

슬림 AU 합성보 내화성능 평가

Fire Resistance Evaluation of SLIM AU Composite Beam

오 명 호*
Oh, Myoung-Ho

김 명 한**
Kim, Myeong-Han

Abstract

SLIM AU(A plus U-shaped) composite beam was developed for reducing the story height in the residential buildings, and saving the construction cost of floor structures. Structural performance and economic feasibility of the composite beam have been sufficiently approved through the structural experiments and the analytical studies. However, the verification for fire safety is necessary for the practical application of the composite beam. The fire resistance tests with and without loading were performed for the fire safety verification, and the test results were summarized in this paper.

Keywords : Composite beam, Floor construction, Structural performance, Fire resistance

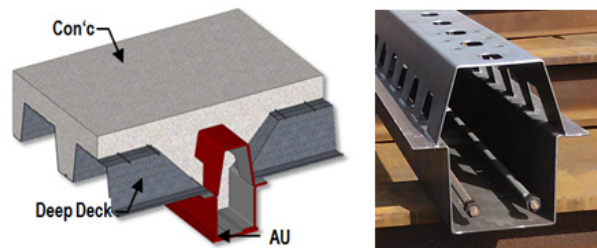
1. 서론

고층 구조물에서 층고는 건물 전체의 경제성을 결정짓는 매우 중요한 요소이며, 기존의 층고를 효율적으로 절감하려는 공법이 경쟁적으로 개발되고 있다. 고층건물에서 층고절감 효과는 슬래브와 합성보로 구성되는 바닥시스템에서 콘크리트와 강재의 합성작용을 이용하여 보의 춤을 최소화하고, 콘크리트 타설과 바닥 철근배근 작업을 효율화하는 방향으로 구현되고 있다. 이러한 연구개발 방향에 의거하여 층고를 혁신적으로 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 바닥 공사비의 절감이 가능한 SLIM AU 합성보(SLIM A plus U-shaped Composite Beam) 바닥시스템이 개발되었다 (Kim et. al. 2015; Kim et. al. 2016).

SLIM AU 합성보 바닥시스템은 <Fig. 1>에서와

같이 같이 깊이 깊은 Deep deck plate, A형 강재캡 및 U형 강판으로 구성된다. U형 강판은 합성보 횡인장 강도의 핵심 요소가 되며, 시공과정에서 Deep deck plate의 거치대 역할을 수행한다. A형 강재캡은 콘크리트와 강재 사이의 합성작용이 가능하게 하는 합성연결재이며, 동시에 횡압축 강도에 기여한다.

SLIM AU 합성보는 수차례의 구조실험과 해석연구를 통하여 구조적인 성능과 경제성은 충분히 입증되었다. 그러나 화재에 취약한 강재가 중요한 내력요소를 구성하고 있으므로, 실무적인 적용과 보급을 위해서는 화재에 대한 안전성과 내화성능의 검증이 필수적이다. 이 연구에서는 SLIM AU 합성보의 내화성능 검증을 위해서 수행된 내화시험 결과와 내화성능을 분석한다.



<Fig. 1> SLIM AU composite beam

* 정희원, 국립목포대학교 건축공학과 부교수
Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University

