

## 비대칭 슬림플로어 합성보의 내화성능 산정에 관한 해석적 방법 연구 A Study on the Analytical Method for Fire Resistance Calculation of Asymmetric Slimfloor Beam

박수영<sup>†</sup> · 박원섭\* · 김흥열\* · 홍갑표\*\*

Soo-Young Park<sup>†</sup> · Won-Sup Park\* · Heung-Youl Kim\* · Gap-Pyo Hong\*\*

방재시험연구원, \*한국건설기술연구원, \*\*연세대학교  
(2009. 11. 18. 접수/2010. 4. 9. 채택)

### 요 약

비대칭 슬림플로어 합성보(Asymmetric Slimfloor Beam, 이하 ASB)는 비대칭 형강의 일부를 콘크리트 슬래브에 삽입한 합성보로서, 유럽에서 개발되었다. 근래 국내에서도 건축물의 층고저감, 물량감소, 내화 성능 증대 등의 목적으로 ASB의 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 실험을 통하여 ASB의 내화성능을 확인하고, 열전달해석을 통하여 내화성능 시간에서의 모멘트 내력(Moment capacity)을 산정하였다. 그 결과를 바탕으로 방화석고보드와 ASB로 구성된 3시간 내화구조를 선정하고, 내화 성능을 검토하였다.

### ABSTRACT

Asymmetric Slimfloor Beam (ASB) is a composite beam developed in Europe whose asymmetric H beam is partially inserted in concrete slab. Recently in Korea, Asymmetric Slimfloor Beam has been studied in order to save the story height of a building, reduce the amount of construction materials and increase the fire resistance of a building. On this study, the fire resistance of Asymmetric Slimfloor Beam was checked by a fire test and moment capacity was calculated at fire resistance time by a heat-transfer analysis. Using the analysis result, 3-hour fire resistance constructions consisted of fireproof gypsum boards and ASB were selected and fire resistances of selected constructions were checked.

**Key words :** Asymmetric Slimfloor Beam, Fire resistance, Fire test, Heat-transfer analysis, Moment capacity

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

화재시 건축물 구조 부재는 열에 의해서 강성을 잃어 하중 지지력을 상실하게 된다. 국내 대부분 건축구조물은 강재와 콘크리트로 이루어져 있으며, 그 중 강재는 고온일 경우 급격히 강성을 잃게 된다. 국내에서는 화재시 이러한 구조 부재들의 급격한 파괴로 인한 전체 구조물의 피해를 막기 위해, 건축법에 각 구조부재의 내화성능을 규정<sup>6)</sup>하고 그에 적합한 재료 및 구성을 이루도록 내화구조 인정제도<sup>7)</sup>를 유지하고 있으며, 표준화재곡선을 이용한 내화시험을 통하여 확인하도록 되어있다.

한편 구조 기술의 발달로 인하여, 건축물의 성능은 유지하면서도 재료의 사용을 줄일 수 있는 경제성 있는 기술개발이 지속적으로 연구되고 있다. 그 중 근래에 비대칭 형강의 일부를 콘크리트 내부에 삽입한 비대칭 슬림플로어 합성보(Asymmetric Slimfloor Beam, 이하 ASB)의 연구가 이루어지고 있다.<sup>1-3,8,9)</sup> ASB는 합성 능력이 우수하고, 보의 춤을 작게 만들 수 있어 건축물의 층고를 효율적으로 줄일 수 있고, 콘크리트가 형강의 피복이 되어 별도의 내화피복이 없어도 우수한 내화성능을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 ASB의 내화성능을 실험을 통하여 평가하고, 수치해석을 수행하여 화재 실험시 온도에 따른 내력을 구하였다. 그 결과를 이용하여 건축법상 보 구조부재의 요구 성능인 3시간 내화성능을 가질 수 있는 내화구조를 선정하고, 그 성능을 검토하였다.

