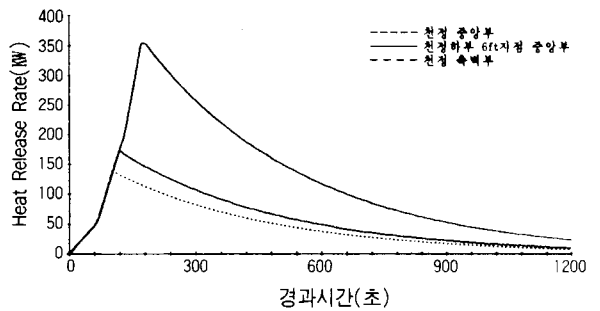


그림 12 스프링클러 위치효과

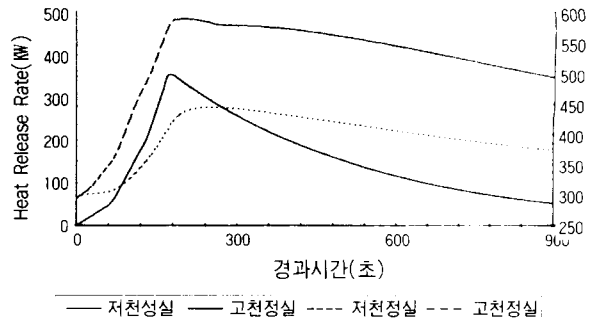


그림13 스프링클러 성능에서의 천정효과

## 5. 결 론

본 고에서는 존모델링 기법의 화재 예측 프로그램인 FASTLite에 대하여 개략적인 특징을 알아보았으며, 그 결과 몇가지 결론에 도달하였다.

첫째, 건물 화재를 예측하기 위한 도구로서 존모델링 기법은 단순화한 공간 해석방법으로서 일반 사용자들에게 사용하기 쉬운 엔지니어링 도구로서 이용되고 있다. 다만, 연속된 3개 이내의 구획실 등 적용상 일부 제한이 있기는 하나 통상적인 건물에서는 사용범주에 든다고 할 수 있다.

둘째, 존모델프로그램은 성능기준코드(Performance based code)화 추세에 따라 건축법 및 소방방법 적용에 있어 사전 성능검증도구의 대안으로 판단된다.

셋째, 추후 각종 건축물의 안전점검과 건축설계, 방재계획 등에 활용하여 사용상 문제점을 도출, 방재시험연구소의 시설을 활용, 실대 화재 실험을 통한 화재예측프로그램의 오류를 개선하므로써 우리 실정에 맞는 존모델링 프로그램을 개발하여 보다 진보된 국내 성능기준코드화 추진에 밑거름이 되었으면 한다. (FLK)

## 위험관리 정보회원제 안내 (정보서비스팀 ☎ 02-780-8111; 교환355)

우리 협회 위험관리정보센터에서는 국내·외 위험관리 기술자료와 최신 정보를 수집하여 DATA BASE를 구축하였습니다.

### ▶ 회원의 구분

구분	특별회원	단체회원	개인회원	비고
연간회비	50만원	15만원	6만원	· 장기회비를 납부할 경우 회비가 할인됩니다. (2년분 일시납부: 연회비의 180%, 3년분 일시납부: 연회비의 240%)
특전	간행물 제공, 자료복사 제공, 외국문헌 번역 등			

### ▶ 소장자료

구분	종 류											
단행본	○ 소방 ○ 설비 ○ 위험물	○ 건축 ○ 화재 ○ 폭발	○ 전기 ○ 가스 ○ 보험	○ 위험관리 ○ 산업안전 ○ 교통·환경							<8,500권>	
정기간행물	○ NFPA Journal Fire Engineers Record ○ 建築防災 火災 建材試驗情報 Risk Rader ○ 각종학회지 가스안전 보험정보	Fire Prevention Fire & Materials SFPE Bulletin 安全工學 近代消防 配管技術 OHM 환경관리인 전기안전 손해보험	消研輯報 高壓가스 設備と管理 Risk 위험관리전 산업안전 위험과 보험	Fire International Fire Safety Journal Risk Management 檢定時報 Risk Review Safety Engineering 消防研究所報告 설안전기술 안전보건 소방안전	Fire Safety Engineering Loss Prevention News Fire Technology 檢定協會だより 防災ニコス 月刊フェスク 소방검정 자치소방					<166종>		
시청각	○ Film	○ Video Tape	○ Slide							<83종>		
규격 및 코드	○ ASTM NESC ○ BS ○ NT	NFPA SBC LPS EN	CFR API FOC CAN	UL ANSI ULC	UBC NEMA ○ JIS ULC	FM FS ○ NZS AS	IRI MS ○ KS ○ ISO	ASME BOCA KSCP DIN	OSHA FS	UFC	<33종, 536권>	
기타	○ 방재관계 논문										○ 외국기관 카탈로그, 팜플렛	<1,700점>