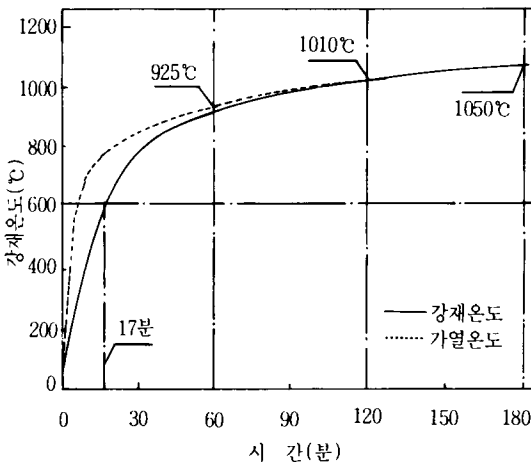


# 내 화 강

## 1. 머리말

철골조 건물은 화재시의 受熱로 강재의 강도가 저하하여 도괴 위험이 있으므로 건축법에는 내화피복이 의무화되어 있다.

이것은 표준가열(오피스빌딩, 주택, 창고 등 가연물이 많은 건물에서 발생하는 화재에 의한 가열)의 경우, 화재온도(공기온도)가 1시간에 925℃, 2시간에 1,010℃, 3시간에 1,050℃로 극히 높아 무피복 철골이 이와 같은 열을 받으면, 온도가 급격히 상승하는 것이다.(그림 1)



【그림 1】 표준가열곡선과 무피복 철골의 온도상승

화재온도 1,000℃는 압연 온도에 가깝고, 철은 아직 연약하여 철골이라도 골조는 크게 변형하여 최악의 경우, 도괴할 수도 있다.

실제로 1871년 시카고 大火에서는 많은 철골조 건물이 도괴하였으나, 그들은 鑄鐵건물이었기에 강철과

달리 취약하여 화재시의 수열 후, 소방대가 주수하면 균열이 생기는 등의 이유로 도괴한 것이므로 현재의 철골조 건물 특히, 중량 철골빌딩 등은 간단히 도괴하지는 않을 것이다.

한편, 철근콘크리트조 건물도 화재로 가열되면, 콘크리트는 爆熱하고, 피복이 탈락하거나 바닥 슬라브가 붕괴하는 예도 있으며 특히, 고강도 콘크리트일수록 위험하다고 일컬어지고 있다.

이와 같이 철근콘크리트조 건물이 반드시 화재에 안전하다고는 말할 수 없으나, 현행법에서는 철골조에 엄격한 내화성능을 의무화하고 있으며, 피복으로 단열하여 철골 온도의 상승을 막고 있다.

피복재료는 그 90%가 뿔철식 Rock-Wool이다. 이와 같은 뿔철재료는 미관상 천정 속 등의 은폐된 부분이나 판넬로 치장되는 부분에 사용하는 경우에는 문제가 없으나, 철골을 노출하는 부재에는 사용되지 않는다. 또한 미관상의 문제와 함께 뿔철공사의 작업환경, 주변으로의 비산방지, 작업자 확보 및 타 업종과의 lap작업의 곤란성 등 시공면에서도 철골공사의 큰 문제로 되어 있다. 또한, 시공시의 부스러기나 건물 해체시의 폐자재 처리에서 Rock-Wool의 재활용이 어려운 점도 문제점의 하나였다.

이러한 문제를 해결하기 위한 노력으로서 건축물의 화재조건, 설계조건 및 사용재료의 성능에 따라 종합적인 방재안전성을 평가하는 기법이 실용화됨으로써 이를 계기로 무피복을 목표로 한 신재료, 기법의 개발이 이루어진 것이다.