<sup>†</sup>E-mail: shrimpj@kfpa.or.kr

1.2 국내외 연구현황

관련 연구로서, 국내에서는 ASB의 합성정도에 대한 실험 연구,<sup>1)</sup> ASB의 웨브 두께와 깊이를 변수로 상온 및 고온 시험을 통한 평가 연구,<sup>2)</sup> ASB의 화재시 구조 거동 연구<sup>3)</sup> 등이 있었으며, 비슷한 연구로 iTECH 보의 내화성능에 대한 해석평가 연구<sup>4)</sup> 등이 있었다.

국외에서는 6개의 슬림플로어(Slimfloor)보에 대해서 실험으로 내화성능을 확인한 연구,<sup>8)</sup> ASB의 단부 접합에 따른 내화성능을 실험 및 해석으로 확인한 연구,<sup>9)</sup> 크리프 효과와 다양한 요소 영향에 따른 강재 보의 내화성능 연구<sup>10)</sup> 등이 진행되었다.

2. ASB 내화성능실험

2.1 ASB 구조 개요

콘크리트 슬래브에 철골단면을 부분 매입하여 합성 효과와 내화성능을 향상시키는 시스템은 1970년대 유럽에서 개발되었다. 그 중 비대칭 형강 단면을 사용한 ASB는 기존의 슬림플로어(Slimfloor)의 경제성을 향상시키는 목적으로 압연강을 사용하여 개발되었다. ASB는 플레이트의 용접이 없어 강도, 안정성, 내화성능이 뛰어난 뿐만 아니라 강재량 및 조립비용을 줄일 수 있고, 콘크리트와의 합성능력이 좋은 장점을 지니고 있다. 기존 구조에 비하여 단면은 작지만 성능은 우수하여 구조물 전체 층고를 감소시킬 수 있다.

2.2 실험체

ASB에 대하여 KS F 2257-6에 따라 표준화재실험을 수행하였다. 가열조건은 3면 노출이며, 재하조건은 극한한계상태(Ultimate limit state)로 산정한 소성 설계모멘트를 구하여<sup>2)</sup> 0.4와 0.5의 하중비를 설정하여 실험을 수행하였다.

BS 5950-8에서는 설계시 화재한계상태(Fire limit states)에서의 구조물의 강도 및 안정성을 확인하기 위

해, 일반적인 오피스빌딩의 경우 하중비 0.5를 적용하도록 하고 있지만, 실제 실험시에는 실험 설비의 한계로 0.5 이상의 하중을 가력하지 못하는 경우가 많이 발생한다. 따라서 하중비에 따른 내화성능실험을 비교를 위하여 하중비 0.4와 0.5를 설정하였고, 그에 대한 영향에 대한 논문은 추후 정리하여 발표할 예정이다.

강재는 SS400을 사용하였고, 실험체 단면은 Figure 2와 같고, 실험조건은 Figure 3과 같다. 실험체 M1과

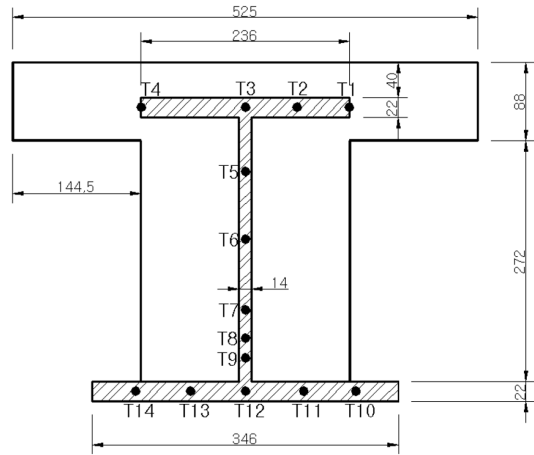


Figure 2. ASB section.

