

# 하중비에 따른 강재 보의 한계온도에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Limiting Temperatures of Structural Beams made with Structural Steel According to Load Ratios

권 인 규<sup>1)†</sup>

*Kwon, In Kyu*

요 약: 최근 강구조 건축물에 대한 상온 및 화재 시의 구조거동에 관한 요구사항이 증대되는 추세에 있으며, 내화구조에 관한 요구조건을 충족시키기 위해서는 내화설계가 요구된다. 내화설계에는 법규, 기준 등에 따라 평가되는 시방적 내화설계와 화재 발생 시 구조물 거동을 평가하는 성능기반 공학적 내화설계로 대별된다. 현재 성능기반 공학적 내화설계는 세계적인 추세로 활발히 적용되고 있으나, 국내에서는 아직 적용되지 못하는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 성능 기반 공학적 내화설계의 지침 마련의 기반자료 확보를 위하여 H-형강 보부재와 H형강의 웨브에 콘크리트로 충전된 보부재를 대상으로 한계온도 설정을 목적으로 한다. 재하가열시험을 통하여 H-형강 보부재의 한계온도를 도출하였고, 한계온도는 적용 하중비에 좌우되는 것을 확인하였다. H-형강 웨브에 콘크리트가 충전된 하중비 80%, 60% 및 50%의 시험체는 모두 3시간의 내화성능을 보였다.

ABSTRACT: Recently the requirements of the buildings built with structural steel were increased in terms of structural stabilities and fire resistance at severe fire conditions. To meet the building regulations of fire resistance, a fire design is needed. This is of a prescriptive method and a performance engineering based method. Recently a simple calculation method as one of performance based engineering method is very popular because of its ease for an application in building built with structural steel. But, in Korea the performance based engineering method is not allowed yet. Thus it is needed to make a guideline for the performance based engineering method. The purpose of this study is to establish the limit temperature derived from structural beams made with both a H-section and a H-section filled with concrete at the web and derived the limit temperatures from beams made with H-sections and found out that the limit temperatures from two kinds of specimens depended on the applied loads and the specimens filled with the concrete represented 3 hour fire resistance in the range of 80%, 60%, and 50% of the maximum load.

핵심용어: 강재 보, 한계온도, 내화구조, 하중비, 성능적 내화설계

KEYWORDS: structural beam, limit temperature, fire resistance, load ratio, performance based fire engineering design

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

건축기술의 발달은 건축물의 고층화 및 장스팬화의 요구사항을 충분히 만족시키고 있으며, 점차 초고층화 추세에 있는 건축물의 구조적 성능을 만족시키기 위한 구조용 강재의 고

강도화 및 이용기술이 최근의 화두로 대두되고 있다.

반면 최근의 건축물에서의 발생하는 화재는 점차적으로 대형화되고 있으며, 피해 규모 또한 점차적으로 증대되는 추세이나, 이에 대한 대비는 건축법규의 내화구조 적용 및 일부 소방기본법의 내장재료 시공 등에 의지하고 있는 실정이다. 따라서 강구조로 설계, 시공되는 건축물의 화재 위험성에 적극적으로 대비하는 준비가 필요한 시점으로 판단된다. 또한

1) 교신저자. 강원대학교 소방방재공학전공 교수, 공학박사  
(Tel: 033-570-6433, Fax: 033-570-6819, E-mail: kwonik@kangwon.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2011년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

최근의 건축물 화재 위험성 평가는 재료와 구조 등의 성능을 기반으로 평가하는 공학적 내화설계로 진행되고 있으며, ISO TC92 SC4(Fire safety Engineering)에서는 이에 대한 국제적 표준화 문서 작업을 진행하고 있다.

우리 나라는 건축물 내화공학설계에 대한 기초 연구를 수행하여 법률적 토대를 제정하였지만, 이에 대한 시방적인 체계를 아직 마련하지 못한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 강구조 건축물의 공학적 내화설계의 시방적 체계 구축을 위한 한 요소로서 보부재에 다양하게 작용되는 하중비(모멘트비)의 비율에 따른 강구조 보부재의 구조적 한계인 한계온도를 실험적으로 도출함과 경향파악을 목적으로 하며, 그 범위는 무피복 강구조 보부재 및 콘크리트를 웨브에 보강한 보부재를 대상으로 한다.

## 2. 구조용 강재의 한계온도

구조용 강재로 제작된 기둥과 보부재가 화재에 노출되면 재료자체의 내력저하와 동시에 지속적으로 작용하고 있는 하중의 영향으로 변형이 발생하게 된다. 이와 같은 구조적 변화를 최소화하는 내화설계와 같은 대책이 마련되지 않으면 구조체는 붕괴에 도달하게 된다.

