

# Lip-Type 모듈형 SC보의 휨내력에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Flexural Strength of Lip-Type Modular Steel Concrete Beam

안 형 준<sup>1)</sup> · 신 일 균<sup>2)</sup> · 류 수 현<sup>3)</sup>

Ahn, Hyung Joon · Shin, Il Kyoun · Ryu, Soo Hyun

요약: 본 논문은 기존의 철근콘크리트의 단점을 개선한 Lip형 모듈단면 MSC보의 휨거동에 대하여 실험값과 이론값을 비교 분석하여 MSC보의 적용에 대한 기초적인 자료를 제시하고자 하였다. 기존의 SC보는 제작과정에서 절단 및 용접 등 많은 노동력을 필요로 하지만 MSC보는 박판강재를 측면모듈과 하부모듈의 2가지 형태로 모듈화 하여 필요한 크기의 SC보를 손쉽게 제작할 수 있는 프리패브의 개념을 도입하였다. 실험결과 모듈간의 결합방법 및 콘크리트와의 합성방법에 개선이 필요성이 나타났으며 추후 연구를 통해 모듈간의 결합력강화 및 강재와 콘크리트의 합성율을 높인다면 새로운 구조부재로 사용이 가능하다고 판단된다.

ABSTRACT: In this paper, the basic data regarding the application of the MSC (Modular Steel Concrete) beam are presented by comparing the experimental value with the theoretical value, focusing on the bending behavior of the Lip-type MSC beam, which is composed of steel and concrete. Considerable manpower is needed to fabricate the traditional MSC beam, particularly for the tasks of cutting, welding, etc. Because much time is needed to fabricate the traditional SC beam, the prefabrication concept is introduced, in relation to the proposed MSC beam, which allows one to easily produce the required size of the SC beam by prefabricating the side module and the lower module, which is made up of a steel sheet.

The result indicates that the method of uniting the modules, and the composition method with concrete, should be improved. The proposed MSC beam can be used as a new structural member by increasing its coherent reinforcement with modules and the composition ratio of steel and concrete through a future study.

핵심용어: MSC보, 립, 휨내력, 프리패브

KEYWORDS: MSC-Beams, Lip, Flexural Strength, Prefabrication

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

철근 콘크리트 구조는 철근과 콘크리트의 이질재료로 구성된 합성구조라 할 수 있다. 압축에 강하지만, 인장에 약하고 취성적 특성을 갖는 콘크리트의 단점을 강한 인장력과 연성 능력을 갖는 철근이 보완하는 형태이다. 또한, 열에 약한 철근의 단점을 콘크리트가 내화피복의 역할로서 보완한다. 이러한 상호작용에 의해 철근 콘크리트 구조는 압축력과 인장력 모두에 강

한 내력을 갖는다.

하지만 이러한 철근 콘크리트 구조는 여러 가지 문제점을 안고 있다. 철근 콘크리트 구조를 시공함에 있어 철근 배근 작업의 어려움은 배근 간격, 정착 길이, 피복 두께의 미확보 및 여러 가지 설계와 시공간의 오차를 초래할 수 있고, 콘크리트 타설시 작업자의 부주의나 불량한 작업 환경은 철근 콘크리트 구조의 신뢰성을 저해하는 요소가 된다.

이러한 단점을 극복하기 위해서 최근에 제안된 것이 SC(Steel Concrete)구조인데, SC구조는 새로운 형태의 합성 구조로써, 철근 콘크리트 구조의 철근 배근의 신뢰성을 제

1) 정회원, 건국대학교 건축공학부 교수(ahnhyung@konkuk.ac.kr)

2) 건국대학교 대학원, 공학석사

3) 교신저자, 정회원, 삼육대학교 건축학과 교수

(Tel. 02-3399-1850, Fax. 02-3399-1857, Email : ryu129@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

고하기 위해 콘크리트가 철근을 감싸는 형태가 아닌 철판이 콘크리트를 감싸고 있는 형태로 만든 것이다. SC구조의 장점은 철근 배근의 품을 줄이고, 시공오차를 줄여 구조적 신뢰성이 높으며, 외부 철판이 거푸집 역할을 하기 때문에, 공기 단축과 비용절감 효과를 얻을 수 있다. 또한 강재가 구조적 역할을 하므로 RC보에 비해 보의 자중과 춤을 줄일 수 있어 건물의 초고층화, 대형화 등을 가능하게 한다.

최근의 연구동향은 국내에서는 합성구조 중 바닥판엔 테크플레이트의 사용이 증가 추세에 있고, 또한, 건축물에서 층고를 줄이고자 슬림플로어(허병욱 2001)시스템의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 보에는 H형단면의 합성보가 기둥에는 각형강관을 이용한 충전각형강관(CFT) 기둥이 사용되고 있다.

합성보 분야에서는 H형단면의 합성보를 개선하여 비틀림 강성이 크고, 국부좌굴 및 횡좌굴 변형이 적은 각형강관을 이용한 각형강관 보(이수연 1996) 및 강재콘크리트보(이하 SC보 : Steel Concrete Beam)(류수현 2005)에 대한 연구가 진행되고 있으며 김상모(2003), 김상섭(2004) 등이 강관을 이용한 T형 합성보의 거동에 대한 연구를 진행하였으나 슬래브와 전단연결재의 합성거동을 중점으로 규명하였다. 기존의 T형 합성보는 각각의 합성보를 필요에 따라 제작하지만 본 연구에서는 박판강재를 측면모듈과 하부모듈의 2가지 형태로 모듈화하여 필요한 크기의 SC보를 손쉽게 제작할 수 있는 프리패브의 개념을 도입하였다. 국외에서는 호주의 Oehlers와 Bradford가 절곡된 단면을 갖는 박판 SC보에 대한 연구를 진행하였으며 절곡된 단면은 모듈이 아닌 한개의 박판에 의해 이루어진 연구였다.

