A-04

건축용 내화강재의 고온 특성 평가에 관한 실험적 연구

권인규
강원대학교 소방방재학부

Experimental study on the mechanical properties of fire resistant steels at high temperatures

In-Kyu Kwon
School of Fire & Disaster Protection, Kangwon National University

1. 서 론

화재 환경에서의 건축물 구조 안전성능 향상을 위한 노력은 구조 시스템 개발과 재료 개발부분으로 진행되고 있으며 재료개발은 점차 고기능화 추세에 있다. 이러한 노력은 구조용 강재에 있어서 고열에서도 내력을 일정 수준이상 유지할 수 있는 내화강재의 개발로 이어지고 있다.

일본에서는 1980년대 고온 내력 특성이 우수한 내화강재를 적용한 무내화피복 자주식 주차장 시스템이 개발되어 상용화되어 있으며, 강구조 건축물의 기둥, 보부재 그리고 공작물의 주요 구조부재로 활용되고 있다.

화재 시 건축 구조물의 안전성 평가는 화재성상을 토대로 이루어지는 공학적 내화설계가 전 세계적으로 활성화되고 있는 추세이다. 영국, 스웨덴 등의 유럽국가에서는 가장 열악한 화재 시나리오에 의한 구조부재의 내력 저하 성능을 평가하여 화재 시의 구조물 건전성을 평가하는 설계법이 일반화되어 있다. 미국에서는 2001년 국제빌딩코드(IBC), 2003년 미국연방방호협회코드(NFPA 5000)의 개정을 통하여 법제화 체계를 구축하였으며, 일본에서는 2000년 건축기준법을 성능적 규정으로 개정하면서 공학적 내화설계기법이 적극적으로 사용되고 있는 추세에 있다. 이와 같은 과학적이고 공학적인 내화설계를 위해서는 구조부재의 고온 시의 특성 데이터베이스가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 개발된 건축용 내화강재의 고온 시의 기계적 특성자료 구축을 목적으로 하고, 일반 압연방식으로 생산된 두께 40mm를 대상으로 한다.

2. 건축용 내화강재 개발

화재와 같은 고열 환경하에서 구조적 내력유지 성능의 향상을 목적으로 내화강재(POS-FR50)가 개발되었으며, 2001년 한국산업규격(KS D 3865)으로 제정되었다. 개발된 내화강재의 주된 용도가 건축물의 기둥과 보부재인 것에 주목하여 한국산업규격에서 건축용 내화강재로 명명하였다. 국내에서 개발된 건축용 내화강재의 상온 기계적 특성 및 용접성능은 용접구조용 강재인 SM490B과 동일한 특성을 유지하고 있으며, 고온 특히 600℃에서 강재의 허용응력도를 만족시키는 특성을 가지고 있다. 이러한 고온 시

내력향상 특성은 크롬 및 몰리브덴 등의 특수 원소의 첨가에 의해서 고온에서 전위현상(dislocation)을 억제하여 내력저하를 방지하기 때문이다. 일반 강재에 비해서 고온에서의 우수한 내력유지 성능은 화재 시 건축물의 붕괴를 방지하여 인명 및 재산피해를 극소화할 수 있으며, 구조부재의 고온화를 방지하기 위한 내화피복재의 생략 또는 두께를 절감시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 유럽, 일본 등에서 실용화되고 있는 내화공학 설계 기법을 노출형 주차장 및 아트리움과 같은 화재하중이 적은 건축물에 적용하게 되면 무내화피복 시공이 가능할 수 있으므로 강재의 노출 미를 부각시킬 수 있는 장점도 있다.

3. 건축용 내화강재의 고온 기계적 특성 시험

3.1 고온인장시험

건축용 내화강재의 고온인장시험은 KS D 0026-97(철강재료 및 내열합금의 고온인장시험방법)에 따라 수행되었다. 건축용 내화강재의 고온인장시험은 두께에 따른 고온 시의 내력평가를 위하여 일반 압연방식으로 생산된 40mm로 수행하였다. 고온인장시험에 적용된 건축용 내화강재의 규격은 표 1와 같고, 기계적 특성 및 600℃에서의 항복점 평가기준은 표 2~3에 각각 나타내었다.

