

내화설계의 새로운 방법과 금후의 동향

1. 머 리 말

건축물의 화재 안전성을 건축법규에만 따르기에는 근년의 건축물은 너무나도 복잡화, 대규모화 되고 있다. 건축물의 방화설계를 종합적, 체계적으로 행하고자 공학적 방화설계법의 확립이 시급하다는 것은 많은 방화관계자의 일치된 의견이었다.

최근 화재공학의 현저한 진전에 따라 공학적 방화설계법을 확립하는 기반이 이루어져 왔고, 국제적으로도 그러한 움직임이 나타나게 되었다.

일본에서는 1982년부터 5년에 걸쳐 “건축물 방화설계법의 개발”에 대한 연구를 행하고, 합리적인 방화설계법을 제안하였다.

과제의 하나로서 “내화설계법의 개발”에서는 설계의 자유도 및 건축물 안전성을 향상시켜, 새로운 내화설계법의 확립을 위한 연구를 행하여 그 성과를 기본으로 내화설계법을 제안하였다. 제안된 내화설계법은 아직 법적으로 인정되어 전면적으로 활용되는 단계에 이르지 않는 것이다. 그러나 기술적 평가기법의 합리성이 이해되어, 건축기준법 제38조에 따라 건설대신의 인정을 받으려는 방재계획의 책정에 부분적이지만 활용도가 매년 증가하고 있으며, 건축물 화재안전대책의 합리화에 공헌하고 있다.

이러 현행의 방·내화시험방법의 체계를 합리화하고, 화재안전대책의 향상 및 건축물의 화재안전기준의 국제조화의 추진을 도모하기 위하여 1993년부터 5개년 계획으로 종합기술개발 프로젝트 “방·내화성능의 평가기능의 평가기술 개발”을 실시하고 있다.

이 연구를 종료한 단계에서는 새로운 내화설계법은 보다 완성도 높은 것이 되어 널리 활용될 것이 기대된다.

2. 내화구조의 설계

건축물 내화구조의 목적은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 건물내 인명 보호 및 소방활동의 보충
 - (2) 화재확산 방지와 재산 보호
 - (3) 건물의 도괴방지와 부지 주변으로의 위해방지
- 위의 목적을 달성하기 위해 개개의 건축물에 실시하는 방화대책은 많지만, 구조부재의 내화성은 그 중에서도 중요한 대책의 하나이다. 건축물 내의 어딘가에서 발생한 화재를 일정한 공간 내에 머물게 할 수 있다면, 거주자의 피난행동도 용이하게 되고, 건물내의 인명 보호가 피해진다. 동시에 건물이나 내용물의 피해도 한정되게 된다.

이와 같이 화재확대방지의 직접 역할을 하는 부재가 공간을 구성하는 바닥, 벽 등의 구획 구조부재이다. 구획 부재는 그밖에 피난로를 화열로부터 안전을 확보하고 소방대의 소화활동이나 구조활동을 원활하게 수행하기 위한 저점을 확보하는 것도 중요한 역할이다.

기둥, 보 등의 구조부재는 화재시는 당연히 그 기능을 보장해야 한다.

그러므로 대개의 나라의 건축법규에는 구조부재의 요구 내화성능을 규정하여 내화대책의 기본으로 삼고 있다.

구조부재의 내화성능은 보통 표준적인 화재를 받은 부재가 화열 때문에 만족해야 할 기능을 하지 못하게 되는 시간으로 정의된다. 일본에서는 30분에서 1, 2, 3시간 까지의 내화구조가 있다.

다해야 할 기능에는 내력기능과 구획기능이 있다. 내력기능은 구조부재가 화열을 받아 강도가 저하하여 구조적으로 파괴하려는 데에 건디는 성능이다.

또한, 구획기능은 화재를 당한 벽이나 바닥의 표면측 온도가 상승하여 그 곳의 가연물이 착화하여 새로운 화재로 확대하는 것에 저항하는 차열성과 그 부재에 균열이나 구멍 그 외의 개구가 있어서 불꽃이나 열기가 통과하여 화재가 확대되는 것을 방지하는 차열성을 필요로 한다. 건축 구조부재에 대하여 화재시의 내력기능을 확보하기 위한 설계를 일반적으로 내화설계라 부르며, 강구조를 중심으로 하여 최근에 극히 진전을 본 분야이다.