그러나 본 연구는 동일한 박판이지만 SC보 시공성능 향상을 위해 프리패브개념을 도입했으며 콘크리트와의 슬립현상을 최소화하기 위해 외부 강관을 립(Lip)을 가진 모듈로써 제작한 Lip-Type 모듈형 SC보(Lip-Type Modular Steel Concrete Beam : 이하 Lip-Type MSC보)를 개발하고 휨 성능 및 인장 보강 효과를 실험하여 이론해석과의 비교를 통해 보다 효율적인 MSC보의 단면을 제안하고, MSC보의 실용화를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법

본 연구의 실험에 있어 제작한 모듈형 SC보의 형태는 기본적으로 립을 갖는 6개의 모듈을 제작하여 이 모듈의 조합으로 보 외부부를 구성하고, 콘크리트를 타설한 형태이다. 이러한 모듈을 제작하여 구성하는 것은 하나의 판으로 외부 형태를 만드는 것에 비해 강재량이 증가하나, 보다 큰 강성을 갖게 되며, 콘크리트와의 부착면적을 증대시켜 콘크리트와의 일체 거동을

가져온다. 이것은 기존의 하나의 판으로 제작된 SC보에 비해 휨내력의 증대와 국부좌굴의 방지 및 비틀림 강성의 증대를 가져올 수 있다. 이를 확인하기 위한 연구의 범위는 다음과 같다.

- 1) 소성 설계 이론을 이용하여 Lip-Type MSC보의 내력식을 분석, 검토한다.
- 2) Lip-Type MSC보의 중립축 및 휨내력을 산정한다.
- 3) 실험을 통하여 Lip-Type MSC보의 휨내력을 구하고 이를 이론식에 의해 산정된 값과 비교한다.
- 4) 동일한 단면을 갖는 단판으로 절곡한 기존에 연구된 SC보의 내력과 비교한다.

## 2. MSC보의 이론해석

MSC보의 해석은 Oehlers(1993, 1994, 1995)가 제안한 식을 참고하여 산정하였다. Lip-Type MSC보의 휨내력은 강재의 전단면에 항복강도를 적용하고 콘크리트의 압축단면에  $0.85f_{ck}$ 를 적용한 소성설계이론에 의하여 산정하였으며 산정된 이론값을 실험 결과와 비교하였다. 소성모멘트를 계산하기 위한 기본가정은 다음과 같이 가정한다.

콘크리트의 압축응력은 압축영역에서  $0.85f_{ck}$  응력이 균등하게 분포하는 것으로 가정한다. 압축영역의 높이는 부착응력의 비율에 따라 산정하며 콘크리트의 인장력은 무시한다. 강재는 소성중립축을 중심으로 상부는 압축으로 하부는 인장으로 균등한 항복응력( $f_y$ )으로 분포하며 이론해석을 위해 단면의 형태를 유효두께  $t_c$ 로 단순화한 것으로 가정한다.

### 2.1 개개의 모듈이 볼트로 연결되어 있지 않을 경우

#### 2.1.1 완전부착일 경우(Full Shear Connection)

MSC보의 콘크리트와 강재가 완전부착 되어 완전합성 거동을 하면 개개의 모듈은 하나의 거동을 보여 그림 1의 (b), (c)와 같이 거동 한다. 이때의 휨모멘트( $M_p$ ) 값은 2.2에서 완전부착일 경우의 식 (8), (9)를 이용한 휨모멘트( $M_p$ ) 값과 같다.

#### 2.1.2 부분부착일 경우(Partial Shear Connection)

MSC보의 콘크리트와 강재가 부분부착 되면 개개의 모듈은 하나의 형태로 거동하지 않고 일부분 분리된 현상을 보이게 되며 그림 1의 (g)와 같은 형태가 된다. 이 경우 휨모멘트( $M_p$ )의 값은 부분부착에 의한 모멘트와 콘크리트의 모멘트, 그리고 개개 강판의 모멘트의 합에 의해서 구한다.

$$(M_p)_{bc} = P'_{(1)} h_c + P'_{(3)} (h_c - 0.5h_m) + P'_{(2)} (h_c - 1.5h_m)$$

$$-P'_{(1)}(h_c - 2.5h_m) - C_c \frac{n_c}{2} + 3M_m \quad (1)$$

여기서,  $P(1)$  = 강재의 항복내력  
 $P'(1)$  = 부착률을 곱한 강재의 항복내력  
 $M_m$  = 개개모듈의 휨내력  
 (부착에 의해 손실된 내력 제외됨)  
 $h_m$  = 모듈의 높이  
 $h_c$  = MSC보의 높이

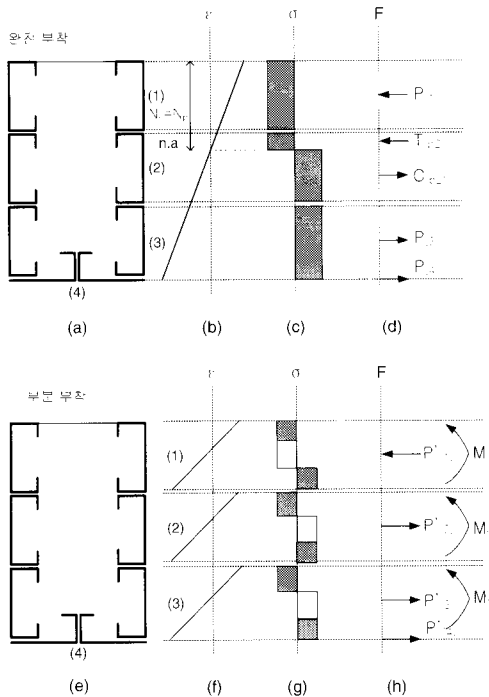


그림 1. 모듈간 부착정도별 응력 및 변형분포

### 2.1.3. 부착력 없을 경우(No Shear Connection)

MSC보의 콘크리트와 강재가 부착력이 없을 경우의  $(M_p)_{SC}$ 의 값은 개개 모듈의 휨내력의 단순한 합이다. 이때 콘크리트는 내력에 대한 기여는 없고 강재의 좌굴방지 역할만 하게 되며 강재에 의해서만 내력을 발휘하게 된다.