고온 시의 구조용 강재의 기계적 특성 및 부재의 내화성능 평가에 관한 자료는 최승관 (2008) 등에 의해 자료가 파악되고 있으나, 구조부재에 작용하는 하중별 내화성능에 관한 자료는 권인규 (2009)의 연구가 있으나 극히 제한적이다. 강재기둥의 한계온도 도출에 관한 실험적 연구는 H형강, 원형강관 및 각형강관 그리고 콘크리트가 충전된 원형 및 각형 강관 기둥을 대상으로 이루어졌으며, 내화시험에 부가된 하중은 최대하중의 100%, 80%, 60% 및 50%로 진행되었다. 강재 기둥에 관한 하중과 내화성능의 관계는 상호 반비례하는 경향을 보였다. 향후 강재 기둥부재의 한계온도의 평가는 기둥부재의 길이와 경계조건 등이 고려되어야 할 것으로 판단되었다. 강재 보의 내화성능에 관한 작용하중의 영향을 평가한 연구는 극히 제한적이며, 그 결과 또한 작용하중과 내화성능은 반비례하는 특성을 보이고 있다.

강구조 부재의 한계온도의 특성치를 활용한 내화성능평가 방법은 간략법(simple calculation method)으로 불려지고 있으며, 현재 뉴질랜드, 영국 및 일본 등 각국에서 다양하게 활용되고 있으며, 뉴질랜드에서는 SNZ 3404에 간략법의 방법을 제시하고 있으며, 영국은 BS 5950:Part 8에 작용하중별 한계온도를 규정하고 있고, 일본에서는 신도시하우징협회의 충전강관기둥 내화설계에 축력비를 활용하고 있다. 본 간략법은 화재구획의 설계화재곡선을 활용하여 계산된 구조부

재의 최고온도(T)와 해당 부재의 작용하중하에서 구조적 붕괴를 유발하는 한계온도(T1)를 상호 비교하는 절차로 이루어진다. 즉 화재발생 시 보부재의 최고온도(T)가 한계온도(T1)를 초과하면 붕괴가 발생되므로 내화피복 등의 조치가 필요하게 된다.

## 3. 한계온도 평가를 위한 내화시험

### 3.1 H형강 보부재의 한계온도 평가

#### 3.1.1 시험계획 및 제작

무보강 H형강 보부재의 작용 하중비에 따른 한계온도는 표 1과 같은 시험계획하에서 수행되었으며, 보부재의 가열길이와 사용강종은 4미터, SS 400이다. 또한 경계조건은 내화성능 결과의 안전측면을 고려하여 힌지로 설정하였다. 재하가열 시험에 의한 보부재의 표면온도의 변화를 측정하기 위하여 보부재의 중앙부와 스패의 1/4지점에 각각 CA열전대 11개를 설치하였으며, 열전대의 위치는 그림 1 ~2와 같다. 또한 삼면노출에 의한 보부재의 슬래브 두께별 및 철근의 온도상승이력을 측정하기 위한 열전대의 위치는 그림 3과 같다.

재하가열시험은 KS F 2257-1의 표준가열온도곡선과 KS F 2257-6의 성능기준에 따라 수행되었다. 작용 모멘트비에 따른 한계온도 도출을 목적으로 최대하중의 100%, 80%, 60% 및 50%를 적용하였다. 보부재 최대하중은 허용응력설계로 도출하였으며, 합성효과는 고려하지 않았다. 작용 모멘트 크기에 따른 H형강 보부재의 한계온도 도출을 위한 내화 시험체의 제작과정은 그림 4와 같다. 내화 시험체는 슬래브의 일반적 시공의 형태에 준하고, 내화시험의 반복 재현성을 발현하기 위하여 강재보와 상부 콘크리트가 일체화 거동이 가능하도록 스티드 볼트가 설치된 T-형보 형식으로 제작하였다. 콘크리트는 압축강도는 21MPa인 레디믹스트콘크리트를 사용하였다.

표 1. 보부재의 한계온도 시험계획

항목	내용	비고	
시험방법	재하가열시험	KS F 2257-6	
시험체크기	H-400X200X8X12	슬래브 120포함	
시험체 및 하중	시험체1	100%	20.12톤
	시험체2	80%	16.10톤
	시험체3	60%	12.07톤
	시험체4	50%	10.06톤