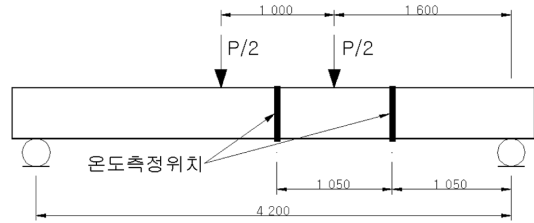


Figure 3. Test condition.

Table 1. Test Specimen Detail

	M1	M2
R.L	0.4	0.5
Load (kN)	359.3	449.1
Max. Moment (kNm)	287.4	359.2
Dimension (H × B <sub>t</sub> × B <sub>b</sub> × t <sub>w</sub> × t <sub>f</sub> )	320 × 236 × 346 × 14 × 22	
Span (m)	4.5	
f <sub>y</sub> (MPa)	296	
f <sub>cu</sub> (MPa)	24	

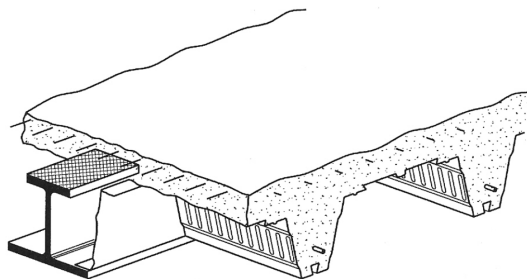


Figure 1. ASB concept.

M2에 대한 상세를 Table 1에 나타내었다.

**2.3 실험결과**

실험결과 KS F 2257-1의 하중지지력 성능기준인 변형량  $D = (L^2/400d)$ , 변형률  $(dD/dt) = (L^2/9000d)$  기준에 의거 내화성능을 산정하였다.

하중비가 0.4인 M1의 경우는 80분이 지나면서 고온이 된 부재가 강성을 잃어버리면서 변형이 급격히 증가하여, 86분에 변형량 기준인 122.5mm를 초과하고, 87분에 변형률 기준인 5.4mm/min을 초과해 86분의 내화성능을 나타내었다.

하중비가 0.5인 M2의 경우는 40분이 지나면서 변형이 급격히 증가하여, 46분에 변형률 기준인 5.4mm/min을 초과하고, 49분에 변형량 기준인 122.5mm를 초과해 48분의 내화성능을 나타내었다.

Figure 4에는 실험체 중앙부에서의 변위를 시험시간에 대하여 나타내었고, Figure 5에는 변형률을 나타내었다.

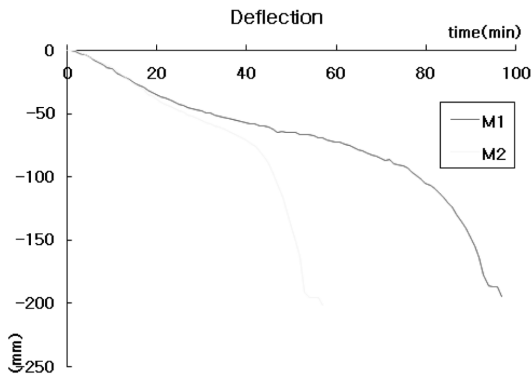


Figure 4. Deflection on the specimens.

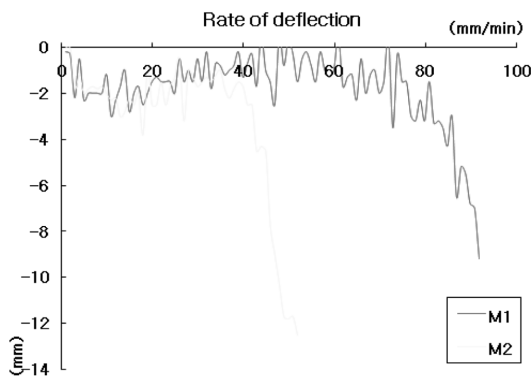


Figure 5. Rate of deflection on the specimens.