3. 내화설계

3.1 건축법규에 의한 내화설계

현재, 구조부재의 내화성능을 확인하기 위해 일반적으로 이용되는 방법은 ISO 834에 의한 표준내화시험의 결과를 이용하는 것이다.

이 시험은 다음의 식과 같이 온도가 제어된 내화시험로 내에서 구조부재를 가열한다.

$$\theta - \theta_0 = 345 \log(8t + 1)$$

여기서 t = 시간, 분

θ = 시간 t의 로내 온도, °C

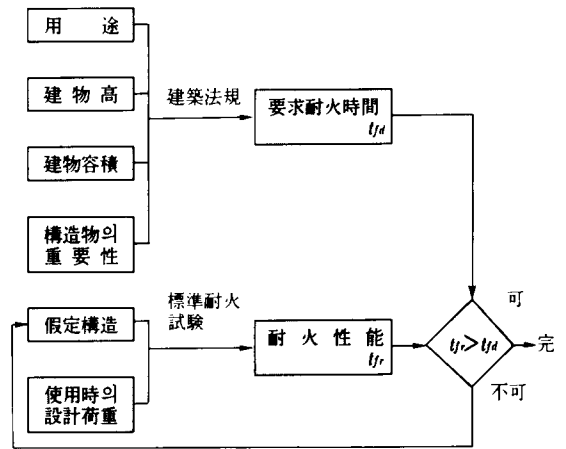
θ_0 = 초기 로내 온도, °C

그래서 작용하중의 원인으로 파괴하기까지의 시간으로 구조부재의 내화성능을 나타낸다.

많은 나라의 건축법규는 건축물을 설계하는 경우에 구조부재가 화재시에 하중 지지기능을 갖지 않으면 안되는 요구 내화시간을 규정하고 있다. 이 요구 내화시간은 건물의 용도, 높이, 규모 및 구조부재의 중요성에 의하고 있다.

이 경우의 설계에서 예상되는 화재성상은 위의 표준내화시험에 규정되어 있는 화재온도시간곡선이다.

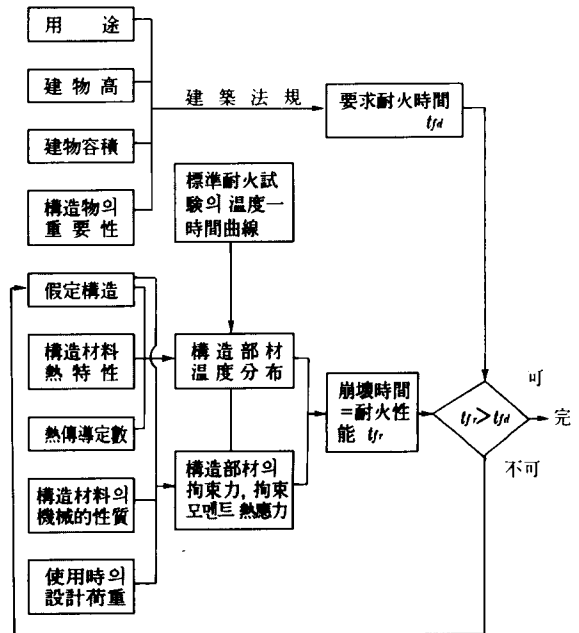
그림1에 관습적인 설계법을 나타낸다. 이 설계는 표준내화시험에 의해 구해진 구조부재의 내화성능이지만, 요구 내화시간보다도 크다는 것을 확인하는 것이다. 이 설계법은 대개의 나라에서 채용되고 있는 일반적인 방법이다.



〈그림 1〉 건축법규에 의한 내화설계

3.2 표준화재에 의한 내화설계

건축구조의 내화성에 관한 연구는 최근 두드러지게 진전하여 화재시의 구조물의 거동은 해석적기법에 의해서 예측이 가능하게 되었다.



