

# 대공간 교육시설 축조를 위하여 개발된 T형 강재를 이용한 프리스트레스트 합성보의 안전성 평가를 위한 연구

## A Study for Safety Evaluation of the Prestressed Hybrid Beam with T-shape Steel Member which was Developed to Build Large Span Educational Facilities

이 경 훈\*                      김 태 희\*\*  
Lee, Kyoung-Hun              Kim, Tae-Hui

### Abstract

The purpose of this study was to evaluate structural safety and economic efficiency of prestressed hybrid beam using T-shape steel member which was developed to build large span educational facilities. Hybrid beam specimens were manufactured with 16.0m long and load was uniformly distributed by 12.0kN steel hexahedrons. In this study, honeycomb beam design process was introduced to T-shape section steel beam design. Vibration condition of specimens were analyzed by Korea Building Code 2009 and AISC Steel Design Guide Series-11. As a result, the prestressed hybrid beam with T-shape steel member has about 10.4% of cost reduction effect.

키워드 : 대공간 교육시설, T형 단면 합성보, 등분포 하중, 원가절감효과

Keywords : Large Span Educational Facilities, T-shape Hybrid Beam, Uniformly Distributed Load, Cost Reduction Effect

### 1. 서      론

#### 1.1 연구의 목적

최근 건설시장은 건축물의 고층화와 대형화에 따른 층고절감 및 장스팬화 등의 건축적 요구와 함께 급변하는 원자재가격 등락과 중장기적 상승세, 건설현장의 환경개선을 위한 노력 등으로 인해 다양한 공법들이 개발되고 있다. 그러나 주류를 이루고 있는 철근콘크리트조 혹은 철골조에 비해 공사비의 증가, 가설공사와 접합방법의 난이도 등으로 인한 시공성 저하, 새로운 공법에 대한 관리자와 작업자의 숙련도 부족 등으로 실제 적용범위는 제한적이며 지속적인 개선과 검증이 필요한 실정이다. 일반적인 철골조의 경우에는 단면의 효율성, 시공성, 공기단축 등의 장점에도 불구하고 강재의 가격이 고가인 점과 층고의 증가 등

경제적인 면에서 지속적인 문제점을 드러내고 있다.

교육시설의 경우 많은 학생들의 활동이 요구되는 대공간 시설물이 필수적이다. 이러한 대공간 교육시설은 완공된 후와 시공 시 안전성이 그 무엇보다도 우선시 되는 요소이다. 철골 장스팬 보의 경우 시공은 용이한 반면 진동에 의한 사용성능이 만족스럽지 않아 불필요하게 부재를 키워야 하는 경우가 발생하는데 이러한 불합리한 설계의 모순을 해결하기 위하여 본 연구에서는 철골보의 웨브에 개구부를 설치하여 설비시설을 관통시킴으로써 보 춤을 줄일 수 있으며 철골보 하부에 프리스트레스트 콘크리트와 접합하여 강성을 키움으로써 구조적 성능과 진동 등의 사용성을 만족시킬 수 있는 장스팬 합성보의 구조적 안전성을 평가하는 실험을 수행하였다.

합성보는 철근콘크리트 슬래브와 철골보에 의해 하중에 저항하도록 구성한 방식으로 두 가지

\* 주저자, 성화대학 건축계열 교수(leekhun@gmail.com)

\*\* 교신저자, 목포대학교 건축공학과 교수

재료를 이용해서 구조적 장점을 극대화 시켜 경제적인 효과를 얻기 위한 목적으로 이미 오래전부터 노출형 또는 매립형 등의 다양한 형태로 발전되어 왔다. 본 연구에서는 T형 강재를 이용한 웨브중공형 프리스트레스트 합성보의 개발을 통해, 15m이상의 장스팬 보의 경우 일반적인 H형강 합성보에 비하여 층고 및 강재량을 절감하면서 동일한 시공성을 확보할 수 있는 대안을 제시하여 건축 PC복합화공법의 적용범위를 확대하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

일반적인 H형강 합성보, 철골 허니컴보 및 프리스트레스트 콘크리트보의 내력평가 이론식을 웨브중공형 프리스트레스트 합성보 설계에 적합하도록 상호 보완하여 사용 가능한지 판단하고, 주요변수를 선정 후 실물크기로 실험체를 제작하였다. 시공단계별 하중에 대한 변형능력을 알아보기 위하여 등분포 재하실험을 수행하였으며, 그 결과를 이론식과 비교하여 구조적 특성을 고찰하고 복합재료와 형상에 의한 추가적인 고려사항과 제한사항을 확인하여 설계방법을 제안하고자 하였다. 실험체의 주요변수 및 선정이유는 다음과 같다.