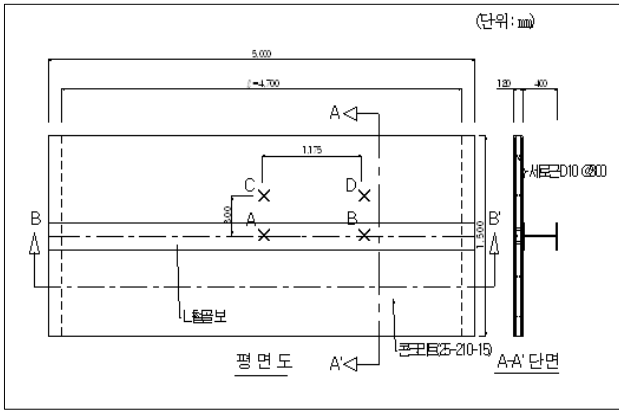


그림 1. 강재보의 구성 및 센서 위치

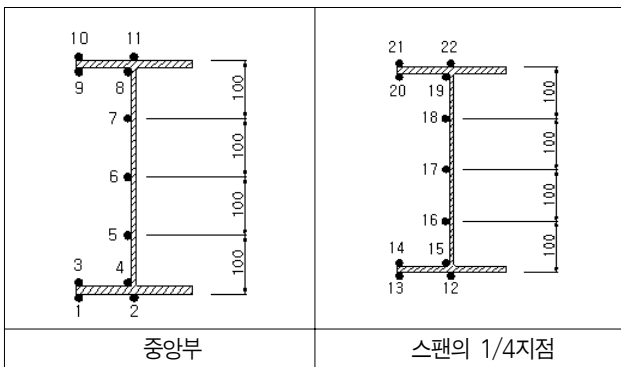


그림 2. 강재보의 표면온도 측정용 센서 위치

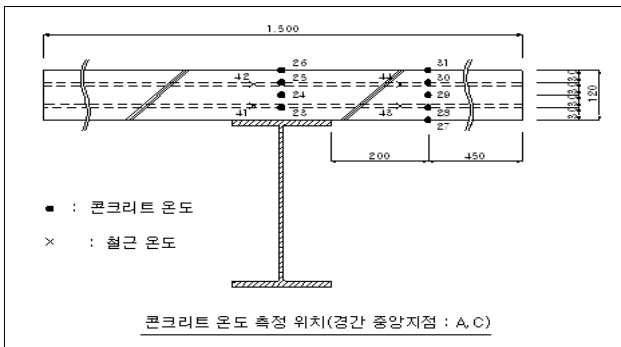


그림 3. 콘크리트 및 철근온도 측정위치



그림 5. 보부재 내화시험체의 시험전후 모습

### 3.1.2 시험과정 및 결과

모멘트비에 따른 하중이 재하된 상태에서 해당 보부재의 구조적 붕괴가 발생하는 온도를 도출하기 위한 재하가열시험은 각 시험체를 수평가열로에 안치시킨 후, 시험체 전체에 균등하게 하중이 분포될 수 있도록 가열시험 15분전에 하중을 부가하였다. 각 시험체에 대한 재하가열시험 전후의 모습은 그림 5와 같다.

보부재의 하중비별 하중지지력은 표 2와 같고, 시험체별 변형량과 변형율은 그림 6~7과 같으며, 측정결과는 허용기준 초과시점(22분, 26분, 26분, 39분)까지의 최고 값이다.

표 2. 보부재의 시험체별 하중지지력

구분	시험하중 (Ton)	하중지지력		허용기준 초과시간
		최대 변형량	최대 변형율	
허용기준		106.2 mm ( $l/2/400d$ )이하	4.7 mm/min ( $l/2/9,000d$ )이하	
측정결과	시험체1	20.12	157.2 mm	22분
	시험체2	16.10	162.4 mm	26분
	시험체3	12.07	157.4 mm	26분
	시험체4	10.06	162.0 mm	39분



