

# 장스팬이 가능한 친환경 공동주택용 철골 프리캐스트 합성보 개발

## Development of Long-Span Steel-Precast Composite Beam for Green Apartment Building

윤 태 호\*                      홍 원 기\*\*                      박 선 치\*\*\*                      윤 대 영\*\*\*\*  
Yoon, Tae-Ho                  Hong, Won-Kee                  Park, Seon-Chee                  Yune, Dai-Young

### Abstract

Currently, the multi-residential apartments used in Korea are mostly bearing wall apartments which don't satisfy consumers for the lack of architectural plan flexibility. And due to remodelling-incompatible, bearing wall apartments have to be reconstructed. It is, thus, necessary to develop multi-residential apartments utilizing composite beam that can replace the conventional bearing wall-type apartment buildings. Composite beams proposed in this paper ensure modification of space and quality control, while the floor heights are maintained at the same floor height as in bearing wall structures.

This study analyzes the experimental behavior of composite beams with proper combination of structural steel, reinforced concrete, and precast concrete. By comparing with the theoretical analysis and experimental results, the accuracy of flexural moment capacity and neutral axis was evaluated. The experiments were performed by two simply-supported specimens using loading and unloading. When the analysis results were compared with the experimental results, the flexural moment capacity of the composite beam was shown with an error of approximately -0.5 to 0.1% at the maximum load limit state.

키워드 : 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보, 변형률 적합성, 최대하중 한계상태, 중립축, 곡률

Keywords : Structural Composite Hybrid System, Strain Compatibility, Maximum Load Limit State, Neutral Axis, Curvature

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

오늘날 급속한 경제 발전과 인구 집중화로 인하여 도심지의 지가 상승과 인구 편중화가 초래되고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 제한된 토지를 효율적으로 사용하기 위한 구조 시스템의 변화가 시급하다. 제한된 공간 내에서의 효율성과 가변성을 지닌 평면을 창출하기 위한 노력은 지속 가능한 공동주택의 사업성과 관련하여 중요한 요인이 되고 있다. 이와 같은 영향으로 현재 국내 공동주택에서 널리 사용되고 있는 벽식 구조를 대체하기 위하여 새로운 구조 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이명재 외 4인은 보-슬래브 시스템 구조 성능에

관한 실험적 연구에서 층고 절감형 합성보에 대한 역학적 성능 및 구조적인 검토를 실험적으로 고찰하여 타당성을 확인하였다<sup>8)</sup>.

철골 프리캐스트 합성보 시스템은 역 T형 철골과 프리캐스트 콘크리트를 합성하여 현장에서 슬래브와 함께 콘크리트를 타설하는 신공법이다<sup>3)4)</sup>. 벽식 공동주택과 비교하여 동일한 층고를 유지하며 가변형 평면이 가능하다. 또한 철골과 철근콘크리트의 합성으로 구조적 효율성이 뛰어나며 기존 철골보나 철근콘크리트보에 비해 처짐이 적어 사용성 측면에서 타 구조 보다 우수하다. 따라서 합성보의 장스팬 구현에 따른 공간의 효율성을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>5)</sup>. 또한 홍원기 외 7인의 연구에 따르면 본 논문에서 소개하고자 하는 합성보는 기존 벽식 구조나 무량관 구조에 비해 이산화탄소 배출량과 에너지 소비량을 감축할 수 있는 친환경(Green) 부재이다<sup>6)7)</sup>. 이와 같이 합성보를 적용한 공동주택의 경우 많은 장점을 가지고 있지만 현재 국내에서는 합성보에 대한 정확한 해석법이 제시되지 않고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존에 제시된 합성보의 설계방법이 아닌 미국 AISC<sup>1)</sup>에서 제

\* 경희대학교 건축공학과 석사과정(yoonth@khu.ac.kr)

\*\* 교신저자, 경희대학교 건축공학과 부교수, 공학박사(hongwk@khu.ac.kr)

\*\*\* 경희대학교 건축공학과 박사 후 연구원(pscgogo@khu.ac.kr)

\*\*\*\* 경희대학교 건축공학과 석사과정(yunedu@khu.ac.kr)

시한 Strain Compatibility 방법으로 합성보 설계에 접근하였다. Strain Compatibility를 이용한 해석값과 실험값을 비교하여 제시된 해석법의 타당성을 분석하고자 한다.