〈그림 2〉 표준화재에 의한 내화설계

ISO 834에 의한 표준내화시험은 오랫동안 사용되어 온 시험방법으로 구조부재의 내화성능에 대해서 필요한 자료를 축적하여 왔다. 그러나 현재 시험방법은 여러 면에서 규정이 불충분하다. 예를 들면, 다른 내화시험에서 동일 구조부재를 시험한 경우에 가열조건, 지지 또는 구속조건 등에 대해서 재현성이 없으므로 시험결과에 꽤 차가 생긴다. 그러므로 편의적인 내화시험에 기초하여 구조부재의 화재시 안전성을 판단하는 대신에 해석적인 설계법이 몇몇 나라에서 이용되게 되었다.

이 설계기법은 그림 2에 나타낸다.

구조부재의 내화성능의 이론적 산정은 표준내화시험에 규정된 표준화재온도시간곡선에 기초하고 있다. 우선

- (1) 구조부재의 단면 형상
- (2) 구조부재의 열 특성
- (3) 구조부재 표면의 열전달 특성
- (4) 구조 재료의 기계적 특성
- (5) 하중상태
- (6) 구조부재의 단부 구속조건

을 이용하여 가열된 구조부재 내부의 비정상 온도분포의 산정을 하고 이어 이 온도분포에 따라

- (1) 구조 재료의 기계적 특성
- (2) 하중상태
- (3) 구조부재의 단부 구속조건

을 고려하여 구조부재의 구속력, 열응력 및 내력의 시간적 변동을 산정한다. 구조부재의 내력이 설계하중의 값까지 감소한 시간을 취하여 내화시간으로 한다.

이 설계법은 건축법규에 의한 요구 내화시간은 그대로, 부재의 내화성능평가를 해석적으로 행하는 것으로 유럽 강구조협회의 내화설계 등에 일찍부터 이용되고 있다.

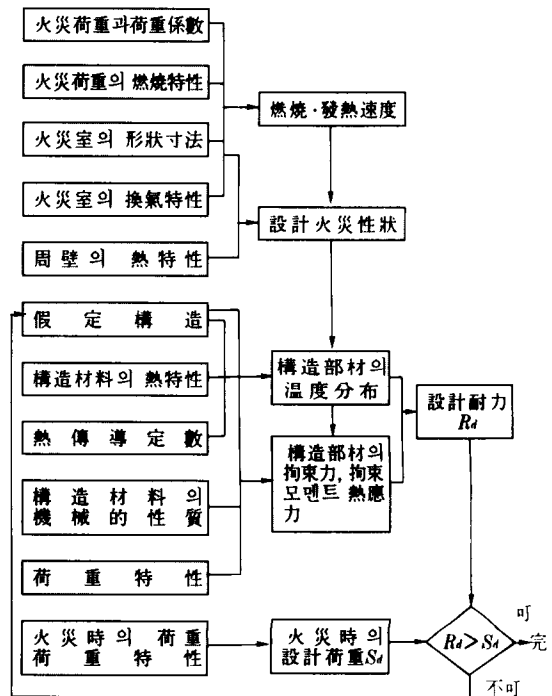
3.3 실제화재에 의한 내화설계

내화건축물의 화재성상에 대한 연구는 일찍부터 진전된 분야이다. 건축물에 화재가 발생한 때, 화재가 성장하여 진화하기까지 어떻게 화재온도의 시간적 경과를 더듬는가는 그 건물의 여러 조건에 따라서 좌우되는 것은 분명하다. 그 조건중 중요한 것은 다음과 같다.

- (1) 실내 가연물의 종류와 양
- (2) 실내 가연물의 형상과 상태
- (3) 실내 가연물의 분포
- (4) 화재실의 규모와 형태
- (5) 실내에 공급된 공기량(개구부 크기와 형상)
- (6) 화재실을 구성하는 구조부재의 열적 특성

이와 같이 각각의 건물은 화재 성상이 다르므로 내화구조 설계를 하는 경우, 요구 내화성능이 건축법규에서 획일적으로 규정되어 있는 것은 실제 구조부재가 화재에 대한 안정성이 어떤가를 알 수 없다. 그러므로 설계시에 목표하는 설계화재성상은 실제로 생기는 화재성상을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 이러한 고려방법에 기초한 설계법을 그림 3에 나타낸다.