(1) T형 강재 웨브의 개구부 형상에 따른 변수: 유효 층을 확보하면서 설비공간으로 활용이 가능한 반 허니컴 보 웨브의 개구부 형상에 따른 응력분포 및 변형능력을 검토하였다.

(2) T형 강재 웨브의 앵글보강에 따른 변수: 시공 시 단면 상부의 압축내력이 부족한 경우에는 개구부가 있는 구간의 T형 강재에서 전단력 및 휨모멘트에 의한 압축응력이 작용하여 국부좌굴이 발생할 수 있다. 따라서 해당구간의 T형 강재 웨브부분에 보강용 앵글을 단면의 y축에 대칭으로 보강한 경우 국부좌굴에 대한 내력 기여도와 응력분포를 검토하였다.

(3) PC강연선 정착부의 스티드볼트 배치에 따른 변수: 항복 이후 충분한 연성능력을 확보하기 위하여 단부의 철골 하부플랜지 보강구간과 프리스트레스 소요 정착길이 구간의 응력전달을 위한

전단연결재의 역할을 검증하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 개요

웨브중공형 프리스트레스트 합성보는 반 허니컴 형상의 T형 강재와 프리텐션된 프리캐스트 콘크리트가 상호 조합된 복합구조시스템으로, 장스팬 구조에서의 층고 및 강재량 절감을 목적으로 개발되었다. 실험체의 단면형상은 그림 1과 같이 보의 중앙부 구간은 T형 강재의 웨브 일부면이 전단연결재와 함께 프리스트레스트 콘크리트에 부분 매립된 Solid Web Section과 T형 강재의 웨브와 프리스트레스트 콘크리트가 분리되어 개구부를 형성하는 Open Web Section의 연속된 조합형태로 이루어진다.

보의 단부구간은 전단력과 국부모멘트에 의한 응력, 프리텐션의 소요 정착길이 등을 고려하여 PC와 H형강이 합성된 단면으로 일정구간 연장되며 부재 최 외단의 접합구간은 H형강만이 존재하여 일반적인 철골조와 동일한 시공방법을 적용한다.

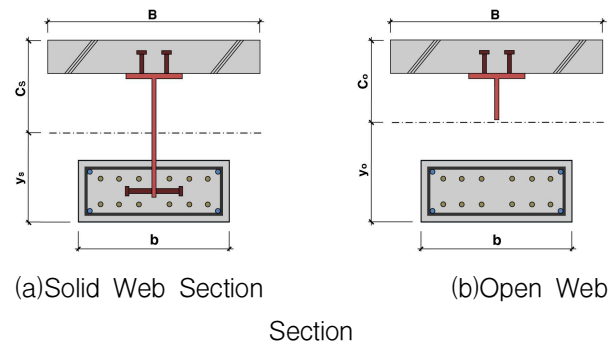


그림1. 웨브중공형 프리스트레스트 합성보의 면형상

### 2.2 Honeycomb 보의 설계

허니컴 보의 설계는 일본강구조학회의 실용계산용 약산식을 사용하였으며 내용은 다음과 같다.

[가정 1]

허니컴 보에 순수휨이 작용할 때 Solid Web 부분과 Open Web 부분에 그림 2와 같은 응력분포가 발생하는 것으로 가정한다.

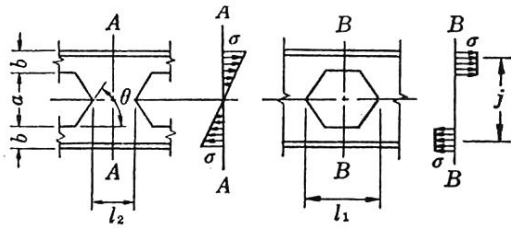


그림2. 허니컴 보의 휨에 대한 응력분포

[가정 2]

전단력을 받는 경우에는 그림 3에 표시한 것과 같이 상하 2개의 T-단면에 균등하게 분포하고 그 중앙점에 외력과 같은 형식으로 작용하는 것이라 가정한다.

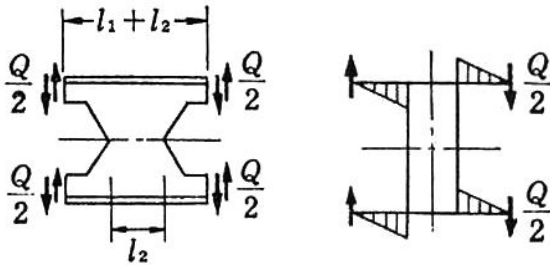


그림3. 허니컴 보의 전단에 대한 응력분포

(1) 순수 휨을 받는 경우

$$\sigma = \frac{M_B}{A_T \cdot j} \leq f_t \quad (1)$$

(2) 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 경우

$$\sigma = \frac{M_B}{A_T \cdot j} + \frac{l_2}{2} \times \frac{Q}{2} \times \frac{1}{Z_T} \leq f_t \quad (2)$$