표 1. 건축용 내화강재 규격

두께	화학성분(%)						
(mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
50이하 50<t<100	0.18이하 0.20이하	0.55 이하	1.6 이하	0.030 이하	0.015 이하	0.70 이하	0.30~ 0.90

표 2. 기계적 특성

두께	항복점(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)
16t이하 16초과t 40이하 40t 초과	325 315 295	490~610	17이상 21이상 23이상

표 3. 고온 시 항복점 평가기준

두께	항복점(MPa)	비 고
16t이하 16초과40t이하 40t 초과	217 210 197	600℃

건축용 내화강재의 고온인장시험 시편치수 및 시험체는 그림 1~2와 같다.

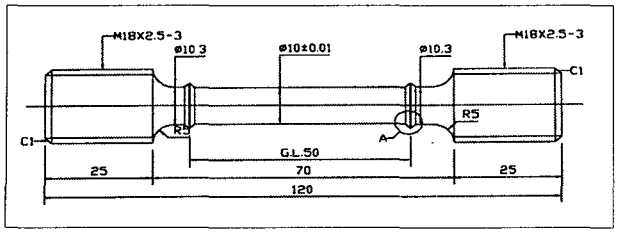


그림 1. 고온인장시편 형상

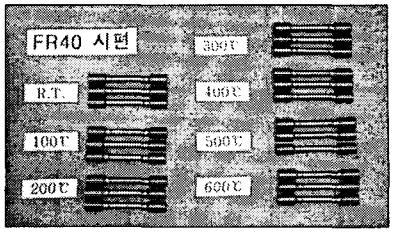


그림 2.고온인장시편

건축용 내화강재의 고온인장시편은 모재 표면으로부터 강판 두께의 1/4위치 및 나비의 가장자리에서 나비의 1/4위치에서 채취하였다. 또한 시편 제작 시의 열영향을 최소화하기 위해서 각 시편은 최소 5cm이상 거리를 확보하였으며, 압연방향으로 채취하였다. 실험은 상온 및 고온(100℃간격으로 100℃~600℃)3개씩 수행하였다.

건축용 내화강재의 상온 및 고온인장시험에 적용된 재하속도 및 온도한계는 표 4와 같다.

표 4. 고온인장시험조건

구분	재하속도		온도한계
	항복점까지	항복점부터	
상온	17N/mm^2·sec·	20%/min	-
고온	7N/mm^2·sec	7.5%/min	300℃ ~ 600℃ = 3℃ 600℃ ~ 800℃ = 4℃ 시험온도 도달 후15분 평형상태 유지

국내에서 개발된 건축용 내화강재를 대상으로 고온인장시험을 실시하여 항복강도, 인장강도, 탄성계수 및 연신율을 측정하였으며, 본 시험에 사용된 건축용 내화강재는 항복점이 나타나지 않는 특성이 있으므로 0.2%옵셋응력을 적용하였다. 또한 소성 시 붕괴를 논할 때 사용되는 1%옵셋 유효내력을 동시에 측정하였다. 시험에 사용된 기기는 만능시험기 100톤과 이에 부착되어 900℃까지 승온이 가능한 고온챔버를 사용하였으며(그림 3), 탄성계수를 측정하기 위해서 고온 신율계를 부착하였다.

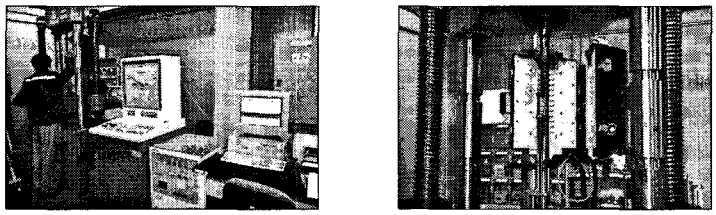


그림 3. 고온인장시험기 및 가열챔버

3.2 시험결과

건축용 내화강재 40mm의 상온 및 고온특성의 실험결과를 표 5에 나타내었다. 고온인장시험에 의해 도출된 응력 및 변형도 곡선은 고온신율계를 적용하여 도출한 구간 및 전체 스트록에 의한 결과로 분류하여 그림 4~5에 나타내었다. 또한 온도변화에 의한 항복강도, 인장강도, 탄성계수 등의 각종 기계적 특성의 변화는 그림 6~9와 같다.

