

## 표준화재 조건 모듈러보 내화성능 예측기법에 관한 연구

김형준 · 김흥열\* · 김경옥

(주)종합건축사사무소 광일건축, 한국건설기술연구원\*

### A Study on Prediction Techniques about Fire Resistance of Modular Beam in ISO Fire

Kim, Hyung Jun · Kim, Heung Youl\*

Kwang Il Architecture Co. Ltd, \* Korea Institute Construction Technology

#### 요 약

The modular beam made of steel material is wholly responsible for the load stress of the structure, therefore securing the fire-resistant capacity of the steel beam is absolutely important. The economic efficiency achieved by minimizing the thickness of the fire-resistant board attached, is also essential at the same time. Accordingly, a study of optimization of the thickness and interval of fire-resistant boards shall be conducted side by side. Therefore, in this study we have anticipated fire-resistant capacity by using a general-purpose S/W for finite elements, ABAQUS (6.7.1), in order to propose the configurable conditions that can secure the optimal fire-resisting capacity of modular beam. As a result of this analysis, it was impossible to secure the fire-resistance capacity when directly attaching fire-resistant board(30mm) on the modular board in accordance with KS F 2257-1, and the fire-resistant boards were manufactured in shape of module in consideration of its installation interval rather than direct application.

#### 1. 서 론

모듈러 보의 경우엔 구조체의 하중응력을 강재부분이 전담하기 때문에, 내화성능을 확보하기 위하여 내화보드의 형상 및 두께를 조정하여 반복적인 강도저하 및 응력변화에 대한 수치해석적 검토가 면밀히 수행되어야 한다. 이를 위해 상대

적으로 고 비용이 소요되는 내화성능실험을 수행하기 전에 최적화 내화보드 두께 및 형상을 도출하기 위한 모듈러보 전열해석기법을 도출하고, 구성재료의 온도에 따른 재료물성 선행실험을 토대로 해석입력데이터로 활용하여 유한요소해석법을 적용한 ABAQUS 6.7.1로 해석을 수행하였다.

## 2. 해석수행 범위

### 2.1 모델계획 및 해석변수

모듈러 보의 모델형상은 <표 1>과 같이 실험체 형상과 동일하게 계획하였으며, 내화보드의 부착과 간격효과를 도출하기 위하여 <표 2>과 같이 해석변수를 선정하였다. MODEL-I & II의 내화보드와 강재는 완전부착으로 가정하여 일체형으로 온도가 전도되는 것으로 모델링 하였으며, MODEL-III의 경우엔 내화보드와 강재를 분리하여 대류에 의한 열전달이 발생되게 해석하였다.

<표 1> 표준화재조건 구조요소 전열해석 모델형상

실험체	길이(m)	강재B*D*t(mm)	사용재료	재료강성	내화보드(두께)
보	5	240*200*4.5	강재, 내화보드	SS 400	30mm

<표 2> 해석모델에 따른 변수산정

모델	변수	전열해석(120분)	2차화염조건	열전달 형식
MODEL-I	간격 무	○	×	전도
MODEL-II	간격무	○	○	전도 & 복사
MODEL-III	간격 유	○	○	복사

### 2.2 선행재료실험

본 해석모델에 사용된 강재의 고온영역 재료물성 데이터는 기존의 가장 보편적으로 사용되는 SS-400의 물성으로 대체하여 사용하였으며, <표 3>의 강재의 온도에 따른 열 특성은 한국건설기술연구원에서 실제로 수행한 고온영역 재료실험 결과 값이다.

<표 3> 강재 열특성(SS400)

온도(℃)	열확산계수( $cm^2/s$ )	비열(kcal/kg℃)	열전도율( $W/m \cdot K$ )	밀도(kg/m <sup>3</sup> )
20	0.1341	0.1057	39.1842	7720
205	0.1105	0.1200	36.6652	
306	0.0969	0.1301	34.8532	
514	0.718	0.1639	32.5132	
718	0.422	0.3586	41.8450	

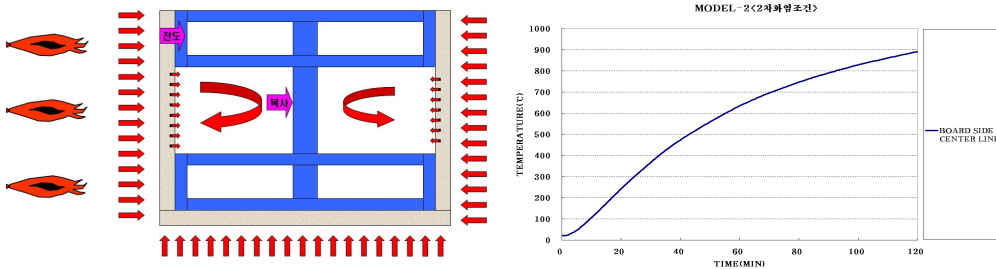
내화보드의 고온영역 재료물성 데이터는 선행 재료실험을 통해 <표 4>와 같이 도출되었으며, 온도에 따른 재료물성을 본 전열해석 수행모델에 적용하였다.