(3) Solid web 부분의 좌굴

$$Q_{cr} = 2.5 \frac{l_2 \cdot t_1^3}{(l_1 + l_2)j} \times E \times \sqrt{1 - 0.63 \frac{t_1}{l_2}} \quad (3)$$

(4) Open web T-단면부의 전단파괴

$$\tau = \frac{Q}{2} \times \frac{S_T}{t_1 \cdot I_T} \leq f_s \quad (4)$$

### 2.3 진동

건축구조설계기준(KBC2009)의 강구조 설계기준 및 AISC Steel Design Guide Series-11에서 제시한 철골합성보의 바닥 진동 관련식을 이용하여 웨브중공형 프리스트레스트 합성보의 고유진동수 및 가속도 제한비가 표 1의 변수에 대한 한계 값을 만족하도록 하였다.

(1) 고유진동수(fundamental natural frequency)

$$f_n = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta_j}} \text{ (Hz)} \geq 3.0 \text{ Hz} \quad (5)$$

(2) 가속도 제한비(acceleration limit ratio)

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 \exp(-0.35 f_n)}{\beta W} \leq \frac{a_0}{g} \quad (6)$$

표1. 가속도 한계비

구분	상수력( $P_0$ )	감쇠비( $\beta$ )	가속도한계비 ( $\frac{a_0}{g} \times 100\%$ )
사무실, 주거, 교회	0.29kN	0.02~0.05*	0.5%
쇼핑몰	0.29kN	0.02	1.5%
육교(실내)	0.41kN	0.01	1.5%
육교(실외)	0.41kN	0.01	5.0%

\* 0.02: 교회와 같이 비구조체가 거의 없는 바닥  
0.03: 일반적인 사무실처럼 비구조체와 바닥마감은 있지만 높이가 낮은 칸막이벽만 있는 경우  
0.05: 바닥과 바닥을 완전히 막은 칸막이벽

### 3. 실험계획

#### 3.1 설계 조건

실험체는 그림 4와 같이 현장의 여건을 고려하여 지점간 길이를 16.0m로, 분담폭 3.9m의 단순보로 가정하여 제작하였고(그림 5) 설계하중은 표 2와 같다.

표2. 설계하중

	Service load		Factored load
Plain conc.(t=100mm)	1.2kN/m <sup>2</sup>		
Slab(t=150mm)	3.6kN/m <sup>2</sup>		
Ceiling	0.2kN/m <sup>2</sup>		
Dead load	5.0kN/m <sup>2</sup>	× 1.2	6.0kN/m <sup>2</sup>
Construction load	1.5kN/m <sup>2</sup>		
Live load	4.0kN/m <sup>2</sup>	× 1.6	6.4kN/m <sup>2</sup>
D.L+L.L	9.0kN/m <sup>2</sup>		12.4kN/m <sup>2</sup>

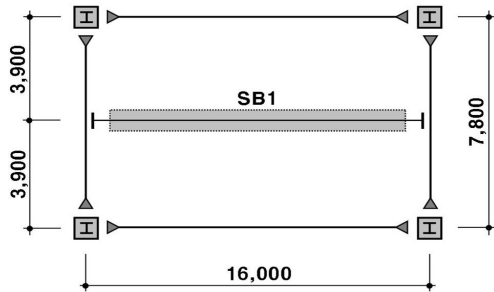


그림4. 실험체 구조 평면도



(a) 실험체 형상



(b) 실험체 지점

그림5. 실험체 및 단부 지점

### 3.2 실험체 설계

실험체는 주요변수(개구부 형상, 앵글보강, 스티드볼트 배치)에 따라 표 3과 같이 총 5본을 제작하였으며 T형 강재 및 PC의 크기, PC강연선 개수, 주철근 및 스티럽 배근은 동일한 조건으로 제작하였다. 실험체의 상세는 그림 6~그림 10과 같다.

표3. 실험체 일람표

시험체명	Steel 크기 (h1~h2×B×t1×t2, mm)	PC크기 (mm)	PC강연선 (ea-mm)	개구부 크기 (W×Hmm)
T200-600-S/N	T-585~207×300×14×22	600×250	16-15.2	200×223
T500-700-S/N	T-585~207×300×14×22	600×250	16-15.2	500×223
T500-700-S/A	T-585~207×300×14×22	600×250	16-15.2	500×223
T500-700-S/D	T-585~207×300×14×22	600×250	16-15.2	1700×223
T500-700-N/N	T-585~207×300×14×22	600×250	16-15.2	500×223

