

# 고강도 강섬유보강콘크리트를 적용한 프리캐스트 바닥판 이음부의 구조성능 평가

이한주<sup>1\*</sup>, 정철현<sup>2</sup>, 신동호<sup>3</sup>, 박세진<sup>4</sup>, 김인규<sup>5</sup>

## Evaluation on Structural Performance of Precast Bridge Deck Joint using HSFRC

Han-Joo Lee<sup>1\*</sup>, Chul-Hun Chung<sup>2</sup>, Dong-Ho Shin<sup>3</sup>, Se-Jin Park<sup>4</sup>, In-Gyu Kim<sup>5</sup>

**Abstract:** In precast deck system, structural performance and serviceability are mostly determined by the connection methods between the precast decks. This study proposes precast deck system with asymmetric ribbed connection details using High Strength Fiber Reinforced Concrete(HSFRC) with filler. To verify the proposed method, the flexural performance experiment was carried out with variation of joint cross section type and splice rebar details. From the test results, regardless of joint details, spliced tensile rebars of specimens were deformed to yielding strain level. Also, all types of specimens resulted in sufficient flexural performance. These test results show that the minimum lap splice length specified in current Korea Highway Bridge Design Code is conservative for precast deck joint using HSFRC. Therefore, splice details can be simplified and joint width can be reduced by using HSFRC with filler between the precast decks, and the proposed precast deck systems can be applied to the connection part of precast decks effectively.

**Keywords:** Precast concrete deck system, High Strength Fiber Reinforced Concrete(HSFRC), Ribbed connection details, Lap splice length

### 1. 서론

최근, 국내 교량바닥판의 노후화에 따라 신설뿐만 아니라 교체 및 보수보강 등 유지관리에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 품질확보 및 급속시공이 가능한 프리캐스트 교량바닥판의 적용이 확대되고 있으며, 관련 분야에 대한 연구 또한 지속적으로 증가되고 있다(Kim et al., 2007; Ryu et al., 2007; Shin et al., 2015; Shin et al., 2016; Chung et al., 2017).

프리캐스트 교량바닥판의 경우는 바닥판 세그먼트 간 이음부가 존재하며, 이 이음부의 연결상태에 따라 전체 교량구조물의 성능이 좌우될 수 있다. 이음부의 종류는 이음부의 형태에 따라 구분할 수 있으며, 대표적으로 종방향 내부 긴장재를 이용하는 방법 및 루프(Loop)이음 철근에 의한 방법이 있다(Oh et al., 2016). 종방향 내부 긴장재를 이용하는 방법은 구조성능 및 내구성성은 우수하지만 내부긴장 공정으로 경제성 및 시공성이 불리하

며, 루프이음 방법은 이음부만 현장 시공되므로 경제성 및 시공성은 향상되지만 철근의 겹침이음길이 확보를 위해 이음부 폭의 증가 및 이음부에서의 균열, 누수 등의 사용성 문제가 발생할 수 있다(Shin et al., 2015). 이에 따라 구조성능과 사용성을 만족하면서 보다 경제적이고 급속시공이 가능한 이음부 형식에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. Shin et al.(2015)은 루프이음 철근을 이용한 대칭구조의 요철형 이음단면(ribbed loop joint)을 갖는 프리캐스트 교량바닥판 연결시스템을 제안하였으며, 부재 요소실험으로부터 이음부 단면의 요철형상에 의한 이음부의 부착면적 증가에 따라 부재의 휨강도 및 균열저항 성능이 향상됨을 확인하였다. 그러나 이 연결시스템은 돌출된 요철형 격벽으로 인해 프리캐스트 바닥판 간 상호 간섭이 발생하여 순차적인 수직시공이 곤란해지는 단점이 있다. Chung et al.(2017)은 대칭구조의 요철형 이음단면 연결시스템의 시공성을 개선한 비대칭 구조의 요철형 이음단면을 갖는 프리캐스트 바닥판 연결시스템을 제안하여 요소실험을 통해 휨 성능을 평가하였다. 실험 결과, 이음부의 부착강도보다는 요철 격벽부분에서의 루프이음 철근의 정착성능 확보 및 부착파괴 방지가 구조성능에 지배적인 요인인 것으로 나타났다.

지금까지의 프리캐스트 바닥판 이음부에 대한 연구는 채움재로 콘크리트 또는 무수축 모르타르(mortar)를 적용한 경우가 대부분이다. 그러나 최근 고강도의 고성능콘크리트가 개발됨에 따라 프리캐스트 바닥판 이음부 채움재로 고성능콘크리트를 적용

<sup>1</sup>정회원, 단국대학교 토목환경공학과 초빙교수, 교신저자

<sup>2</sup>정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수

<sup>3</sup>정회원, 대우건설기술연구원 선임연구원

<sup>4</sup>정회원, 대우건설기술연구원 선임연구원

<sup>5</sup>정회원, 대우건설기술연구원 수석연구원

\*Corresponding author: jungwoo3@dankook.ac.kr

Dept. of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin, 16890, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

하는 사례 및 이에 대한 연구가 증가되고 있다(Graybeal and Tanesi, 2007; Hwang et al., 2011; Lee, 2015). 기존 연구 사례들로부터 고성능콘크리트의 높은 강도와 부착특성에 의해 프리캐스트 바닥판의 사용성능 확보 및 이음부 폭의 축소와 철근이음 상세의 단순화가 가능함을 확인할 수 있다. 그러나 아직까지는 연구의 초기단계로서 실용화를 위한 보다 다양한 실험적 검증이 필요하다.