### 1.2 연구 방법

본 연구는 해석적인 측면과 실험적인 측면으로 진행된다. 해석적인 측면으로는 제시된 Strain Compatibility 해석법을 통해 실험체의 중립축과 휨 성능을 파악하는 것이다. 실험적인 측면으로 시험체에 부착된 Strain Gauge를 이용하여 각 한계상태에 따른 내력을 측정하였다. 또한 각각의 Strain Gauge를 분석하여 각 한계상태에 따른 중립축을 측정하였다. 해석적인 방법과 실험적인 방법을 통하여 합성보의 내력과 중립축을 비교·분석하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험대상 단면

그림 1은 실험 대상인 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 단면을 나타낸 것이다. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보는 프리캐스트 부분이 U형으로 사전 제작되었으며, 프리캐스트 콘크리트 상부 면으로부터 2차 콘크리트를 타설하였다. 2차 타설 콘크리트는 슬래브의 두께 150mm로 제작되었다. 시험체의 압축 철근은 2-HD22, 인장 철근은 5-HD25를 사용하였으며 철골은 역 T형강(CT형강)인 T-248×199×9×14를 사용하였다. 그리고 현장타설 콘크리트와 프리캐스트 콘크리트의 일체성을 유지하기 위하여, Slip이 발생되지 않도록 스테럽과 스테드를 사용하였다.

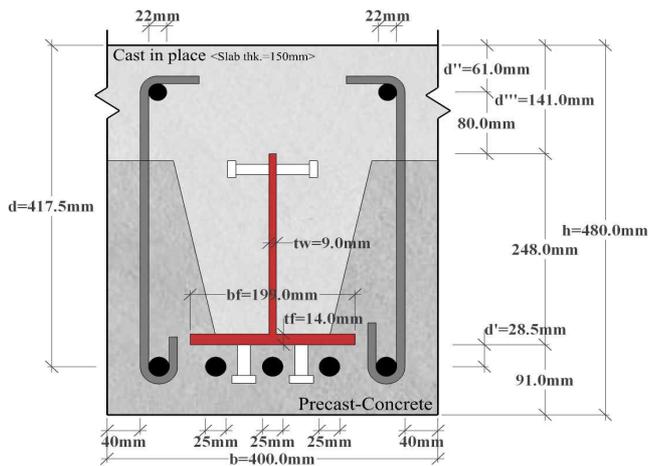


그림 1. 합성보 단면

### 2.2 실험 계획

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 이론적 해석값과 실험값의 정확성을 확인하기 위하여 2개의 동일한 시험체를 제작하였다. 시험체의 크기는 총 480mm, 폭 400mm이며 지점간 길이는 4m이다. 지점반력을 포함하여 3점 가력 형태로 Loading과 Unloading을 반복 가력 하여 실험을 수행하였다. 그림 2는 시험체의 설치 모습을 나타낸 것이다.



a) 정면 b) 측면

그림 2. 시험체 설치

시험체는 PC 부분과 현장 타설 콘크리트의 일체화를 위하여 스테럽을 등간격으로 설치하였으며 역 T형강의 하부 플랜지와 웨브에는 스테드를 설치하였다. 그림 3은 시험체에 적용된 스테럽 및 스테드의 위치 상세도를 나타낸다.