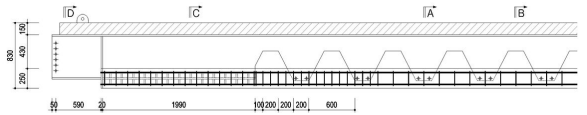


그림6. T200-600-S/N 실험체



그림7. T500-700-S/N 실험체

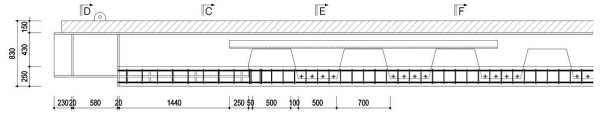


그림8. T500-700-S/A 실험체

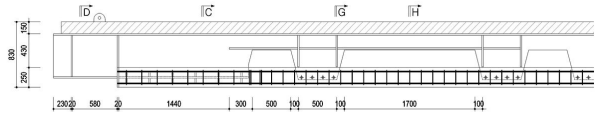


그림9. T500-700-S/D 실험체



그림10. T500-700-N/N 실험체

### 3.3 실험체 제작

#### (1) 사용재료

단면 하부의 프리스트레스트 콘크리트는 고강

도 콘크리트를 사용하여 건조수축 및 크리프 등과 같은 변형에 의한 긴장력 손실을 줄이면서 최적화된 단면적을 갖도록 하였다. 프리스트레싱 긴장재는 공장제작의 이점을 활용하여 적은 개수로 항복강도 및 인장강도가 높고 릴렉세이션이 적은 7연선 15.2mm-B종(L: 저릴렉세이션)을 사용하였다.

표4. 재료의 특성

구분	재질	탄성계수 (MPa)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
철골	T형 강재	SM490 A	205,000	325
	Angle	SM490 A	205,000	325
PC	하부PC	50Mpa	31,035	-
	철근	SD40	200,000	400
	강연선	SWPC7 BL	200,000	1,601
Slab	Conc.	24Mpa	23,025	-

(2) PC강연선의 초기 인장력 산정

설계하중에 대한 최종 소요 프리스트레싱 도입을 위하여 초기 탄성 손실량과 시간 의존적 손실량을 고려하여 제작 시  $P_j$ (Jacking force)값을 산정한다. 전동식 유압펌프 및 7,000kN 유압잭을 사용하여 유효길이 76.42m의 프리텐션 라인에서 강연선 16본을 동시 인장하였다. 인장 및 양생 시 온도, 강연선 커플러, 콘크리트의 탄성수축 등 초기손실 보정량을 고려하여 도입인장력( $P_i$ ) 및 신장량을 계산, 실측값과 비교하며 진행하였으며 계산값 및 실측값은 표 5와 같다.

표5. PC강연선의 초기 인장력 및 신장량

	계산값	실측값		
인장력 (kN)	3,192.7	3,205	max.	3,352.3
			min.	3,192.7
신장량 (mm)	592.7	590	max.	662.3
			min.	563.0

(3) PC강연선의 전달 및 정착길이 산정

프리텐션 부재의 긴장력은 PC강연선과 콘크리트 사이의 부착력에 의해 도입된다. 이러한 힘 전달을 위해 초기 전달길이 및 강연선의 설계강도를 발휘하는데 필요한 정착길이를 포함한 소요정착길이  $l_d$ 를 식 7과 그림 11과 같이 규정하고 있다.

$$l_d = 0.145\left(\frac{f_{sc}}{3}\right)d_b + 0.145(f_{ps} - f_{sc})d_b \quad (7)$$

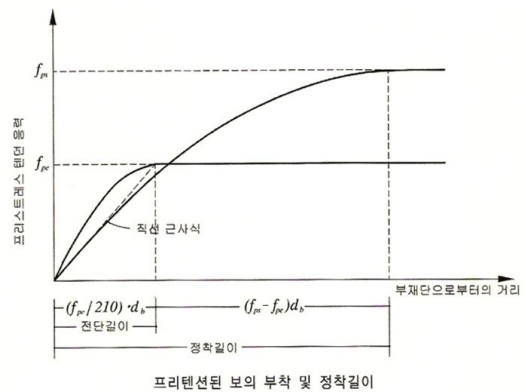


그림11. 프리텐션된 보의 부착 및 정착길이

PC강연선의 기준 총 손실율을 20%로 가정한 경우  $f_{sc}=1,151\text{MPa}$ ,  $f_{ps}=1,699\text{MPa}$ 일 때의 초기전달 길이는 846mm이고, 추가 정착길이는 1,208mm이다. 단부에서 소요정착길이( $l_d=2,054\text{mm}$ )이상 프리스트레스트 콘크리트 내에 철골 플랜지를 매립하여 합성효과를 극대화시키고 하부 인장응력을 보장하여 실험체를 제작하였다.