본 연구에서는 프리캐스트 바닥판의 이음부 채움재로 고강도 강섬유보강콘크리트(High Strength Fiber Reinforced Concrete, HSFRC)를 적용한 휨 부재의 요소실험을 수행하였으며, 이음부 단면형태 및 철근이음 상세에 따른 정적 휨 거동 및 휨 성능을 평가하였다.

## 2. 휨 성능 평가실험

### 2.1 실험부재의 구성

실험부재는 선행연구(Chung et al., 2017)에서 제안된 비대칭 구조의 요철형 이음단면을 갖는 연결시스템을 대상으로 하였다. 비대칭 구조의 연결시스템은 Fig. 1에 나타난 것 같이 비대칭 이음단면을 갖는 두 개의 프리캐스트 콘크리트 부재로 구성되며, 이음부에 채움재를 타설함으로써 바닥판이 연속화 된다. 요철형 이음단면은 부착면적의 증가에 의해 이음부 경계면에서의 부착 성능이 향상되어 프리캐스트 바닥판 이음부의 강성을 증가시키는 효과가 있으며, 채움재의 타설 양을 줄일 수 있어 경제적인 시공이 가능하다. 또한, 하부 돌출부에 의해 이음부 하부에서의 누수를 최소화할 수 있으며, 별도의 거푸집 설치가 필요 없어 경제적인 급속시공이 가능하다(Chung et al., 2017).

실험부재는 길이 2,200 mm, 폭 800 mm, 두께 250 mm의 크

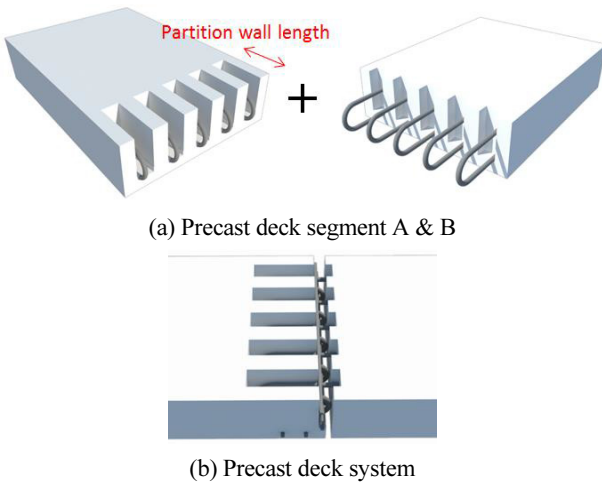


Fig. 1 Precast deck segment and system of asymmetry

기로 제작되었다. 철근은 H19 SD 400을 사용하였으며, 폭 방향으로 150 mm 간격으로 배근하여 일반적인 거더교 수준인 교량 바닥판 지간이 3 m 내외의 경험적 설계법 조건을 만족하도록 설계하였다. 실험체의 이음은 루프철근 이음으로 하였으며, 단순화된 철근 이음상세와의 비교를 위해 동일한 겹침이음길이를 갖는 직선형 철근이음 실험체를 실험에 포함하였다. 주요 실험변수는 이음부의 폭(겹침이음길이), 이음부 단면 요철의 유·무, 채움재의 종류 등으로 하였으며, 실험부재의 구성 및 상세는 Table 1에 정리하였다. 도로교설계기준(2015)에 의하면 설계 정착길이 및 겹침이음길이는 최소  $15d_b$  이상이 되어야 한다. 본 실험체에 사용된 철근의 지름은 19 mm이므로 겹침이음길이가 약 286 mm가 요구되지만 HSFRC의 우수한 부착성을 고려하여 감소된 겹침이음길이를 적용하였다.

부재실험 직전 수행된 재료실험 결과, 프리캐스트 바닥판의 콘크리트 압축강도는 43 MPa, 채움재로 사용된 HSFRC의 압축강도는 74 MPa, 무수축 모르타르의 압축강도는 52 MPa로 측정되었으며, 철근의 항복강도 및 항복변형률은 각각 446 MPa, 0.0022로 측정되었다. 각 실험체 상면에서의 이음부 형상은 Fig. 2와 같으며, 채움재를 이음부에 타설하여 일체화시킴으로서 실

Table 1 Main variable of specimens

Specimens	Joint width (mm)	Splice length (mm)	Wall length (mm)	Joint material (mm)	Bar details
L300mw230	300	260	230	mortar	loop
L300uw230					
L220uw150	220	180	150	HSFRC	straight
L220uw0			-		
Lap220uw0			-		