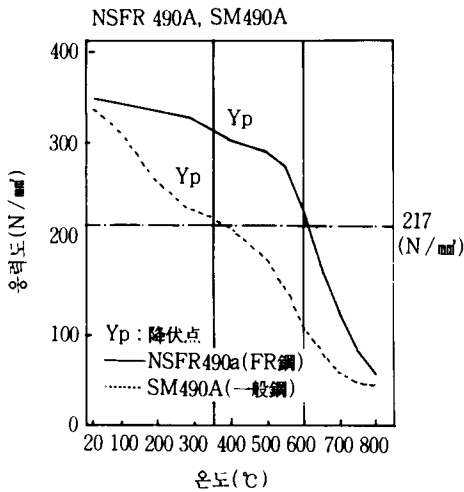
내화강(FR강 : Fire Resistant Steel)은 1988년에 개발된 건축구조용 강재이며, 내열성을 높이고자 모리브덴 등을 첨가한 것으로서 보통강과 비교하여 고온강도를 대폭 향상시킨 것이다.

## 2. 내화강의 특징과 내열성의 기구

### 가. 내화강의 특징

(1) 고온강도가 보통강에 비해 현저히 높다.

그림 2에 내화강의 고온강도(降伏点)를 SM490강을 예로 보통강과 비교하였다. 보통강은 350℃ 부근에서 상온 규격치(325N/mm<sup>2</sup>)의 2/3(217N/mm<sup>2</sup>)까지 저하하나, 내화강은 600℃까지 이 값을 유지한다.



【그림 2】 강재의 고온강도

상온 규격치의 2/3라는 것은 장기 허용응력도에 해당한다. 화재와 지진은 동시에 고려되지 않은 것이므로 건물 자중을 지지하는 강도 즉, 장기허용응력도가 화재시의 필요 최대강도가 된다.

(2) 상온시의 설계·시공은 보통강과 같으며, 건축구조용 강재로서 그대로 사용된다(상온시의 성능은 용접 구조용 압연강재 등의 규격에 맞으며, 보통강과 동등한 용접성을 갖는다).

종래부터 내열강재로서는 보일러 튜브나 압력용기용 강재 등이 있으나,

① 보통강과 비교하여 용접성·가공성이 뒤떨어지고,

② 상온 강도 특성이 건축구조용 강재의 규격에 적합치 않으며,

③ 첨가 합금이 많고 또한, 열처리 등으로 제조단가가 높은 것

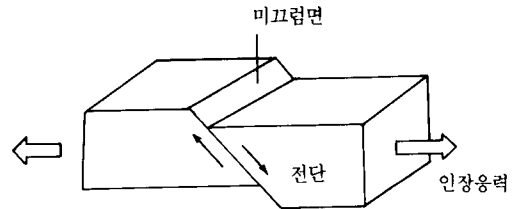
등 건축용 강재로서는 그대로 이용될 수 없었다.

내화강은 강재에 대한 고온강도를 높이는 기술은 종래의 내열강과 동일하며, 모리브덴(Mo) 등 합금의 첨가이지만, 다른 점은 합금의 첨가와 함께 탄소(C) 등 강도는 높아지나, 용접성을 저해하는 원소의 양을 줄인 것으로 상온 강도를 건축구조용 강재에 적합하게 함과 아울러 저가격과 고용접성을 실현시킨 점이다.

### 나. 고온강도를 높이는 기술

강재의 塑性變形(소성변형)은 Micro적으로는 원자배열의 “미끄럼”(轉位)에서 생긴다. 이 미끄럼이 길이 1cm당 수백만개 모여 “미끄럼면”(그림 3)이 형성된다. 이것은 콘크리트 剪斷破壞面(전단파단면)과 동일하며, 최소 하중으로 파괴하는 면이다.

모리브덴 등의 내열합금은 고온시에 원자배열 중에 녹아 들어간다(固溶이라 함). 이들 원자는 철 원자보다 크므로 미끄럼을 억제한다.



【그림 3】 원자간의 미끄럼면

또한, 접합부(용접 및 高力 Bolt)에도 母材와 동등한 내화성능(고온강도)이 요구되므로 각각 내화강 전용의 재료가 준비되어 있으며, 용접재료(여기서는 CO<sub>2</sub> 용접용 wire)는 강재와 같이 모리브덴 등을 첨가한 내열재료이나 용접조건, 사용기기 등의 용접방법은 보통강과 동일하다.

내화강용의 고력 Bolt는 고온이 되면, 導入軸력이 이완하여 마찰접합에서 剪斷(支壓)接합으로 이행한다. 내화강용의 고력 Bolt는 자체의 고온강도가 높으므로 접합부는 전단접합상태에 이르러도 모재보다 먼저 破斷하지 않고, 내화 안전성을 확보한다.