구조부재 내화성능의 이론적 해석은 표준화재온도시간곡선을 이용하지 않고 실제로 산정한 화재성상에 의한 온도경과를 이용하면 보다 정확한 구조부재 내화성능의 평가가 가능하다. 설계화재 온도곡선은



〈그림 3〉 실제화재에 의한 내화설계

구조부재의 열특성에 따라서 그 부재의 비정상 내부 온도분포를 결정한다.

이 온도분포와 구조재료의 기계적 성질과 하중상황에 따라서 구조부재의 구속력, 열응력 및 내력의 시간적 변동을 구할 수 있다. 전 화재 경과중의 구조부재 내력의 최저치가 설계내력이 된다.

설계내력과 화재시의 설계하중을 비교하여 구조부재가 그 요구 기능을 만족하는가 또는 화재가열에서 기능을 상실하는가를 판단한다. 이 설계방법은 몇가지의 제안된 방법중에서 가장 이론적인 내화설계법이다. 일본에서 제안되어 있는 내화설계법은 이러한 실제화재에 의한 내화설계를 기본으로 하고 있다. EC통합에 따라 현재 원안작성중의 EUROCODE의 내화설계법도 이 방법에 의하고 있다.

4. 내화구조의 금후 동향

새로운 내화설계법은 현행 건축기준법의 내화관련 규정에 구속되지 않고, 건축물 내의 실제 화재성상을 예측하여 설계 화재성상을 설정한다. 그래서 그것을 기초로 부재 혹은 架構의 변형·내력성상을 예측하여 미리 정해진 평가기준에 따라 내화성능평가를 행하여 내화사양을 결정하는 방법이다. 앞서 기술한 바와 같이 이 설계법은 이미 부분적이기는 하나 활용되어 새로운 내화구조의 전개에 공헌하여 주목을 받고 있다.

이 내화설계법이 확립된 때에는 금후 내화구조에 보다 큰 영향을 주게 될 것이다.

새로운 내화설계법이 종래의 내화구조의 설계와 본질적으로 다른점은 실상에 준한 설계 화재성상의 설정, 부재 내화성능의 공학적 평가의 2가지에 주목하면 내화구조가 금후 어떻게 전개하는가의 문제점이 분명해진다. 우선 가연물량이 적은 건물의 설계 화재성상은 엄격하지 않은 설계조건이 되고, 현행 규정에서 요구되는 내화성능보다도 훨씬 가벼운 내화성능으로 충분하게 될 가능성도 크다. 또한, 구조부재의 화재시 온도상승과 변형·내력의 성상을 해석하여 내화성능을 평가하는 방법에서는 종래의 강구조 내화성능 평가기준인 화재시의 허용강재온도

350℃의 제한에서 해방되게 된다. 이와 같이 하여 여러가지 설계의 자유도가 증가하여 이로부터 다음과 같은 새로운 내화구조의 전개가 고려된다.

(1) 無耐火被覆의 鐵骨架構

ATRIUM 등의 대공간이나 개방형 입체 주차장이나 선로상공 이용 건축물의 철골부재 또는 건물 외부에 배치된 철골부재 등, 화재 가열조건이 엄격하지 않은 부재는 경미한 내화피복으로 충분하다거나 경우에 따라서는 내화피복을 필요로 하지 않는 나철골의 내화구조 출현 가능성을 갖는 예도 있고, 이미 많은 실시예도 있다.

다만, 설계조건인 화재성상을 지배하는 가연물량이나 개구부 면적의 제 조건이 장래에도 유지 관리되는가의 확실성에 의문이 남는 경우가 있다. 이 때문에 현재에는 설계조건이 확실하게 유지 관리되는 특정 조건을 만족하는 경우에 한하여 설계 화재성상의 적용이 실제로 허용되게 된다. 그렇지 않은 건물의 설계에는 그다지 적극적으로 설계 화재성상의 예측을 반영시키는 것은 곤란한 것이다.

