

내화피복재 성능평가 기준 강재허용온도 538°C(1000°F)의 의미

이경구 / 연구소 소장, 건축사

1. 서론

사회의 밀집화, 고밀화에 따라 도시의 건축물이 고층화되고 있다. 고층건물은 철근콘크리트조에서 철골·철근콘크리트조 또는 철골조로 건축되고 있으며, 최근에는 주로 철골구조로 지어지고 있다. 철골건축물은 건물화재시 고열에 매우 취약한 구조이기 때문에 내화피복 등으로 내화성능을 보강하여 사용하고 있다.

내화구조는 건교부 부령 제184호(건축물의 피난·방화설비 등의 기준에 관한 규칙, 1999. 5. 7) 제3조 제1호에서 7호에 예시되어 있으나 이는 과거의 전형적인 구조이고, 새로운 재료 또는 구법에 대하여는 제8호에 따라 건설교통부의 지정기관으로부터 내화구조지정을 받아 사용토록 하고 있다.

철골조 내화피복재료의 내화구조지정은 실대 화재실험을 통해 성능을 확인하여 지정하고 있으며, 화재실험시 성능판정기준으로는 강재의 허용평균 및 최고온도로 하고 있다.

우리나라에서는 강재허용온도를 평균 350°C/최고 450°C로 정하여 왔으나, 최근 KS F 2257(건축구조부의 내화시험방법)의 개정 방향에 따라 평균 538°C/최고 649°C로 개정코자 하고 있다. 그러나 이 온도는 미국 UL, ASTM에서 사용되고 있다는 것 외에 구체적으로 규제 성격상 어떠한 온도를 의미하는지에 대하여 설명이 되어 있지 않다.

본 고에서는 강재의 허용온도 평균 538°C/최고 649°C가 어떠한 온도인가에 대하여 실험자료 및 실험을 통해 설명하고자 한다.

2. 온도에 따른 강재의 응력변화

선진 각국에서는 기존의 연구결과로서 강재의 온도에 따른 응력변화를 아래 그림1과 같이 보고하고 있으며, 연구는 강재소재에 대한 것으로 주로 인장응력에 대한 실험결과이다.

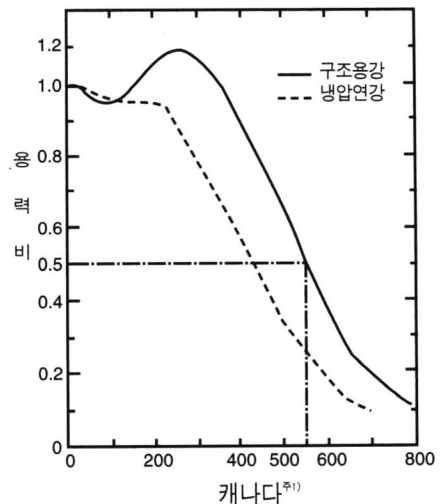


그림1 각국의 강재 온도변화에 따른 응력변화

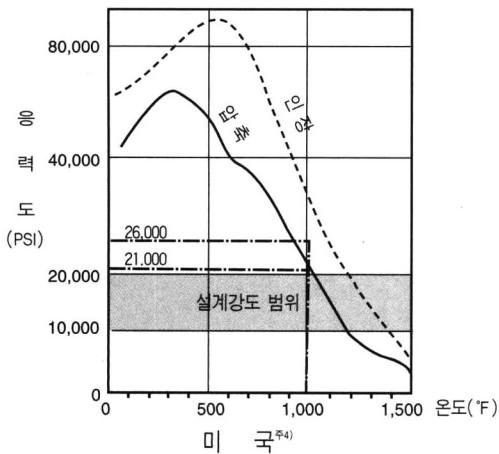
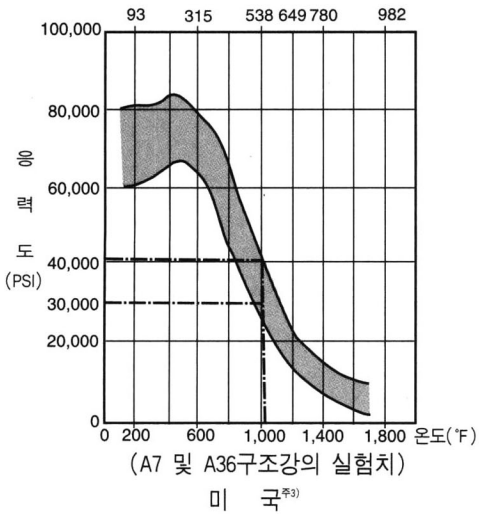
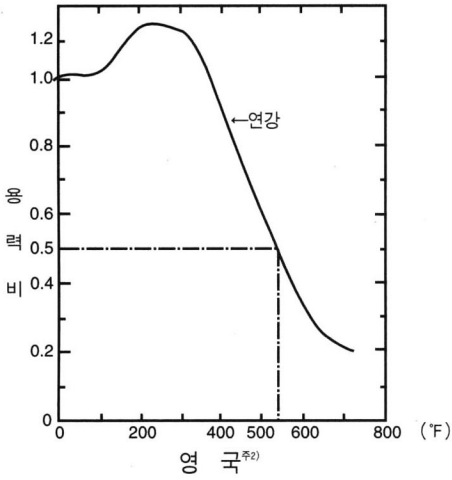