그림 4. 보부재 내화시험체 제작과정

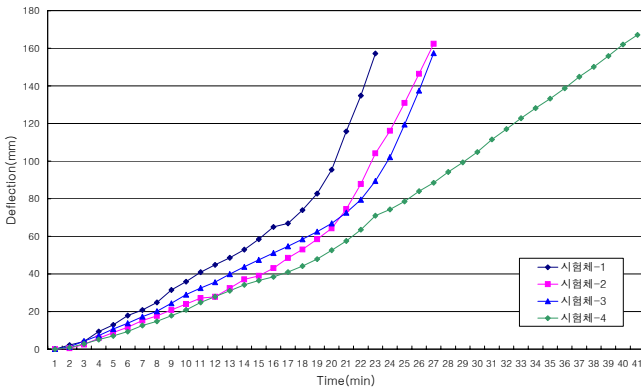


그림 6. 시험체별 변형량 곡선

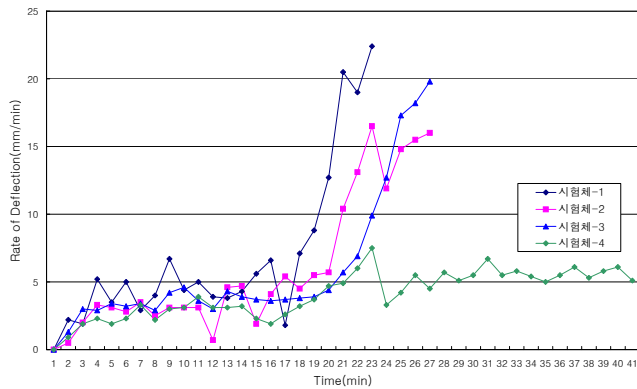


그림 7. 시험체별 변형율 곡선

보부재의 하중비에 따른 한계온도 도출 시험에서 나타난 바와 같이 하중비가 높을수록 구조적 붕괴에 도달되는 강재의 평균온도는 낮은 것으로 나타났다. 즉 작용하중이 클수록 낮은 내화성을 보였으며, 본 내화시험의 결과, 보부재의 하중비에 따른 한계온도는 기둥부재의 하중비에 따른 한계온도의 결과와 동일한 경향을 나타내었다. 재하가열시험 중에 열전대에 의해서 측정된 강재 보의 시간경과별 그리고 허용기준 초과시점(22분, 26분, 26분, 39분)까지의 표면온도는 표 3과 같고, 한계온도와 내화성능은 표 4에 나타내었다. 강재 보의 표면온도는 보부재의 중앙부분과 중앙부와 단부의 중간지점에서 각각 측정하였으며, 이 두 곳 평균값을 측정값으로 사용하였다.

콘크리트 슬래브를 지지하는 강재 보의 작용하는 하중의 크기에 따라서 내화성능이 달라짐으로 보이고 있으며, 하중비 100을 작용시킨 보부재의 한계온도는 약 555℃로 나타났다. 본 결과는 한국산업규격에서 규정하고 있는 강재의 허용온도와 유사한 결과를 보이고 있다.

하중비에 따라 내화성능은 표 4에 나타난 바와 같이 하중비 100%에서 60%까지는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 하중비 50%를 재하한 시험체는 하중비 100을 재하한 시험체에 비해서 약 81%의 내화성능이 증가하였다.

표 3. 보부재의 표면온도

시험체 번호	경간 중앙지점 (평균/최고 : °C)				경간 1/4 지점 (평균/최고 : °C)				보 평균 (평균/최고 : °C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5분	165/ 243	153/ 217	139/ 225	144/ 214	141/ 211	145/ 212	158/ 230	175/ 238	153/ 227	149/ 215	149/ 228	160/ 226
10분	323/ 452	285/ 388	290/ 400	297/ 422	316/ 430	269/ 376	311/ 435	315/ 429	320/ 441	277/ 382	301/ 418	306/ 426
15분	450/ 578	425/ 539	434/ 563	426/ 567	443/ 567	410/ 537	448/ 578	438/ 564	447/ 573	418/ 538	441/ 571	432/ 566
20분	541/ 664	551/ 657	522/ 634	542/ 669	534/ 658	527/ 656	538/ 659	521/ 643	538/ 661	539/ 657	530/ 647	532/ 656
21분	557/ 679	571/ 676	535/ 647	558/ 682	553/ 676	544/ 671	553/ 673	534/ 656	555/ 678	558/ 674	544/ 660	546/ 669
22분	571/ 691	584/ 687	551/ 662	573/ 692	568/ 692	571/ 692	569/ 687	546/ 663	570/ 692	578/ 690	560/ 675	560/ 678
25분		612/ 717	594/ 704	608/ 716		595/ 712	613/ 724	567/ 677		604/ 715	604/ 714	588/ 697
26분		625/ 724	607/ 716	616/ 724		605/ 721	626/ 732	574/ 681		615/ 723	617/ 724	595/ 703
38분				736/ 817				692/ 783				714/ 800
39분				744/ 823				700/ 790				722/ 807

표 4. 보부재의 한계온도와 내화성능

시험체	하중량(톤)	내화성능(분)	한계온도(°C)
시험체-1	20.12	21	555
시험체-2	16.10	25	604
시험체-3	12.07	25	604
시험체-4	10.06	38	714

1) 콘크리트 슬래브의 내부 온도

시험체 상부 콘크리트 슬래브의 고온 시 온도상승에 관한 참고자료 도출을 위하여 슬래브 내부의 각 높이별로 온도를 측정하였다. 슬래브에서의 온도측정 위치는 보부재의 직상위 그리고 강재 보 플랜지 끝부분에서 20cm이격된 곳으로 설정하였다(그림 2). 보부재의 내화시험 중 측정된 콘크리트 내부온도는 표 5와 같고, 온도 측정은 내화성능 유지시점(21분, 25분, 25분, 38분)까지의 최고온도이다. 표 중의 “-”는 열전대 성능 이상으로 온도측정이 불가능한 부분이고, “\*”는 내화시험 중 폭발발생으로 콘크리트 바닥 하부가 일부 탈락됨으로써 온도가 갑자기 상승한 것을 나타낸다.

콘크리트 온도측정 결과, 콘크리트 슬래브는 하부에서 상부

로의 점차적 수분의 기화발생에 의한 온도강하작용으로 하단 부에서 6cm 이격이상 부분에서는 100℃를 초과하는 경우가 거의 없었다. 또한 보부재의 직상위 부분과 플랜지에서 이격된 부분과의 온도차이는 거의 나타나지 않았다. 따라서 강재 보의 빠른 열전달 효과로 인한 강재 보 직상부 콘크리트에 대한 온도 영향은 거의 없는 것으로 판단되었다.