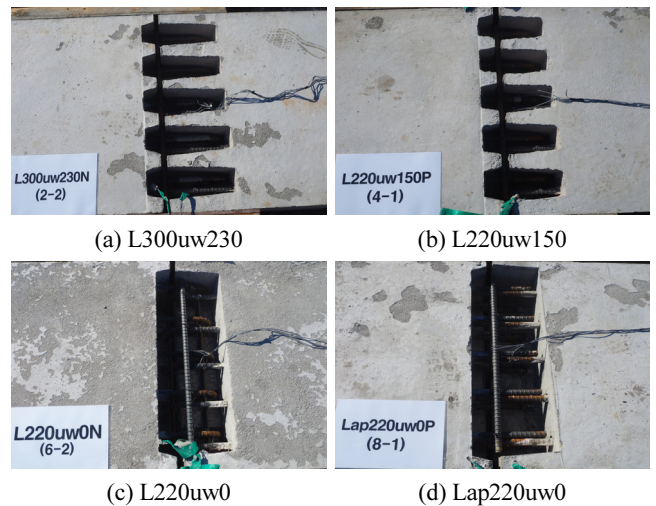


Fig. 2 Overview of joints

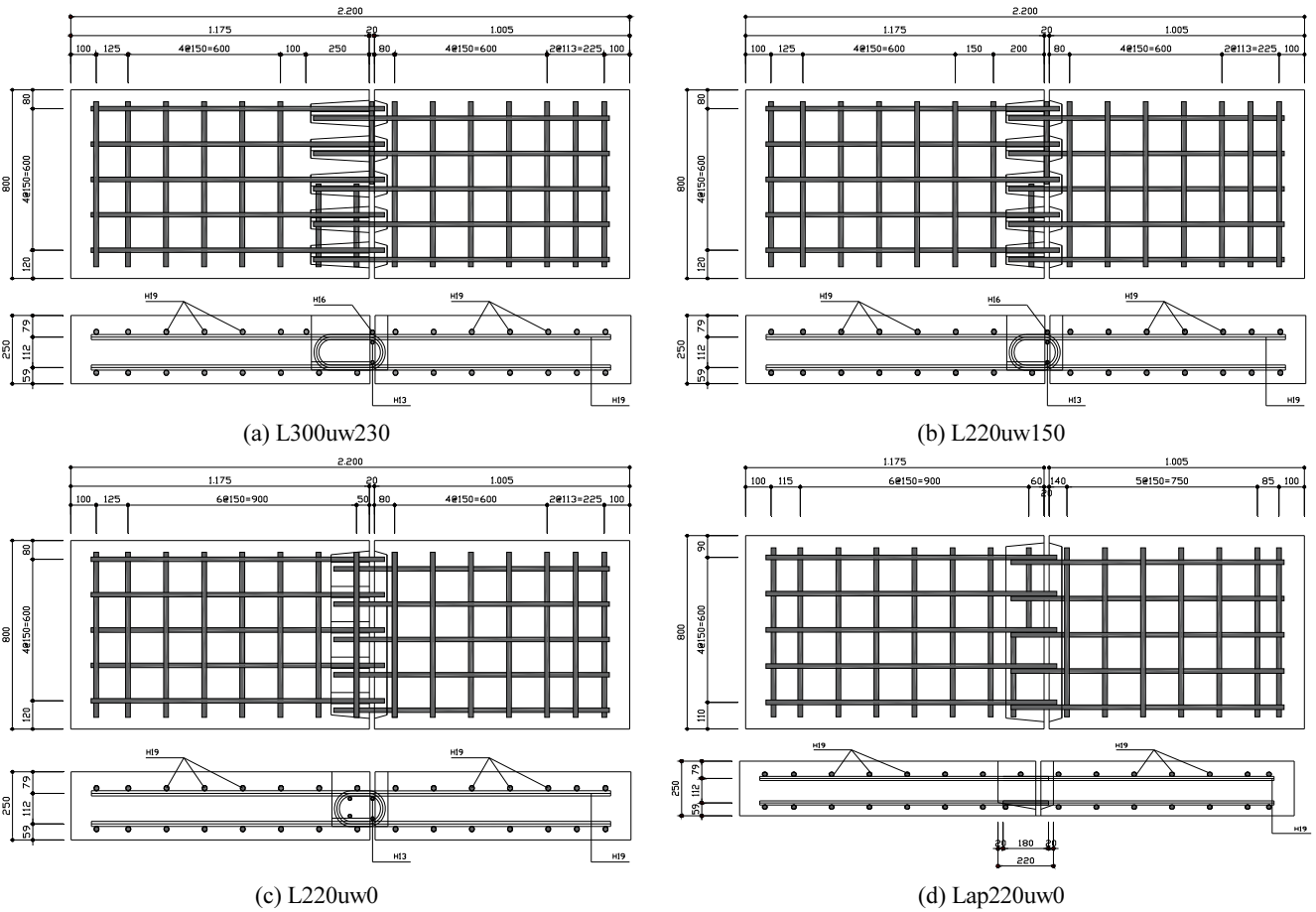


Fig. 3 Dimensions and details of the test members

험부재를 제작하였다. 각 실험체의 대표적인 형상과 철근 배근 상세는 Fig. 3과 같다.

## 2.2 구조실험 및 측정내용

프리캐스트 바닥판 이음부의 휨 성능 평가를 위한 구조실험은 파괴시까지 변위제어방법의 정적실험으로 수행되었으며, 순수 휨모멘트에 따른 이음부의 구조적 거동을 파악하기 위해 4점 휨 실험으로 수행되었다. 이음부의 하부 돌출부에 의해 실험부재의 상면 및 하면의 이음부 형상이 다르므로 정(+) 모멘트뿐만 아니라 부(-) 모멘트에 대해서도 구조실험을 실시하여 각 경우에 대한 이음부의 구조적 거동을 평가하였다. 하중은 폭 100 mm의 하중 재하판을 사용하여 실험부재의 폭 방향으로 일정하게 분포시켰으며, 600 mm 간격의 두 지점에 재하 하여 이음부가 최대 휨 모멘트 구간에 충분히 포함될 수 있도록 하였다. 수직변위는 실험체의 중앙 및 하중재하 위치에 LVDT를 설치하여 측정하였으며, 이음부 및 콘크리트 부재의 균열발생 측정을 위한 균열 폭 게이지는 프리캐스트 부재 간의 경계면("Boundary"), 이음부와 프리캐스트 부재 간의 경계면("Joint") 및 프리캐스트 부재 하중

