

## 국내 PBD 기반 설계를 위한 강구조 구조내화설계 구축방향에 관한 연구(Ⅰ)

권영진 · 이재영  
호서대학교 소방방재학과

### A Research Direction of Structural Fire Resistance Design of Steel Structures for Recommendation of PBD in Korea

Kwon, Young Jin · Lee, Jae Young  
Fire and Disaster Protection Engineering of Hoseo University

#### ABSTRACT

Performance based fire engineering design is being adopted around the world as a rationed means of providing efficient and effective fire safety in Building. This development is being supported by the adoption of performance based codes which specify the objective and minimum performance requirements for fire safety traditional design for fire safety which is still practiced in many countries, relies on "prescriptive" codes which specify how a building is to be built, which no statement of objective and little or no opportunity to offer more rational alternative design.

It is the aim of this study to investigate and analyze the research direction of structural fire resistance design of steel structures for recommendation of PBD in Korea.

#### 1. 서 론

건축구조물에 있어 내화설계법이란 건축물의 연소 확대 및 붕괴를 방지함으로써 피난 안전을 확보함과 더불어 물적인 손실을 최소화시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이러한 내화설계법에 의한 구조물의 내화안전성을 달성하기 위해서는 화재성상을 고려하여야 하며, 이러한 화재성상에 따른 건축구조부재에 화재안전성능 즉, 차열성, 차염성, 구조안전성 등을 구비시키기 위한 설계 수법이다. 현재 우리나라의 내화설계는 건축법에 의해 요구되는 내화시간과 표준내화시험에 의한 성능평가에 따라 행해진다. 예를 들면 건축물의 층수 별 부위별로 요구되는 내화성능이 표준화재곡선에 의하여 30분으로부터 3시간까지의 내화시간으로 규정되어 있고, 이와 같은 내화성능이 요구되는 건축물의 기둥, 보 등은 표준내

화시험에 따라 소정의 내화시간을 확보하는 성능을 갖고 있는 것이 확인된 구조여야만 한다. 이와 같은 요구내화시간과 표준내화시험에 따른 내화설계법은 설계자에게는 아주 알기 쉬운 이점을 갖고 있는 한편, 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다.

첫째로, 안전율이 집약되어 있는 것으로 판단되는 편행기준의 내화시간은 개별의 건축물이 실화재성상과의 대응이 어려울 뿐만 아니라 가연물이 매우 작은 경우 등의 건축물의 타입에는 설계화재성상으로서 적당하지 않으며, 둘째로 표준내화시험에 따른 부재 허용온도 등에 따른 내화성능 평가는 확실적이고 작용하중, 구조형상 및 가열부위 등에 영향을 받는 구조부재의 내화성능을 적절하게 평가하기 어려운 상황에 처하게 됨으로 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 개별의 건축물에 요구되는 내화성능의 목표수준을 명료하게 하고 실화재의 성상예측 및 화재 하에서의 부재의 열적, 역학적 성상예측에 따라 그 내화성능을 해석적으로 평가하면서 내화성능의 소요의 목표수준을 달성하도록 구조부재의 내화시방을 결정하는 수법이 필요하다.