그림1 각국의 강재 온도변화에 따른 응력변화

이들을 검토하면 강재의 종류에 따라 다소 차이가 있지만 구조용 강재는 상온에서 강재응력을 100% 이라하면 온도 300°C에서는 약 115%로 증가되다가 약 530°C ~ 540°C에서는 응력의 50%로 떨어지고 있음을 볼 수 있다.

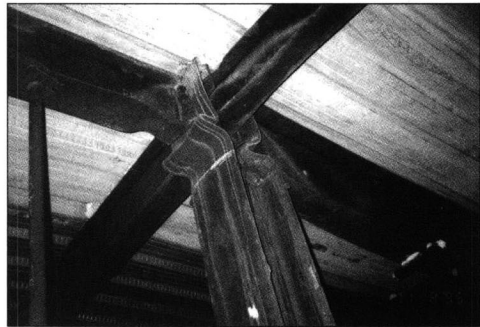
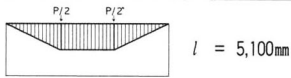


그림2 화재실험시 철골기둥의 붕괴된 모습

3. 철골보에 대한 내화성능실험

일본 건재시험센터에서 실시한 철골보에 대한 실험대크기의 재하가열시험 내용을 소개하면 다음과 같다.^{주5)}

가. 시험체 및 시험방법

시험체의 사양	JIS G 3136(건축구조용 압연강재)의 SN400B H-400×200×8×13 길이 5.5m 규산칼슘판(두께40mm) 피복
재 하 하 중	$M = \sigma \cdot Z$ 로 계산되는 최대휨 모멘트에 해당하는 하중(27.7tonf)으로 함. M : 휨 응력도(항복점에 의한 단기허용응력도의 2/3값) σ : 휨 모멘트 Z : 단면계수
가 력 방 법	 $l = 5,100\text{mm}$
시 험 장 치	수평가열로(유효가열면적 3m×4m)
시 험 방 법	ISO834 Part 1 ○ 판정기준: 변형(mm) $\leq l^2/400d$ 변형속도(mm/분) $\leq l^2/9000d$

나. 시험체별 재하량

시험 번호	시험체 크기	응력 도비	휨응력도 (tf/cm)	재하량 (tf)
1	H-400	1.0	2.039	27.7
2	×200×	0.75	1.530	20.6
3	8×13	0.5	1.020	13.6
4		0.25	0.510	6.6

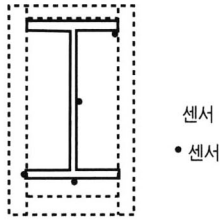
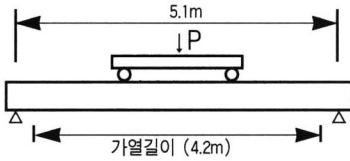


그림3 가력도 및 온도센서 위치

다. 실험 결과

시험 번호	판정기준	붕괴시간 (분)	붕괴시 변형 (mm)	붕괴시 강재온도(°C)		
				최고	단면별 평균온도	전체평균
1	변형 $\leq l^2$	186.5	183.8	616	574	532
2	$4/400d(162.6\text{mm})$	198.5	169.6	644	611	586
3		207.0	168.5	692	664	634
4		241.0	165.3	760	749	728

주 1. 단면별 평균온도는 부재마다 5개소 단면 측정온도중 최고 단면 평균온도임

2. 붕괴시 변형량은 판정기준 초과 직후 측정치임

라. 분석

부재에 대한 최대응력도(하중 27.7tonf)를 가하면서 가열시험을 한 결과 강재평균온도 532°C, 최고온도 616°C

에서 ISO 834의 판정기준을 초과하여, 이는 미국에서 정한 평균 538°C/최고 649°C와 유사하게 나타났다. 한편 실제 설계하중과 같이 하중을 점차 적게 가했을 때는 응력도비에 따라 0.75에서 평균 586°C/최고 644°C, 0.5에서 평균 634°C/최고 692°C, 0.25에서 평균 728°C/최고 760°C로 나타나 강재는 하중에 따라 평균538°C/최고649°C보다 높은 온도에서도 하중을 견디고 있음을 보여주고 있다.

4. 철골기둥에 대한 내화성능실험

우리연구소에서 1998. 2월에 실시한 철골기둥에 대한 실험대크기의 재하가열시험 결과를 소개하면 아래와 같다.