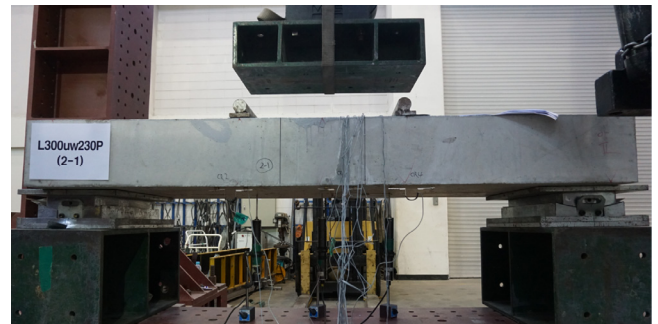


Fig. 4 View of 4-points bending test

재하 위치("Precast")에 설치하였다. 철근 변형률은 인장철근에 대해 측정하였으며, 철근의 겹침이음부("Splice"), 이음부와 프리캐스트 부재 간의 경계면("Joint") 및 프리캐스트 부재 하중재하 위치("Precast")에 철근 변형률 게이지를 부착하였다. 구조실험 전경은 Fig. 4와 같으며, 각각의 측정위치는 Figs. 5, 6과 같다.

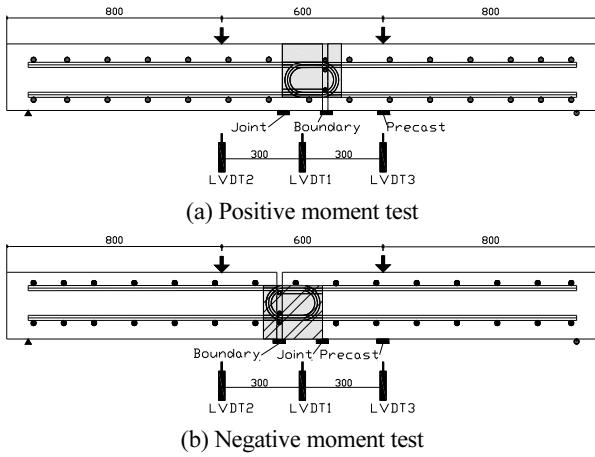


Fig. 5 Position of loading point, LVDT, crack gauge

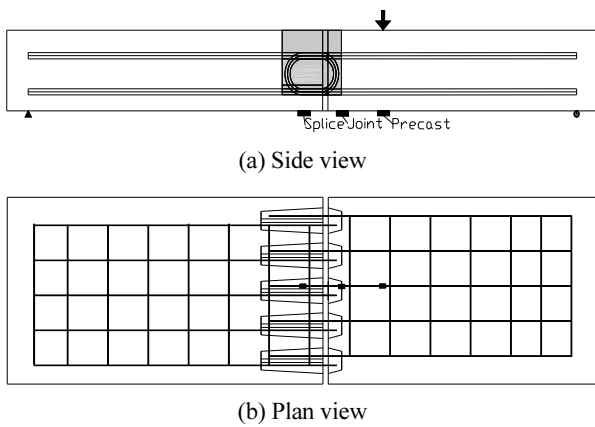


Fig. 6 Position of rebar strain gauge

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 하중-처짐 관계

처짐은 실험체의 중앙 및 하중재하 위치에서 측정되었으나 최대 처짐이 나타난 실험체 중앙 위치에서의 값을 사용하였다. 정 (+) 모멘트 실험에 의한 각 실험체의 하중-처짐 관계를 Fig. 7에 나타내었으며, 동일한 조건으로 수행된 기존 연구(Shin et al., 2015)에서의 일체형 RC( $f_{ck} = 41 \text{ MPa}$ ) 실험체의 실험결과도 포함하여 비교하였다. 각 실험체별 인장철근의 항복하중, 최대하중 및 극한하중과 이에 대응되는 처짐은 Table 2에 정리하였다.

이음부 채움재로 무수축 모르타르를 사용한 실험체(L300mw230P)는 철근항복 후 경화현상 없이 소성거동을 보이는 것으로 나타났으며, 동일 조건의 HSFRC 채움재를 사용한 실험체(L300uw230P)의 약 76% 수준의 최대하중을 보였다. 채움재로 HSFRC를 사용한 실험체(L300uw230P, L220uw150P, L220uw0P)들은 철근항복 후 뚜렷한 경화현상 및 최대하중 등 일체형 RC 실험체와 매우 유사한 거동을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 일체형 RC 실험

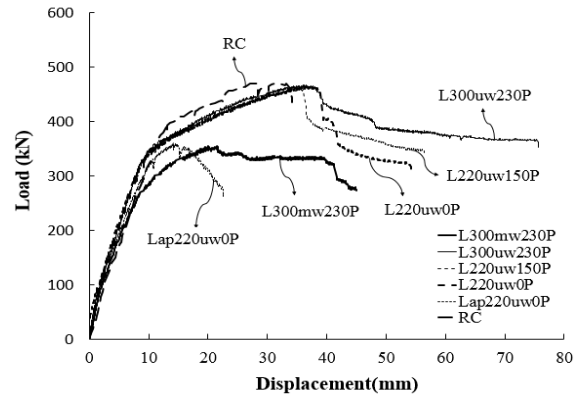


Fig. 7 Load-deflection curves for specimens(+Moment test)

