



# 강섬유로 보강된 초고성능 콘크리트 바닥판과 역T형 강거더 합성보의 휨거동 실험

유성원<sup>1)\*</sup> · 안영선<sup>1)</sup> · 차영달<sup>1)</sup> · 조창빈<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>우석대학교 토목환경공학과 <sup>2)</sup>한국건설기술연구원 인프라구조연구실

## Experiment of Flexural Behavior of Composite Beam with Steel Fiber Reinforced Ultra High Performance Concrete Deck and Inverted-T Steel Girder

Sung-Won Yoo,<sup>1)\*</sup> Young-Sun Ahn,<sup>1)</sup> Yeong-Dal Cha,<sup>1)</sup> and Chang-Bin Joh<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Woosuk University, Jinchon 365-803, Korea

<sup>2)</sup>Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

**ABSTRACT** Ultra high performance concrete (UHPC) has been developed to overcome the low strengths and brittleness of conventional concrete. Considering that UHPC, owing to its composition and the use of steel fibers, develops a compressive strength of 180 MPa as well as high stiffness, the top flange of the steel girder may be superfluous in the composite beam combining a slab made of UHPC and the steel girder. In such composite beam, the steel girder takes the form of an inverted-T shaped structure without top flange in which the studs needed for the composition of the steel girder with the UHPC slab are disposed in the web of the steel girder. This study investigates experimentally and analytically the flexural behavior of this new type of composite beam to propose details like stud spacing and slab thickness for further design recommendations. To that goal, eight composite beams with varying stud spacing and slab thickness were fabricated and tested. The test results indicated that stud spacing running from 100 mm to 2 to 3 times the slab thickness can be recommended. In view of the relative characteristic slip limit of Eurocode-4, the results showed that the composite beam developed ductile behavior. Moreover, except for the members with thin slab and large stud spacing, most of the specimens exhibited results different to those predicted by AASHTO LRFD and Eurocode-4 because of the high performance developed by UHPC.

**Keywords :** composite beam, UHPC deck, inverted-T shaped steel girder, flexural behavior, stud spacing

### 1. 서 론

일반적인 콘크리트는 인장강도 및 휨강도가 낮고 취성 파괴의 특성을 가지는 단점을 가지는 반면에 최근에 요구되는 콘크리트는 구조물의 장대화 및 대형화로 인하여 고강도, 고성능 및 고내구성 등의 성능을 요구하고 있다. 이러한 이유로 압축강도가 180 MPa 이상인 고성능 콘크리트에 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 초고성능 콘크리트(UHPC)에 대한 연구<sup>1,2)</sup>가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 강섬유 보강 초고성능 콘크리트는 콘크리트의 처짐, 휨강도 및 균열 이후의 연성거동 특성을 향상시키는 것으로 알려진 바 있다. 또한, 높은 압축강도, 인장강

도 및 내구성으로 인하여 UHPC를 교량 바닥판에 적용<sup>3,4)</sup>함으로써 바닥판의 자중 감소 및 바닥판 수명의 획기적인 연장 등의 효과가 있을 것으로 예상된다.

특히 UHPC 바닥판과 강재 거더를 이용하여 합성보를 구성할 때, UHPC 바닥판의 높은 강도와 강성으로 인하여 강재거더 상부 플랜지의 역할이 거의 불필요할 것으로 예상된다. 이러한 점을 착안하여 본 논문에서는 Fig. 1과 같은 합성보 구성 시에 강재 거더의 상부 플랜지를 없앤 역T형 거더<sup>5-7)</sup>를 적용하였다.

Fig. 1과 같은 역T형 거더에 UHPC 바닥판을 합성하여 합성보를 구성할 경우, 상부플랜지가 없는 이유로 전단연결재의 설치 위치가 상부플랜지 대신에 강재 거더 복부에 설치해야하는 문제점이 발생된다.

또한, 강재 복부에 설치되는 전단연결재에 대한 거동, 역T형 강거더 합성보의 휨거동 특성 등은 현재까지 실험 및 이론적으로 평가된 적이 거의 없는 실정인 이유로 이에 대한 연구가 절실하다.

\*Corresponding author E-mail : imysw@woosuk.ac.kr  
 Received August 18, 2014, Revised September 3, 2014,  
 Accepted September 3, 2014  
 ©2014 by Korea Concrete Institute

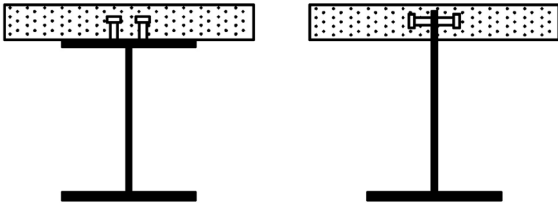


Fig. 1 Schematic diagram of conventional and inverted-T composite girder

Table 1 Test variables

ID	Stud spacing (mm)	Slab thickness (mm)
50-50	50	50
50-100	100	50
50-200	200	50
50-400	400	50
100-50	50	100
100-100	100	100
100-200	200	100
100-400	400	100

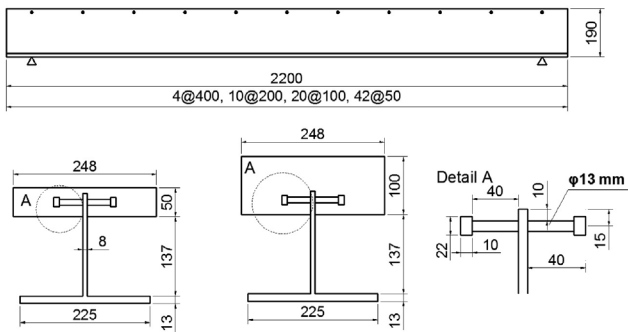


Fig. 2 Section dimension of test member

이를 위하여 본 논문에서는 전단연결재 간격, 바닥판 두께 등을 변수로 하여 역T형 거더와 UHPC 바닥판을 합성한 합성보를 8 개 제작하여 전단연결재의 거동, 휨거동 특성 등을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험변수 및 부재 형상

실험변수로는 UHPC 바닥판 두께 50, 100 mm 인 2 수준과 전단연결재 간격 50, 100, 200 및 400 mm 인 4 수준이다. 이러한 실험변수를 가진 실험부재는 총 8개이다.