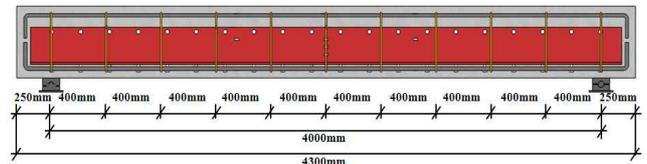


그림 3. 스테럽 및 스테드 위치 상세도

그림 4는 게이지 설치 위치를 나타낸 것이다. 부재를 구성하는 요소에 총 30개의 게이지를 부착하였다. 스테드에 부착된 게이지는 철골과 콘크리트를 일체화시키기 위해 부착된 것으로 스테드가 부담하는 응력을 확인하고자 부착된 것이다. 철골과 철근에 설치된 게이지는 중앙부에서 500mm 떨어진 위치에 부착하여 각 단계별 중립축을 구하고자 설치하였다.

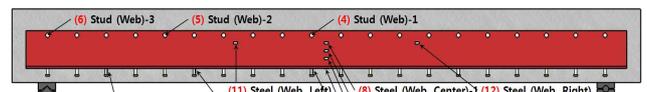


그림 4. 게이지 설치 위치 (철골)

### 2.3 재료 실험

시험체에 사용된 재료의 정확한 강도를 구하고자 재료 실험을 수행하였다. 재료실험에 사용된 콘크리트는 프리캐스트 콘크리트와 현장타설 콘크리트로 나누어 각각 3개의 공시체를 제작하고 재령 28일에 압축강도 실험을 수행하였다. 철근의 인장강도 실험은 지름별로 각각 3개씩 수행하였다. 그림 5는 각각 콘크리트와 철근의 재료실험 모습을 나타낸 것이다. 콘크리트 압축강도 실험결과, 철골 프리캐스트 콘크리트 복합보의 프리캐스트 콘크리트 부분의 압축강도는 33.1MPa로 측정되었으며 현장 타설 부분의 압축강도는 32.7MPa로 측정되었다. HD22 철근의 평균 인장강도는 443.7MPa, HD25의 평균 인장강도는 431.2MPa로 측정되었다. 재료 실험에서 측정된 콘크리트의 평균 항

복강도와 철근의 평균 인장강도를 Strain Compatibility 해석법에 적용하여 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 내력을 산출하였다.



a) 압축 강도 공시체 파괴양상      b) 인장 철근 파괴양상

그림 5. 재료실험

### 3. 이론적 해석

철골 프리캐스트 콘크리트 합성보에 대한 횡하중 성능 해석 방법은 Strain Compatibility 해석법을 적용하여 합성보의 내력 및 거동을 예측 가능하도록 하였다. Strain Compatibility 해석법은 미국 AISC (American Institute of Steel Construction, Inc.)에서 제안하고 있는 Strain Compatibility Approach를 바탕으로 한다. Strain Compatibility 해석법은 모든 부재 요소의 변형률을 선형으로 가정 한 후 각 구성요소의 응력 상태에 따른 평형방정식을 수립하여 단면에 존재하는 중립축의 위치를 산출한다. 즉, 각 구성요소의 응력 상태에 따라 발생하는 여러 개의 평형방정식을 이용하여 하나의 적합한 중립축을 산출하는 것이다. Strain Compatibility 해석법은 변형률을 이용하여 산출된 정확한 중립축을 기반으로 합리적인 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보의 공칭 모멘트에 대한 해석을 수행한다.

#### 3.1 중립축 산정

본 연구에서는 합성보의 정확한 내력을 산정하기 위해 압축 영역의 콘크리트 응력 블록을 Kent and Park에서 제시한 응력-변형률 곡선에 의해 계산하였다. 그림 6은 Kent and Park<sup>2)</sup>에서 제시한 응력-변형률 곡선이다. 응력-변형률 곡선에 의해 콘크리트 응력 블록은 1차 및 2차 함수로 이상화되며 적분을 통하여 콘크리트가 부담하는 압축력을 산정한다. Kent and Park은 콘크리트가 받는 압축력을 산정하는데 식 (1)을 제시하였다. 여기서,  $kd$ 는 압축 축 콘크리트 상부면으로 부터 중립축까지의 거리를 나타낸다.