표 5. 콘크리트 슬래브의 내부온도

시험체 번호		경간 중앙지점(℃)				경간 1/4 지점(℃)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
측정위치	바닥하부면	102	441*	103	173	101	102	134	115
	3cm 이격	66	87	102	105	83	101	100	96
	6cm 이격	82	52	83	97	80	85	67	48
	바닥상부면	35	34	60	46	45	31	99	40
보 상부 (A, B)	바닥하부면	403	363	291	565	-	319	450	508
	3cm 이격	110	152	109	210	114	156	145	223
	6cm 이격	94	118	105	124	85	-	-	123
	9cm 이격	83	82	96	100	49	97	103	110
보 중심 에서 바닥 폭 30cm 이격지 점 (C, D)	바닥하부면	28	39	56	42	28	42	87	131
	3cm 이격	110	152	109	210	114	156	145	223
	6cm 이격	94	118	105	124	85	-	-	123
	9cm 이격	83	82	96	100	49	97	103	110

2) 보강 철근의 온도

보부재의 재하가열시험 중에 콘크리트 슬래브에 매입된 철근의 온도를 측정하였으며(그림 1, 3), 그 결과를 표 6에 제시하였다. 온도측정 결과는 내화성능 유지시점(21분, 25분, 25분, 38분)까지의 최고값이며, 표 중의 “ - ”는 열전대 성능 이상으로 온도측정이 불가능한 부분을 나타내고 있다. 보부재 직상부에 매입된 철근의 상승온도와 보부재에서 콘크리트 슬래브의 폭방향(30cm)으로 이격된 부위에서의 온도차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

표 6. 보강 철근의 표면온도

스팬방향		스팬 중앙지점				스팬 1/4 지점			
		1	2	3	4	1	2	3	4
보 상부 (A, B)	하부근	95	97	92	110	70	99	-	118
	상부근	75	67	86	86	39	79	97	51
보 중심에서 바닥 폭방향 30cm 이격지점 (C, D)	하부근	98	96	101	128	92	95	100	125
	상부근	42	69	-	82	31	93	91	94

표 7. 보부재의 제작 사양

제작 사양		수량
강재 보	슬래브 바닥	
-철골보 ·소재: 일반구조용 압연강재(SS 400) ·규격: 400×200×8×13mm×길이5m (스팬 : 4.7m) -콘크리트(웹브 충전용) ·25-210-12 -보강철근: D13(상단 2개, 하단 2개) -늑근 : D10(@300)	-재료: 콘크리트(25-210-12) -규격: 폭1,500×두께120mm×길이 5m -보강철근 가로근: D13, @200(상부근) @400(하부근) 세로근: D13, @300(상, 하부)	4개

콘크리트 바닥에 배근된 상하부 철근의 온도와 철근과 동일한 높이에 있는 콘크리트의 온도는 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 따라서 콘크리트 내부에 배근된 철근의 온도계산은 해당 철근 높이에 해당되는 콘크리트 온도로 대체하는 것도 무방하다고 판단되었다.

일반적으로 철근콘크리트 부재에서의 철근의 해석적 온도 값은 해당 부위에서의 콘크리트 온도와 동일한 값을 가지는 것으로 평가하고 있다. 이에 대한 검증된 자료 도출을 위하여 행해진 본 시험결과, 하부근의 온도값은 콘크리트 슬래브 하단에서 30cm 상부로 이격된 콘크리트의 온도값과 거의 유사한 결과를 보이고 있으며, 상부근 또한 콘크리트 슬래브 하단에서 상부 방향으로 90cm이격된 온도값과 큰 차이를 보이지 않는 결과를 보였다. 따라서 철근콘크리트 내부의 철근의 온도값은 콘크리트의 해석값을 이용하는 것은 타당하다고 판단 되었다.

3.2 웹브 보강 보부재의 한계온도 평가

3.2.1 시험계획 및 제작

유럽 등에서는 H형강 웹브에 콘크리트를 보강한 타입의 보부재를 합성으로 설계하는 경우와 단순히 양 플랜지 사이에 콘크리트가 타설된 보부재로 설계하는 경우가 있으며, 국내에서는 이와 같은 보부재를 합성으로 정의하는 것도 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 H형강의 웹브에 콘크리트가 보강된 타입을 웹브 보강 보부재라 정의한다.

H형강 보부재는 강구조 건축물에서의 기둥부재와 더불어 후레임을 형성하여 내력을 전달하는 중요한 역할을 한다. H형강 웹브에 콘크리트를 보강한 합성형 보부재의 국내 적용 사례가 미비하므로 본 논문에서는 유럽지역에서 많이 적용되고 있는 웹브 충전형 보부재를 대상으로 적용하였다.



H형가 웹 보강 보부재의 한계온도 도출을 목적으로 슬럼프 12cm, 압축강도 21MPa인 콘크리트를 충전하였고, 내화시험의 반복 재현성을 확보하고, 시공성을 고려하여 동일한 슬럼프와 압축강도의 콘크리트를 사용하여 T-형보 형식으로 제작하였다. 재하가열시험 시에 H형강과 콘크리트 슬래브와의 분리방지 등을 목적으로 스티드 볼트(ø16×90, @200)를 시공하였다.