바닥판 두께를 실험변수로 선정한 이유는 바닥판 두께가 강재 거더 복부에 설치된 전단연결재의 묻힘 깊이에 영향을 주는 효과를 파악하기 위함이며, 전단연결재의 간격은 UHPC 합성보의 합성성능 파악 및 적정 간격 도출을 위함이다.

실험 변수 및 부재 명칭은 Table 1에 나타내었으며, 실

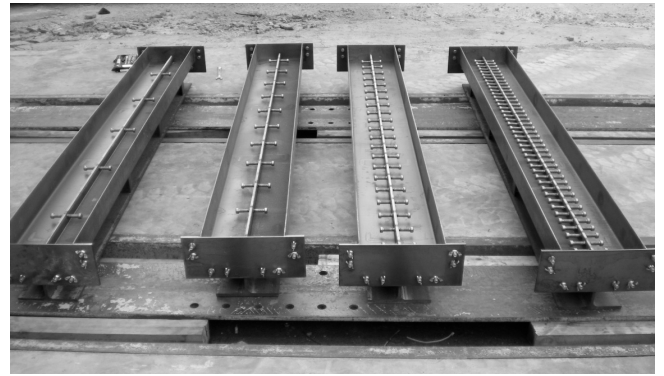


Fig. 3 Steel girder with steel form



Fig. 4 Manufactured UHPC composite girder

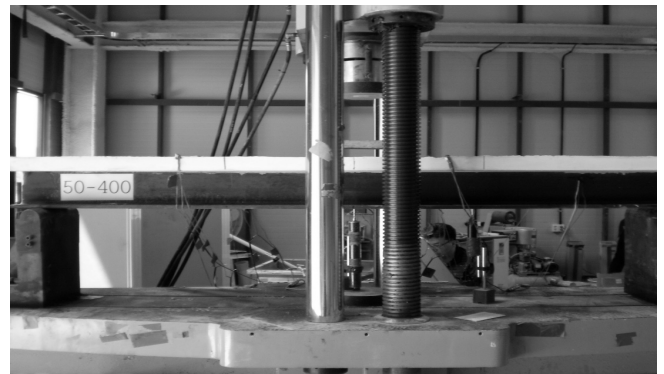


Fig. 5 Test setup

험 부재들의 제원은 Fig. 2에, 강제거푸집이 설치된 강제 거더, 제작 완료된 부재와 하중 재하 형상은 Fig. 3~5에 나타냈다.

### 2.2 콘크리트, 전단연결재 및 강재 거더

실험 부재에 사용된 콘크리트의 배합<sup>8-10)</sup> 및 압축강도 실험 결과는 Table 2, 3에 나타냈으며, Table 2의 콘크리트 배합표는 시멘트량을 “1”로 하였을 때의 해당 재료의 중량비로 나타내었다. 또한, 강섬유는 직경이 19.5 mm와 16.3 mm 두 종류를 2 : 1 비율로 혼합하여 사용하였다.

실험 부재에 사용된 전단연결재는 직경[D] 13 mm, 전단연결재 머리 직경 22 mm, 높이[H] 50 mm이고, 직접인장

실험을 수행한 결과, 항복강도는 370 MPa, 극한강도 470 MPa 인 것으로 나타났다. 한편 강재 거더는 SM490 재질을 사용하였으며, 제조사에서 제시한 시험성적서에 의하면 항복강도는 396 MPa, 극한강도는 554 MPa이었다.

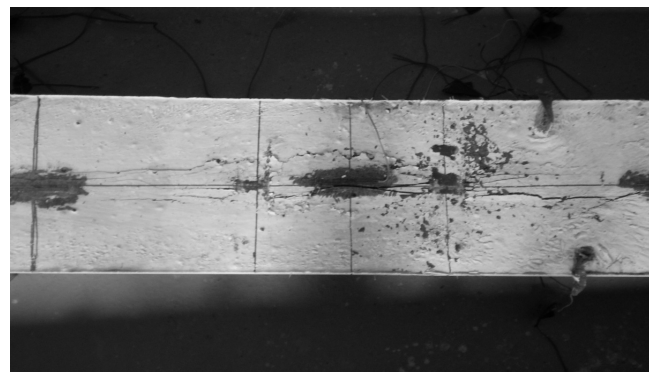
**Table 2** Concrete mix proportion

C	Zr	S	F	E	SR	P	W	A	steel fiber (mm)	
									19.5	16.3
1	0.25	1.10	0.30	0.075	0.01	0.03	0.23	0.001	0.10	0.05

C : cement, Zr : zirconium, S : sand, F : filler, A : antifoaming agent, P : plasticizer, W : water, E : expansion agent, SR : reduction agent of shrinkage

**Table 3** Results of concrete compressive strength

ID	$f_c$ (MPa)	slump flow (mm)	air (%)
1 <sup>st</sup> placing	187	765	2.9
	186		
	176		
average	183		
2 <sup>nd</sup> placing	177	715	3.5
	178		
	186		
average	180		