표 5. 건축용 내화강재의 기계적 특성 결과(40mm)

온도 (℃)	수량	내력(MPa)		인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	연신율 (%)
		항복점 (0.2%옵셋)	1%옵셋			
상온	1	327	403	557	210,790	31.42
	2	302	392	555	208,907	31.74
	3	296	386	554	200,974	31.86
	평균	308	394	556	206,890	31.67
100	1	310	381	508	216,786	26.37
	2	290	372	515	161,886	34.20
	3	273	360	502	266,399	29.34
	평균	291	371	508	215,024	29.97
200	1	294	378	512	229,067	25.45
	2	301	397	521	213,138	26.77
	3	290	386	517	223,383	25.70
	평균	295	387	517	221,863	25.97
300	1	288	393	543	195,085	25.66
	2	285	388	539	201,976	25.32
	3	296	401	542	192,966	25.01
	평균	290	394	541	196,676	25.33
400	1	276	374	518	178,443	26.30
	2	289	379	519	197,105	27.33
	3	266	371	523	204,192	26.83
	평균	277	375	520	193,247	26.82
500	1	269	347	446	219,949	26.49
	2	268	356	456	204,715	27.78
	3	259	337	441	225,559	26.79
	평균	265	347	448	216,741	27.02
600	1	242	287	310	165,062	34.28
	2	234	279	304	181,064	33.48
	3	242	297	317	151,335	32.94
	평균	239	288	310	165,820	33.56

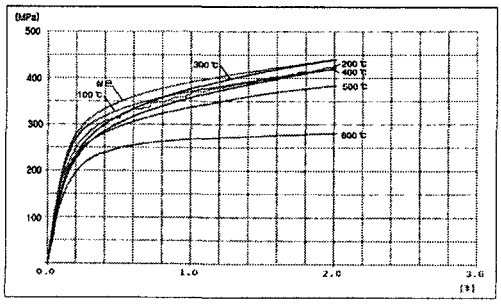


그림 4. 응력-변형도 곡선(변형도 2%)

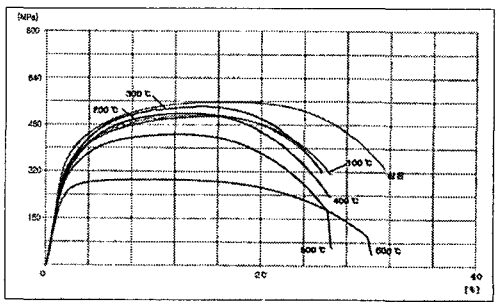
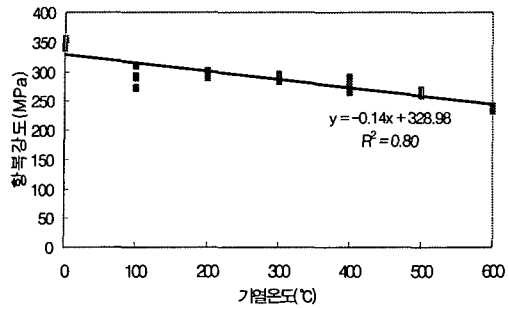