### 2.2 개개의 모듈이 볼트로 연결되어 있을 경우

Lip-Type MSC보의 단면은 그림 2 (a)와 같으며 그림 2 (c)와 그림 2 (d)는 각각 콘크리트와 강재가 완전부착일 경우(Full Shear Connection)와 부분부착일 경우(Partial Shear Connection)의 변형도 곡선과 그때의 콘크리트와 강재의 중립축을 나타내고 있다. 부착의 개념은 그림 2 (b)처럼 부착응력이 부착면적(SL)에 작용하여 발생하도록 하는 것이다.

$$P_b = f_b S L \quad (2)$$

여기서  $P_b$  = 콘크리트와 강재의 부착력  
 $f_b$  = 강재와 콘크리트의 부착응력  
 $S$  = 강재의 둘레길이  
 $L$  = 보 단부로부터 재하점까지의 거리

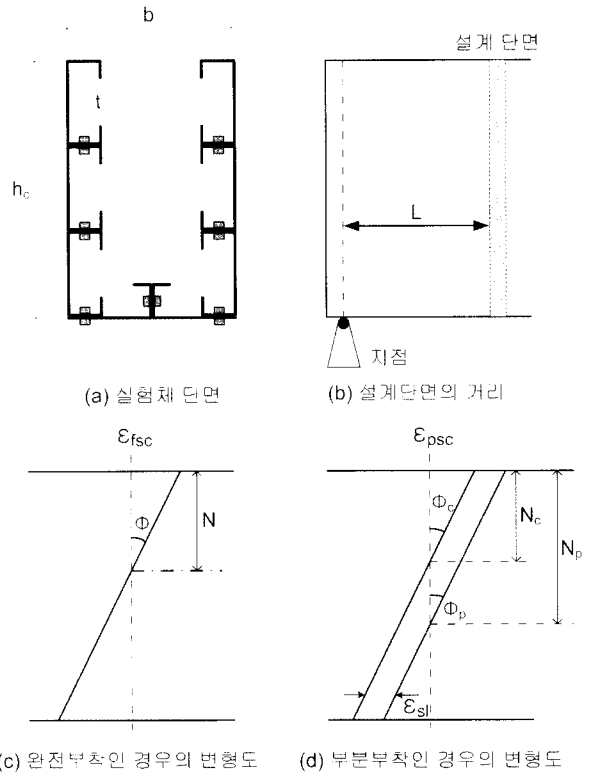


그림 2. MSC보의 변형분배

강재 요소와 콘크리트가 슬립이 발생하지 않고 서로 완전부착 되어 거동한다면 콘크리트의 중립축과 강재 요소가 그림 2 (c)처럼 일치할 것이다. 휨모멘트의 증가에 따라 곡률 $\phi$ 가 증가하면 부착력은 증가할 것이며 슬립이 발생하지 않고 최대모멘트에 도달하게 되면 단면은 완전합성작용을 하게 된다. 그림 2 (d)에 보이는 바와 같이 콘크리트와 강재모듈의 부착력 저하되면 서로 다른 중립축을 갖게 되고 이에 따라 슬립 변형도  $\epsilon_{sl}$ 이 발생하게 된다. MSC보의 휨내력은 각 단면 요소(강재 요소, 콘크리트 요소)에 대한 힘의 분배를 고려하여 결정한다.

그림 3은 콘크리트 요소의 거동을 나타내며 중립축은  $N_c$ 로 나타내고  $n_c$ 는 사각형 콘크리트 압축응력 블록의 춤을 나타내며  $N_c = \frac{n_c}{\beta_1}$  이다.

$$\text{여기서 } \beta_1 = 0.85 - 0.007(f_{ck} - 28)$$

콘크리트 요소가 힘을 받아 압축력을 발휘한다면 콘크리트 요소와 부착력이 각각 압축과 인장축 요소가 되어 모멘트를 받

생시킬 것이며 이때 힘의 평형을 생각하면 콘크리트의 압축력과 부착력에 의한 인장력을 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_c = 0.85f_{ck}\beta_1N_c b = P_b \quad (3)$$

여기서  $C_c$ 는 콘크리트의 압축력이며 중립축  $N_c$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$N_c = \frac{P_b}{0.85f_{ck}\beta_1 b} \quad (4)$$

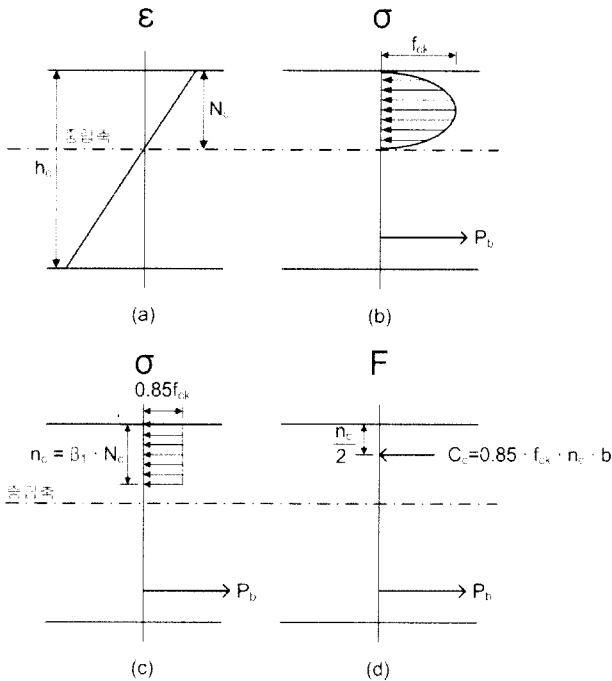


그림 3. 콘크리트 요소의 거동

그림 4는 강재 요소의 거동을 나타내며  $N_b$ 는 중립축을 나타낸다. 콘크리트와 강재의 종합적인 힘의 평형을 생각하면 콘크리트의 인장축에 작용한 부착응력은 강재 요소에서는 압축축에 작용하여야만 힘의 평형이 성립한다. 따라서 힘의 평형을 식으로 나타내면

$$T_b = C_b + P_b \quad (5)$$

여기서  $T_b$  = 인장축 강재의 인장력

$C_b$  = 압축축 강재의 압축력

그림 4 (c)는 그림 4 (b)를 변형하여 강재의 압축축에 각각 압축응력  $f_y$ 와 인장응력  $f_y$ 를 더하여 변형한 것이며 힘의 평형에는 변함이 없다. 식 (4)를 그림 4 (c)와 같이 변형된 응력