<표 4> 내화보드 열특성

온도(℃)	비열(J/kg℃)	열전도율( W/m · K)	밀도(kg/m <sup>3</sup> )
100	1130	0.19633	856
300		0.20933	
500		0.19533	
700		0.25167	

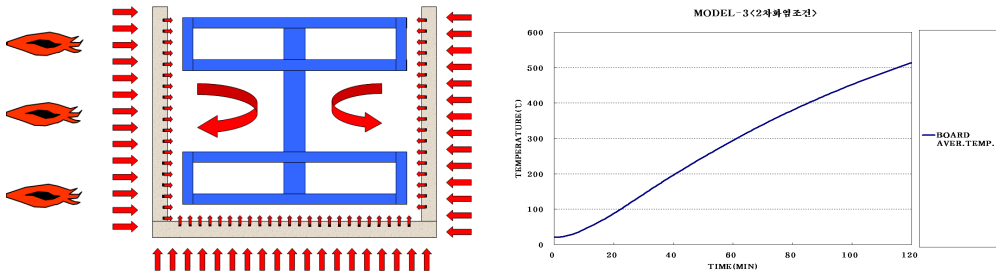
2.3 화재조건

모듈러 보의 화재조건은 표준화재조건(ISO Standard Fire)을 준용하였으며, 내화보드와 직접적으로 부착되지 않는 모듈러 보의 웹부분과 간격조정을 한 모델의 경우엔 2차 화재노출조건을 고려하였다. 본 해석단계에서는 내화보드의 선행 재료물성 실험데이터를 토대로 내화보드에 대한 전열해석을 수행하였으며, 그 결과를 기반으로 가장 높은 온도조건인 화염이 강제표면에 전달되는 것으로 가정하였다. 이에 Model-I의 경우엔 2차 화염조건을 적용하지 않고 내화보드 부착면에서만 열전도가 발생한 것으로 해석을 수행하였으며, Model-II의 경우엔 내화보드와 강제 접촉면은 전도에 의한 열전달로 해석하였고, 비 접촉면은 복사에 의한 열전달로 화재조건을 적용하였다.



<그림 1> 2차 화재노출조건(MODEL-II)

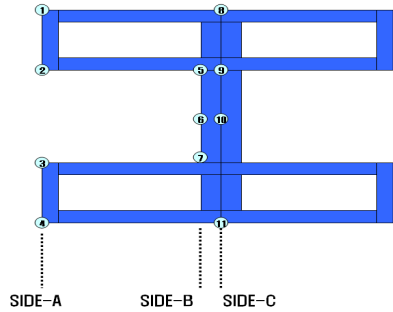
MODEL-II와 달리 MODEL-III에서는 내화보드와 강재가 완전히 분리되었으며, 2차 화재조건이 강재의 전단면에 영향을 주는 것으로 가정하여 복사에 의한 열전달 해석을 수행하였다.



<그림 2> 2차 화재노출조건(MODEL-III)