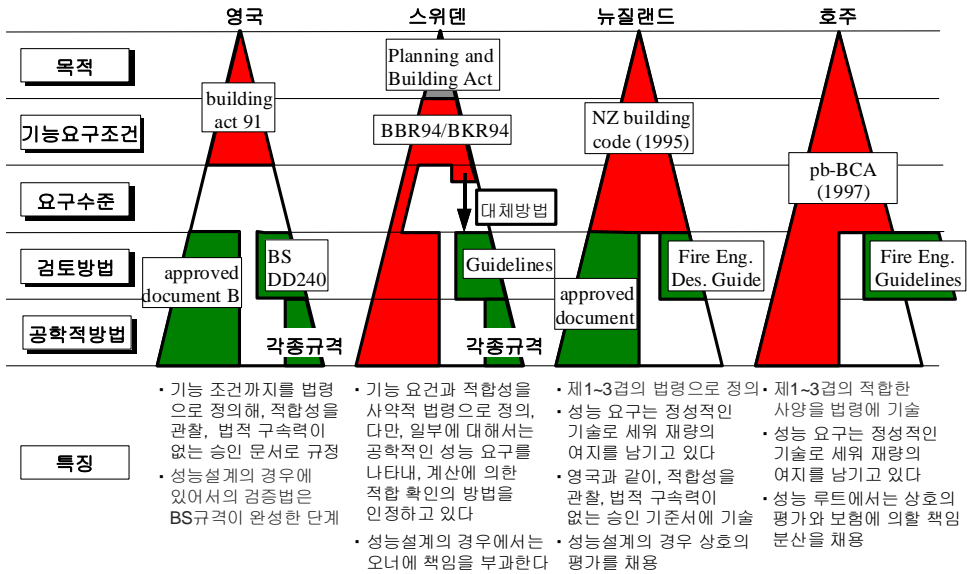


그림 1. 각국의 성능 지향적 건축기준

이러한 설계기술을 성능기반 설계라 하며, 그림 1에 나타난 바와 같이 선진 외국의 경우 성능기반 화재안전설계가 정착되고 있으며, 우리나라의 경우에도 소방법의 경우 화재안전설계 분야에 대하여 소방시설들에 대한 성능설계가 2009년부터 시행될 예정이다. 반면, 건축법의 경우에는 화재안전설계분야가 아직도 기존의 사양설계에 머물고 있으며, 이에 따라 건축법과 소방법과의 설계방법에서도 상당한 괴리가 예상된다.

본 연구는 건축구조분야 중 강구조분야에 있어서 성능적 구조내화안전설계를 위하여 일본 건축학회에서 2008년 3월에 개정된 강구조 내화설계지침 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 일본 건축학회의 강구조 내화설계지침안의 구성

### 2.1 개정배경

일본건축학회는 해석적 수법에 기초를 두고 강구조내화설계지침을 1999년 1월에 간행하였다. 이것은 강구조 건축물의 내화설계에 관한 최초의 지침이었고 당시 해석적인 내화설계 수법이 실무적으로 적용되기 시작된 후 10년이 경과 되었으나, 그 적용대상은 내화강을 사용한 무내화피복의 건축물이 거의 대부분이고 통상의 강재를 사용한 건축물에서는 허용강재내화온도와 요구내화시간의 규정을 만족하는 내화피복의 사양을 결정하는 방법이 주류를 이루었다. 화재의 성상, 부재의 온도, 고온시의 부재안전성을 일률적인 해석적으로 평가 검증하는 시스템 기술은 1989년에 일본건설성 종합기술개발 프로젝트의 성과로서 간행된 건축물의 종합방화설계법으로 집약되어 있었으나, 일반적인 설계자에게 보급은 매우 희박한 상태였다.

반면, 2000년도의 개정건축기준법에서는 해석적인 내화설계의 설계시스템이 구축되면서 구체적인 수법으로 제시된 내화성능검증법의 일부에 이 방법이 채택 및 실행되었다.

그러나 2001년 9월의 뉴욕 세계무역센터(WTC) 빌딩의 붕괴로 인하여 강구조 건축물의 고온구조안전성에 대한 중요성을 새롭게 인식시킨 사건이 되었다.

이와 같은 상황변화를 고려하여 강구조 운영위원회에서는 강구조내화설계 소위원회를 설치하고 아래의 기본 방침에 따라 강구조 내화설계지침의 개정을 행하였다.

- 1) 강재 및 고력볼트의 고온강도 및 화재하중에 관한 설계용 수치에 관하여 새로운 데이터를 추가한다.
- 2) 화재의 성상 및 강부재의 온도 평가방법에 관하여 최신의 연구 성과를 기초로 전면적으로 개정한다.
- 3) 강구조의 고온구조안전성에 관하여는 제1판의 내용을 유지하면서 새로운 연구보고에 따라 해설 물을 충실하게 하고, 본문의 개정을 행한다.