### 다. 내화강을 이용한 건물의 내화설계

내화강은 철골온도 600℃까지 장기 허용응력도에 해당하는 하중을 지지할 수 있으나

① 화재의 규모(가열온도, 지속시간) 및 피복의 유무에 따라 철골온도가 다르고,

② 보통강의 건물에 비하여 철골온도가 약 2배(350℃에서 600℃)로 높아지고, 열변형이 크게 되는 등 보통강을 대상으로 한 인정(내화구조의 지정)과는 다르므로 현재, 건물마다에 내화설계를 실시하여, (재) 일본건축센터의 방화성능 평정 및 법에 특별 인정을 받고 있다.

그림 4에 내화강을 이용한 건물의 내화설계 Flow를 표시한다.

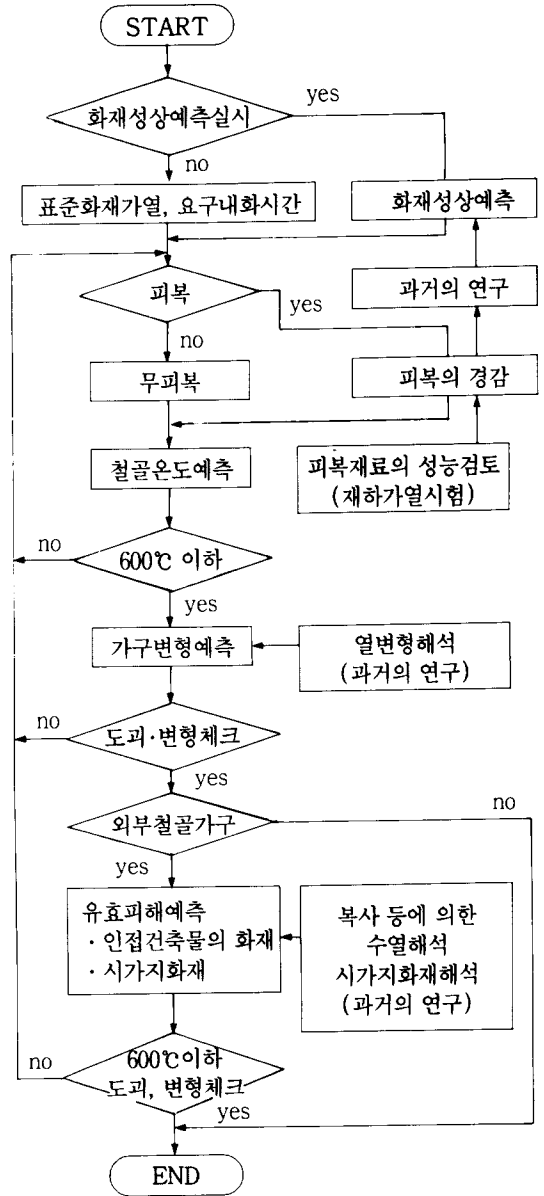
### 라. 골조의 구조 안전성

그림 5, 6은 15층 오피스빌딩의 어떤 층의 화재를 가상하고, 그 상층을 포함하여 골조의 열변형을 Simulation한 예이다. 철골 온도는 600℃까지 100℃ 간격으로 상승하고, 최고 온도에 달한 후, 상온까지 냉각시키고 있다.

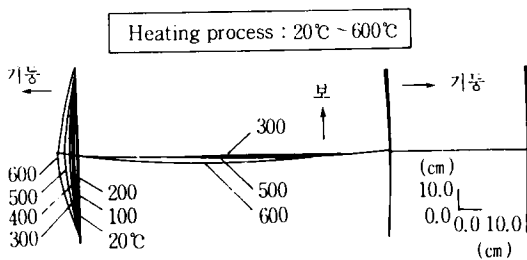
표 1에 기둥·보의 변형량을 표시한다.

화재시 가열된 보의 열팽창에 따라 외부 기둥이 <자로 굽고 또한, 보도 고온에서의 강도 저하와 기둥에 의한 구속으로 크게 휨다. 냉각과정에서는 역으로 보가 수축하여 기둥을 잡아 당기나, 보의 휨은 대개 그 대로 잔류한다.