3.4 실험체 가력 및 측정방법

하중 가력은 그림 12에 나타난 바와 같이 재하용 철물(12.0kN/ea)을 이용하여 등분포로 가력하였으며, 시공 시 하중에 대하여 단부에 고력볼트 접합 만으로 설치된 상태에서의 안전성을 평가하고 완공 시 하중에 대해서도 처짐 및 단부와 중앙부의 구조적 안전성을 평가하였다.

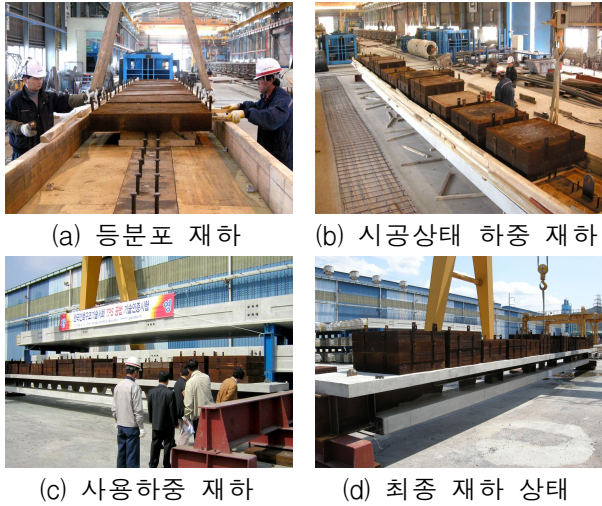


그림12. 실험 전경

#### 4. 실험결과

##### 4.1 파괴 및 균열양상

실험은 현장에서 설계하중까지 등분포재하실험을 통해 거동을 확인하였으며 초기 균열모멘트 시점부터 항복하중까지의 처짐량은 해석결과를 근거로 예측하였다. T500-700-N/N은 PC강연선의 소요 정착길이 구간 내에 고강도 콘크리트와 강재 사이의 합성효과를 위한 전단연결재를 배치하지 않은 경우로 순수 마찰력만으로는 프리스트레싱 응력전달이 부족하여 그림 13과 같이 콘크리트 슬립(slip)에 따른 균열과 함께 강재의 첫 번째 Open Web Section구간에서 국부좌굴이 발생하였다.



그림13. T500-700-N/N실험체의 국부좌굴 및 슬립

##### 4.2 하중변위곡선

실험변수별(웹의 개구부 형상, 웹의 앵글보강, 정착부의 스티드볼트 배치)로 이력곡선을 비교하여 실험체의 최대하중과 변형능력에 영향을 미치는 요인을 알아보려고 하였다.

##### (1) 웹 개구부 형상에 따른 비교

Open Web Section구간 Web부분의 개구부 길이 및 경사각에 따라 T500-700-S/A의 경우 T200-600-S/N에 비해 초기 처짐량이 4.0mm정도 증가하였으며 단계별 하중에 의한 변형량 또한 다소 차이를 보였으나 설계하중 이후에는 유사한 거동이 나타났다.

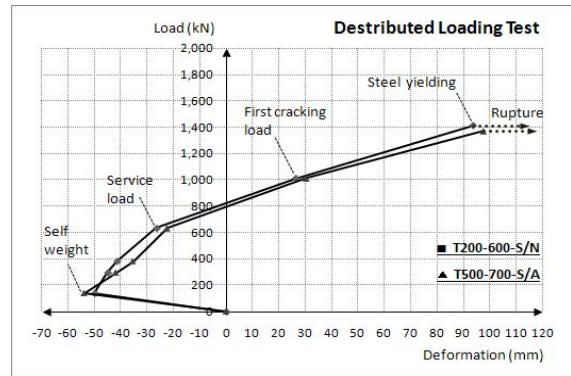


그림14. 웹 개구부 형상에 따른 하중변위곡선

##### (2) 웹의 앵글보강에 따른 비교

웹 앵글보강에 따른 실험결과를 살펴보면, 설계하중 내에서는 두 시험체 모두 안전한 거동을 나타냈지만 하중이 커짐에 따라 보강이 되지 않은 T200-600-S/N의 경우 중앙부 휨 파괴 발생 전에 단부 구간 Open Web Section의 T형 강재에서 국부좌굴이 나타난 반면 앵글보강된 T500-700-S/A 실험체의 경우 국부좌굴 거동은 나타나지 않았다.