(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

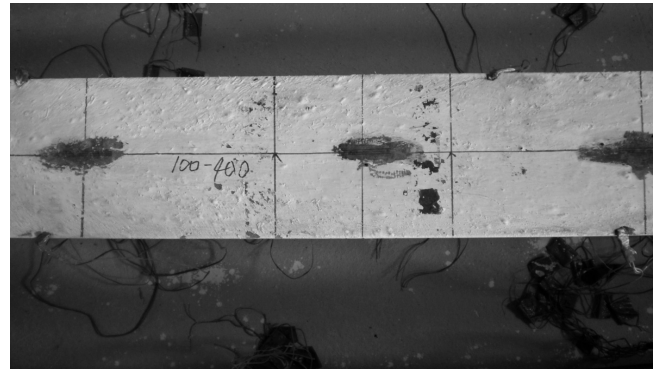
**Fig. 6** Crack pattern of 50-400 member

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열 및 파괴 양상

합성부재 휨거더 실험 결과 중 콘크리트에 발생된 균열 형상 및 파괴 모드는 Fig. 6~13 및 Table 4에 나타내었다.

Fig. 6~13 및 Table 4에 나타낸 균열 및 파괴양상에 대한 특성을 종합적으로 평가하면 바닥판 두께가 작고, 전단연결재의 간격이 넓을수록 강재 주형을 따라 콘크리트



(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

**Fig. 7** Crack pattern of 100-400 member

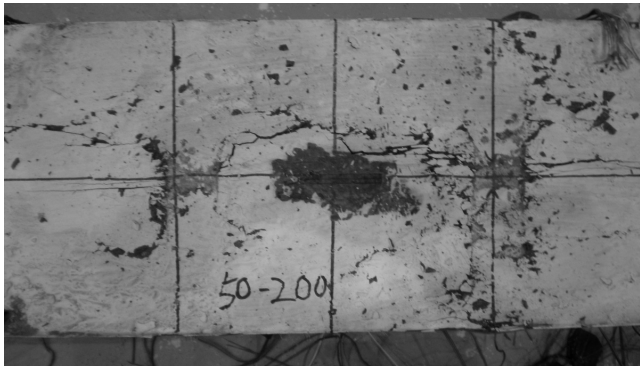
**Table 4** Crack and failure pattern

ID	longitudinal crack on the slab	crack on the side plane			failure pattern
		region (mm)	amount (ea)	width (mm)	
50-50	×	center	4	0.02	FC
50-100	○	400	8	0.02	FT
50-200	○	800	18	0.02	FT
50-400	○	400	10	0.02	FT
100-50	×	1,000	13	0.02	FC
100-100	×	1,000	22	0.02	TC
100-200	×	1,000	13	0.02	FC
100-400	×	800	20	0.03	FTS