**3. 온도해석**

본 절에서는 실험된 ASB의 화재시 보유내력을 구하기 위해 M1, M2의 내화시간인 86분, 48분에 대하여 온도해석을 수행하였다. 열전달 해석은 유한요소 해석 프로그램 ANSYS 10.0을 사용하였다.

**3.1 온도해석 모델**

화재실험조건은 합성보 단면의 길이방향에 걸쳐 동일하게 작용한다고 가정하고, 2차원 해석을 수행하였다. 온도해석에는 전도, 대류, 복사의 세 가지 경계조건을 주었으며, 사용된 열방정식은 매트릭스 형태로 다음과 같이 표현된다.

$$[C][\dot{T}] + [K^{m,d,c}][T] = [Q^{f,c,g}]$$

[C]: 비열 매트릭스

$[K^{m,d,c}]$ : 발열, 복사, 전도에 의한 매트릭스

$[Q^{f,c,g}]$ : 유동, 대류, 내부발열에 대한 절점의 열이동 매트릭스

$[\dot{T}]$ : [T]에 대한 미분계수

[T]: 시간

온도해석에는 PLANE55, SURF151 요소를 사용하였다. PLANE55 요소는 각 절점당 1개의 자유도와 온도를 가지는 4절점 2D 요소이고, SURF151 요소는 다양한 하중과 표면 효과 적용에 사용되며, 본 논문에서는 주위공기에서 ASB 단면으로 온도 복사효과를 고려하기 위하여 PLANE55 요소의 표면에 입혀졌다.

ASB 단면은 PLANE55 요소로 격자형 메쉬(mesh)로 되었으며, 대류조건과 복사조건이 가열면에 적용되었다. 주위온도는 외부절점(Extra node)을 두어 시간-온도 표준화재곡선 조건을 입력하였다.

**3.2 해석용 입력 데이터의 열특성**

강재 및 콘크리트의 열특성(열전도율, 비열, 열팽창율)은 고온 열특성 측정장비를 사용하여 측정하여 해석에 사용할 수 있다. 그러나 각 재료의 비열은 특정

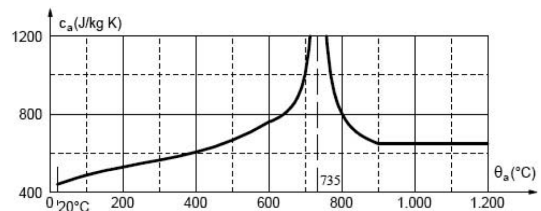


Figure 6. Specific heat of steel (BS 5950-8).

온도에서 특이점을 가지는데, 실제 측정시에는 이러한 특이점을 반영하기가 쉽지 않다.

따라서, 본 논문에서는 해석시 강재 및 콘크리트의 온도에 따른 열특성을 BS 5950-8:2003에서 제시하는 값을 사용하였다.

3.2.1 강재의 열전도율 및 비열

BS 5950-8:2003에서는 강재의 열전도율 및 비열에 대해서 아래와 같이 온도에 따른 함수로 제시하고 있다.

$$\lambda_s = 51 - 3.33 \times 10^{-2} \theta_a \quad (20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 800^\circ\text{C})$$

$$\lambda_s = 27.3 \quad (800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C})$$

$$c_s = 425 + 7.73 \times 10^{-1} \theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \quad (20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C})$$

$$c_s = 721 + \left( \frac{5371}{738 - \theta_a} \right) \quad (600^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 735^\circ\text{C})$$

$$c_s = 605 + \left( \frac{7624}{\theta_a - 731} \right) \quad (735^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 900^\circ\text{C})$$

$$c_s = 650 \quad (900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C})$$

여기서,  $\lambda_s$ : 강재 열전도율(W/mK)

$c_s$ : 강재 비열(J/kgK)

$\theta_a$ : 강재 온도( $^\circ\text{C}$ )

3.2.2 콘크리트의 열전도율 및 비열

BS 5950-8:2003에서 콘크리트의 열전도율 및 비열은 다음과 같으며, 본 연구에는 이를 해석용 입력 데이터로 사용하였다.