$$C_c = \alpha f'_c bkd \quad (1)$$

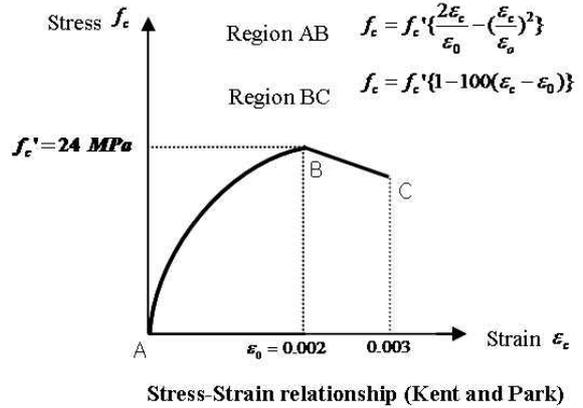


그림 6. 콘크리트 응력-변형률 곡선 (Kent and Park)

식(2)는 Stress factor,  $\alpha$ 의 산정식을 나타낸 것이다. 최대 하중 한계 상태시  $\alpha$ 를 계산한 결과 0.761로 계산되었다.

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c}{f'_c \epsilon_{cm}} \quad (2)$$

최대 한계 상태시 중립축( $c$ ) 값은 식 (3)과 식 (4)를 통해 산출된다. 식 (3)은 압축력과 인장력을 평형방정식으로 정리 한 것이다. 식 (4)는 식 (3)의 평형방정식을 중립축( $c$ )에 대한 2차 연립방정식으로 정리한 것이다. 중립축( $c$ )에 대한 2차 연립 방정식을 계산 한 결과, 중립축( $c$ )은 단면의 압축 축 콘크리트 상부 면으로 부터 201.5mm 떨어진 곳에 위치한다.

$$\alpha f'_c bc + A'_s f_y + \frac{1}{2} A'_w E_s \frac{\epsilon_c}{c} (c - d'') \quad (3)$$

$$= A_s f_y + A_f F_y + A_{wp} F_y + \frac{1}{2} A_{wny} E_s \epsilon_{sy}$$

여기서,  $A'_w = t_w (c - d'')$ ,  $A_{wny} = t_w \frac{\epsilon_{sy}}{\epsilon_c} c$ ,

$$A_{wp} = t_w \left\{ d - \left( c + d' + t_f + \frac{\epsilon_{sy}}{\epsilon_c} c \right) \right\}$$

$$\left\{ \alpha f'_c b + \frac{1}{2} t_w \epsilon_c E_s + t_w F_y \left( 1 + \frac{\epsilon_{sy}}{\epsilon_c} \right) - \frac{1}{2} t_w F_y \frac{\epsilon_{sy}}{\epsilon_c} \right\} c^2 \quad (4)$$

$$+ \{ A'_s f_y - t_w \epsilon_c E_s d'' - A_s f_y - A_f F_y - t_w F_y (d - d' - t_f) \} c$$

$$+ \frac{1}{2} t_w \epsilon_c E_s (d'')^2 = 0$$

$$\therefore c = 201.5mm$$

#### 3.2 휨내력 산정

휨 내력 산정시 Kent and Park은 콘크리트가 부담하는

휨모멘트를 계산하기 위해 콘크리트 응력블록의 도심 위치를 나타내는 Centroid factor( $\gamma$ )를 제안하였다. 식(5)은  $\gamma$ 의 산정식을 나타낸 것이다. 최대 하중 한계 상태시  $\gamma$  값은 0.411로 계산되었다.