(2) 耐火鋼

구조부재의 화재시 변형·내화성상은 구조부재의 고온시 기계적 성질에 좌우된다. 그러므로 항복점이나 탄성계수 등의 고온강도 특성이 양호한 강재를 사용하면, 보다 고온까지 내화성능을 보유할 수 있다. 같은 설계 화재성상에 대하여 강재에 높은 온도상승이 허용되는 것은 보다 경미한 내화피복으로 충분하게 된다. 경우에 따라서는 내화피복없이 나철골의 가능성도 나오게 된다. 최근 이러한 관점에서 개발된 내화강재를 사용한 건물에서는 일반적으로는 내화피복의 경감을 피하고, 가연물량이 적은 설계 화재성상이 엄격하지 않은 경우에 나철골로 한 실시예가 이미 상당수에 이른다. 일반강재를 사용하는 경우에도 화재시의 설계응력이 저응력도로 되도록 부재단면을 크게 설계할 때에는 허용 강재온도를 높게 되고 FR 강을 사용하는 경우와 같은 효과가 기대되므로 서서히 이 방향으로 향하고 있다 하겠다.

(3) 合成構造

철골과 콘크리트의 합성구조는 콘크리트의 열용량을 이용하여 강재의 화재시 온도상승 성상을 개선하고 또한, 합성구조로서의 화재시 내력을 활용한 것으로 하중조건에 따라서는 강재의 내화피복을 필요로 하지 않는다. 최근에 이르러 2시간 내화요구의 범위까지 무내화피복의 충전형 강관콘크리트 기둥의 실시예가 꽤 출현하기 시작하였다.

유럽 여러 나라에서는 콘크리트 충전의 강관 기둥, H형 보는 콘크리트부분의 보강근의 정도에 따라서 30분에서 90분의 내화구조로서 널리 이용되고 있다.

(4) 水冷鋼管構造

강관기둥에 물을 충전하여 화재시 그 열용량과 대류순환을 이용하여 강재의 온도상승을 억제하는 수냉식 내화구조는 1969년 64층건물인 US STEEL 본사 빌딩에 적용되어 각광을 받고 등장하여 그 후 유

럽에서 상당수의 실시예가 있다. 그 중에서 유명한 것은 독일 철강협회빌딩(3층건물, 90분내화, 1971년 준공), 파리의 뽕뻬두 문화센터(6층건물, 120분 내화, 1975년 준공), 런던의 붓슈렌하우스(10층건물, 1977년 준공)이다. 유지 관리방법 등에 대해서 검토가 진행되면, 이용 가능성도 충분히 있다.

(5) 내화도료

경미한 피복의 하나로서 내화도료가 있다.

화재시의 가열에 따라 발포층을 형성하여 강재를 내화피복한다. 유럽에서는 30분 내화, 60분 내화로서 사용되고 있다. 일본에서는 아직 경험이 짧아 내후성, 내구성에 대한 데이터 축적이 바람직하며 또한 내충격성 등의 문제도 있어 적용도 보 부재 등에 한정될지도 모르나 새로운 내화구조로서의 가능성을 갖고 있다. ㉞

내화 구조

■ 내화구조의 일반적인 의미

- 철근콘크리트 등의 구조로서,
- 화재시 쉽게 연소되지 않음은 물론,
- 화재에 대한 구조상의 내력을 감소시키지 않고,
- 보통, 방화구획 내에서 진화되어 인접 부분에 화기의 전달을 차단할 수 있으며,
- 최종적 단계에서 전소하여도 수리하여 재 사용할 수 있는 구조

■ 내화구조 대상 건축물(건축법 제40조, 시행령 제56조)

- 위험물 시설
- 3층 이상의 건축물 또는 지하층이 있는 건축물
(단독주택, 식물관련시설, 군사시설, 교정시설, 공관, 축사, 묘지관련시설 제외)
- 용도면적 200㎡이상 : 관립집회, 무도유흥, 종교집회, 장례식장(옥외관람석 : 1,000㎡이상)
- 용도면적 400㎡이상 : 숙박시설, 의료시설, 아동시설, 노인시설, 다중·공동주택, 오피스텔
- 용도면적 500㎡이상 : 체육관, 위락시설, 전시시설, 운수시설, 생활권청소년시설, 화장장,
방송·통신시설, 판매시설, 창고시설, 자동차관련시설
- 용도면적 2,000㎡이상 : 공장

* 방화지구 내의 건축물은 주요구조부 및 외벽을 내화구조로 할 것