### 2.2 주요개정내용

각 장의 개정내용을 아래 표1과 같이 나타낸다.

표 1. 강구조 내화기준 지침서의 각장의 개정사항

| 구 분         | 내 용  |
|-------------|--|
| 제1장<br>총칙   | 목적 및 적용범위는 변함이 없으나, 구체적인 수법으로 언급하고 있는 방법에 관하여 제2장 이후의 변경을 반영하여 개정한다.   |
| 제2장<br>강재   | 강재와 고력볼트의 고온 인장시험 데이터를 추가하여 고온강도의 평가식을 일부 개정한다.  |
| 제3장<br>하중   | 새롭게 행하여진 화재하중 조사결과 및 기존문헌의 재조사를 통하여, 화재하중에 관한 데이터의 신뢰도를 높였다. 또한, 국소화재의 화원 결정의 참고가 된 조사결과를 소개하였다.   |
| 제4장<br>화재성상 | 화재성상의 분류와 선택의 지침을 나타내었다. 또한, 국소화재에 관하여 예측수법을 체계화하여 기술하였다. 성기화재에 관하여는 실 범위의 결정방법, 연소과정의 고려방법을 추가 기입하여 예측수법을 개정하였다. 성기화재 공간의 개구부로부터 분출화염의 예측수법에 관하여 그래프로부터 인식하는 방법을 새롭게 제시하였다. |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 제5장<br>화재시<br>강부재의 온도 | 국소화재, 성기화재, 분출화염 각각에 관하여 강재온도계산의 방법을 일괄적으로 나타내었다. 무내화 피복부재의 온도예측에 관하여는 방사전열의 내용을 개정하고 내화피복에 관한 1차원 차분법의 알고리즘을 개선하여 수치계산의 안전성을 개선하였다. 부재온도 계산의 정밀도에 관하여 설계자의 인식을 돕기 위하여 무내화 피복부재와 내화피복강재의 양자에 관한 부재온도의 계산결과와 실험치의 비교사례를 나타내었다. |
| 제6장<br>시스템의<br>붕괴온도   | 고력볼트 이음의 설계법에 관하여 제1판의 조건상에서의 소성힌지의 형성을 허락하는 방안을 개정하여 고력볼트 이음부에는 소성힌지를 형성시키지 않는 것으로 하여 그에 대한 대책을 기술하였다. 또한, 철근 콘크리트 슬래브와의 합성부에 관하여 화재시의 휨내력에 합성보로서의 내력을 채용하도록 하였다. 또한, 고온 크리프의 영향에 관한 새로운 검토 결과를 해설에 추가하였다.                   |
| 제7장<br>내화설계 예         | 지침개정부분을 반영하여 재설계 하였다.   |