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c f_c d\epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c} \quad (5)$$

식 (6)은 식 (4)에 의해 산출된 중립축을 기준으로 휨모멘트 산정식을 나타낸 것이다. 콘크리트 압축 블록에 대한 모멘트를 산정하기 위하여 Kent and Park이 제안하고 있는 Stress Factor  $\alpha$ 와 Centroid Factor  $\gamma$ 를 적용하였다. 따라서 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보 단면에 작용하는 휨모멘트는 729.4kN · m 으로 산출되었다.

$$\begin{aligned} M_n &= \alpha f'_c b c (c - \gamma c) + A'_s f_y (c - d'') \\ &+ \frac{1}{3} A'_w E_s \frac{\epsilon_c}{c} (c - d'') \\ &+ A_s f_y (d - c) + A_f F_y \left( d - c - d' - \frac{t_f}{2} \right) \\ &+ \frac{1}{2} A_{wp} F_y \left\{ (d - c - d' - t_f) + \frac{\epsilon_{sy}}{\epsilon_c} c \right\} \\ &+ \frac{1}{3} A_{wny} E_s \frac{(\epsilon_{sy})^2}{\epsilon_c} c \\ &= 729.4 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (6)$$

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 철골 프리캐스트 합성보의 휨 내력 분석

표 1은 시험체 #1과 #2에 대한 해석값과 실험 결과값을 비교한 것이다. 해석값은 재료 실험에서 측정된 콘크리트 압축응력 33.1MPa와 철근의 인장응력 437.5MPa를 사용하였다. 해석값과 실험 결과값은 항복 한계상태와 최대 하중 한계상태에 대하여 비교하였다. 항복 한계상태에서의 실험값에 대한 하중은 각각 657.1kN, 671.1kN으로 측정되었으며 해석값은 708.3kN으로 산출되었다. 또한 최대 하중 한계상태에서는 실험값의 경우, 하중은 각각 725.8kN, 730.3kN으로 측정되었으며 해석값은 729.4kN으로 산출되었다. 실험값과 해석값을 비교 분석한 결과, 항복 한계상태에서의 하중은 각각 -7.2%, -5.3%의 오차가 발생되었으며, 최대 하중 한계상태시 하중의 경우 -0.5%, +0.1%의 오차로 분석되었다. 철골 프리캐스트 콘크리트 합성보는 탄성 영역과 비탄성 영역에서 실험 결과값과 해석값이 매우 유사하게 나타남을 확인하였다.

표 1. 시험체의 실험값과 해석값의 비교

구분	항복 한계 상태			최대 하중 한계 상태		
	실험값 (kN)	해석값 (kN)	오차 (kN)	실험값 (kN)	해석값 (kN)	오차 (kN)
#1	657.1	708.3	-51.2 (-7.2%)	725.8	729.4	-3.6 (-0.5%)
#2	671.1	708.3	-37.2 (-5.3%)	730.3	729.4	0.9 (0.1%)

그림 7과 그림8은 시험체 #1, #2에 대한 하중과 하부 인장철근의 변형률 관계를 나타낸 그래프이다. 분석 결과 실험 포락선과 해석 포락선은 탄성영역과 비탄성 영역에서 모두 유사하게 거동하는 것으로 나타났다.