분포에 적용하면 다음 식과 같다.

$$f_y t_e (2h_c + b) = 2 \times 2f_y t_e N_b + P_b \quad (6)$$

식 (6)를  $N_b$ 에 관하여 정리하면,

$$N_b = \frac{f_y t_e (2h_c + b) - P_b}{4f_y t_e} \quad (7)$$

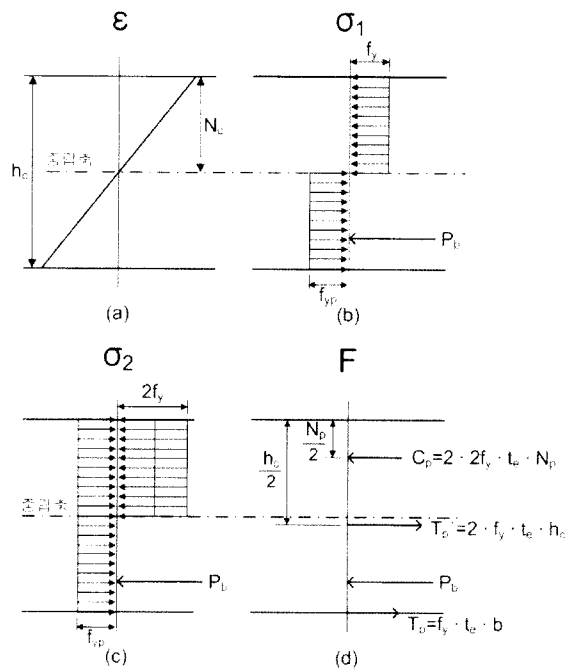


그림 4. 강재 요소의 거동

Lip-Type MSC보의 모멘트 용량은  $M_b$ 이며 그림 3 (d)와 그림 4 (d)와 같이 단면의 상단부에 대한 힘 모멘트를 취하면 구할 수 있다. 부착력은 반대방향으로 작용하고 두 단면의 동일 위치에 있기 때문에 모멘트에 대한 기여는 0이다.

$$M_b = f_y t_e (h_c^2 + b h_c - 2N_b^2) - \frac{0.85f_{ck} a^2 b}{2} \quad (8)$$

### 2.2.1. 완전부착일 경우(Full Shear Connection)

완전부착일 경우 슬립변형은 0이며 따라서  $N_c = N_b$  이다. 그러므로 완전부착을 얻기 위해 요구되는 부착력  $(P_b)_{fsc}$ 는 식 (4)과 식 (7)을 등치시켜 구하면 다음과 같다.

$$(P_b)_{fsc} = \frac{f_y t_e (2h_c + b) \times 0.85f_{ck}\beta_1 b}{4f_y t_e + 0.85f_{ck}\beta_1 b} \quad (9)$$

식 (9)의  $(P_b)_{fsc}$ 를 식 (4)과 식 (7)에 대입하여  $N_c$ ,  $N_p$ 를 구하면 식 (8)에 대입하여 완전부착일 경우의 휨모멘트( $M_p$ )를 구할 수 있다.

### 2.2.2. 부분부착일 경우(Partial Shear Connection)

전단연결의 정도에 따라  $(P_b)_{fsc}$ 를 변형하여  $N_c$ 와  $N_p$ 의 값을 각각 구하고 식 (8)에 대입하여 구한다.

예를 들면 전단 연결도가 50%일 경우

$$(P_b)_{50\%} = 0.5 \times (P_b)_{fsc} \quad (10)$$

### 2.2.3. 부착력 없을 경우(No Shear Connection)

$P_b=0$ 인 경우이며 식 (4)에서  $N_c=0$ 이 되고 식 (7)에서  $N_p = \frac{f_y t_e (2h_c + b)}{4f_y t_e}$  이 된다. 이때 콘크리트는 내력에 대한 기여는 없고 강재의 좌굴방지 역할만 하게 되며 강재에 의해서만 내력을 발휘하게 된다.

## 3. 실험계획

### 3.1 실험체

모듈단면 SC보의 휨내력을 실험하기 위해 본 연구에서 제안한 실험체는 그림 5와 같이 립을 가진 측면과 하부 2개 모듈의 조합으로 이루어진 3가지 형태로 제작되었다.

표 1. 실험체 일람

실험체명	BXH(mm)	강판의 두께(mm)
MSC-NL	200X300	1.6
MSC-BL	200X300	1.6
MSC-BLR	200X300	1.6

MSC-NL-200X300X1.6T

단면크기 및 철판두께  
 모듈 구성 방법 및 단면형태  
 NL-접합이 없는 리브형  
 BL-볼트접합리브형  
 BLR-인장보강된 볼트접합 리브형  
 모듈형 SC보

강재의 두께는 1.6mm로 하였고 보의 폭은 200mm로 하였으며 높이는 300mm로 하였다. 보의 전체 길이는 2300mm이고, 지점간의 거리는 2000mm로 하였다. 실험체의 결합은 직경 8mm 길이 25mm의 일반볼트를 200mm간격으로 배치하여 모듈간의 결합에 사용하였다.

그림 6에 있는 SCB-200-300-1.6 보는 MSC와 동일한 크

기와 실험조건을 가진 하부 요철 장방향의 PSC보이며(이하 PSCB ; Prominent Steel Concrete Beam) 류수현(2005)의 실험결과를 인용하여 본 실험결과와 비교, 분석하였다.