** 교신저자, 국립목포대학교 건축공학과 부교수
Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University

Tel: 061-450-2456 Fax: 061-450-6454
E-mail: mhk314@mokpo.ac.kr

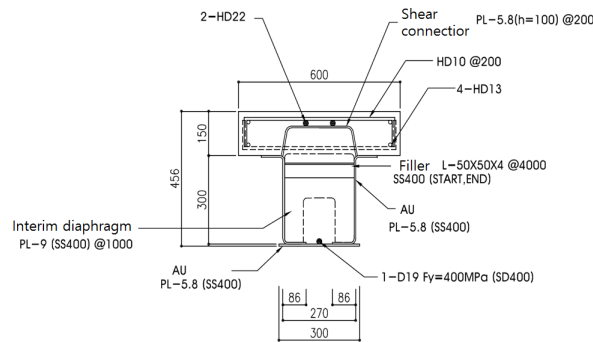
2. 내화시험 계획

2.1 내화시험 및 내화성능평가 개요

International Standard Organization의 관련규정(ISO 1999)과 한국표준협회의 관련규정(KSA 2014)을 바탕으로 SLIM AU 합성보에 대한 내화시험과 내화성능 평가를 수행한다. 내화시험에서는 SLIM AU 합성보의 표준단면(AU-450×300)에 대해서 화재 가열시험 1회와 재하 가열시험 1회가 수행한다. 각 시험에서 내화피복 두께를 다르게 적용한 시험체들의 강재부분 온도를 평가하여 피복두께에 따른 내화성능을 분석하고, 피복두께가 작은 시험체에 대해서는 재하 가열시험을 수행하여 하중지지력에 근거한 내화성능을 평가한다.

2.2 시험체 제작 계획

동일한 단면(AU-450×300)을 가진 2개의 시험체를 길이(LSPEC) 4,700mm로 제작하였다. 외부로 노출되는 강재부분에는 내화피복재(하이코트 ET-III, 성현케미칼)를 시공하였다. 세부적인 단면구성은 <Fig. 2>와 <Table 1>에 나타내었으며, 시험체의 전체적인 개요는 <Table 2>와 같다.



<Fig. 2> Section of test specimens

2.3 가열 및 가력 계획

시험체의 가열은 ISO 834-1 및 KS F 2257-1에서 제시하는 가열곡선을 따르도록 조절하였으며, 전체 가열시간은 내화구조 인증을 위한 가장 엄격한 내화성능인 180분으로 계획하였다.

<Table 1> Section composition of specimen

Element	Material & Specification
AU plate	Web: Thk. 5.8mm, Height 300mm, SS400 Bottom: Thk. 5.8mm, Width 300mm, SS400
Concrete	Compressive strength 24MPa
Shear connector	Thk. 5.8mm, Width 80mm, Height 100mm, Spacing 200mm, SS400
Top bar	D22, Yield strength 400MPa
Bottom bar	D19, Yield strength 400MPa
Slab bar	D10@200, Yield strength 400MPa
Interim diaphragm	PL-300×258×9, Spacing 1000mm
Filler angle	L-50×50×4, Spacing 4000mm

<Table 2> List of test specimens

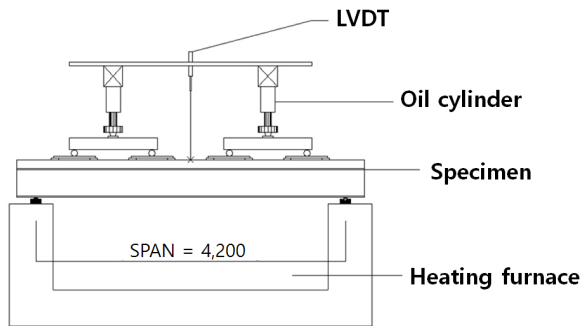
Symbol	Section size	Covering depth	Testing method
AU-450-20	450×300	20	Unloading
AU-450-15	450×300	15	Loading

재하 가열시험에서 가력방법은 유압 실린더를 이용하여 4지점 집중하중을 적용하였으며<Fig. 3>, 재하지점은 시험체 스패(4,200mm)의 1/8, 3/8, 5/8 및 7/8에 위치하도록 하였다<Fig. 4>. 단부조건은 단순지지이며, 양단부에 지지판과 롤러를 설치하여 힌지로 거동하도록 하였다.

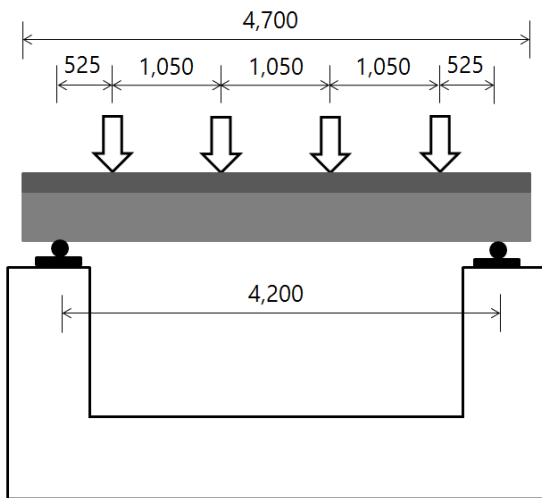
재하하중의 크기는 KS F 2257-1의 규정에 의거하여 건축구조기준(MOLIT 2016)에 따른 사용하중을 근거로 산정하였다. 재하하중의 크기(4지점 집중하중의 합)는 430kN이며, 산정과정은 다음과 같다.