가. 시험체 및 시험방법

시험체규격	<ul style="list-style-type: none"> • SWS490 • H-300×300×10×15, 길이 3.5m • 나철골 기둥 및 내화뿔철피복기둥(피복두께 20mm)
시험 하중	건축학회 강구조 계산규준에 의거 항복강도 33kgf/cm ² 강재의 허용압축응력도에 해당하는 215tonf로 함
가력 방법	300tonf용량 자동정하중 장치가 부착된 연동식 유압 jack으로 편심이 없는 중심가력
시험 장치	기둥시험용 가열로(유효가열길이 3.0m)
시험 방법	ISO 834 Part 1 판정기준: 수축변형(mm) $\leq h/100$ 변형속도(mm/분) $\leq 3h/100$ (h: 시험체 높이)

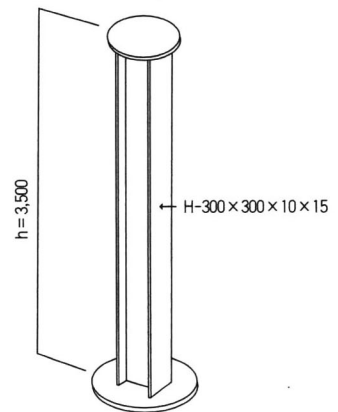


그림 4 시험체 모양

나. 시험실시결과

평균온도 / 최고온도

구분	재하량 (tonf)	판정기준	시험결과				비고
			연신량	허용변형 초과시간	허용변형속도 초과 시간		
나철골 기둥	215	변형35mm (h/100)	8.4mm	9분	8분 42초	536°C/ 596°C	
피복 철골기둥	215	변형속도 10.5mm/분 (3h/1000)	12.3mm	95분	94분	533°C/ 543°C	

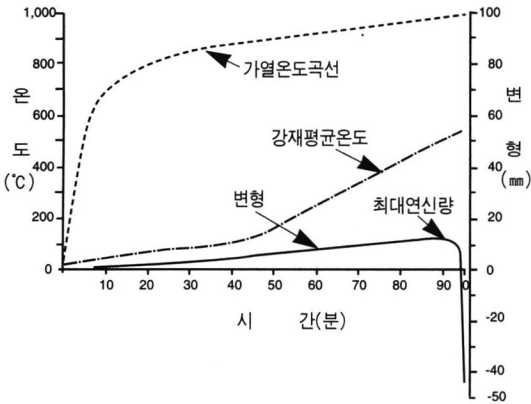


그림 5 시험결과 Graph(내화피복철골기둥)

다. 분 석

기둥중심에 최대하중 215tonf를 가하면서 가열시험을 실시한 결과 나철골 기둥과 내화피복철골 기둥 모두 강재평균온도 533°C ~ 536°C에서 ISO 834에 의한 허용변형속도를 초과하고 급속히 붕괴되었다.

5. 결 론

이상과 같이 외국에서 시험연구된 온도에 따른 강재의 응력변화와 우리나라와 일본에서 실시한 철골보 및 기

둥에 대한 실험실의 내화성능시험 결과를 검토하였다.

온도에 따른 강재의 응력변화는 보통 구조용 강재의 경우 강재의 온도가 530°C ~ 540°C 사이에 도달할 때 상온의 강재응력의 1/2로 저하되었으며, 실험실 내화성능시험에서도 보나 기둥 모두 그 부재 단면에 최대장기허용응력도가 발생할 수 있는 하중을 가하면서 가열했을 때 강재온도가 533°C ~ 536°C에서 ISO 834의 판정기준에 따라 붕괴되는 것으로 나타났다.

이 두 결과를 보아 강재평균온도 530°C ~ 540°C는 내화피복재 내화성능 판정기준으로 이용되는 강재평균온도 538°C와 거의 유사한 온도로 미국의 온도단위인 (°F)로 표시하는 1,000°F(538°C)와 같은 온도라 할 수 있다.

한편, 응력도비에 따라 강재가 더 높은 온도에서도 견디고 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 강재평균온도 538°C에 의한 판정기준은 그 부재단면의 최대장기허용응력도가 발생할 수 있는 하중을 가하면서 실험한 결과이므로 건물설계시 설계하중은 구조설계법에 따라 장기허용응력도이하로 설계되고 있으므로 이 온도에 의한 판정기준은 적절한 것이라 생각된다. (FLX)

[참고문헌]

1. Design to cope with fully developed fires, (T.Z. Harmathy), p.228 NRCC Canada
2. Designing for Fire Safety(Butcher and Parnel), John Willy and Sons.
3. NFPA HandBook p.3-149, NFPA U.S.A.
4. Building Construction for the Fire Service, (Francis L.Brannigan),p.223, NFPA U.S.A.
5. 「건재시험정보」98.10 p.6~11 일본건재시험센터