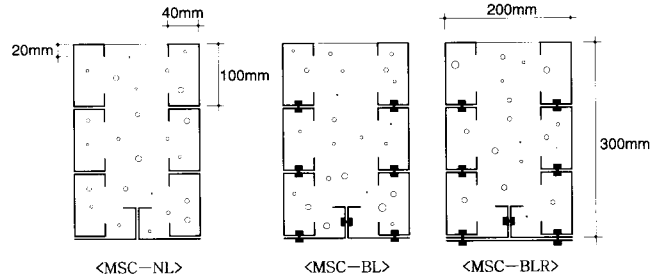


그림 5. 실험체 단면

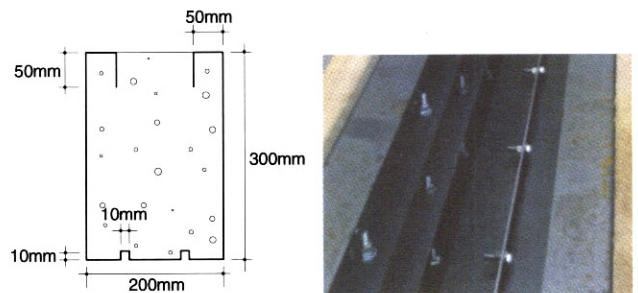


그림 6. PSCB-200X300X1.6

그림 7. 볼트접합 상세

### 3.2 소재 실험

#### 3.2.1 콘크리트 압축강도 실험

본 실험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도가 23.52MPa이며 현장타설 후 양생하였다. KS F 2403에 따라 제작한 공시체는 실험과 동일한 조건에서 양생하였으며, 콘크리트 압축강도 시험결과는 평균 25.47MPa를 얻었다.

표 2. 콘크리트의 배합비

설계 강도 (MPa)	W/C (%)	슬럼프 (mm)	단위 골재량 (N/m³)			
			W	C	S	G
23.52	52	120	1,715	2,871	7,800	9,379

W : 물 C : 시멘트 S : 잔골재량 G : 굵은골재량

#### 3.2.2 강재의 인장강도 실험

본 실험에 사용된 시험편은 KS D 3503의 압연강판인 SS400으로 두께는 1.6mm이며 2개를 시험편을 제작하였다.

표 3. 강재의 인장강도 시험결과

시험편	$F_y$	$F_u$	$E$	$\epsilon_y$	$F_y/F_u$	연신율(%)
1..6mm	372.4	423	$2.04 \times 10^5$	1,830	0.88	27.4

$F_y$  : 항복강도(MPa),  $F_u$  : 인장강도(MPa),  
 $\epsilon_y$  : 항복변형도( $\times 10^{-3}$ ) E : 탄성계수(MPa)  
 $\sigma_y/\sigma_{max}$  : 항복비

### 3.3 가력 및 측정 방법

실험체의 가력은 그림 7과 같이 490kN의 만능시험기를 사용하여 2점 가력하였다. 변위측정은 보 중앙 좌우측에 두 개의 변위계를 설치하였다. 강재의 변형도는 측면 모듈 각각의 상, 중, 하와 보 상부와 하부에 부착하였다. 보 중앙 상부에 콘크리트 게이지를 부착하여 압축측 콘크리트의 거동을 파악하였다.



그림 8. 가력대 전경

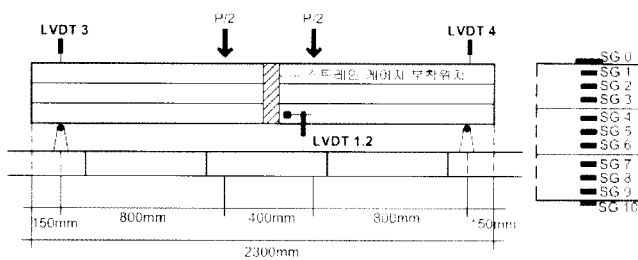


그림 9. 측정 위치 및 스트레인 게이지 부착위치

각 곡선은 최대하중에 도달한 이후 소성변형구간이 없이 하중이 급격히 감소하는 현상을 나타냈다. 하중감소는 그림 11에 보이는 것과 같이 압축을 받는 상부모듈에 발생된 횡좌굴현상에 의한 것이며, 또한 횡좌굴로 인해 단면상에서 부착면적을 증대하고자 계획하였던 L자 형 립이 췌기 작용을 하여 압축측 콘크리트를 분할하므로 콘크리트가 파괴되어 발생한 것으로 판단된다. 하중이 일정량 감소한 이후 소성변형 구간이 나타났으며 이는 횡좌굴이 상부모듈에 발생하여 상부모듈이 점차 내력을 상실 후 내부콘크리트가 나머지 강재모듈과의 부착에 의한 내력을 발휘하여 소성변형이 발생한 것으로 판단된다.

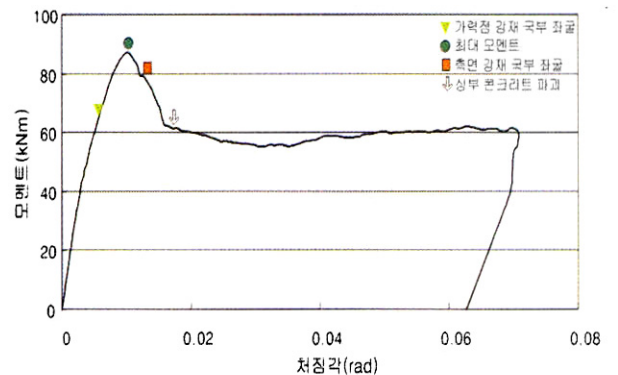


그림 10. MSC-NL의 M-θ 곡선



그림 11. MSC-NL의 파괴상상

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 파괴상상 및 M-θ곡선

#### 4.1.1 MSC-NL의 실험결과

MSC-NL은 모듈간 볼트에 의한 결합 없이 오직 콘크리트와 강재간의 부착력만으로 모듈이 결합된 형태이다. 모멘트-처짐

#### 4.1.2 MSC-BL의 실험결과

MSC-BL은 볼트를 이용하여 모듈간을 결합 시킨 모델로 최대내력은 105.3kNm이며 최대하중 이전 39.2kNm에서 상부 강재의 하중점에서 국부좌굴이 발생하기 시작하였으며, MSC-NL과 마찬가지로 최대하중에 도달한 후, 상부 콘크리트의 파괴가 일어나기 전에 하중의 급격한 감소를 보였다. 이러한 현상은 MSC-NL과 동일하게 립에 의한 췌기작용과 상



부모듈에 횡좌굴에 의해 발생한 것으로 판단되며, MSC-NL 보다 비교적 감소의 폭이 작은 것은 볼트체결에 의한 강재의 결합력 향상에 따른 것으로 판단된다. 그림 13에는 하중점 국부좌굴이 진전되어 파괴된 형상과 상부모듈의 횡좌굴 양상이 나타나 있다.