Table 2 Results of loads and deflections(+Moment test)

Specimens	Yielding		Maximum		Ultimate		Ductility $\delta_u/\delta_y$
	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	
L300mw230P	300	13	354	20	273	45	3.5
L300uw230P	340	10	466	36	352	76	7.6
L220uw150P	340	10	461	35	342	56	5.6
L220uw0P	330	10	463	37	312	54	5.4
Lap220uw0P	330	12	360	15	262	23	1.9

체와는 다르게 최대하중 이후에는 충분한 연성거동을 하는 것으로 나타났으며, 최대하중 이후의 거동에서는 다소 차이가 있지만 이음부 폭 및 이음부 단면 형태와 관계없이 전체적으로 매우 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다. 채움재로 무수축 모르타르를 사용한 기존 연구(Chung et al., 2017)에 의하면, 동일한 이음부 폭(겹침이음길이)일 경우 이음부 단면의 요철길이가 증가하면 채움재와 루프철근과의 피복두께 감소에 따른 부착강도 저하로 인해 최대하중이 낮아지는 것으로 나타났다. 그러나 채움재로 HSFRC를 사용한 경우는 HSFRC의 높은 부착강도 및 강섬유에 의한 인장 기여에 의해 이음부 단면의 요철길이가 및 겹침이음길이에 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

직선형 겹침이음 실험체(Lap220uw0P)의 경우는 항복점까지는 다른 실험체들과 유사한 거동을 보였으나 이후 연성거동 없이 급격하게 부재의 파괴가 발생하였다. 이것은 겹침이음길이의 부족에 의해 겹침이음부의 미끄러짐(slip)이 발생되어 철근으로의 하중 전달이 제대로 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

부(-) 모멘트 실험에 의한 각 실험체의 하중-처짐 관계를 Fig. 8에 나타내었으며, 각 실험체별 인장철근의 항복하중, 최대하중 및 극한하중과 이에 대응되는 처짐을 Table 3에 정리하였다. 부(-) 모멘트 실험결과는 전체적으로 정(+) 모멘트 실험과 유사한 거동을 보이는 것으로 나타났으나 강성 및 최대하중이 다소 낮게 나타났다. 이것은 부(-) 모멘트 실험의 경우는 인장을 받는 부

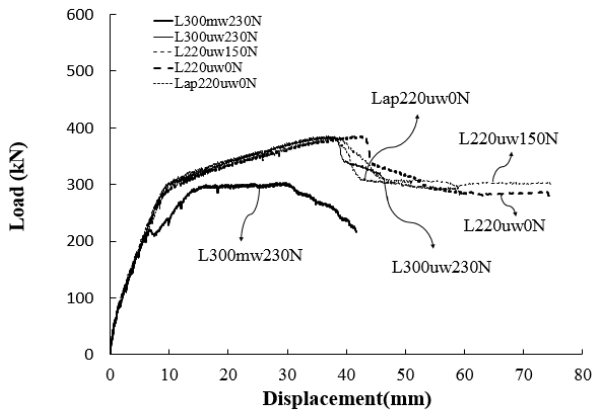


Fig. 8 Load-deflection curves for specimens(-Moment test)

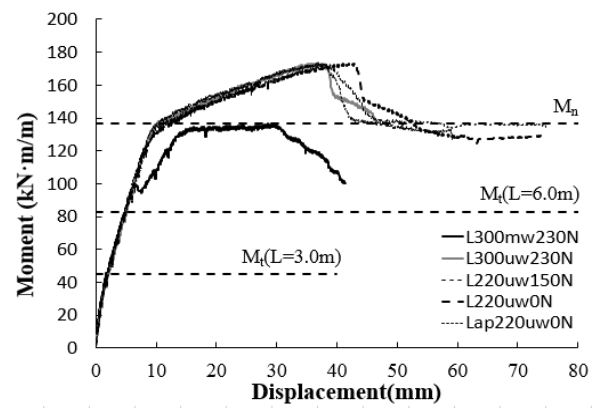


Fig. 9 Moment-deflection curves for specimens(-Moment test)

Table 3 Results of loads and deflections(-Moment test)

Specimens	Yielding		Maximum		Ultimate		Ductility $\delta_u/\delta_y$
	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	
L300mw230N	291	15	303	29	216	42	3.5
L300uw230N	301	10	385	37	305	47	4.7
L220uw150N	296	11	383	39	300	75	6.8
L220uw0N	286	10	386	42	280	74	7.4
Lap220uw0N	295	10	385	37	282	59	5.9

분이 이음부 표면(Fig. 2 및 Fig. 5 참고)이므로 이음부 경계면에서의 초기 균열(opening)이 발생했기 때문이며, 이로부터 이음부의 하부 돌출부가 휨 성능을 다소 향상시키는 것으로 판단된다.