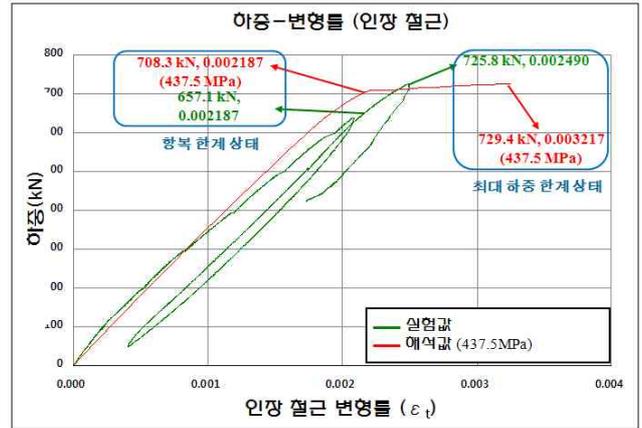


그림 7. 시험체 #1의 하중-변형률(인장 철근) 곡선

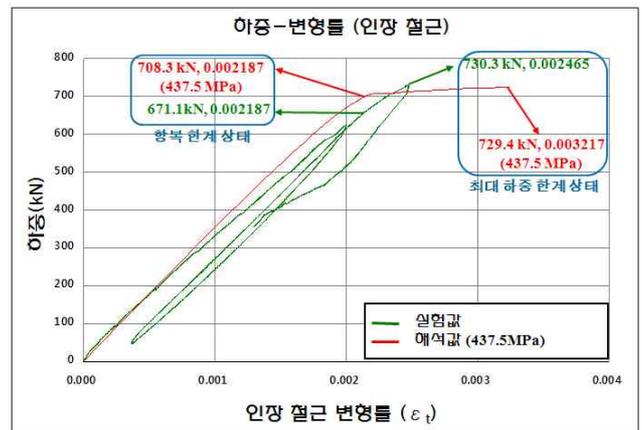


그림 8. 시험체 #2의 하중-변형률(인장 철근) 곡선

##### 4.2 철골 프리캐스트 합성보의 중립축 분석

주요 부재에 부착한 게이지를 이용해 변형률을 측정하였다. 그리고 측정된 변형률을 통해 합성보의 중립축을 분석하였다. Strain Compatibility 해석법에 의한 중립축( $c$ )의 위치는 콘크리트 변형률( $\epsilon_c$ )이 증가함에 따라 압축력을 받는 콘크리트의 면적이 넓어지면서 중립축이 내려오게 된다. 보 부재가 받는 휨모멘트의 증가로 하부 인장 철근이 항복하게 되면 인장 철근은 항복 응력 이상의 인장 응력을 받지 못하게 된다. 이에 압축력을 받는 콘크리트 면적은 점차 감소하면서 중립축( $c$ )은 올라가게 된다. 인장력을 부담하는 인장 철근과 철골 하부 플랜지가 모두 항복에 이르게 되면 추가적으로 인장력을 부담할 수 있는 구성요소는 철골 웨브만이 남게 된다. 따라서 중립축( $c$ )의 위치가 증가하는 이유는 힘의 평형을 위해 압축측 콘크리트 면적은 감소하게 되고 인장측 웨브 면적이 증가함에

따라 나타나는 현상이다. 웨브의 면적은 플랜지에 비해 그 면적이 매우 작기 때문에 중립축의 변화는 점차 작아지게 된다. 따라서 그림 9에서 항복 한계상태 이후, 접선의 기울기가 점차 감소하는 것을 확인하였다.

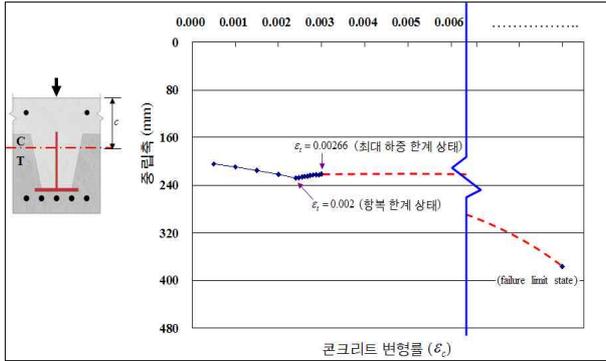


그림 9. 콘크리트 변형률( $\epsilon_c$ )에 따른 중립축( $c$ ) 위치

표 2는 시험체 #1과 #2에 대하여 가력하중의 증가에 따라 발생하는 각 한계상태별 중립축을 해석값과 실험값에 대하여 비교한 것이다. 또한 각 부재의 변형률을 산출하여 이를 근거로 중립축을 산정하였다. 실험에 의한 항복 한계 상태에서의 중립축은 시험체 #1, #2 각각 268.7mm, 257.4mm으로 나타났으며, 최대 하중 한계 상태에서 중립축의 위치는 각각 272.91mm, 264.67mm로 측정되었다. 해석에 의해 산출된 중립축인 201.46mm와 비교 하여 약 26.2%, 23.9%의 오차가 발생하였다.