1) 계수하중(Factored load)이 작용할 경우에는 설계 휨모멘트강도(ϕM_n)의 100%에 해당하는 부재

력이 발생하고, 사용하중(Service load)이 작용하는 경우에는 설계 휨모멘트강도의 75%에 해당하는 부재력이 발생하는 것으로 가정한다. 2) SLIM AU 합성보의 표준단면을 가진 시험체의 공칭 휨모멘트강도는 328kN·m이다. 3) 강도감소계수는 0.9이고, 설계 휨모멘트강도는 295kN·m이다. 4) 사용하중이 작용하는 경우에 설계 휨모멘트강도의 75%인 221kN·m의 휨모멘트가 발생한다. 5) 휨모멘트 221kN·m를 유발하는 4지점 집중하중의 합은 421kN이며, 내화실험에 적용하는 재하하중의 크기는 430kN으로 한다.



<Fig. 3> Loading method

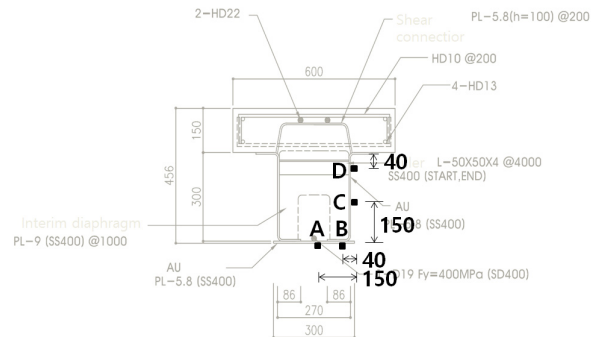


<Fig. 4> Location of loading spot

2.4 온도 및 변형 측정 계획

시험체 강재부분의 온도측정을 위한 내부 열전대 설치위치(A, B, C 및 D)는 <Fig. 5>와 같다. 열전대 설치단면은 부재의 길이방향으로 스펠 중앙 단면(2

단면), 스펠 중앙과 가열로 끝부분으로부터 500mm 지점간의 중간단면(1단면, 3단면)이다. 변형 측정은 가장 많은 변형이 발생하는 스펠 중앙단면에 LVDT를 설치하여<Fig. 3> 1분 간격으로 수행하였다. 이 측정자료로부터 변형(mm) 및 변형율(mm/min)을 계산한다.



<Fig. 5> Location of thermocouples

3. 내화시험 결과

3.1 비재하 가열시험

시험체 AU-450-20에 대해서는 비재하 가열시험이 수행되었다. <Fig. 6>에는 각 단면의 평균온도-가열시간의 이력곡선을 나타내었고, <Fig. 7>에는 전체 12개의 열전대에서 측정되는 온도 중에서 최고온도-가열시간의 이력곡선을 나타내었다.

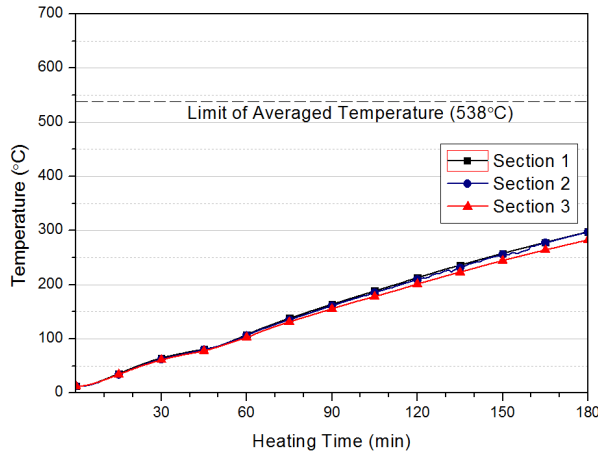
시험체 AU-450-20의 비재하 가열시험에서 각 단면 평균온도의 최대값은 297.7°C, 297.2°C 및 282.8°C를 나타내었으며, 12개의 모든 측정위치에서 최고온도는 361.2°C를 나타내었다.