##### (3) 정착부의 스티드볼트 배치에 따른 비교

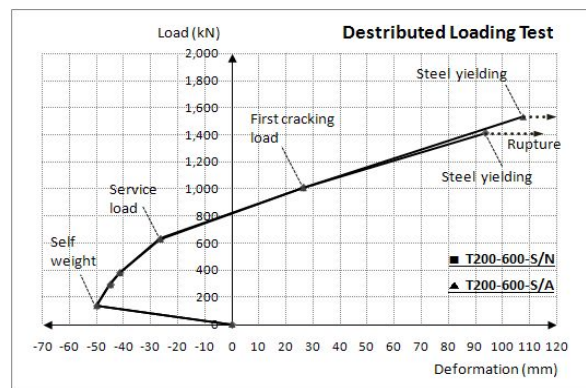


그림15. Web Angle보강에 따른 하중변위곡선

단부에 스티드볼트를 배치하지 않은 T500-700-N/N의 경우 T500-700-S/A에 비해 초기 솟음량이 8.0mm 정도 감소하였으며 설계하중 단계 이전에 정착부의 프리스트레스트 콘크리트와 철골 플랜지사이 슬립으로 인한 소요 정착길이 구간 내에서 T형 강재의 국부좌굴이 발생하였다.

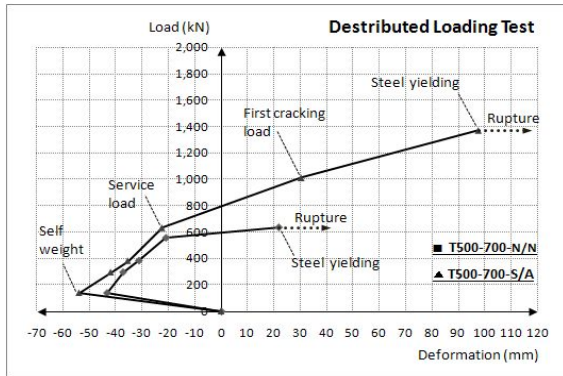


그림16. 정착부 스티드볼트 배치에 따른 하중변위곡선

### 4.3 내력평가

표 6은 이론해석에 의한 유효폭에 따른 웨브중공형 프리스트레스트 합성보의 항복내력( $M_y$ )과 최대내력( $M_u$ )을 나타낸 것이다. 이론해석에 의한 항복내력( $M_y$ )은 완전합성단면의 환산 단면계수에 T형 강재의 항복강도와 콘크리트의 압축강도를 곱하여 계산하였고 최대내력( $M_u$ )은 일반적인 노출형 합성보의 내력평가 식에 따라 계산한 소성 휨모멘트 값이다.

표6. 이론해석에 의한 유효폭을 고려한 휨내력 비교

슬래브 유효 폭	Solid web section		Open web section		내력비	
	$M_y$ (kN · m)	$M_u$ (kN · m)	$M_y'$ (kN · m)	$M_u'$ (kN · m)	$\frac{M_y'}{M_y}$	$\frac{M_u'}{M_u}$
1.2m 의 경우	2,767.9	3435.8	2,763.4	3,019.3	1.00	0.88
3.9m 의 경우	4,117.6	4,220.0	3,760.8	3,463.7	0.91	0.82

실험체 및 설계조건에 따른 각각의 유효폭을

산정하여 계산한 결과 Solid Web Section에 대한 Open Web Section의 내력비는 슬래브 유효폭에 따라 항복내력의 경우는 91~100%, 최대내력의 경우는 82~88%로 나타났다.

### 4.4 실험결과 분석

웨브의 개구부 형상에 따른 비교결과 Open Web Section구간의 개구부 길이 및 경사각에 의한 초기 솟음량의 차이는 T형 강재의 변형률 증가 및 콘크리트의 탄성수축에 의한 P-Δ효과에 의한 것으로 판단되며 실제 솟음량은 탄성이론에 의한 처짐식으로 계산한 값보다 12~16mm 정도 증가하였다. T형 강재의 국부좌굴 및 전단에 대한 내력을 확보한 경우에는 개구부 형상에 관계 없이 설계하중 이후부터 유사한 거동이 나타났다.

웨브의 앵글보강에 따른 비교결과 단부지점으로부터 일정구간 보강한 경우 국부좌굴에 대한 내력을 크게 증가 시켰으며 국부응력을 분산시키는 효과가 있었다. 정착부의 스티드볼트 배치에 따른 비교결과, 하부 플랜지가 있는 단부에서 PC 강연선의 소요 정착길이 이상의 구간에 걸쳐 수평전단내력을 확보하기 위해서 전단연결재(Stud)를 배치한 경우 설계하중 이후까지 균열발생 없이 충분한 응력전달이 이루어졌음을 알 수 있었다.

설계하중에 대한 실험체의 휨성능비( $M_u/\phi M_n$ )는 Solid Web Section의 경우 54.6%, Open Web Section의 경우 65.8%로 나타났으며, 중앙부 최대 처짐은 -22.5~-26.5mm 정도로 측정되었다. T500-700-N/N으로 시공하중에 대한 등분포 재하 실험을 실시한 결과 T형 강재 및 프리스트레스트 콘크리트에서 국부변형 또는 어떠한 균열도 발생하지 않았으며 초기 실제 솟음량을 반영한 탄성이론에 의한 처짐 계산값과 측정값이 유사하였다.