하중비에 따른 한계온도 도출을 목적으로 무보강 강재보와 동일한 크기의 시험체 4개를 제작하였으며, 내화시험은 무보강 강재보와 동일한 조건으로 수행하였다.

보부재의 내화시험체에 사용된 재료의 종류와 치수 등은 표 7과 같고, 제작과정 및 보부재의 온도 측정위치는 그림 8 ~ 9와 같다. 내화시험에 적용된 가열로는 길이 4000mm, 폭이 4000mm인 수평가열로이며, 등분포하중의 재하가 가능하다.



그림 8. 보부재 내화시험체 제작과정

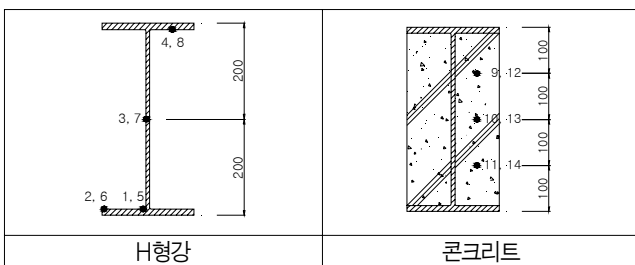


그림 9. 강재 보부재의 온도측정 위치

### 3.2.2 내화시험

내화시험은 무보강 강재보와 동일한 시험방법인 KS F 2257-1, KS F 2257-6을 적용하고, 3시간 재하가열시험을 실시하였다. 시험하중의 계산은 강재 보의 웹보강이 콘크리트에 의해서 횡좌굴이 방지된 거형단면이므로 허용 휨응력도  $f_b = 160MPa$ 로 설정하여 최대 휨모멘트를 계산하였다(표 8).

표 8. 보부재의 시험하중

시험체 구분	하중량(톤)	하중량 산정근거
B-WI-S21-L100(No-1)	25	허용휨응력 적용
B-WI-S21-L80(No-2)	20	
B-WI-S21-L60(No-3)	15	
B-WI-S21-L50(No-4)	12.5	

\*B: Beam, WI: Web Infilled, S: Concrete Strength, L: Load

보부재의 내화성능은 표 9와 같이 하중지지력으로 판정하며, 하중지지력의 경우 부재가 변형량 및 변형율을 모두 초과시 부적합한 것으로 간주한다.

표 9. 웹 보강 보부재의 내화성능기준

성능기준		비고
하중 지지력	<ul style="list-style-type: none"> <li>변형량 : <math>\ell/400 d</math></li> <li>변형율 : <math>\ell/9000 d</math></li> <li>(변형율은 변형이 <math>\ell/30</math> 초과시 적용)</li> </ul>	$\ell$ : 부재 경간( = 4,700mm) $d$ : 압축측에서 인장측까지 거리( = 400mm)

### 3.2.3 내화시험결과

강재 보가 일반 콘크리트로 충전된 강재 보의 내화시험에서는 측정장비에서 오류가 발생된 하중비 50% 재하 시험체 이외는 모두 3시간의 내화성능을 보였다. 일반적으로 보통 콘크리트는 폭발현상이 발생되지 않는다고 알려져 있으며, 본 내화시험에서도 하중비 100%, 80% 및 60% 적용 시험체에서는 약간의 콘크리트 탈락현상은 나타났지만 미비한 수준이었으며, 하중비 50%를 적용한 웹 보강 강재 보의 슬래브에서는 다소 심한 폭발 현상을 보였다. 이는 상대적으로 낮은 하중비에 인장균열의 최소화가 시험체의 온도상승에 따라 일시적으로 확장하면서 인장파괴와 동시에 균열이 발생한 것으로 판단되었다. 따라서 본 슬래브 하단부의 탈락현상은 고강도 콘크리트에서 발생하는 폭발현상과는 다른 현상이라 판단되었다. 이는 작은 하중비에서 다소 장시간의 열에너지를 축적하면 인장균열이 일시적 발생과 동시에 열에너지 확산현상이 동시에 발생할 수 있음을 보여주는 자료라고 사료되었다. 보부재의 내화시험 전후의 시험체와 슬래브의 일부 탈락부분을 그림 10에 나타내었다.

#### 1) 하중지지력

압축강도 21MPa 콘크리트를 H형강 웹보강에 충전한 시험체에 대한 하중지지력(변형량, 변형율)은 표 9와 같고, 시험체 별 변형량 및 변형율을 비교하면 그림 11~ 12와 같다.