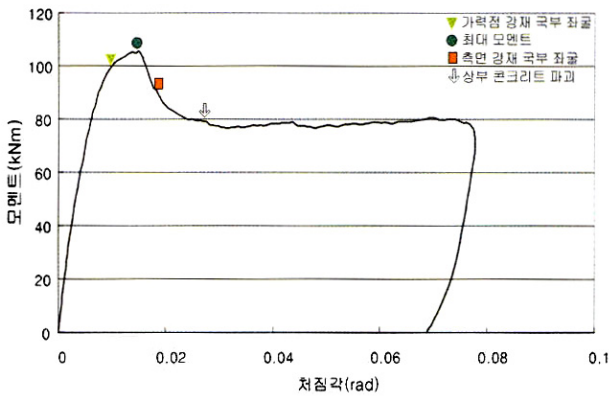


그림 12. MSC-BL의 M-θ 곡선

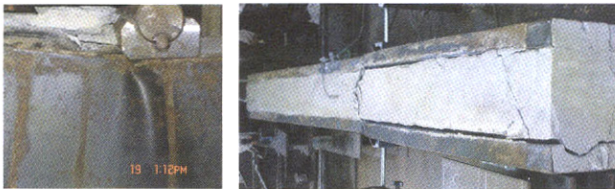


그림 13. MSC-BL의 파괴성상

#### 4.1.3 MSC-BLR의 실험결과

MSC-BLR은 MSC-BL 하부에 보폭과 동일한 폭의 강판 (1.6mm)을 덧대어 보강한 형태이다. 모멘트-처짐각 곡선의 특징은 하중의 감소가 완만하고 감소의 폭이 가장 적은 것으로 나타났다. 하중감소 이후 처짐각 0.04라디안에 이르러서는 오히려 하중이 증가하는 양상을 나타냈다. 이는 하부 강판보강이 실험체의 내력을 상승 시키지는 못했지만, 상부 콘크리트 파괴 이후에 실험체의 소성변형 능력에는 영향을 준 것으로 판단된다. 동일한 형태에 밀판을 덧댄 MSC-BLR이 MSC-BL 실험체 보다 오히려 내력이 적게 나타난 것은 보강이 내력상승에는 전혀 효과가 없음을 나타내며 이는 압축축 모듈의 횡좌굴이 원인으로 판단된다.

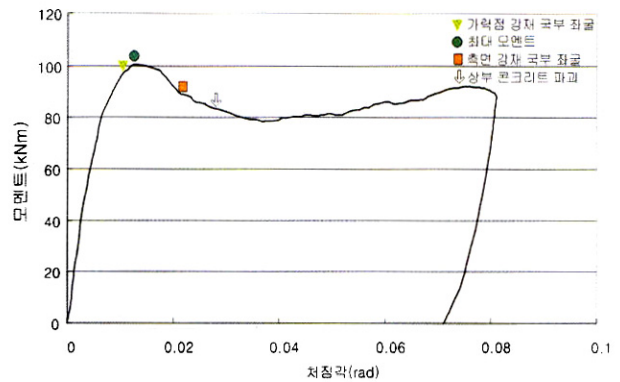


그림 14. MSC-BLR의 M-θ 곡선

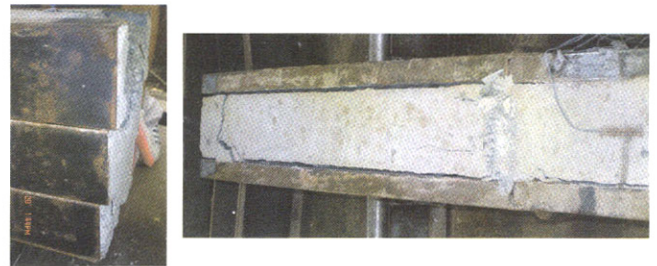


그림 15. MSC-BLR의 파괴성상

## 4.2 분석 및 고찰

### 4.2.1 MSC보와 기존 PSC보와의 비교

#### 1) 강성

그림 16은 각 실험체의 M-θ곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 초기 강성에 있어서 PSCB에 비해 강재량이 많은 MSC보가 크게 나타났다. 그러나 MSC보를 PSCB와 비교하면 최대하중 이후에 급격한 하중의 저하를 보였는데, 이것은 압축축 상부모듈의 횡좌굴에 의한 영향으로 립이 콘크리트를 분리하는 썬기 작용을 하여 그림 11, 13, 15처럼 콘크리트가 파괴되었기 때문이다.

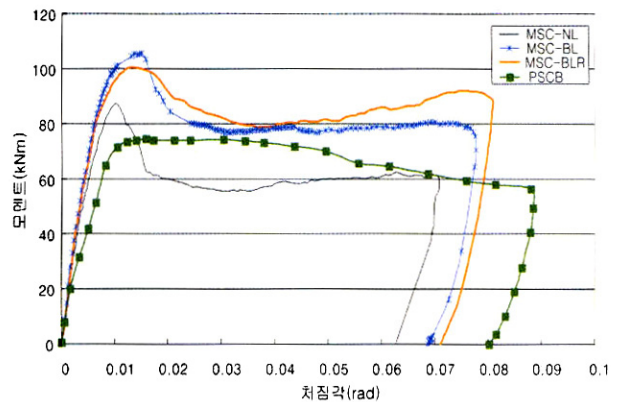


그림 16. MSC보와 기존 PSC보의 M-θ 곡선 비교

MSC는 전 실험체가 유사한 초기 강성이 나타났으나, MSC-NL 실험체는 모듈간의 볼트접합이 없고 따라서 하중이 증가시 콘크리트와의 부착력 파괴로 인해 강성의 저하가 먼저 나타났다.