$$\lambda_c = 2 - 0.24(\theta_c/120) + 0.012(\theta_c/120)^2 \quad (20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C})$$

$$c_c = 900 + 80(\theta_c/120) - 4(\theta_c/120)^2 \quad (20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C})$$

여기서,  $\lambda_c$ : 콘크리트 열전도율(W/mK)

$c_c$ : 콘크리트 비열(J/kgK)

$\theta_c$ : 콘크리트 온도( $^\circ\text{C}$ )

3.3 시간-온도 표준화재곡선

온도해석에 사용된 화재곡선은 실험조건과 동일한 KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법)에서 제시

하는 표준화재곡선이다. 온도해석 모델의 가열면 주위 온도에 적용하였다.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0$$

여기서, t: 시간(분)

$T_0$ : 초기온도

3.4 온도해석 결과

Table 2에 온도해석 결과를 실험값과 비교하여 나타내었다.

온도해석 결과, 대부분이 실험결과와 부합하는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 다른 측정 지점에 비하여 웨브에서 온도차가 큰 것은 시험시 중앙부에서 콘크리트 균열과 같은 불확실한 조건에 의한 것으로 판단된다.

Table 2. Result of Temperature Analysis

		M1 (86min)		M2 (48min)	
		Test	Analysis	Test	Analysis
Top Flange	No. 1	195	192	83	93
	No. 2	169	161	71	71
	No. 3	124	148	80	61
Web	No. 5	190	181	92	72
	No. 6	226	277	102	119
	No. 7	373	501	277	268
	No. 8	564	633	402	387
	No. 9	703	733	566	492
Bottom Flange	No. 10	936	940	770	766
	No. 11	877	873	632	657
	No. 12	817	782	-	546

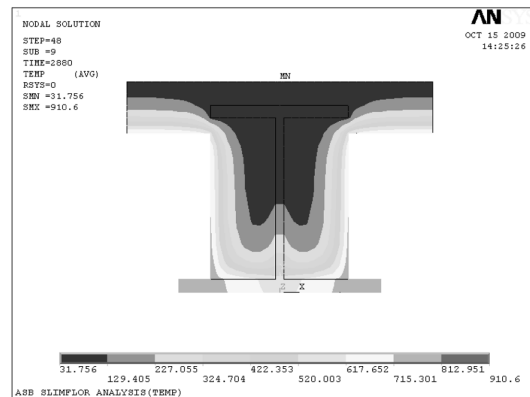


Figure 7. Nodal solution contour (M1).

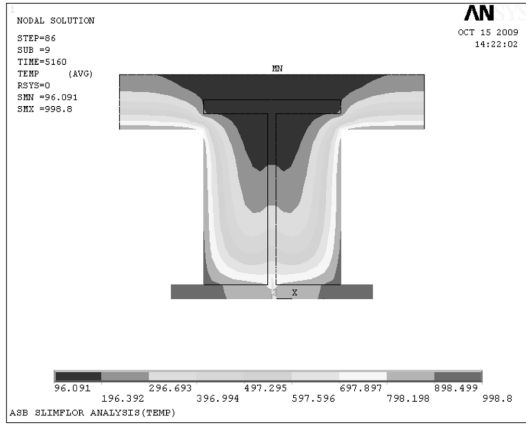


Figure 8. Nodal solution contour (M2).

실험체 M1과 M2의 내화시간 86분 및 48분에 대하여 온도해석 결과를 컨투어(Contour)로 나타내었다.