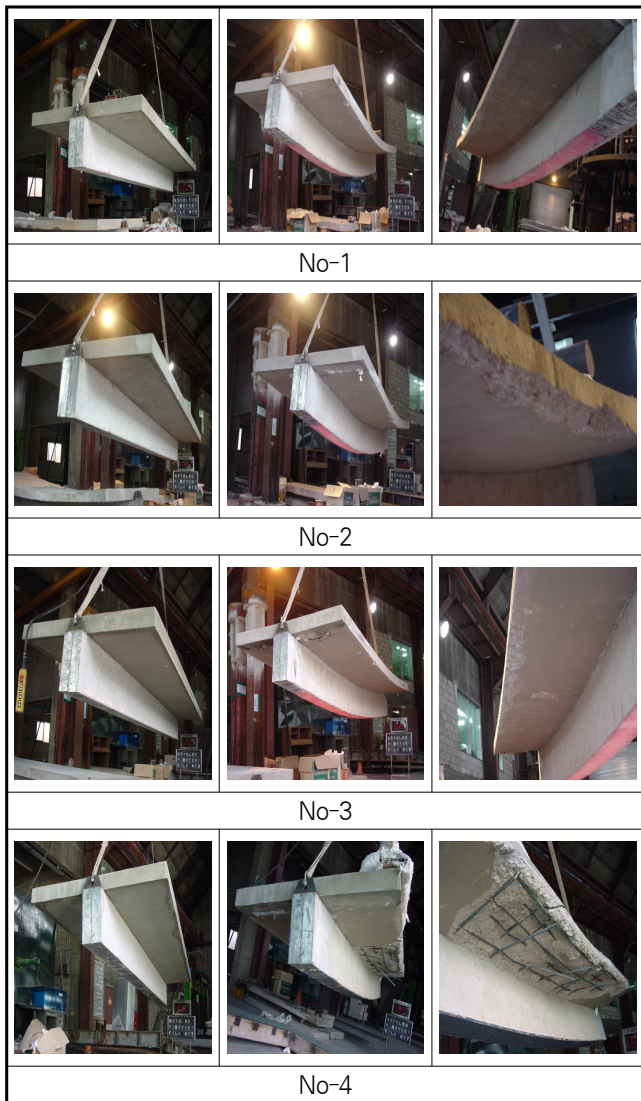


그림 10. 내화시험 전후의 보부재

표 10. 웨브보강 보부재의 시험체별 하중지지력

시험체	하중량 (톤)	하중지지력		허용 기준 초과 시간
		변형량 (138.1 mm 이하)	변형율 (6.1 mm/min 이하)	
B-WI-S210-L100	25	201.8 mm*	3.7 mm/min*	2.35
B-WI-S201-L80	20	194.0 mm	3.1 mm/min	3
B-WI-S210-L60	15	146.8 mm	3.5 mm/min	3
B-WI-S210-L50	12.5	139.2 mm	4.3 mm/min	3

※ (\*): 급격한 변형 발생으로 2시간 35분에 시험 중단함.

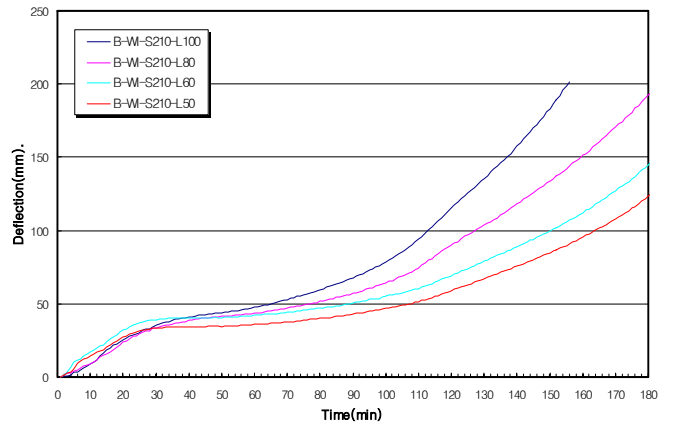


그림 11. 보부재의 변형량 곡선

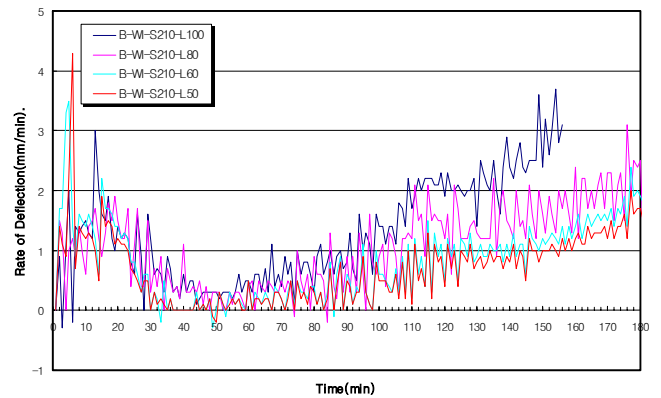


그림 12. 보부재의 변형율 곡선

## 2) 강재보 표면온도

웨브재 보강 강재 보의 표면온도와 내화성능은 표 11 ~12 와 같다. 웨브에 콘크리트가 충전된 보부재는 작용 하중비에 무관하게 90분 경과부터 평균온도가 550°C 이상을 보이며, 지속적으로 고온에 견디는 양상을 보였다. 또한 강재 보부재의 온도는 약 2시간 경과부터 급격히 증가하여 온도센서의 단선에 의한 측정자체가 불가능하였다. 웨브 보강 보부재의 한계 온도 도출을 위해서는 향후 1200~1400°C에도 견딜 수 있는 R타입의 온도센서가 필요하다고 판단되었다. 따라서 웨브 보강 보부재의 한계온도 도출을 이루이지고 못하였지만, 한계온도는 강재 기둥의 한계온도 높은 온도로 판단되었다.