그림 10과 그림 11은 각 시험체의 중립축의 변화를 나타낸 것이다. Strain Compatability 해석에 의한 중립축의 변화 (그림 8)는 탄성 영역에서 단면의 하부 인장축으로 이동을 한다. 부재의 항복 이후, 최대 하중 한계상태까지 중립축의 위치는 상부 압축 축으로 이동하는 경향을 보이고 있다. 그러나 실험에서 측정된 중립축의 경우 시험체 #1과 #2 모두 항복 한계 상태에서 부터 최대 하중 한계 상태까지 하부 인장축으로 중립축이 변화하고 있음을 확인하였다. 또한 실험에서 측정된 중립축의 변화량은 해석에 의해 산출된 중립축의 변화량에 미치지 못한 것으로 분석되었다.

표 2. 시험체의 실험값과 해석값의 중립축 비교

상태	비교	#1			#2			
		해석치	실험치	오차 (실험치-해석치)	해석치	실험치	오차 (실험치-해석치)	
Yield	중립축	213.53mm	268.67mm	55.14(20.5%)	213.53mm	257.37mm	43.8(17.0%)	
	변형률	압축 철근	-0.00163566	-0.00180050	0.00016484(9.2%)	-0.00163566	-0.00162493	-0.00001073(-0.7%)
		인장 플랜지하부	0.00188163	0.00181207	-0.00006956 (-3.8%)	0.00188163	0.00171250	-0.00016913(-9.9%)
		인장 철근	0.00218725	0.00218699	-0.00000026(0.0%)	0.00218725	0.00218693	-0.00000032(0.0%)
Maximum	중립축	201.46mm	272.91mm	71.45(26.2%)	201.46mm	264.67mm	63.2(23.9%)	
	변형률	압축 철근	-0.002091651	-0.00208979	-0.00000186(-0.1%)	-0.002091651	-0.00195356	-0.00013809(-7.1%)
		인장 플랜지하부	0.002792584	0.00203887	-0.00075371 (-37.0%)	0.002792584	0.00210361	-0.00068897(-32.8%)
		인장 철근	0.003216977	0.00249016	-0.00072682 (-29.2%)	0.003216977	0.00246464	-0.00075234(-30.5%)

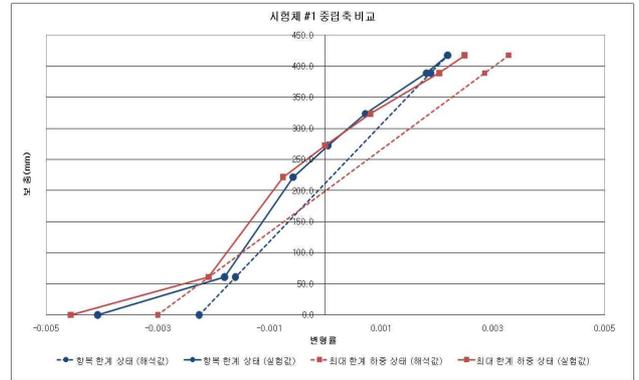


그림 10. 시험체 #1의 중립축 비교

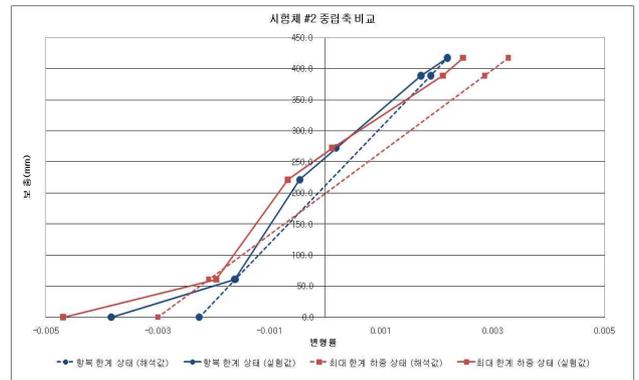


그림 11. 시험체 #2의 중립축 비교

### 5. 결론

본 논문에서는 기존 벽식 구조의 문제점을 보완하는 장스팬 구현이 가능한 합성보의 해석과 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 시험체에 대한 중립축과 하중을 측정하였으며 제시된 해석법과의 비교 분석으로 Strain Compatability 해석법의 타당성을 파악하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 시험체 단면의 내력을 분석하기 위하여 적용된 Strain Compatability 해석법은 모든 구성 요소의 변형률을 이용하여 휨 내력 및 중립축을 계산한다. 그러므로 각