직선형 겹침이음 실험체(Lap220uw0N)의 경우는 정(+) 모멘트 실험결과와 달리 철근항복 후 뚜렷한 경화현상을 보였으며, 최대하중 이후 충분한 연성거동을 보이는 등 루프철근 이음을 사용한 실험체들과 매우 유사한 거동을 보였다. 이것은 인장철근의 정착이 충분히 확보되었다는 것을 의미하는 것이며, 정(+) 모멘트 실험시 겹침이음철근의 미끄러짐이 발생한 이유는 Fig. 3(d)에 보인 것 같이 겹침이음 된 인장철근이 프리캐스트 부재의 하부 돌출부에 근접하여 철근의 정착을 위한 피복두께의 확보가 충분하지 않았기 때문으로 판단된다.

상대적으로 휨 성능이 다소 작게 도출된 부(-) 모멘트 실험결과에 대한 휨모멘트-처짐 관계를 Fig. 9에 나타내었으며, 프리캐스트 부재( $f_{ck} = 43 \text{ MPa}$ )가 일체형인 것으로 가정한 휨강도 및 도로교설계기준(2015)의 설계활하중 휨모멘트 식(1)과 비교하였다.

$$M_t = (L+0.6)P(1+IM)/9.6 \quad (\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}) \quad (1)$$

여기서,  $L$ 은 바닥판의 지간(0.6 m ~ 6.0 m),  $P$ 는 설계차량활

하중의 1후륜하중(96 kN),  $IM$ 은 충격하중 계수(0.25)이다.

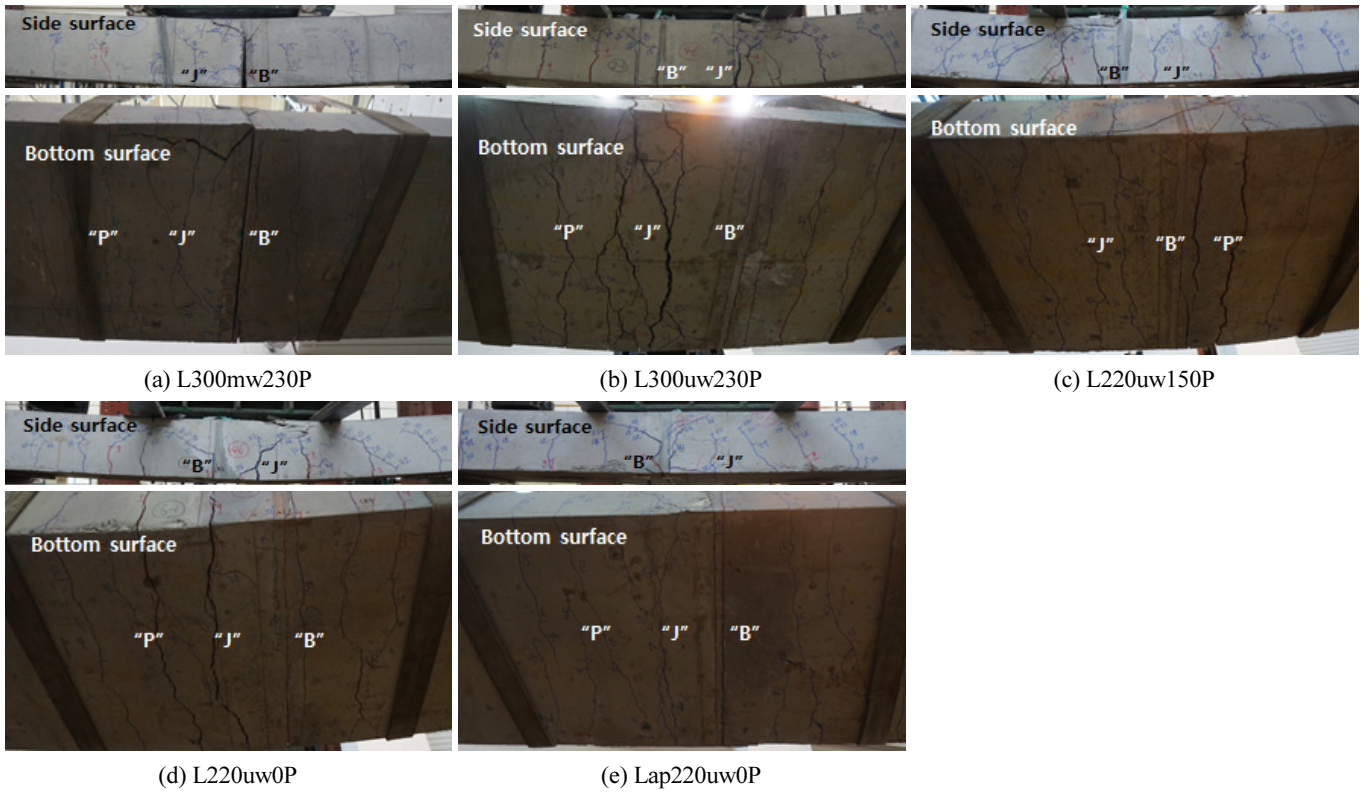
본 연구에서 대상으로 하는 바닥판의 지간  $L = 3.0 \text{ m}$  인 경우의 설계휨모멘트 및 휨강도와 비교했을 때, 불리한 휨 성능을 갖는 부(-) 모멘트 실험의 경우임에도 L300mw230N 실험체의 최대 휨모멘트는 각각 303%, 100%의 수준으로 나타났으며, HSFRC 채움재를 사용한 실험체들은 약 383%, 126% 수준을 보여 충분한 구조성능을 확보하는 것으로 나타났다.