2) 내력

MSC-BL 실험체는 MSC-NL과 유사한 양상을 보였으나 휨 내력은 1.2배 크게 나타났다. 이는 모듈간의 볼트의 결합으로 인해 강재의 결합력 및 콘크리트와의 부착능력이 향상되 나타난 것으로 판단된다. MSC-BLR 실험체의 경우는 최대하중이 MSC-BL 실험체에 비해 적게 나타났으나, 최대하중 이후의 하중의 감소량이 비교적 완만하며, 하중 감소 후에 다시 하중이 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상부모듈에 횡좌굴이 발생하여 하부 보강판의 인장 보강효과를 나타내지 못했지만, 콘크리트 파괴 이후에 실험체의 소성 변형 능력 증가에 기여한 것으로 판단된다. 모든 실험체는 최대내력 이후 소성변형양상을 보이지 못하고 어느 정도 내력 저하가 나타났으며 이후 소성변형을 보이다가 파괴되었다. 내력저하는 압축을 받는 상부 모듈의 횡좌굴에 의한 것으로 적절한 제어 대책이 필요한 것으로 판단되며 내력저하 후 횡좌굴되지 않은 모듈과 콘크리트의 부착력으로 인한 합성거동으로 인해 소성거동을 한 것으로 판단된다.

3) 이론값과 실험값의 비교

표 4는 최대 휨모멘트의 이론값과 실제값을 비교한 것이다. 최대 휨모멘트의 이론값은 모듈 상호간이 완전 결합되고 강재가 콘크리트와 완전합성되었다는 가정 하에 산정한 것이다. MSC-NL 실험체는  $M_{me}/M_{mt}$  값이 0.67로 2.1에 전개한 이론식으로 분석하면 휨모멘트가 완전부착시 131.12kN·m, 50% 부착시 82.81kN·m, 0% 부착시 19.6kN·m로 실험값 87.58kN·m는 부착률 50%를 초과함을 확인할 수 있었고, 4.2.2의 그림17의 강재 변형도 변화양상을 통해 2.2의 이론이 적용됨을 확인 할 수 있다. MSC-BC 실험체의 양상은  $M_{me}/M_{mt}$  값이 0.80이며 MSC에서는 제일 높은값을 나타냈으나 PSCB의 0.89보다는 작게 나타났다. 2.1에 전개한 식에 따르면 50% 부착시 82.81kN·m, 2.2에 전개한 식에 따르면 50% 부착시 116.62kN·m로 실험값 105.37kN·m는 2.1과 2.2사이에 위치함을 확인 할 수 있다. 그림18의 강재 변형 분포도를 참고하면 실재 강재의 변형양상이 모듈간 완전 결합을 가정한 2.1보다는 2.2에 근접함을 확인할 수 있고 2.2에 따라 계산한 결과 합성률은 76%로 나타났다. MSC-RBC 실험체의 양상은  $M_{me}/M_{mt}$  값이 0.72로 하부 보강판이 내력 향상에는 전혀 기여하지 못한 것으로 나타났다. 그림19와

같이 볼트접합에 의한 접합부의 불완전성과 압축측 측면판의 횡좌굴에 원인이 있다고 판단된다. 이상과 같이 PSCB보에 비해 MSC보가 저조한 양상을 보이고 있으며 원인은 모듈의 횡좌굴에 의한 내력저하 때문인 것으로 판단된다. 향후 모듈간 접합방법의 개선을 통한 접합방법의 향상 및 T형보 개념 또는 횡좌굴 방지방법을 개발하여 압축측 횡좌굴현상이 억제되면 보다 우수한 MSC보의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

표 4. 기존 SC보와 MSC보의 휨내력 비교

실험체명	$M_{mt}$ (kN·m)	$M_{me}$ (kN·m)	$\frac{M_{me}}{M_{mt}}$
PSCB	84.06	74.38	0.89
MSC-NL	131.12	87.58	0.67
MSC-BL	131.12	105.37	0.80
MSC-BLR	142.59	103.21	0.72

$M_{mt}$  : 이론 최대 휨모멘트(완전부착일 경우)

$M_{me}$  : 실험 최대 휨모멘트

$M_{PSC}$  : PSC보의 최대 실험 휨모멘트

4.2.2 실험체별 스트레인 게이지 위치에 따른 변형도(Strain) 분석

스트레인 게이지는 측면의 3개 모듈에 상부, 중앙부, 하부에 3개 총 9개의 게이지를 부착하여 상부로부터 1번부터 9번까지 번호를 부여하였다.(그림9참조) 그림 17, 18, 19에는 최대 내력의 10%, 40%, 최대내력, 소성변형구간 총 4개의 각각의 내력값에 대응되는 변형도 값을 나타내어 측면판의 변형도 양상을 비교하였다.

1) MSC-NL의 변형도 분포

MSC-NL 실험체는 0.48 Mmax까지 3개의 모듈이 하나의 중립축을 갖는 일체화된 거동을 보이고 있으나 최대내력 이후로는 각각의 모듈이 서로 분리된 거동을 하여 그림 1의 (g)와 같이 상측, 중측, 하측 모듈에 인장과 압축이 고르게 분포하는 각각의 중립축을 갖는 거동을 하고 있다. 이러한 양상은 모듈간의 결합력약화를 나타내며 완전한 결합과 합성으로 계산된 이론값에 도달하지 못함을 나타내며 내력저하의 주요원인이 모듈간의 결합력 약화에 있음을 나타낸다.