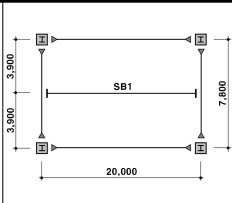
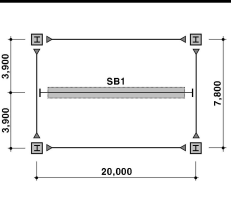
설계조건에 따라 유효폭 3.9m로 가정할 경우 소성단계에서는 중립축(P.N.A)이 슬래브 내에 위치하므로 T형 강재의 국부좌굴 없이 충분한 연성능력을 확보할 것으로 판단된다.

### 5. 공사비 비교

실험체와 동일한 재료 및 설계하중으로 일반 H형강 합성보(L.S.D 설계)와 웨브중공형 프리스트레스트 합성보의 계약 공사비를 표 7과 같이 산

정하여 비교하였다.

표7. System별 공사비 비교

구조평면		
단면크기 (SB1)	H-800×300×14×26	T-585~207×300×14×22 (600×250)
분당중량	4.2ton	8.9ton
보높이 (내화피복포함)	1,000mm (150+800+50)mm	830mm (150+680)mm
고유진동수 ( $f_n$ )	3.3Hz (≥3.0Hz)	3.2Hz (≥3.0Hz)
가속도한계비 ( $\alpha_p/g$ )	0.46% (≤0.5%, 업무시설)	0.3% (≤0.5%, 업무시설)
비율	100%	89.6%

비교한 결과 일반 H형강 합성보 대비 웹중공형 프리스트레스트 합성보의 제작 및 운반에 대한 공사비는 약 89.6%수준으로 판단된다. 설치 및 전체 골조에 대한 중량 증가로 인한 상승분을 추가로 고려할 경우 해당 부재에 대한 골조 공사비는 약 5.0~8.0%의 절감이 예상되며 층당 170mm 이상의 층고절감 및 내화 피복량 감소가 가능하다.

## 6. 결론

본 연구에서는 대공간 교육시설의 축조를 위하여 개발된 웹중공형 프리스트레스트 합성보의 거동 및 이론해석 결과에 의해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) T형 강재 웹의 반 허니컴 개구부 형상에 따라 프리스트레스 도입부터 설계하중 재하 단계까지 하중에 의한 변형량이 다소 차이를 보였으나 T형 강재의 수직, 수평 국부좌굴과 전단에 대한 내력을 충분히 확보한 경우에는 항복하중 이후 휨 파괴까지 유사한 거동이 예상된다.

(2) 프리스트레싱에 의한 초기 캠버량과 설계하

중에 의한 최종처짐 산정 시에는 반드시 Open Web Section의 개구부 형상에 따른 T형 강재의 2차 변형 및 콘크리트의 탄성수축에 의한 P- $\Delta$ 효과를 고려하여야 한다.

(3) 시공 또는 완공단계의 하중에 대한 T형강재의 국부좌굴에 대한 이론식은 등분포 재하실험에 의한 비교 결과 측정치와 유사한 거동을 확인하였다. 특히, 취약 구간에 대하여 웹부분에 앵글을 용접하여 보강한 경우 T형 강재의 국부좌굴에 대한 내력증가와 응력분산 효과를 확인하였으며, 항복하중 이후까지 전단파괴 혹은 국부적인 좌굴 없이 충분한 연성능력을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 합성단면에 대한 유효 프리스트레스 응력을 소성단계까지 전단면에 충분히 전달하기 위해서는 하부플랜지가 있는 단부구간에 PC강연선의 소요정착길이 이상 전단연결재를 집중 배치하여야 한다.

(5) 단면설계 시 인장축 고강도 콘크리트 및 프리스트레스 도입으로 인한 압축축 슬래브 콘크리트의 취성파괴 방지를 고려하여야 하며 완전합성이 될 수 있도록 수평 전단내력을 확보하여야 한다.

(6) 대공간 교육시설의 경우 일반 시설과 달리 학생들이 이용하는 구조물이므로 보다 안전하고 사용성이 우수한 구조형식이 요구되어 본 연구에서는 기존 장스팬 보에 비하여 처짐과 진동능력이 개선된 합성보를 대상으로 구조적 안전성능 평가실험을 수행하였으며 동일조건으로 시공 시 철골보에 비하여 약 11.4%의 경제성을 보유하고 있음을 알 수 있었다.