### 3. 내화설계의 수준

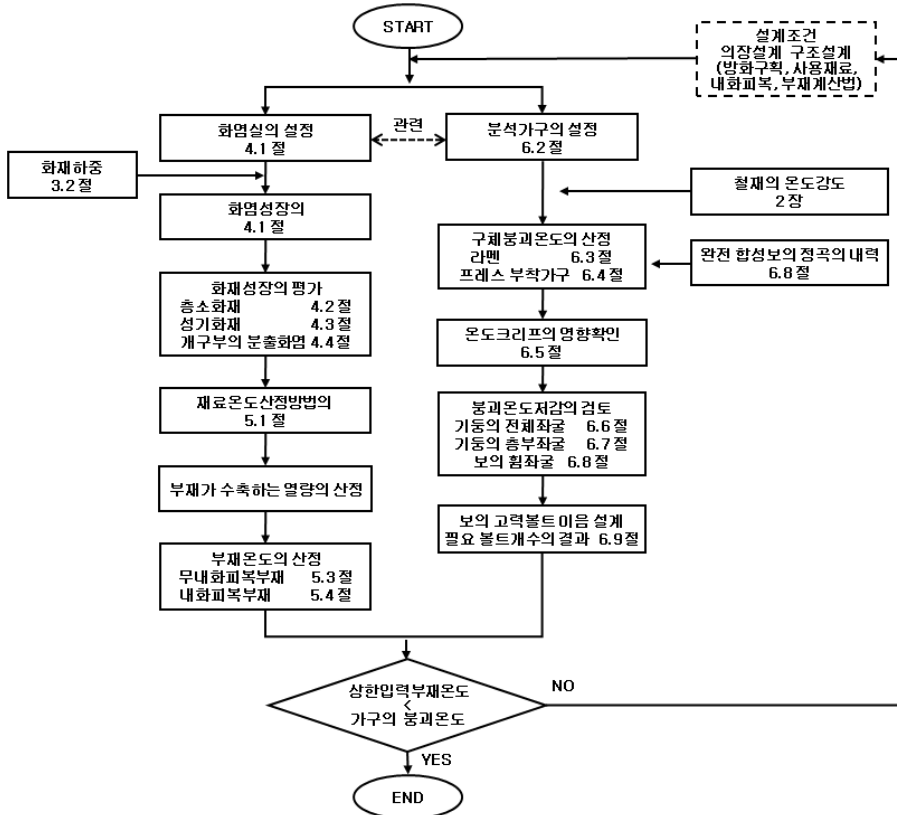


그림 3. 강구조 내화설계수준

그림 4에 일본의 설계지침에 따른 내화설계의 수준을 나타내었다. 그림 중에 파선으로 나타낸 설계조건은 통상의 의장설계 및 구조설계 등에 의해 결정되는 조건이고, 방화구획 및 개구부의 계획, 마감재 및 내화피복의 사양 더 나아가 부재 단면 치수 등이 이것에 해

당된다.

본 지침에 의한 내화설계법에서는 이러한 조건에 따라 다음의 4가지 사항을 주축으로 구성되어 있다. 이 4가지의 항목을 나타내면 다음과 같다.

1) 화재하중 산정

화재를 상정하는 공간되는 가연물이 완전 연소한 경우에 발생하는 열량의 총계를 화재하중이라 한다. 화재하중의 크기는 주로 건축물의 용도 및 구획용도에 따라 결정된다. 가연물 양의 경련변화, 용도 변경의 가능성, 건축물 등의 중요도 등을 고려하여 경우에 따라 증가시킬 수 있다.

2) 화재온도 산정

대상으로 하는 화재는 국소화재와 성기화재가 있다. 국소화재의 경우 정상연소에 있어서 화염의 높이와 온도를 산정한다. 성기화재에서는 화재공간의 가연물의 밀도와 개구조건에 따라 화재온도의 변화를 산정한다. 또한, 성기화재가 발생하고 있는 공간의 외부부재를 설계대상으로 하는 경우에는 개구부로 부터의 분출화염의 성장과 온도분포를 산정한다. (그림 2, 3 참조)

3) 부재온도의 산정

화재온도의 시간변화에 따라 내화피복된 강부재 또는 무내화피복 강부재의 온도의 시간변화를 산정하여 그 상한치를 구한다. 이것을 상한 입력부재온도라고 한다. 부재온도는 화재온도를 결정한 후 이것에 따라 산정하여도 좋으며, 화재온도와 부재온도를 동시에 일괄 산정하여도 좋다.

4) 붕괴온도의 산정

강재의 온도 강도에 따라 구조의 붕괴온도를 산정한다. 붕괴온도는 구조 특성치 이므로 전술한 1)~3)과는 독립적으로 산정한다. 구조의 붕괴온도는 부재의 고온 전 소성강도, 고온좌굴, 고온 국부좌굴, 고온 횡좌굴을 고려하여 정한다.