한계상태에 따른 주요 부재의 응력 상태와 중립축의 변화를 효율적으로 확인할 수 있다.

2) 실험과 해석을 통해 산출된 항복 한계상태시 하중의 오차는 약 -7.2%~ -5.3%로 측정되었으며 최대 하중 한계상태시 실험값과 해석값의 오차는 약 -0.5%~+0.1%로 분석되었다. 이를 통해 탄성 및 비탄성 영역에서 시험체의 결과값은 해석값과 거의 유사함을 확인하였다. 따라서 Strain Compatability를 이용한 합성보의 해석법에 대한 타당성을 입증할 수 있다.

3) 실험과 해석을 이용하여 분석된 중립축의 오차율은 항복 한계상태시 약 20.5%~17.0%로 나타났으며 최대 하중 한계상태시 약 26.2%~23.9%로 측정되었다. 중립축의 위치에 대한 해석값과 실험값의 차이가 발생하는 이유는 시험시 압축 측 콘크리트 부분에 크랙이 발생하여 미세한 중립축의 변화가 발생한 것으로 분석된다.

본 논문을 통해 장스팬 구현이 가능한 합성보의 정확한 단면내력이 파악되어 구조적 신뢰성을 확보 할 수 있었다. 또한 제시한 설계법을 통해 효율적인 부재설계가 가능하여 합성보의 경제성 향상에 기여할 수 있을 것이라고 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2010-0001860)

## 참고문헌

1. AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Building", American Institute of Steel Construction, 2002
2. R. Park, T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures", JOHN WILEY & SONS, 1975.
3. W.K. Hong, S.C. Park, J.M. Kim, S.G. Lee, S.I. Kim, K.J. Yoon and H.C. Lee, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part I: Experimental Investigation", Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.19, No.3, pp275-289, 2010
4. W.K. Hong, J.M. Kim, S.C. Park, S.I. Kim, S.G. Lee, H.C. Lee and K.J. Yoon, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part II: Analytical Investigation", Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.18, No.8, pp891-905, 2009
5. W.K. Hong, S.C. Park, H.C. Lee, J.M. Kim, S.I. Kim, S.G. Lee, H.S. Kim and K.J. Yoon, "Composite Beam Composed of Steel and Pre-cast Concrete.(Modularized Hybrid System, MHS) Part III: Application for a 19 story Building", Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.19, No.6, pp.679-706, 2010
6. W.K. Hong, S.C. Park, J.M. Kim, S.I. Kim, S.G. Lee, D.Y. Yune, T.H. Yoon, B.Y. Ryoo, "Development of Structural Composite Hybrid Systems and their Application with regard to the Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions", Indoor and Built Environment, Vol.19, No.1, pp.151-162, 2010
7. W.K. Hong, J.M. Kim, S.C. Park, S.G. Lee, S.I. Kim, K.J.

Yoon, H.C. Kim, and J.T. Kim, "A new apartment construction technology with effective CO<sub>2</sub> emission reduction capabilities", Energy - The International Journal, Vol.35, No.6, pp2639-2646, 2010

8. 이명재, 김철환, 이승준, 김원기, 김희동, "보-슬래브 시스템 구조성능에 관한 실험적 연구", 한국강구조학회논문집, Vol. 16, No. 1, pp. 91-101, 2004

투고(접수)일자: 2010년 12월 3일

심사일자: 2010년 12월 8일

게재확정일자: 2011년 1월 24일