### 3. 전열해석 결과

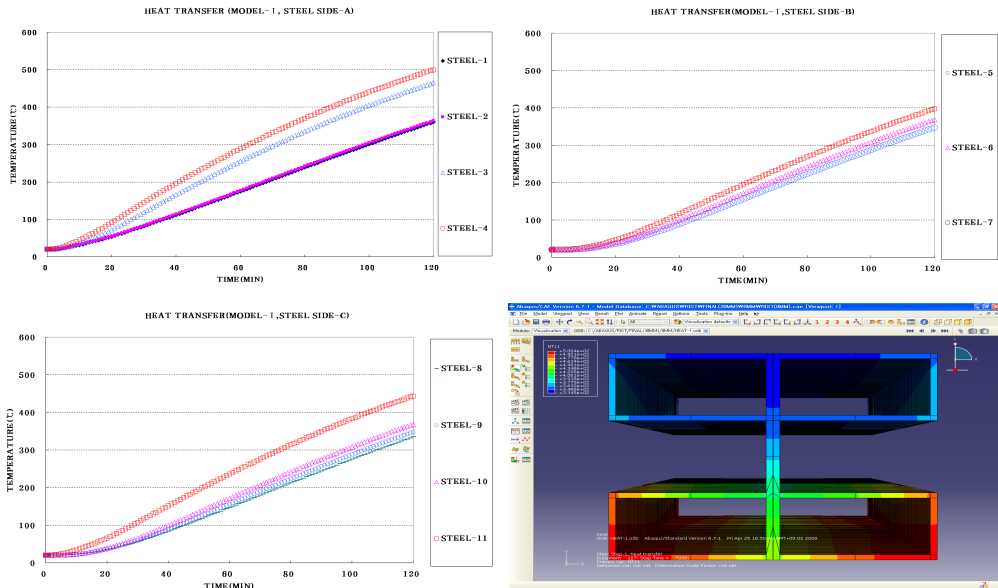
본 전열해석은 총 3개의 MODEL을 해석하였으며, 각 해석 모델별로 3개의 단면에 대한 전열특성과 내화성능 평가를 수행하였다. 내화성능 평가기준은 KS F 2257을 적용하였으며, 각 모델별로 전열해석 수행을 위한 강제 온도 특성 해석지점과 분석단면은 <그림 3>과 같이 선정하였다.



<그림 3> 온도해석 지점 및 분석단면

#### 3.1 Model- I

3면 화재노출조건인 Model- I의 경우 측면과 하부면에서 동시에 화재조건이 동시에 적용되므로, 단면의 하부이면서 측면에 가까운 부위에서 가장 높은 온도 변화를 나타내었다. 전도에 의한 열전달 특성만을 고려하여 해석을 수행하였으며, 그 결과 가장 높은 온도부위는 단면-A의 STEEL-4로 2시간기준으로 최고 499℃로 <그림 4>와 같이 해석되었다.

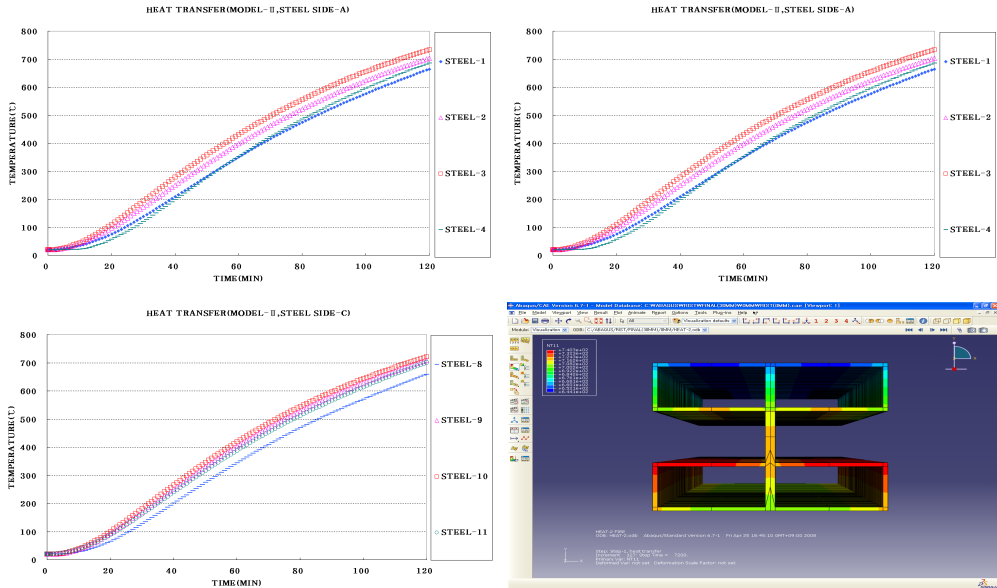


<그림 4> 해석단면에 다른 전열해석(Model- I)