FC : flexural compression failure

FT : flexural tension failure

FTS : flexural tension + shear failure

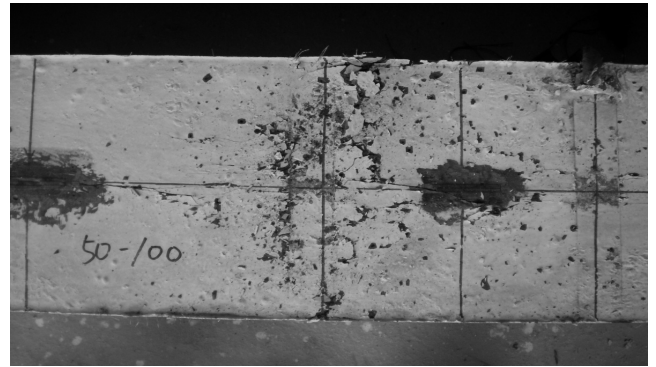


(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

**Fig. 8** Crack pattern of 50-200 member

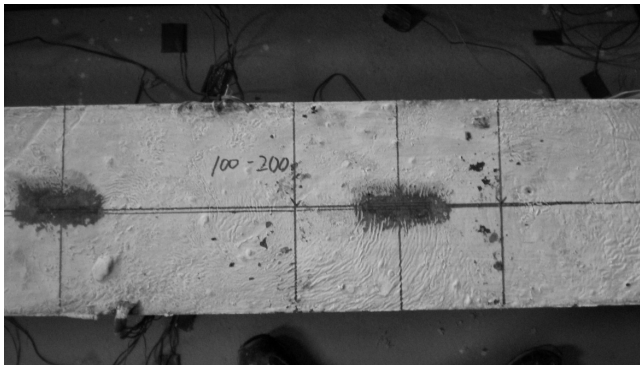


(a) Top plane of slab

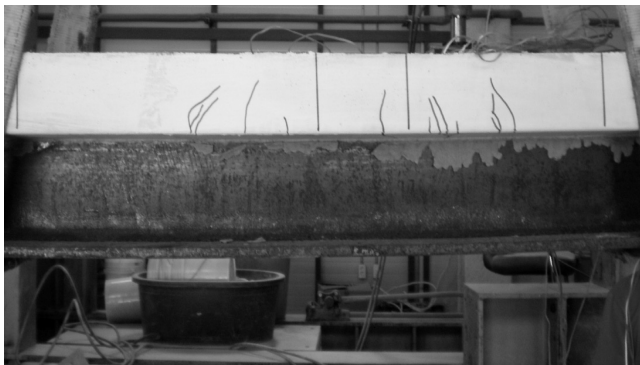


(b) Side plane of slab

**Fig. 10** Crack pattern of 50-100 member

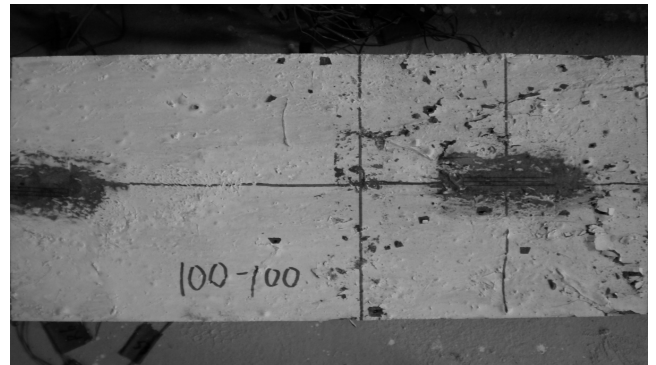


(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

**Fig. 9** Crack pattern of 100-200 member



(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

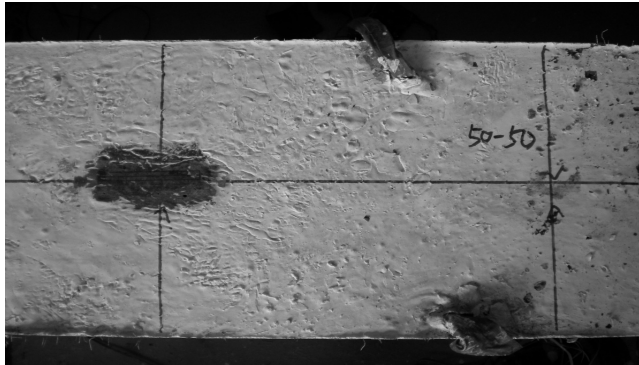
**Fig. 11** Crack pattern of 100-100 member

상면에 축방향 균열이 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 전단연결재 부위의 작은 영역에 집중되는 힘이 넓은 콘크리트 내로 분산되면서 발생하는 인장응력에 의해서

유발되는 균열로 추정된다.

또한, 바닥판 두께가 100 mm로 두꺼운 경우는 콘크리트 상면에 축방향 균열이 발생되지 않는 것으로 나타났

으나, 바닥판 두께가 50 mm인 경우에는 전단연결재 간격이 50 mm 일 때를 제외하고는 콘크리트 상면에 축방향 균열이 발생하였다.



(a) Top plane of slab

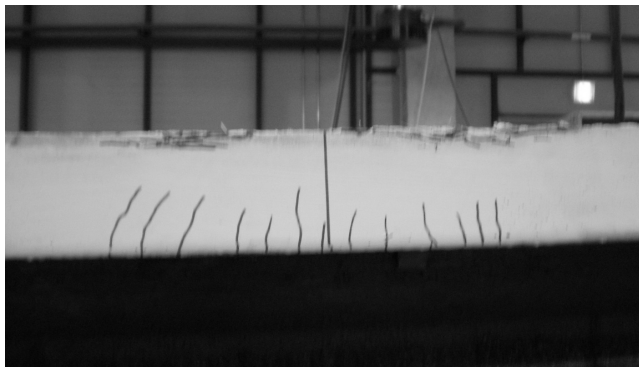


(b) Side plane of slab

Fig. 12 Crack pattern of 50-50 member



(a) Top plane of slab



(b) Side plane of slab

Fig. 13 Crack pattern of 100-50 member

바닥판 두께가 50 mm인 경우에는 전단연결재의 간격이 400 mm 일 때는 콘크리트의 휨장파괴, 전단연결재의 간격이 200 mm 이내에서는 콘크리트의 휨압축파괴가 발생되었다. 또한 바닥판 두께가 100 mm인 경우, 전단연결재의 간격이 400 mm 일 때는 콘크리트 휨전단 파괴가 발생되었으며, 전단연결재의 간격이 200 mm 이내에서는 콘크리트의 압축파괴가 발생되었다.

이러한 결과로 볼 때, 전단연결재의 간격이 바닥판 두께의 2~3 배 수준 이내일 때, 합성거동이 안정적이며, 또한 100 mm 수준이 경제적이며 적절할 것으로 예상된다.

### 3.2 하중-변위 관계

합성부재 휨거동 실험 결과 중 하중-처짐 관계를 Fig. 14에 나타내었다. 실험결과를 고찰해 보면, 바닥판두께가 증가할수록 구조 성능이 증대하는 것으로 나타났으며, 전단연결재의 간격은 감소할수록 구조성능이 증대하는 것으로 나타났다.

실험 합성부재가 안정적으로 합성거동을 하려면 이 실험의 경우 전단연결재의 간격이 바닥판 두께의 2배 이내 그리고 100 mm 이하인 경우로 판단된다. 또한 바닥판 UHPC 콘크리트가 재료성능을 충분히 발휘할 수 있는 조건은 대략 전단연결재의 간격이 100 mm 이하인 경우로 평가되었다.

도로교설계기준<sup>11)</sup>에서는 다음과 같은 전단연결재의 간격 제한을 두고 있다.

- ① 전단연결재 형상비  $L/d \geq 4$
- ② 전단연결재 최대 간격  $\leq (2\sim3) \times$  바닥판 두께, 600 mm
- ③ 최소간격  $\leq 5d, 100$  mm

여기서,  $L$  = 전단연결재 길이;  $d$  = 전단연결재 몸통 지름.