그림 5. 응력-변형도 곡선



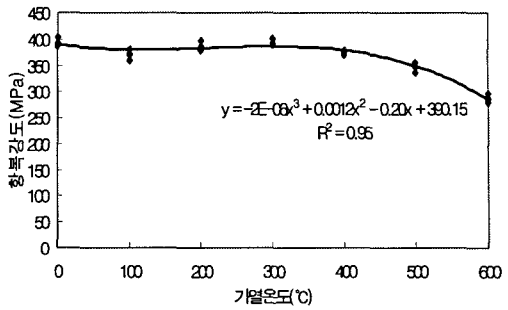
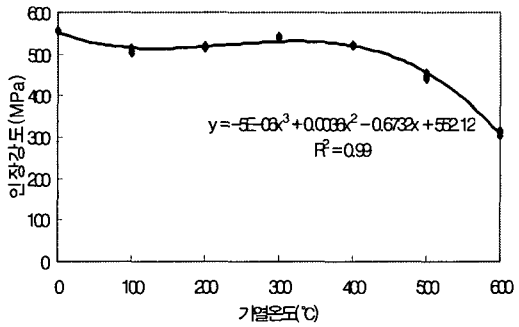


그림 6. 온도에 따른 항복강도(0.2%옵셋) 추이 그림 7. 온도에 따른 유효내력(1%옵셋)의 추이



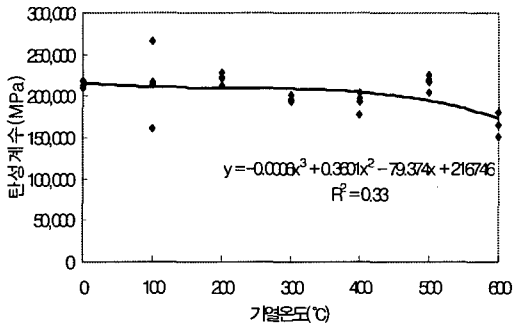


그림 8. 온도변화에 따른 인장강도의 추이 그림 9. 온도변화에 따른 탄성계수의 추이

국내에서 개발된 건축용 내화강재는 뚜렷한 항복점 구간이 나타나지 않은 특성이 있으므로(그림 5) 0.2%옵셋을 적용하였다. 600℃에서 항복강도 평균치는 239MPa로 나타나 허용응력도인 210MPa를 초과하는 것을 보여줌으로써 600℃에서도 내력이 유지될 수 있다는 것이 확인되었다. 온도변화에 따른 항복강도(0.2% 옵셋강도 및 1% 유효내력), 인장강도 및 연신율은 서로 유의성이 높게 나타났다(R^2=0.80, 0.95, 0.99, 0.81). 본 실험결과인 변화에 따른 각종 기계적 특성치의 회귀식은 다음과 같다.

항복강도 = $-0.14T + 328.98$ ($R^2 = 0.80$)
유효내력 = $-2E-06T^3+0.0012T^2-0.20T+390.15$ ($R^2 = 0.95$)
인장강도 = $-5E-06T^3+0.0036T^2 - 0.67T+552.12$ ($R^2 = 0.99$)
탄성계수 = $-0.0006T^3+0.36T^2 - 79.37T+216746$ ($R^2 = 0.33$)
연신율 = $1E-07T^3 - 2E-05T^2 - 0.025T+31.85$ ($R^2 = 0.94$)
여기서, T : 온도(℃)

4. 결 론

본 논문에서는 화재와 같은 고열환경에서 내력 유지성능이 우수하도록 설계, 생산된 40mm 두께의 건축용 내화강재를 대상으로 고온인장시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 일반 압연방식에 의해 생산된 40mm 두께의 건축용 내화강재는 600℃의 기준내력 210MPa이상임을 확인하였다.

(2) 온도변화에 따른 건축용 강재의 항복강도, 유효내력, 탄성계수값의 회귀식을 각각 도출하였다.

참고문헌

1. 한국표준협회, KS D 3865 건축구조용 내화강재, 2001
2. POSCO기술연구소, 50kg급내화강의 평가 및 적용기술개발, 1996
3. 대한건축학회, 내화강의 내화성능 평가 및 적용을 위한연구, 1997
4. 권인규, 고성능강재, 대한건축학회지, 제49권, 10호, 2005, pp45 ~ 48
5. European Conventional for Steelwork, Fire Safety in Open Car Park, Modern Fire Engineering, 1993
6. 作本好文外 4人, FR鋼(建築構造用耐火鋼材)の概要とFR鋼を使用した建築物の 耐火設計手法および適用例, 新日鐵技報 第344号, 1992