#### 3.2 Model- II

3면 화재노출 조건이면서 동시에 강제 웹부분의 공간에서의 복사 에 의한 열전달

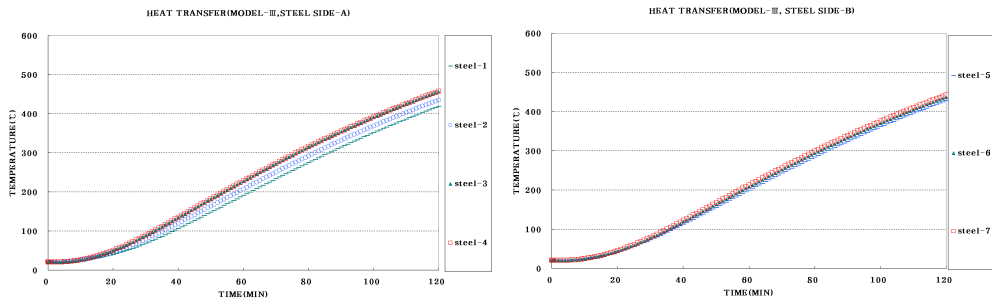
을 고려하였기 때문에, 단면의 중앙부이면서 측면에 가장 가까운 부위에서 가장 높은 온도변화를 나타내었다. MODEL-II의 경우엔 전도와 복사에 의한 열전달 특성을 동시에 고려하였으며, 그 결과 가장 높은 온도부위는 단면-A의 STEEL-3으로 2시간 기준 최고 733℃로 <그림 5>와 같이 해석되었다.

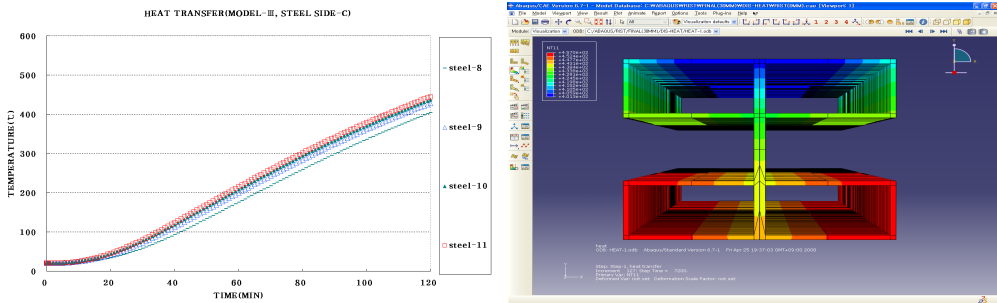


<그림 5> 해석단면에 다른 전열해석(Model-II)

### 3.3 Model-III

내화보드를 통과하여 본 해석모델의 전단면에 3면 노출조건으로 복사 열전달 되는 특성으로 해석하였으며, MODEL-I과 유사하게 단면의 하부이면서 측면에 가장 가까운 부위에서 가장 높은 온도변화를 나타내었다. MODEL-III의 경우엔 복사에 의한 열전달 특성만을 고려하였으며, 그 결과 가장 높은 온도부위는 단면-A의 STEEL-4로 2시간 기준 약 457℃로 <그림 6>과 같이 해석되었다.





<그림 6> 해석단면에 다른 전열해석(Model-III)

#### 4. 소결

내화성능 분석결과는 <표 5>와 같으며, MODEL- I &Ⅲ은 2시간 가열조건으로 KS기준에 부합하나 MODEL-Ⅱ는 2차화염조건으로 인해 82분의 내화성능을 보이는 것으로 해석되었다.

<표 5> 해석모델별 내화성능 검토결과

해석모델명	열전달	평균 허용기준		최대온도 허용기준		기준부합 내화성능(분)		
		기준	평균온도	내화성능(분)	기준		최대온도	내화성능(분)
MODEL- I	전도	538	391	120	649	499	120	120
MODEL-Ⅱ	전도 & 복사		534	82		647	98	82
MODEL-Ⅲ	복사		435	120		457	120	120

#### 감사의 글

이 논문은 국가 R&D로 수행되고 있는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “구조물 성능기반 화재거동해석 및 설계기술연구(2008)”과제와 관련하여 지식경제부의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Bailey, C.G., Simulation of the Structural Behaviour of Steel-Framed Buildings in Fire, PhD Thesis, University of Sheffield, 1995.
2. British Standards Institution, "BS 7974 Application of fire safety engineering principles to the design of building-Code of practice", 2001.
3. CEN, "Eurocode 3. Design of Steel Structure Part 1.2: General Rules Structural fire design", pp 15-21, 1995.
4. Huang, Z., Burgess, I.W. and Plank, R.J., Three-dimensional analysis of composite steel-framed buildings in fire, ASCE Journal of Structural Engineering, 126(3), pp 389-397, 2000.