실험체와 도로교설계기준을 비교해 보면, 실험에 사용된 전단연결재의 형상비( $L/d$ )는 약 3.85이므로 거의 규정을 만족하며, 전단연결재의 최대 간격은 150(300) mm이며,

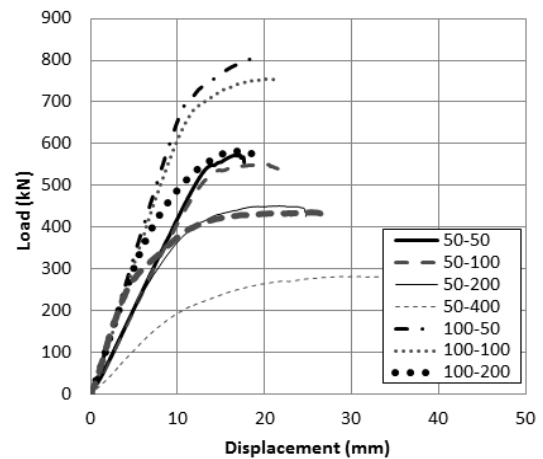
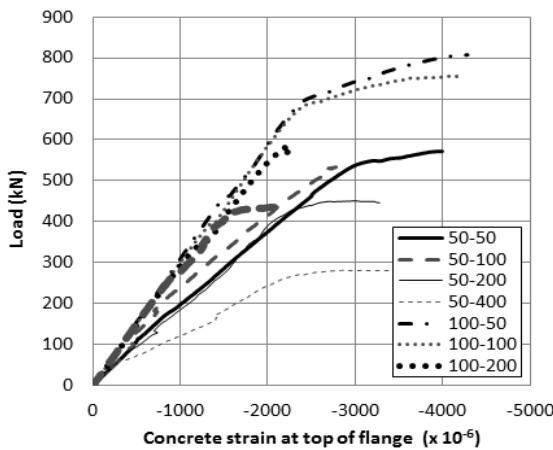


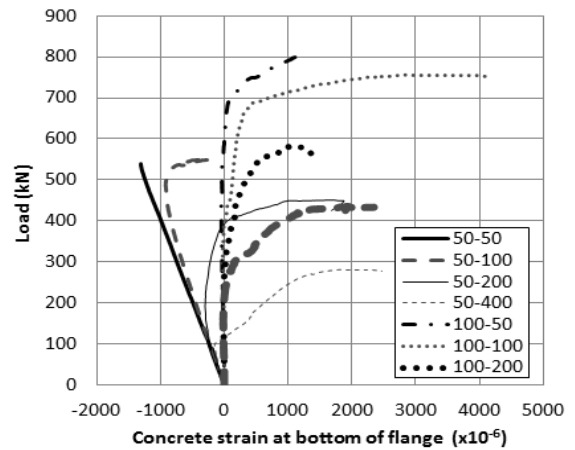
Fig. 14 Load-displacement relationship

**Table 5** Crack, yield, ultimate, failure load and characteristics relative displacement

ID	crack load (kN)	yield load (kN)	ultimate load (kN)	failure load (kN)	displ. at 90% failure load (mm)	characteristic relative displacement (mm)
50-50	-	428.1	573.2	554.2	11.72	10.54
50-100	-	431.0	550.9	522.9	11.70	10.53
50-200	413.7	408.7	450.9	425.3	10.87	9.78
50-400	145.9	278.9	281.4	277.4	16.84	15.16
100-50	730.6	567.2	807.4	806.4	12.28	11.05
100-100	642.4	558.7	755.8	752.4	11.70	10.53
100-200	476.2	535.9	583.2	563.2	10.77	9.69
100-400	307.5	-	435.4	425.6	10.45	9.41



**Fig. 15** Load-concrete strain at top of slab



**Fig. 16** Load-concrete strain at bottom of slab

전단연결재의 최소간격은 65 mm로 규정되어져 있다. 따라서 실험결과를 기준으로 볼 때, 향후 UHPC 콘크리트의 경우 전단연결재의 간격은 100 mm~(2~3)\*바닥판 두께 사이로 규정함이 적절할 것으로 예상된다.

Eurocode-4(2005)<sup>12,13)</sup> 규정에서는 파괴하중의 10% 감소된 하중  $P_{RK}$ 에서 상대변위  $\delta_u$ 를 측정하고 측정된  $\delta_u$ 값에 다시 10%를 감소시킨 값을 특성 상대변위  $\delta_{uk}$ 로 정하며, 특성 상대변위는 6 mm 이상이 되어야 연성거동으로 평가하고, 합성부재의 거동이 안정적인 것으로 제시하고 있다.

본 실험결과를 Eurocode-4 (2005) 규정과 비교하기 위하여 실험 결과에서 균열 하중, 강제 거더 하연의 항복하중, 극한하중, 파괴하중, 파괴하중의 90%에서의 상대변위 및 특성 상대변위를 구하여 다음 Table 5에 나타내었다.

본 실험의 경우, Table 5에서 알 수 있듯이 실험 부재의 특성 상대변위는 9.41~15.16 mm로 나타나, Eurocode-4 (2005)의 연성거동 한계치인 6 mm 보다는 상당히 큰 값을 가지므로 충분한 연성 거동을 하는 것으로 판정되었다.

### 3.3 하중-바닥판 콘크리트 변형률 관계

합성부재 휨거동 실험 결과 중 하중-플랜지 콘크리트 변형률 관계를 Fig. 15~16에 나타내었다. 실험결과를 고찰

해 보면, 바닥판 콘크리트(UHPC)의 압축 극한변형률은 약 0.004 정도로 나타나 기존 UHPC의 재료 거동 연구결과<sup>8-10)</sup>와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 전단연결재의 간격이 클수록 재료가 성능을 발휘하기 전에 전단연결재가 탈락하여 구조성능이 감소함을 알 수 있다.

바닥판 두께가 50 mm인 실험 부재들은 최초의 중립축이 강제 거더의 복부에 위치한 이유로 바닥판 하연에는 하중 초기에는 압축 변형률이 발생되지만, 중앙 전단연결재가 탈락되면서 비합성거동이 시작되고 이후로 바닥판 하연은 인장 변형률이 발생하는 것으로 나타났다.

바닥판 두께가 100 mm인 실험 부재들은 최초의 중립축이 바닥판 콘크리트 내에 위치한 이유로 바닥판 하연에는 하중 초기부터 파괴단계까지 인장 변형률이 발생하는 것으로 나타났다.