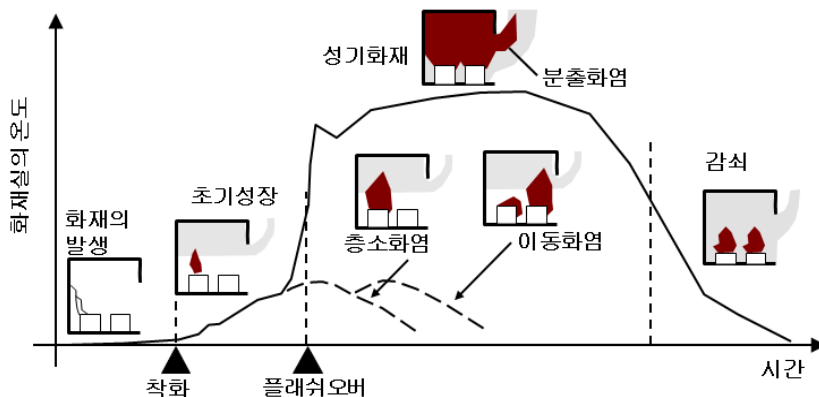


그림 4. 구획화재의 일반과정(총소화염과 성기화염)

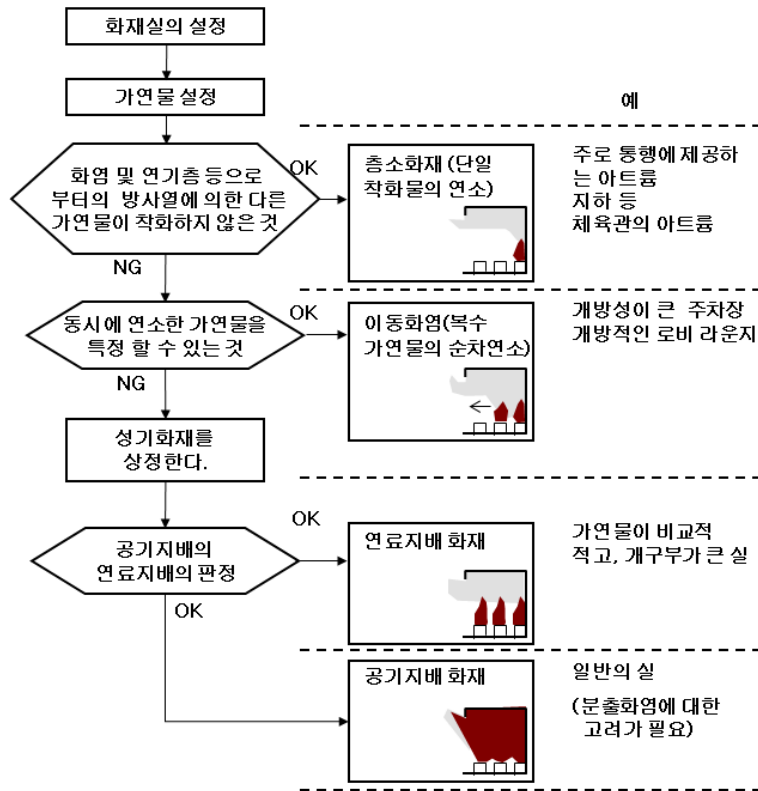


그림 5. 화염성상의 선택기법

#### 4. 맺음말

국내 PBD 기반 구조내화설계에서의 강구조 구조설계 구축을 위하여 일본의 강구조내화설계지침을 조사한 결과 성능기반 구조내화설계의 주요핵심이 되는 사안은 화재하중산정, 화재온도산정, 부재온도의 산정, 붕괴온도의 산정으로서 향후 국내의 내화성능설계 추진 시 본 4가지 사안을 고려한 기법으로 진 될 필요가 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 日本建築学会, “剛構造耐火設計指針”, 2008.03.15
2. 社団法人 国土開発技術研究センター, 日本建築センター “建築物の総合防火設計法 第4巻 耐火設計法”, 1988.04.10