가열시험이 끝난 직후의 시험체 관찰결과를 다음과 같다. 슬래브 상판에 잉여수의 누출과 미세한 표면균열이 관찰되었으나, 부재의 구조적인 성능저하를 야기할 수 있는 손상은 발견되지 않았다. 강재 피복면에서 미세한 표면균열이 부분적으로 관찰되었으나, 피복재의 열차단 성능은 가열시간 동안에 적절히 유지된 것으로 판단된다.

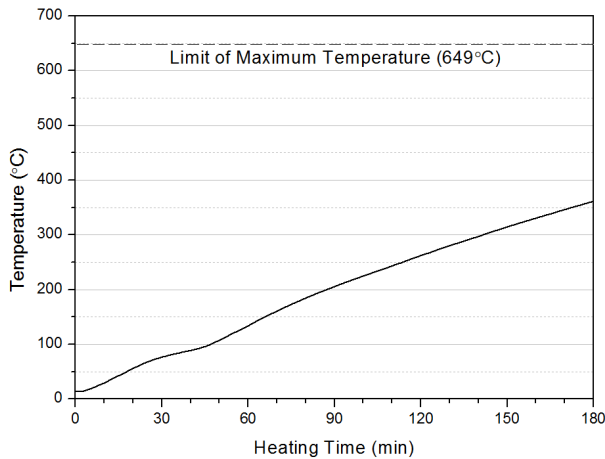
3.2 재하 가열시험

시험체 AU-450-15에 대해서는 재하 가열시험이

수행되었다. <Fig. 8>에는 각 단면의 평균온도-가열 시간의 이력곡선을 나타내었고, <Fig. 9>에는 전체 12개의 열전대에서 측정되는 온도 중에서 최고온도-가열시간의 이력곡선을 나타내었다.



<Fig. 6> Averaged temperature of AU-450-20

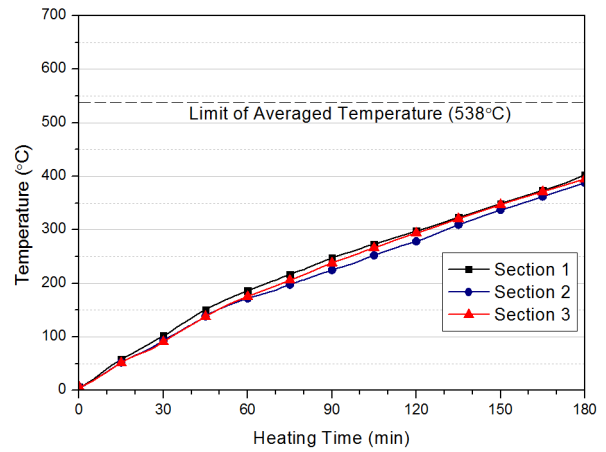


<Fig. 7> Maximum temperature of AU-450-20

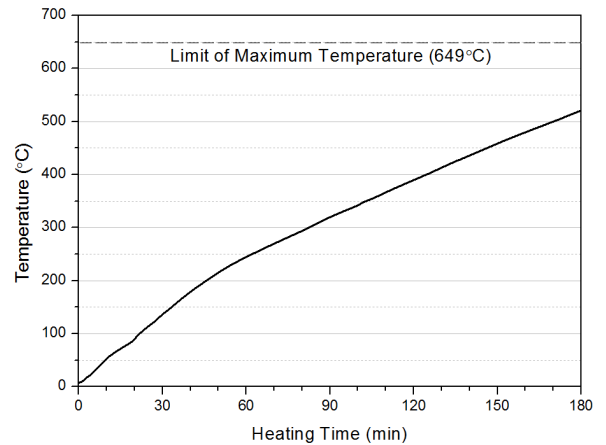
시험체 AU-450-15의 재하 가열시험에서 각 단면 평균온도의 최대값은 402.6°C, 387.9°C 및 394.9°C를 나타내었으며, 모든 측정위치에서 최고온도는 520.9°C를 나타내었다. <Fig. 10>에는 스펀 중앙의 변형을 나타내었으며, 최대값은 29.2mm이다.