### 3.4 하중-강제 거더 변형률 관계

합성부재 휨거동 실험 결과에서 하중-강제 거더 변형률 관계를 Fig. 17~18에 나타내었다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 강제 주형의 항복 변형률은 대략 0.002 이내로 재료의 인장실험 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 전단연결재의 간격이 클수록 재료가 성능을 발휘하기 전

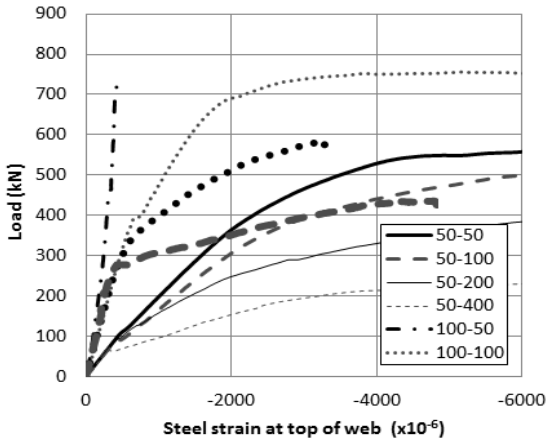


Fig. 17 Load-steel girder strain at top of web

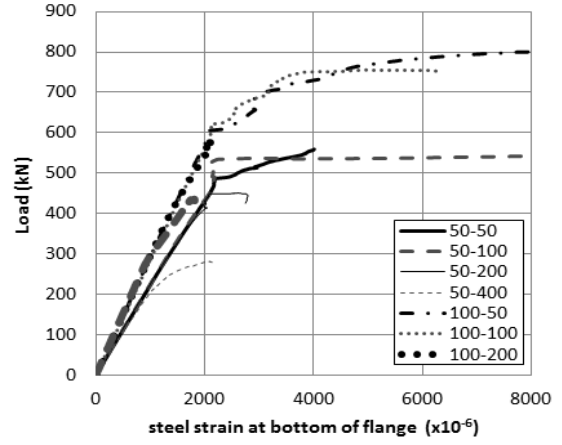


Fig. 18 Load-steel girder strain at bottom flange

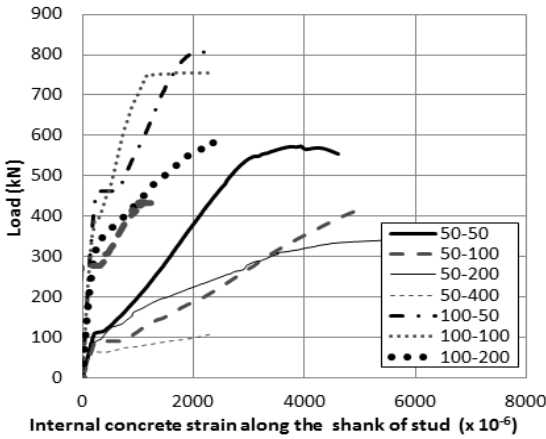


Fig. 19 Load-internal concrete strain along the shank of stud

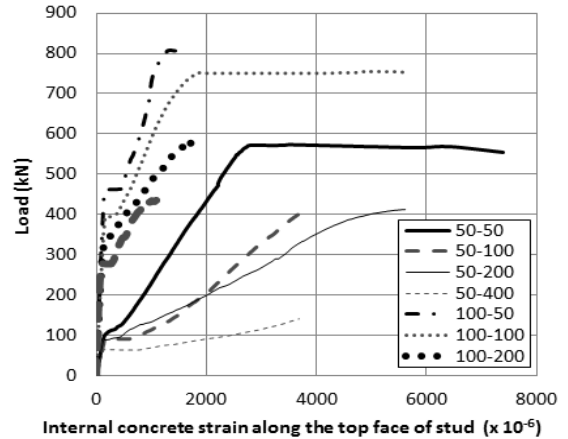


Fig. 20 Load-internal concrete strain along the top face of stud

에 전단연결재가 탈락하여 구조성능이 감소함을 알 수 있다.

강재 거더 상연의 변형률은 100-50 부재의 경우만 항복하지 않고 파괴에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 바닥판이 두꺼우면서 전단연결재가 지나치게 촘촘한 이유로 전단연결재의 탈락 전에 바닥판 콘크리트의 압축파괴가 선행되었기 때문으로 평가된다.

한편 강재 거더 하연의 변형률은 100-400 부재의 경우만 항복하지 않고 파괴에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 바닥판이 두꺼우면서 전단연결재의 간격이 지나치게 넓은 이유로 전단연결재의 탈락 전에 바닥판 콘크리트의 휨전단파괴가 선행되었기 때문으로 평가된다.

### 3.5 하중-내부(매립) 콘크리트 변형률 관계

합성부재 휨거동 실험 결과 중 하중-내부(매립) 콘크리트 변형률 관계를 Fig. 19~20에 나타내었다. 실험결과를 고찰해 보면, 전단연결재의 간격과 바닥판 두께의 영향이 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 바닥판 두께가 얇은 경우 콘크리트의 내부에 발생하는 최종변형률의

크기가 크게 나타났으며, 이는 전단연결재가 조기에 항복 또는 탈락하여 UHPC 바닥판의 하중 부담량이 커짐을 의미하는 것으로 판단된다.

### 3.6 하중-전단연결재 변형률 관계

합성부재 휨거동 실험 결과 중 하중-전단연결재 변형률 관계를 Fig. 20~21에 나타내었다. Fig. 20~21에서 알 수 있듯이 바닥판 두께가 얇고, 전단연결재 간격이 넓을수록 전단연결재의 변형률이 상대적으로 크게 증가하는 것으로 나타나, 전단연결재 간격과 바닥판 두께가 구조성능에 미치는 영향이 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다.