#### 4. 모멘트내력(Moment capacity)산정

3절에서 해석된 각 요소들의 온도결과를 바탕으로 ASB 내화성능 시간시 내력을 평가하였다. 내력은 BS 5950-8(Structural use of steelwork in building - Code of practice for fire resistant design)의 모멘트내력법(Moment capacity method)를 사용하여 평가하였다. 이전의 연구<sup>2)</sup>에서 ASB는 스테드 없이도 콘크리트와 의 전단부착력이 완전합성조건을 만족시키고, 소성단면력을 충분히 발휘하는 것을 확인하였다. 화재시 모멘트내력(Moment capacity)의 계산은 다음과 같다.

$$M_u = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_r p_y$$

여기서  $A_i$ : 단면요소면적

$z_i$ : 소성중립축에서 요소면적 중심까지의 거리

$k_r$ :  $\theta_f$ 에서의 강도저감계수(변형율 2.0%)

$p_y$ : 설계강도

강도저감계수(Strength retention factor)는 Table 3과 같다.

소성중립축은 소성상태에 도달한 단면에서 소성중립축을 기준으로 각 요소의 면적과 온도에 따른 강도저감계수(Strength retention factor)를 곱한 인장력과 압축력을 계산하여 구할 수 있다. 콘크리트는 소성상태에서 인장을 받지 못하는 것으로 가정하여, 중립축 하부의 콘크리트의 인장력은 계산하지 않는다.

Table 3. Strength Retention Factor (2.0%)

Temp. (°C)	S.R.F.	Temp. (°C)	S.R.F.
100	1	550	0.627
150	1	600	0.474
200	1	650	0.337
250	1	700	0.232
300	1	750	0.158
350	1	800	0.115
400	0.971	850	0.079
450	0.934	900	0.062
500	0.776		

Table 4. Moment Capacity for M1 at 86min

	Axial Capacity (kN)	Moment Capacity (kNm)①	①/Total Moment (%)
Concrete Slab	543.0	17.1	8.0
Top Flange	1536.8	6.7	3.1
Web	991.2	143.4	66.8
Bottom Flange	161.6	47.5	22.1
Total	-	214.6	100
Moment Capacity Ratio	$\frac{214.6}{792.0} = 0.27$		

Table 5. Moment Capacity for M2 at 48min

	Axial Capacity (kN)	Moment Capacity (kNm)②	②/Total Moment (%)
Concrete Slab	625.6	20.9	5.6
Top Flange	1536.8	12.5	3.3
Web	1126.3	158.7	42.3
Bottom Flange	633.1	183.5	48.8
Total	-	375.6	100
Moment Capacity Ratio	$\frac{375.6}{792.0} = 0.47$		

$$\sum_{i=1}^n A_i k_r p_y = 0$$

위의 방법을 사용하여 구한 모멘트내력(Moment capacity)은 Table 4 및 Table 5와 같다. 내화성능 시간까지의 잔존 모멘트내력(Moment capacity)은 M1이 214.6kNm, M2가 375.6kNm 이고, 상온에서의 능력비

율은 M1이 0.27, M2가 0.47 이었다. 부위별 모멘트내력(Moment capacity)을 확인해보면 내화성능에 도달할 때에는 모멘트 재분배가 일어나 웨브의 모멘트 지지비율이 상승하는 것으로 나타났다.

### 5. 방화석고보드를 사용한 3시간 내화구조 성능검토

ASB의 3시간 내화성능을 확보하기 위하여 방화석고보드로 하부 플랜지 부분을 피복하여 3절에서 수행한 온도해석 조건과 동일하게 해석을 수행하여 검토하였다. 방화석고보드는 PLANE55 요소를 사용하였고, 방화석고보드 표면에 SURF151 요소를 씌워 복사조건을 설정하였다. 방화석고보드의 두께는 15t를 사용하였고, 1절을 피복하여 해석하고, 3시간 내화성능에 도달하지 못할 경우 1겹씩 늘리는 것으로 하였다.

4절에서 구한 모멘트내력(Moment capacity)보다 방화석고보드로 피복한 모델의 내력이 작아지는 시점에 내화성능을 잃는 것으로 가정하여 내화성능을 검토하였다.