가열시험이 끝난 시험체에는 슬래브 상판에 잉여수의 누출과 미세한 표면균열이 관찰되었다. 가열재하로 인한 잔류 휨변형을 확인할 수 있었으나, 부재의 급격한 구조성능 저하를 야기할 수 있는 특징적

인 손상은 발견되지 않았다. 강제 피복면에서는 부재의 휨변형에 기인하는 것으로 추측되는 균열이 전체적으로 발생하였으며, 스펀 중앙의 하단부에는 피복재의 부분적인 파쇄가 관찰되었다. 그러나 시험체 전체적으로 피복재가 강제표면에서 완전히 탈락하여 강제부분이 고온에 직접 노출될 수 있는 부분은 발견되지 않았다.



<Fig. 8> Averaged temperature of AU-450-15

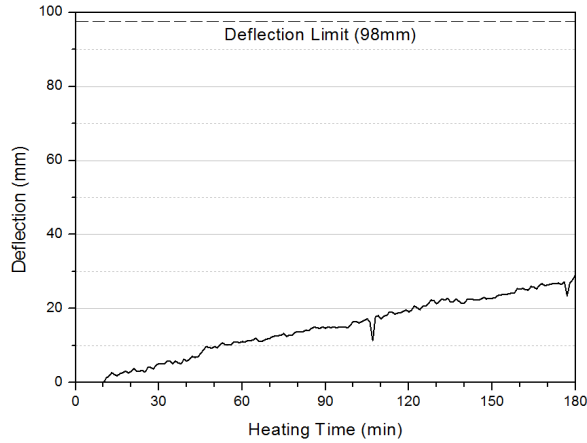


<Fig. 9> Maximum temperature of AU-450-15

4. 내화성능 평가

시험체 AU-450-20의 각 단면에서 측정된 강재의 평균온도(297.7°C, 297.2°C, 282.8°C)가 538°C 이하이고, 모든 측정점에서 최고온도(361.2°C)가 649°C 이하이므로, 180분의 내화성능 기준을 만족하는 것으로

로 볼 수 있다. <Table 3>에 시험체 AU-450-20의 내화성능 평가를 정리하였다.



<Fig. 10> Mid-span deflection of AU-450-15

<Table 3> Evaluation of AU-450-20

Criteria		Measurements		Heating time
Averaged temp.	538°C	Averaged temp.	297.7°C	
			297.2°C	
			282.8°C	
Maximum temp.	649°C	Maximum temp.	361.2°C	

시험체 AU-450-15에 대해서는 가열 재하시험이 수행되었으며, 변형의 최대값(29.2mm)이 성능기준 ($L^2/400d = 98\text{mm}$) 이하이므로, 180분의 내화성능 기준을 만족하는 것으로 볼 수 있다. 변형의 최대값이 $L/30$ 인 140mm를 초과하지 않으므로, 변형율은 성능기준으로 고려하지 않는다.

시험체의 각 단면에서 측정된 강재의 평균온도 (402.6°C, 387.9°C, 394.9°C)가 538°C 이하이고, 모든 측정점에서 최고온도(520.9°C)가 649°C 이하이므로, 강재온도를 기준으로 한 180분의 내화성능 기준도 동시에 만족하는 것으로 볼 수 있다. <Table 4>에 시험체 AU-450-15의 내화성능 평가를 정리하였다.

<Table 4> Evaluation of AU-450-15

Criteria		Measurements		Heating time
Deflection	98mm	Deflection	29.2mm	
Def. rate	-	Def. rate	-	
Averaged temp.	538°C	Averaged temp.	402.6°C	
			387.9°C	
			394.9°C	
Maximum temp.	649°C	Maximum temp.	520.9°C	

5. 결론

SLIM AU 충전합성보의 표준단면에 대해서 피복두께 20mm인 시험체는 비재하 가열시험이 수행되었고, 피복두께 15mm인 시험체는 재하 가열시험을 수행되었다. 각 시험에서 강재부분의 평균온도와 최고온도를 측정하여 온도측면에서 내화성능을 분석하였고, 재하 가열시험에서는 스패 중앙의 변형을 측정하여 하중지지력에 근거한 내화성능을 평가하였다. 이 연구를 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 시험체 AU-450-20(단면크기 450×300, 피복두께 20mm) 대해서 비재하 가열시험(가열시간 180분)이 수행되었다. 시험체의 각 단면에서 측정된 강재의 평균온도가 538°C 이하이고, 모든 측정점에서 최고온도가 649°C 이하이므로, 180분 내화성능 기준을 만족한다.