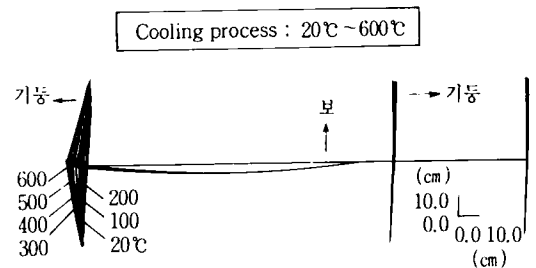
이와 같이 골조는 고온시 강도 저하만이 아니라 큰 열변형을 생기게 하므로 그 안전성의 검증에는 골조의 변형과 기둥, 특히 바깥 기둥의 대변형시 하중지지



【그림 4】 내화강을 이용한 건물의 내화설계 Flow



【그림 5】 架構의 열변형(昇溫時)



【그림 6】 架構의 열변형(冷却時)

【표 1】 골조의 열변형 해석 결과

	600℃	진화 후
바깥 기둥의 수평 변위	8.89cm (h /43)	2.69cm (h /141)
보의 휨	4.73cm (L /290)	3.82cm (L /359)

h : 층고, L : 보 span

능력의 문제가 된다.

사진 7에 내화강인 각형 강관의 고온시의 보, 기둥 시험을 나타낸다.

설계 Flow는 “건축물의 종합방화 설계법에 준하고 있으나, 내화강을 이용한 것이므로

- ① 철골의 최고 온도(600℃ 이하)
- ② 골조의 구조 안전성(변형제한치를 포함)의 검증을 첨가하고 있다.

보는 135 × 135 × 4.5mm (폭두께비 30)로 軸力比 0.30(단기 허용응력도의 30%)에 해당하는 연직하중을 가하여 600℃(철골 온도)로 가열하고, 상부에 보의 늘어남에 해당하는 강재변형을 가하였다. 사진 7에 나타난 바와 같이 기둥은 층간 변형각 1/10 정도의 대변형이 생겨도 연직하중을 지지하고 있고, 골조는 도괴에 이르지 않는다.

골조의 변형 제한치는 이와 같은 연구와 해외의 기준을 참고하면,

기둥 :  $h/50$  (h : 층고)

보 :  $L^2/800H$  (L : 보 span, H : 보 높이)

로 규정되어 있다. 한편, 기둥은 이 제한치를 초과해도 실험에 의해 지지가능한 범위(축력비, 폭두께비에

따라 다름)이면 양호한 것으로 되어 있다.

### 3. 화재 후의 재사용

내화강을 이용한 골조는 철골온도 600℃ 이하이면 구조적으로 안정하나, 진화 후의 재사용에 대해서는 별도의 검토가 필요하다.

그림 7에 600~800℃의 熱履歷을 받은 내화강의 냉각 후의 강도(항복점 및 인장강도)를 나타낸다. 700℃까지의 가열이었다면 냉각 후에도 상온시의 규격치를 만족하므로 강재는 재사용할 수 있다.

그러나 표 1, 그림 6에 표시한 바와 같이 진화 후에는 꽤 변형이 남는다. 또한 고력Bolt 접합부는 도입축력이 이완하여 마찰접합이 유지되지 못하게 되며, 기둥 端部에서도 局部座屈이 남는다.

이와 같이 대규모 화재로 열을 받으면 골조의 재사용은 곤란하며, 보수 혹은 교체가 필요하다.(보수 가능성의 판단 및 보수방법에 대해서는 별도 문헌을 참고.<sup>(자료 1)</sup>)

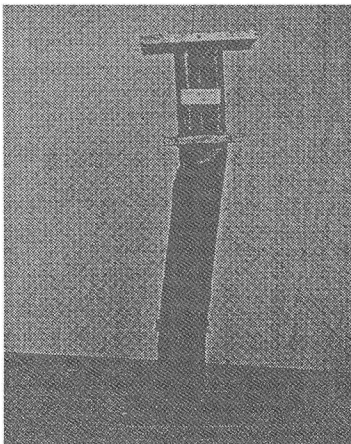
### 4. 내화강의 용도

내화강은 내열온도가 600℃이므로 화재시에 가열된 철골 온도가 600℃ 이하이면, 무피복으로 할 수 있으나, 600℃를 넘는 경우에는 피복이 필요하다.