#### 5.1 방화석고보드 재료 특성

온도해석을 위한 방화석고보드의 온도에 따른 열전도율 및 비열은 한국건설기술연구원서 연구 수행한 자료를 사용하였다. 밀도는 856kg/m<sup>3</sup>이다.

#### 5.2 3시간 내화구조 검토

온도해석을 수행하여 그 결과를 모멘트내력법(Moment capacity method)에 적용하여 내력을 산정하였다. 방화석고보드는 하중을 지지하지 못한다. 표준화재조건으로 3시간 가열 해석한 결과, M1'의 경우 방화석고보드 1겹 피복하였을 때, 모멘트내력(Moment capacity)이 239.8kNm로 214.6kNm을 넘지 않아 3시간 내화성능을

Table 6. Material Property

Temp. (°C)	Conductivity (W/mK)	Specific Heat (J/kgK)
100	0.19633	705.2
200	0.20200	742.7
300	0.20933	922.4
400	0.21567	919.0
500	0.19533	1041.9
600	0.25233	1079.4
700	0.25167	1182.3
800	0.26900	1244.3

Table 7. Moment Capacity for M1' at 3hour

	Axial Capacity (kN)	Moment Capacity (kNm)①	①/Total Moment (%)
Concrete Slab	357.5	12.6	5.2
Top Flange	1386.9	8.6	3.6
Web	775.4	110.7	46.2
Bottom Flange	369.9	107.9	45.0
Total	-	239.8	100
Moment Capacity Ratio	$\frac{239.8}{792.0} = 0.30$		

Table 8. Moment Capacity for M2' at 3hour

	Axial Capacity (kN)	Moment Capacity (kNm)①	①/Total Moment (%)
Concrete Slab	759.8	103.0	15.3
Top Flange	1463.9	236.4	35.2
Web	1143.7	14.3	2.1
Bottom Flange	2327.2	317.7	47.4
Total	-	671.4	100
Moment Capacity Ratio	$\frac{671.4}{792.0} = 0.85$		

만족하는 것으로 나타났다. 반면 M2'는 1겹일 경우 3시간 내화성능을 만족하지 못하여 2겹을 사용하여 해석하였으며, 검토결과 모멘트내력(Moment capacity)이 671.4kNm로 375.6kNm을 넘지 않아 3시간 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다.

부위별 모멘트내력(Moment capacity) 결과를 분석해

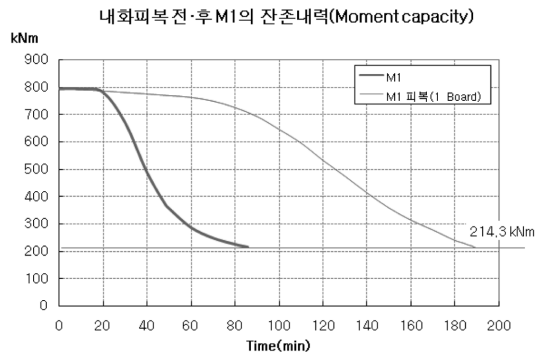


Figure 9. Moment capacity for M1 and M1'.

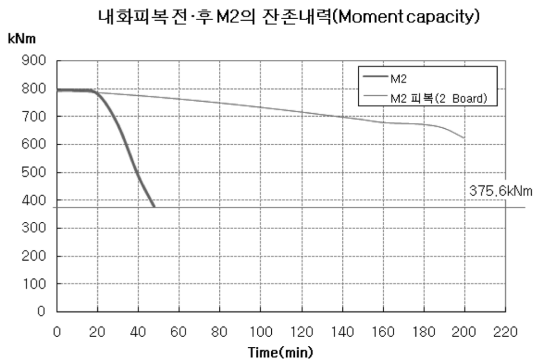


Figure 10. Moment capacity for M2 and M2'.

보면, 내화피복이 있는 경우 전체에 대한 하부플랜지의 모멘트내력(Moment capacity) 비율이 45.0%, 47.4%로 내화피복이 온도에 따른 강도저감을 줄이고 있음을 확인할 수 있다.