2) AU-450-20에서는 슬래브 상판에 미세한 표면 균열이 관찰되었으나, 부재의 구조적인 성능저하를 야기할 수 있는 손상은 발견되지 않았다. 강재 피복면에서 미세한 표면균열이 부분적으로 관찰되었으나, 피복재의 열차단 성능은 가열시간 동안에 적절히 유지되었다.

3) 시험체 AU-450-15(단면크기 450×300, 피복두께 15mm) 대해서 재하 가열시험(재하하중 430kN, 가열시간 180분)이 수행되었다. 변형의 최대값이 성

능기준 이하이므로, 180분 내화성능 기준을 만족한다. 시험체의 각 단면에서 측정된 강재의 평균온도가 538°C 이하이고, 모든 측정점에서 최고온도가 649°C 이하이므로, 강재온도에 근거한 180분 내화성능 기준도 동시에 만족한다.

4) AU-450-15에서는 슬래브 상판에 미세한 표면 균열이 관찰되었다. 가열 재하로 인한 잔류 휨변형이 관찰되었으나, 급격한 성능저하를 야기하는 특징적인 손상은 발견되지 않았다. 강재 피복면에서는 부재의 휨변형에 의한 균열이 전체적으로 발생하였으며, 스펀 중앙의 하단부에는 피복재의 부분적인 파쇄가 관찰되었다. 시험체 전체적으로 고온에 직접 노출되는 부분은 발견되지 않았으며, 피복재의 차열 성능은 가열시간 동안에 적절히 유지되었다.

5) 피복두께가 15mm에서 20mm로 증가되면 평균온도는 395.1°C에서 292.6°C로 약 26% 감소하고, 최고온도는 520.9°C에서 361.2°C로 약 31% 감소한다.

6) 피복두께가 20mm인 AU-450-20 시험체는 피복두께가 15mm인 AU-450-15 시험체보다 우수한 내화성능을 가지고 있으며, 비재하 가열실험을 통해서 입증된 온도 뿐만 아니라 하중지지력에서도 180분 내화성능 기준을 만족할 것으로 유추할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력기술개발사업(No. C039791)의 연구수행으로 인한 결과의 일부임.

References

1. International Standard Organization (1999), ISO 834-1: Fire resistance tests - Elements of building construction and materials - Part 1: General requirements.
2. International Standard Organization (2000), ISO 834-6: Fire resistance tests - Elements of building construction and materials - Part 6: Specific requirements for beams.
3. Kim, D.-B., Kim, Y.-H., Kang, C.-K., Kim, D.-J., and Choi, B.-J. (2016). "Shear resistance capacity of cap-type shear connector in the constant interval", Proceedings of Architectural Institute of Korea, Vol. 36, No. 1., pp. 321-322.
4. Kim, D.-B., Kim, Y.-H., Yom, K.-S., and Choi, B.-J. (2015). "Flexural strength evaluation of infilled-type composite beam (AU Beam) about the internal reinforcement", Proceedings of Architectural Institute of Korea, Vol. 35, No. 2., pp. 433-434.
5. Korean Standard Association (2014), KS F 2257-1: Methods fire resistance test for elements of building construction - General requirements.
6. Korean Standard Association (2014), KS F 2257-6: Methods fire resistance test for elements of building construction - Specific requirements for beams.
7. Sha, W. (2001). Fire resistance of protected asymmetric slim floor beams, Proceedings of the eighth international conference on civil and structural engineering computing, Civil-Comp Press, Stirlingshire, Paper No. 67.
8. Buchanan, A. H. (2001). Structural design for fire safety, Wiley, Chichester, UK.
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Republic of Korea (2016). Korean Building Code.
 - Received : November 30, 2016
 - Revised : December 09, 2016
 - Accepted : December 09, 2016