하중비 100%를 적용한 보부재는 2시간 35분 경과 시 급격한 변형량 발생으로 시험을 중단하였으며, 나머지 시험체는 정상적으로 내화성능시험을 수행하였으며, 각각의 시험체는 3시간의 내화성능을 나타내었다. 3시간의 내화성능 확보는 콘크리트의 합성화, 열용량의 증대에 의한 처짐의 완화 등에 의한 것으로 판단된다.

표 11. 보의 강재 표면온도

시행체 시간	스팬 중앙지점 (평균/최고 : °C)				스팬 1/4 지점 (평균/최고 : °C)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
5분	74/ 138	63/ 119	76/ 142	77/ 148	68/ 135	62/ 112	80/ 147	83/ 151
30분	348/ 664	317/ 623	348/ 654	354/ 683	327/ 623	318/ 591	358/ 679	372/ 696
60분	492/ 874	473/ 866	475/ 833	483/ 870	481/ 860	475/ 841	485/ 853	504/ 875
90분	583/ 953	551/ 902	574/ 916	583/ 957	577/ 947	579/ 965	578/ 936	601/ 960
120분	677/ 1002	-	-	-	-	-	-	-
150분	-	-	-	-	-	-	-	-

※ (-) : 온도측정 불가

표 12. 보부재의 내화성능

시행체	하중량(톤)	내화성능	한계온도(°C)
B-WI-S210-L100	25	2시간 35분*	측정불가
B-WI-S210-L80	20	3시간	"
B-WI-S210-L60	15	3시간	"
B-WI-S210-L50	12.5	3시간	"

※ (\*) : 급격한 변형발생으로 2시간 35분에 시험 중단함.

#### 4. 결론

보부재가 화재에 노출되었을 경우, 작용 모멘트비에 따라 내화성능은 달라지며, 이에 대한 정량적 평가의 기반 자료 도출을 목적으로 무보강 강재 보 및 웨브에 콘크리트가 보강된 강재 보를 대상으로 강재의 한계온도 도출을 위한 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 콘크리트 슬래브를 지지하는 H형강 보부재의 최대하중 100%, 80%, 60% 및 50%를 재하한 상태에서 가열시험을 실시하여 각각에 대한 한계온도를 도출하였다.
- (2) 도출된 한계온도와 내화성능은 작용하는 하중비에 반비례하는 결과를 보였다.
- (3) 웨브에 콘크리트가 충전된 보부재를 대상으로 하중비

100%, 80%, 60% 및 50%에 따른 한계온도는 적용 하중과 반비례적인 경향을 보였으나, 1000°C 이상에서 측정 센서의 오류가 발생되어 더 이상의 측정이 불가능하였다.

- (4) 웨브 충전 보부재의 경우, 하중비 100%를 적용한 시험체는 급격한 변형량 발생으로 2시간 35분에 중단하였으나, 나머지 시험체는 모두 3시간의 내화성능을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 연구재단 연구비(강구조 건축물의 내화설계 기반연구, 과제번호: 2010-0004385)로 수행되었고, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

권인규(2009) 강구조 부재의 한계온도 평가에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 대한건축학회, 제11권, 제4호, pp.249-256.

최성관, 김성배(2008) TSC 합성보의 화재시 거동 및 전열특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제24권, 제1호, pp.27-35.

포항산업과학연구원(2004) 강구조 내화공학설계 기술개발(II). KSF 2257-1(2005) 건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구조건, 한국표준협회.

KSF 2257-6(2006) 건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능조건, 한국표준협회.

Anderson, D. and Jonson, R.P. (1993) *Designers' Handbook to Eurocode Part 1.1.*

BSI (1996) *BS 5950:Part 8*, Structural use of steelwork in buildings.

Buchanan, A.H. (1994) *Fire Engineering Design Guide*, Centre for Advanced Engineering University of Canterbury.

Lie, T.T. (1984) A Procedure to Calculate Fire Resistance of Structural Members, *Fire and Materials*, Vol. 8, No.1, pp.40-48.

SNZ 3404 Part 1 (1997) Steel Structures Standard.

(접수일자 : 2010. 8. 15/ 심사일 2010. 8. 21/  
게재확정일 2010. 11. 15)