Eurocode-4 (2005)에서 규정하는 전단연결재의 정적강도는 다음 식 (1)과 같으며, AASHTO LRFD<sup>14)</sup>에서 규정하는 전단연결재의 정적강도는 식 (2)와 같다.

$$P_{RD} = 0.29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cn}} / \gamma_v \leq 0.8 F_u A_{sc} / \gamma_v \quad (1)$$

$$\text{단, } \alpha = 0.2(h/d + 1) \quad \text{for } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{for } 4 < h/d$$



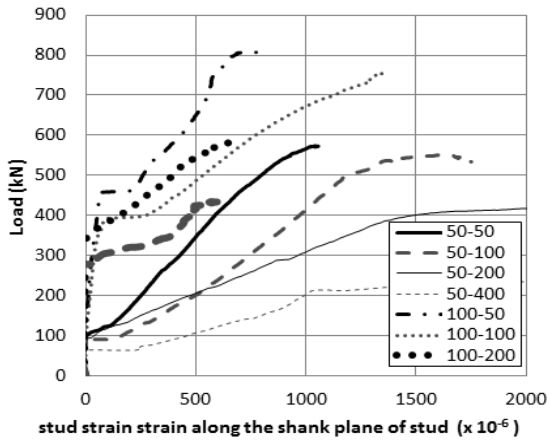


Fig. 21 Load-stud strain along the shank of stud

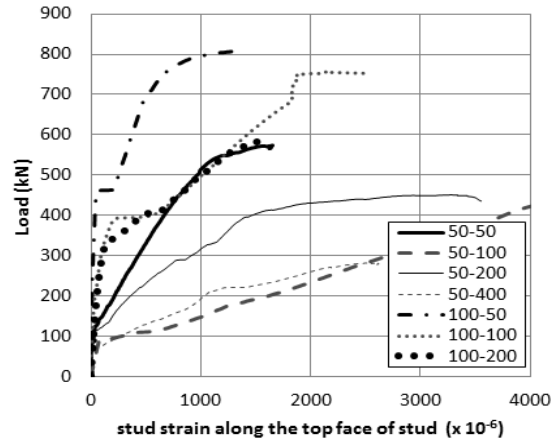


Fig. 22 Load-stud strain along the top face of stud

여기서,  $P_{Rd}$  = 전단연결재의 설계정적강도;  $h/d$  = 전단연결재 높이/전단연결재 몸통 지름;  $f_{ck}$  = 콘크리트 특성 압축강도;  $E_{cm}$  = 콘크리트 탄성계수;  $\gamma_v$  = 부분계수(1.25).

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n = \phi_{sc} 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq \phi_{sc} F_u A_{sc} \quad (2)$$

여기서,  $Q_r$  = 전단연결재의 설계정적강도;  $\phi_{sc}$  = 저항계수(0.85);  $A_{sc}$  = 전단연결재의 몸통 단면적;  $f'_c$  = 콘크리트 특성 압축강도;  $E_c$  = 콘크리트 탄성계수;  $F_u$  = 전단연결재의 인장강도.

위의 식 (1) 및 (2)의 Eurocode-4 및 AASHTO LRFD에서 계산된 전단연결재의 정적강도는 본 실험의 경우, UHPC 콘크리트의 성능이 우수하여 전단연결재 자체의 강도가 휨부재의 정적강도이다.

본 실험에 사용된 전단연결재는 13 mm이므로 전단연결재 1개의 정적강도는 62.4 kN (=470 MPa x 단면적)로 추정할 수 있다. 본 실험의 경우, 전단연결재만의 예상저항하중(=전단연결재 1개의 강도 62.4 kN x 최대 모멘트 구간의 전단연결재 수)은 62.4, 125, 249, 499 kN이며, 실험에서의 전단연결재 변형 시작 하중은 이 값을 약간 상회하는 것을 알 수 있다.

바닥판 50 mm, 전단연결재 간격 400 mm인 부재의 경우 전단연결재의 탈락 후, 바닥판 콘크리트와 강제 거더만의 거동으로 하중을 저항하는 것을 유추할 수 있으며, 바닥판 50 mm, 전단연결재 간격 400 mm를 제외한 나머지 부재들은 일반 콘크리트보다 UHPC의 성능이 우수하여 기존의 AASHTO LRFD 및 Eurocode-4의 식보다 실험결과가 다소 크게 나타나는 차이가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전단연결재 간격, 바닥판 두께 등을 변수로 하여 역T형 거더와 UHPC바닥판을 합성한 합성보를 8개 제작하여 전단연결재의 거동, 휨거동 특성 등을

파악하고자 하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 바닥판 두께가 작고, 전단연결재 간격이 넓을수록 강제 주형을 따라 콘크리트 상면에 축방향 균열이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 역T형 거더를 사용하여 강제 거더의 상부 플랜지가 없는 이유로 전단연결재 부위의 작은 영역에 집중되는 힘이 넓은 콘크리트 내로 분산되면서 발생하는 인장응력에 의해서 균열이 유발된 것으로 추정된다.
- 2) 실험결과를 종합적으로 분석한 결과, UHPC의 경우 전단연결재의 간격은 100 mm에서 바닥판 두께의 2~3 배 사이가 적절한 것으로 나타났다.
- 3) Eurocode-4에서 규정하고 있는 특성 상대변위를 실험 부재에 적용한 결과, 9.41~15.16 mm로 나타나, Eurocode-4의 연성거동 한계치인 6 mm 보다는 상당히 큰 값을 가지므로 충분한 연성 거동을 하는 것으로 판정되었다.
- 4) 본 연구에서 사용된 UHPC는 성능이 우수하여 바닥판이 지나치게 얇고 전단연결재의 간격이 지나치게 넓은 경우를 제외한 대부분의 부재들은 기존의 AASHTO LRFD 및 Eurocode-4의 식보다 실험결과가 다소 크게 나타나는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구A02)에 의해 수행되었습니다.