향후 과제로는, 대공간 교육시설의 축조에 사용되는 장스팬 합성보의 보다 정확한 구조성능을 평가하기 위하여 대용량 UTM 또는 Actuator를 사용한 2점 가력실험을 수행하여 항복하중 이후의 파괴양상을 확인하고 Solid Web Section구간의 프리스트레스트 콘크리트와 T형 강재의 전단 연결재(Stud) 상호간 응력흐름 및 전단력에 의한



국부모멘트 발생 시 T형강재(상현재)와 PC(하현재)의 강성비에 따른 분담률을 검증할 예정이다.

### 참고문헌

1. 이차돈, 최창식, 최기봉, 문일원, “이론·실무를 위한 프리스트레스트 콘크리트 구조설계”, 태림문화사, 2007.
2. 신현목, “프리스트레스트 콘크리트”, 제9판, 동명사, 2007.
3. 장준호, 선병택, “구조계산편람”, 구미서관, 1987.
4. 심종성, 김기두, 변윤주, “프리스트레스트 콘크리트구조 설계”, 구미서관, 2009.
5. KBC2009, “건축구조기준”, 대한건축학회.
6. 한국강구조학회, “강구조설계”, 구미서관, 2009.
7. 대한건축학회, “철골철근콘크리트 구조계산규준 및 해설”, 기문당, 2000.
8. 김진영, “T형 강재를 이용한 프리스트레스트 콘크리트 부분 매립형 합성보의 구조적 성능에 관한 연구”, 한양대학교 공과대학원 석사학위논문, 2009.8.
9. H. S. Iyengar, “합성·혼합구조의 설계”, 태림문화사, 1995.
10. PCI Industry Handbook Committee, “PCI design Handbook, Precast and Prestressed Concrete”, Fifth Edition, Raths, Raths&Johnson, Inc, 1999.
11. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08)”, American Concrete Institute, 2007.
12. BS EN 1994-2 : 2005, “Eurocode 4 : Design of Composite Steel and Concrete Structures”, British Standards.
13. Thomas M. Murray, David E. Allen, Eric E. Ungar, “Floor Vibrations, Due to Human Activity”, American Institute of Steel Construction, 2003.
14. Dr. Edward G. Nawy, P.E. “Prestressed Concrete, A fundamental approach”, 3rd Edition, Prentice Hall, 2000.
15. N.Rajagopalan, “Prestressed Concrete”,

Alpha Science, Second Edition, 2005.

16. Arthur H. Nilson, “Design of Prestressed Concrete”, Second Edition, John Wiley & Sons, 1987.
17. James M. Gere, Barry J. Goodno, “Mechanics of Materials”, Seventh Edition, Cengage Learning.
18. Deric J. Oehlers, Mark A. Bradford, “Composite Steel and Concrete Structural Members”, Fundamental Behaviour, Pergamon, 1995.

### 부록: 기호설명

- $A_T$  : 허니컴 보 T-단면부의 단면적(mm<sup>2</sup>)
- $A_{ts}$  : 철골 환산 전단면적(mm<sup>2</sup>)
- $F_c$  : T형 강재의 허용압축응력(N/mm<sup>2</sup>)
- $I_0$  : Open Web부분의 x축에 관한 단면 2차모멘트(mm<sup>4</sup>)
- $I_{nts}$  : 철골환산 전단면 2차모멘트(mm<sup>4</sup>)
- $I_s$  : Solid Web부분 T형 강재의 x축 단면 2차모멘트(mm<sup>4</sup>)
- $I_T$  : T-단면부의 x축 단면 2차모멘트(mm<sup>4</sup>)
- $I_{Ts}$  : T형 강재의 단면 2차모멘트(mm<sup>4</sup>)
- $c_1$  : 전단면 도심에 대한 Solid Web Section의 T형 강재의 도심간 거리(mm)
- $d_b$  : 강연선의 공칭 직경(mm)
- $e$  : 전단면 도심에 대한  $P_i$ 의 편심거리(mm)
- $f_{ci}$  : 프리스트레싱 도입 시 콘크리트 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{ck}$  : 콘크리트의 설계기준 압축강도(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{ps}$  : 공칭강도 발휘 시 프리스트레싱 긴장재의 응력(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{pu}$  : 긴장재의 설계기준 인장강도(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{py}$  : 긴장재의 설계기준 항복강도(N/mm<sup>2</sup>)
- $f_{se}$  : 긴장재의 유효 응력(N/mm<sup>2</sup>)
- $g$  : 중력가속도(9.806m/sec<sup>2</sup>)
- $j$  : 허니컴 보 상하 T-단면부의 중심간 거리(mm)
- $k_0, k_s$  : Open Web부분과 Solid Web부분의 전단분포계수
- $l_1$  : T-단면부의 길이(mm)
- $l_2$  : Solid Web 단면부의 길이(mm)
- $l_1 + l_2$  : I-Panel부의 길이(mm)

(논문투고일 : 2010.5.15, 심사완료일 : 2010.5.28, 게재확정일 : 2010.6.19)