Figure 9 및 Figure 10에는 전체 시간에 대한 잔존내력을 나타내었다. 실험체 M1은 20분경부터 급격한 내력저하를 나타내었지만, 보드 1겹을 내화피복 하였을 때, 70분경까지 구조의 성능저하를 지연시키는 것을 확인할 수 있었다.

실험체 M2 또한 20분경 급격한 내력저하가 일어났으며, 보드 2겹을 내화피복 하였을 때, 180분까지 완만하게 구조의 성능저하를 지연하는 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 ASB에 대하여 표준화재조건으로 실험 및 열전달해석을 수행하여 화재시 내력을 산정하고 그에 따라 방화석고보드를 사용한 3시간 내화구조를 선정하여 검토하였다.

1. ASB에 대하여 KS F 2257-6에 따라 표준화재실험을 수행한 결과, 실험체 M1(하중비 0.4) 및 M2(하중비 0.5)의 내화성능은 86분 및 48분을 나타내었다.

2. 실험된 ASB에 대하여 수치해석 프로그램으로 열전달해석을 수행하고 그 결과를 사용하여 모멘트내력(Moment capacity)을 산정한 결과, 내화성능 시간까지의 잔존 모멘트내력(Moment capacity)은 실험체 M1이 214.6kNm, 시험체 M2가 375.6kNm을 나타내었다.

3. 하부 플랜지를 방화석고보드로 피복하여 열전달 해석 및 모멘트내력(Moment capacity) 검토를 수행한

결과, 실험체 M1'는 방화석고보드 15t 1겹, M2는 2겹을 사용하였을 경우 3시간 내화구조를 만족하는 것으로 나타났다.

4. 잔존내력을 확인한 결과, 실험체 M1에 보드 1겹을 내화피복 하였을 때, 70분경까지 구조의 성능저하를 지연시키고, 실험체 M2에 보드 2겹을 내화피복 하였을 때, 180분까지 완만하게 구조의 성능저하를 지연하는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 2006년도 건설핵심기술연구개발사업으로 수행중인 “비대칭H형강 합성플로어 성능기반 내화거동 고도화연구” 과제의 연구결과 중 일부임.

## 참고문헌

1. 광명근, 이상섭, 허병욱, 배규용, “비대칭 H형 철골보를 사용한 매입형 합성보의 실험적 연구”, 한국강구조학회 학술대회논문집, pp.241-246(2005).
2. 한상훈, 최승관, 김희주, “비대칭 H형강을 사용한 슬림플로어 보의 내화성능에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집, Vol.19, No.4, pp.357-366(2007).
3. 박원섭, 최승관, 한상훈, 이철호, 김정현, “비대칭 슬림플로어 합성보의 내화성능에 관한 실험적 연구”, 한국강구조학회 학술대회논문집, pp.469-472(2008).
4. 민정기, 강석원, 김명한, 김상대, “iTECH보의 내화성능에 대한 해석평가”, 대한건축학회 논문집, Vol.21, No.7, pp.37-45(2005).
5. KS F 2257-6: 2006, “건축부재의 내화 시험 방법 - 보의 성능 조건”.
6. 건축법시행령 제56조.
7. 건축물의 피난방화구조등의 기준에 관한 규칙 제3조.
8. G.M. Newman, “Fire Resistance of Slim Floor Beams”, Journal of Constructional Steel Research, Vol.33, pp.87-100(1995).
9. C.G. Bailey, “The Behavior of Asymmetric Slim Floor Steel Beams in Fire”, Journal of Constructional Steel Research, Vol.50, pp.235-257(1998).
10. V.K.R. Kodur and M.M.S. Dwaikat, “Response of Steel Beam-column Exposed to Fire”, Engineering Structures, Vol.31, pp.369-379(2009).
11. BS 5950-8:2003, “Structural Use of Steelwork in Building. Code of Practice for Fire Resistant Design”.