#### References

1. John, H. and George, S., *The Implementation of Full Depth UHPC Waffle Bridge Deck Panels*, Federal Highway Administration Highways for LIFE Technology Partnerships Program, 2010.
2. Naaman, A.E. and Chandransu, K., "Innovative Bridge Deck System Using High-Performance Fiber-Reinforced Cement



- Composites”, *ACI Structural Journal*, Vol. 101, No. 1, 2004, pp. 57-64 (doi: <http://dx.doi.org/10.14359/12998>).
3. Yang, I.H., Joh, C., and Kim, B.S., “Flexural Strength of Large-Scale Ultra High Performance Concrete Prestressed T-beams”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 38, 2011, pp. 1185-1195 (doi: <http://dx.doi.org/10.1139/111-078>).
  4. Graybeal, B.A., “Flexural Behavior of an Ultrahigh-Performance Concrete I-Girder”, *Journal of Bridge Engineering ASCE*, Vol. 13, No. 6, 2008, pp. 602-610 (doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702)).
  5. Lee, K.C., Cho, C.B., Choi, E.S., and Kim, J.S., “Stud and Puzzle-Strip Shear Connector for Composite Beam of UHPC Deck and Inverted-T Steel Girder”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 26, No. 2, 2014, pp. 151-157 (in Korean) (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2014.26.2.151>).
  6. European Commission, *EUR 25321-Prefabricated Enduring Composit Beams Based on Innovative Shear Transmission (Preco-Beam)*, RFSR-CT-2006-00030, Final Report, 2009.
  7. Feldman, M., Hechler O., Hegger, J., and Rauscher S., “Fatigue Behavior of Shear Connectors in High Performance Concrete”, *International Conference on Composite Construction in Steel and Concrete VI*, 2008, pp. 78-91.
  8. Korea Concrete Institute, *Design Recommendations for Ultra-High Performance Concrete K-UHPC*, KCI-M-12-003, Korea, 2012 (in Korean).
  9. Yang, I.H., Joh, C., Lee, J.W., and Kim, B.S., “Torsional Behavior of Ultra-High Performance Concrete Squared Beams”, *Engineering Structures*, Vol. 56, 2013, pp. 372-383 (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.05.027>).
  10. Park, J.S., Kim, Y.J., Cho, J.R., and Jeon, S.J., “Characteristics of Strength Development of Ultra-High Performance Concrete according to Curing Condition”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 25, No. 3, 2013, pp. 295-304 (in Korean) (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2013.25.3.295>).
  11. Ministry of Construction and Transportation. *Korea Highway Bridge Design Code*, 2010.
  12. CEN, 1994-4-4 Eurocode 4 : *Design of Composite Steel and Concrete Structures*, Part 1-1 : General Rules and Rules for Buildings, 2004.
  13. CEN. 1994-2 Eurocode 4 : *Design of Composite Steel and Concrete Structures*, Part 2 : General Rules and Rules for Bridges, 2005.
  14. AASHTO, *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 4th Edition. Washington, D.C. 2007.

**요약** 인장강도 및 휨강도가 낮고 취성과파괴의 특성을 가지는 일반적인 콘크리트의 단점을 극복하기 위하여 최근에는 압축강도가 180 MPa 이상인 고성능 콘크리트에 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 초고성능 콘크리트(UHPC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. UHPC 바닥판과 강재 거더를 이용하여 합성보를 구성할 때, UHPC 바닥판의 높은 강도와 강성으로 인하여 강재거더 상부 플랜지의 역할이 거의 불필요할 것으로 예상된다. 이러한 점을 착안하여 본 논문에서는 합성보 구성 시에 강재 거더의 상부 플랜지를 없앤 역T형 거더를 적용하였다. 역T형 거더에 UHPC 바닥판을 합성하여 합성보를 구성할 경우, 상부플랜지가 없는 이유로 전단연결재의 설치 위치가 상부플랜지 대신에 강재 거더 복부에 설치해야하는 문제점이 발생되며, 강재 복부에 설치되는 전단연결재에 대한 거동, 역T형 강거더 합성보의 휨거동 특성 등은 현재까지 실험 및 이론적으로 평가된 적이 거의 없는 실정인 이유로 이에 대한 연구가 절실하다. 이를 위하여 본 논문에서는 전단연결재 간격, 바닥판 두께 등을 변수로 하여 역T형 거더와 UHPC 바닥판을 합성한 합성보를 8개 제작하여 전단연결재의 거동, 휨거동 특성 등을 파악하고자 하였다. 실험결과를 기준으로 볼 때, 향후 UHPC의 경우 스티의 간격은 100 mm에서 바닥판 두께의 2~3 배 사이로 규정함이 적절할 것으로 예상된다. 또한 실험 부재의 특성 상대변위는 Eurocode-4의 연성거동 기준에 의하면 충분한 연성 거동을 하는 것으로 판정되었으며, 바닥판이 지나치게 얇고 전단연결재의 간격이 지나치게 넓은 경우를 제외한 대부분의 부재들은 일반 콘크리트보다 UHPC의 성능이 우수하여 기존의 AASHTO LRFD 및 Eurocode-4의 식과 실험결과간의 차이가 있음을 알 수 있다.

**핵심용어** : 합성보, UHPC 바닥판, 역T형 강재 거더, 휨거동, 전단연결재 간격