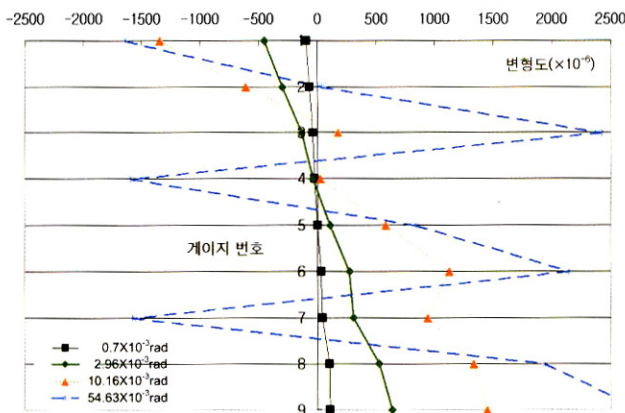


그림 17. MSC-NL의 변형도 분포

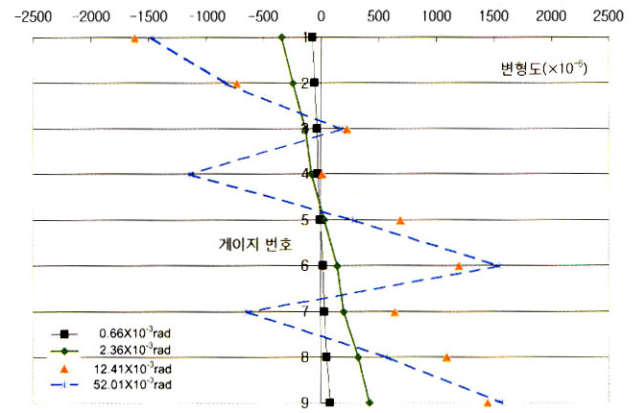


그림 19. MSC-BLR의 변형도 분포

### 2) MSC-BL의 변형도 분포

MSC-BL 실험체는 모듈간의 볼트결합으로 인해 MSC-NL와 비교할 때 최대하중까지는 유사한 양상을 나타내 어느 정도 일체화된 스트레인 분포를 나타내고 있다. 최대내력 이후는 상부모듈은 결합부를 기준으로 압축양상을, 중앙모듈은 인장과 압축이 혼재하는 양상을, 하부모듈은 인장양상을 나타냈으나 모듈 결합부에서 변형도 역전현상이 발생 결합력이 약화된 것으로 판단된다.

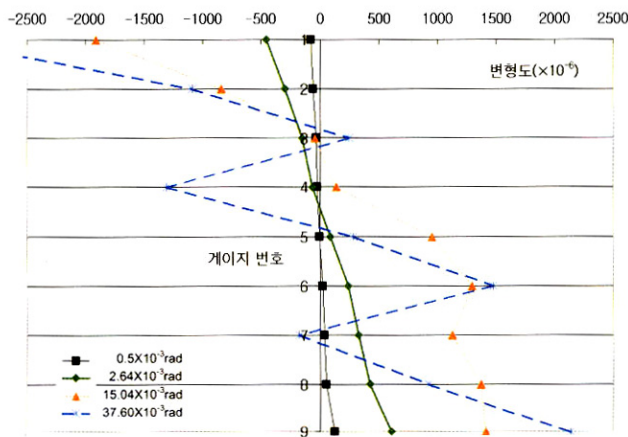


그림 18. MSC-BL의 변형도 분포

### 3) MSC-BLR의 변형도 분포

MSC-BLR 실험체는 최대내력까지는 MSC-BL 실험체와 유사한 형태의 거동을 보였으나 최대내력 이후 하부모듈은 결합력 약화가 MSC-BL보다 더 심화되어 상부의 경우 압축을 받는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구는 MSC보를 대상으로 실험과 이론해석을 통하여 모듈간의 연결과 인장축 하부강재의 유무에 따른 휨내력 증가에 대하여 조사하였고, 이를 PSCB와 비교, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) MSC보는 모든 실험체가 유사한 초기 강성이 나타났으나, MSC-NL 실험체는 모듈간의 볼트접합이 없고 따라서 하중의 증가시 콘크리트와의 부착력 파괴로 인해 강성의 저하가 먼저 나타났다.
- (2) MSC-BL, BLR 실험체의 비교결과 최대내력이 유사한 값으로 나타나 하부강재의 보강효과는 미비한 것으로 나타났다으며, 이는 압축축 상부모듈의 횡좌굴에 의한 것으로 판단된다.
- (3) MSC보는 최대내력 이후 소성변형양상을 보이지 못하고 내력저하 현상이 나타났으며 저하 이후 소성변형을 보이다가 파괴되었다. 내력저하는 압축을 받는 상부모듈의 횡좌굴에 의한 것으로 적절한 제어 대책이 필요한 것으로 판단된다.
- (4) 실험값과 이론값의 최대 휨내력비가 MSC-NL, BL, BLR 실험체가 각각 0.67, 0.80, 0.72로 PSCB의 0.89보다 적게 나타났으며 이는 모듈간의 결합 및 콘크리트와의 부착방법 등 단면 구성 방법에 대한 개선이 필요한 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 김상모, 김규석(2003) T형 합성보의 내력 평가에 관한 연구  
한국강구조학회논문집, 15권 4호, pp. 467-474.  
김상섭, 김상모, 김성배, 서동기, 김규석(2004) 단순지지 T

형 합성보의 휨거동에 관한 실험적 연구 한국강구조학회논문  
집, 16권 2호, pp. 225-233.

류수현, 안형준(2005) 요철단면 SC보의 휨 내력에 관한  
연구, 한국구조물진단학회지, 10권 1호, pp. 197-204.

이수연(1996) 각형강관을 사용한 합성보에 관한 기초적 연  
구, 석사학위 논문, 중앙대학교.

Deric J Oehlers(1994), Flexural Strength of Profile  
Beams. *ASCE Journal of Structure Engineering*  
Vol.120 No.2, Feb.

Deric J Oehlers(1993), Composite Profile Beams.  
*ASCE Journal of Structure Engineering* Vol.119  
No.4, April.

Brian Uy, Andrew Bradford(1995a), Ductility of  
Profile Beams. Part I: Experimental Study.  
*ASCE Journal of Structure Engineering*, May.

Brian Uy, Andrew Bradford(1995b), Ductility of  
Profile Beams. Part II: Analytical Study. *ASCE  
Journal of Structure Engineering*, May.

Deric J Oehlers, Mark A Bradford(1995). Composite  
Steel and Concrete Structural Members.  
Pergamon.

(접수일자 : 2005. 11. 15 / 심사일 2005. 11. 29 /  
심사완료일 2006. 4. 10)