### 3.2 하중-균열 거동

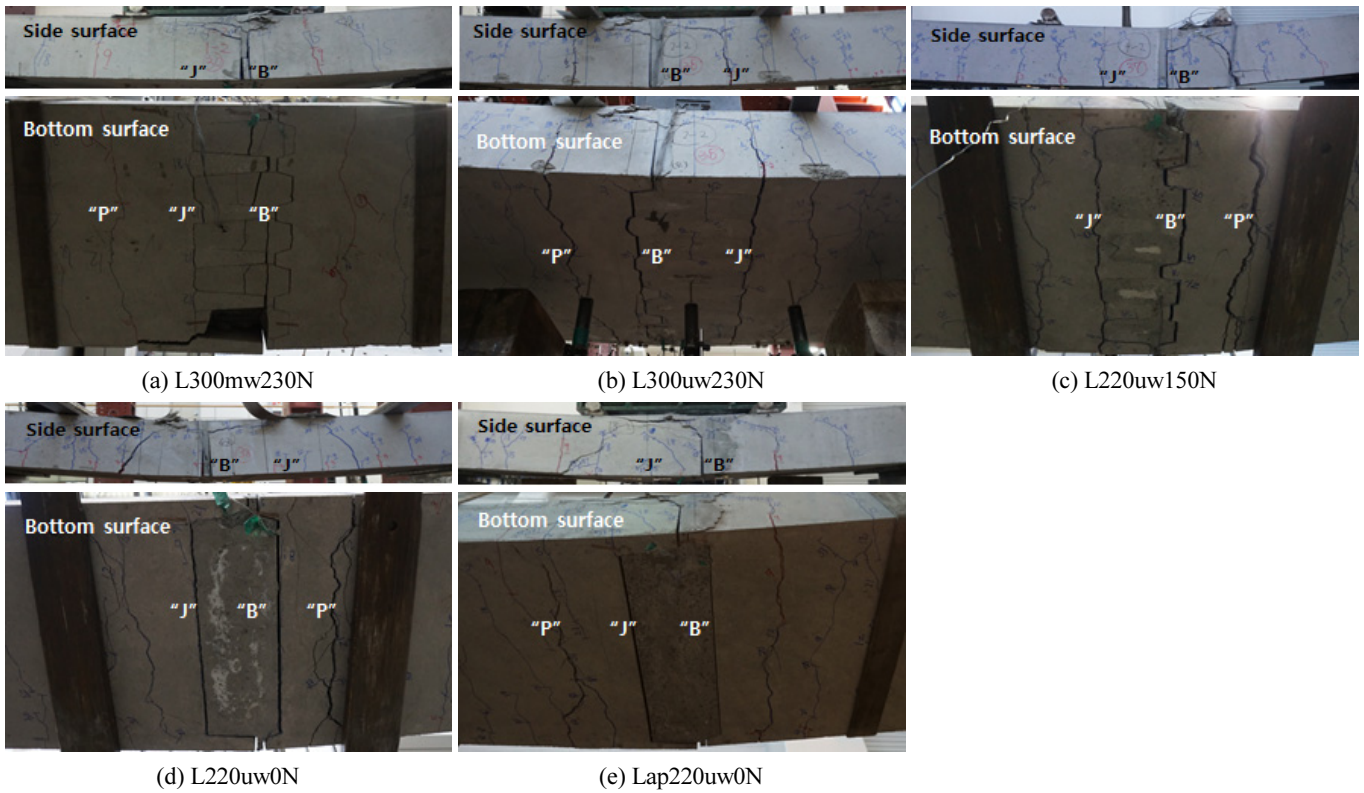
휨 하중 재하시 초기균열은 프리캐스트 부재 간의 경계면(“Boundary”)에서 부착탈락(opening)에 의해 발생하였다. 이것은 프리캐스트 부재(콘크리트) 및 채움재(HSFRC 또는 무수축 모르타르)의 인장강도 보다 부착면에서의 부착강도가 낮기 때문으로 판단되며, 각 실험체별 초기 균열하중은 유사하게 나타났다. 최종파괴단계에서 겹침이음철근의 파괴는 나타나지 않았으며, 실험체의 최종파괴 경향은 최대 휨모멘트 구간의 콘크리트 압축파괴로 나타났다. 그러나 재하 하중이 증가되면서 각 실험체별 균열거동은 다소 다르게 나타났다. 정(+) 모멘트 실험에서의 각 실험체별 균열양상을 Fig. 10에 나타내었다. 채움재로 무수축 모르타르를 사용한 실험체(L300mw230P) 및 직선형 겹침이음 실험체(Lap220uw0P)의 경우는 하중이 증가함에 따라 초기균열이 발생한 프리캐스트 부재 간의 경계면(“Boundary”)에 균열이 집중되는 것으로 나타났다. 반면, 루프이음 연결 및 HSFRC 채움재를 사용한 실험체들의 균열은 하중이 증가함에 따라 실험체의 길이 방향으로 분포되었으며, 지점부에서 사인장 균열이 발생하는 등 전형적인 RC보와 유사한 균열양상을 나타내었다.