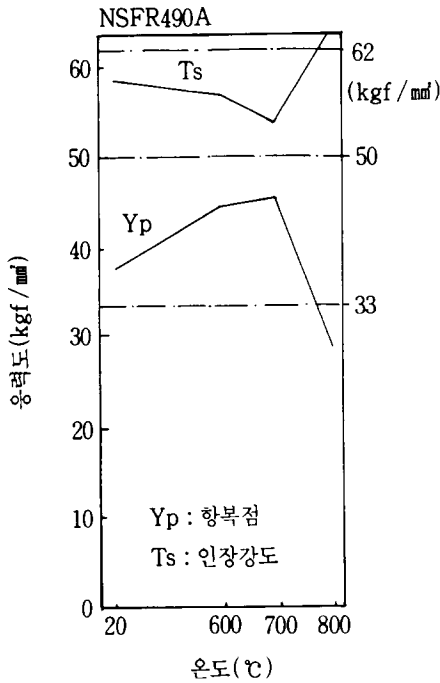
그림 1에 나타난 바와 같이 오피스빌딩, 주택, 창고 등 가연물이 많은 건물에서는 가열온도가 극히 높아 무피복의 철골은 17분만에 600℃에 도달하므로 내화강을 이용해도 무피복은 곤란하다.

한편, 가연물이 적고, 공간이 큰 건물을 예로 들면,

- ① Atrium, Hall 등
- ② 스포츠 시설
- ③ 미술관 · 박물관 · 전시장 · 전망시설 등
- ④ 입체주차장, Ramp way



【사진 7】 내화강 각형 강관의 고온시 보, 기둥 시험



【그림 7】 내화강의 가열 후 강도

⑤ 역빌딩

등에서는 일반적으로 가열온도는 낮아 내화강을 이용하여 골조를 노출·사용할 수 있다. 또한, 가연물이 많은 건물에서도 기둥, 보를 의장적으로 외부에 노출

시킨 건물(외부 노출 철골건물)에서는 기둥·보가 직접 실내화재의 가열을 받지 않으므로 노출·사용이 가능하다.

5. 맺는 말

외국의 경우, 내화강이 개발·실용화되어 모든 철강회사에서 압연하여 생산하고 있다.

일본에서의 내화설계를 담당한 건물의 용도별 누계에서는 주차장이 가장 많고, Atrium, 미술관, 역빌딩, 외부 노출 철골건물, 펜트하우스 등에도 널리 사용되고 있다.

금후의 과제는 내화도료, 철관 콘크리트 기둥 등과의 조합 등이 유망하다고 생각한다.

(내화강, 내화도료 및 철관 콘크리트 기둥 등의 내화재료 및 공법의 개요와 용도에 대해서는 문헌<sup>1)4)2)</sup> 참조)

\* 본 자료는 建築防災 96. 6월 “耐火鋼について”를 정리한 것임.

자료 :

- 1) C. I. Smith: The Reinstatement of Fire Damaged Steel Framed Structures, Fire Safety Journal, Vol. 4, 1981
- 2) 作本好文: 鐵骨耐火의 新材料·新工法, 彰國社

**금속화재용 소화약제**

1. TMB(Tri Methoxy Boroxyn)

- 미국 해군 연구소에서 개발
- 약제 분사시 용해성의 면에서 건조된 질소 또는 공기가 사용됨.
- 금속화재시 약제는 자신이 타서 잔사로서 산화붕소의 유리상 피막을 형성시켜 산소와의 접촉을 차단하여 소화시키고, 물과 반응성이 있는 금속을 피복함으로써 약제 사용 후 물이나 포소화약제의 사용도 가능함.

2. TEC

- 영국에서 개발됨
- 알카리 금속 화재용으로 사용
- 나트륨, 칼륨, 리튬, 바륨의 염화물의 혼합물 분말소화제로 부착 특성이 있어 공기차단과 화염의 억제작용으로 소화
- 사용시 염화바륨의 독성에 주의