부(-) 모멘트 실험에서의 각 실험체별 균열양상을 Fig. 11에 나타내었다. 부(-) 모멘트 실험의 경우는 전체적으로 이음부 경계면의 균열(opening)에 의해 이음부가 탈락되는 현상을 보였다. L300mw230N 및 Lap220uw0N 실험체의 경우는 재하 하중





**Fig. 10** Crack patterns of specimens(+Moment test)



**Fig. 11** Crack patterns of specimens(-Moment test)

의 증가에 따라 이음부 경계면에 균열이 집중되는 반면 루프철근 및 HSFRC를 사용한 나머지 실험체들은 프리캐스트 부재의 하중재하위치(“Precast”)에서도 큰 균열이 발생되어 상대적으로 이음부의 하중전달 효과가 우수한 것으로 나타났다. 또한 L300mw230N 실험체는 채움재인 무수축 모르타르에서 뚜렷한 균열이 발생되고 최종적으로 채움재가 탈락되는 현상이 발생되었지만 HSFRC 채움재에서는 균열이 관찰되지 않았다. 이는 강섬유 보강에 의한 HSFRC의 높은 인장강도 때문인 것으로 판단된다.

프리캐스트 바닥판은 이음부 경계의 균열에 의해 사용성에 있어서 취약한 구조로서 이음부 경계면의 균열 폭 제어가 중요한 요소이다. 균열 폭 측정을 위한 균열 폭 게이지 측정위치는 Fig. 5

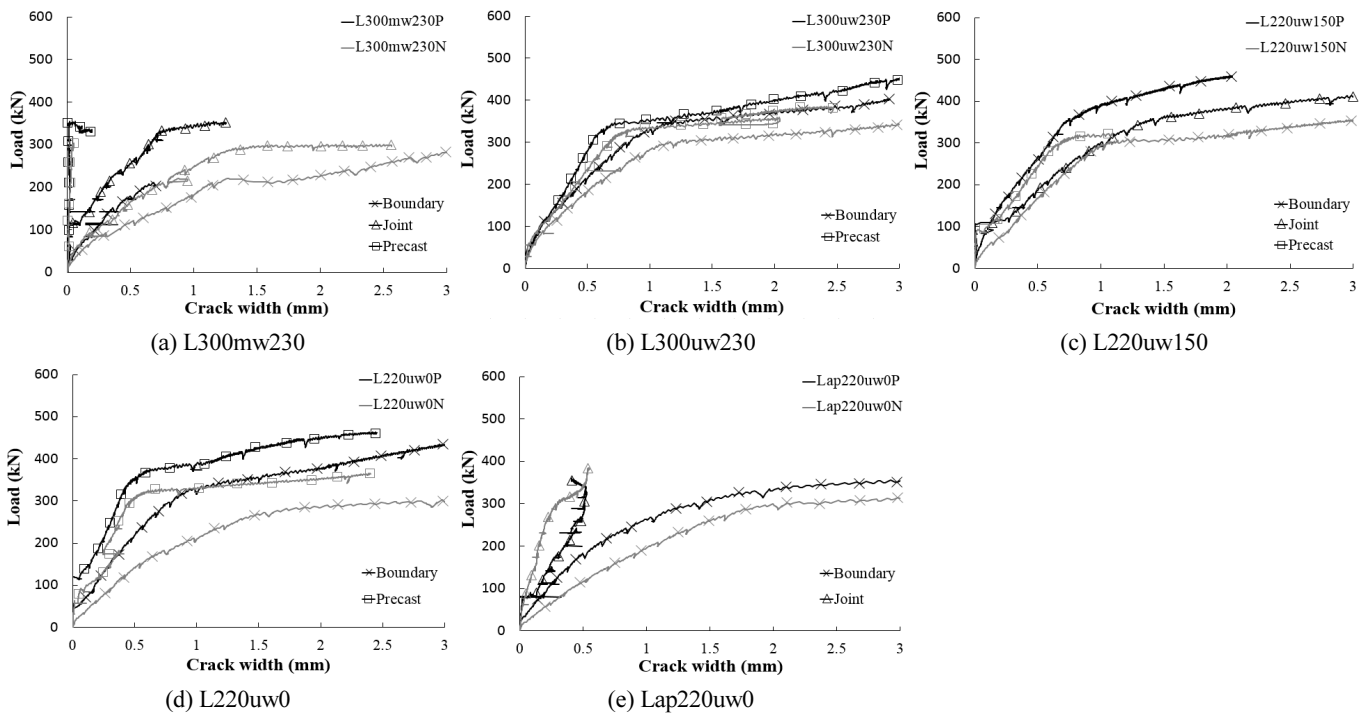
**Table 4** Crack gauge position of specimens

Specimens		Boundary	Joint	Precast
L300mw230	P	○	○	○
	N	○	○	○
L300uw230	P	○	-	○
	N	○	-	○
L220uw150	P	○	○	-
	N	○	-	○
L220uw0	P	○	-	○
	N	○	-	○
Lap220uw0	P	○	○	-
	N	○	○	-

와 같으며, 각 실험체별 균열 폭 측정 항목은 Table 4와 같다.

각 실험체의 휨모멘트-균열 폭 관계를 Fig. 12에 나타내었다. 각 실험체별로 보면, 정(+) 모멘트 실험 및 부(-) 모멘트 실험의 전체적인 균열 거동 형태는 유사하게 나타났으나 부(-) 모멘트 실험에서의 강성이 작은 것으로 보아 부(-) 모멘트 실험체가 균열 거동에 있어서 다소 불리한 것을 알 수 있다. L300mw230 및 Lap220uw0 실험체의 균열 폭은 이음부 부분(“Boundary”)에 집중되는 것으로 나타났으나 루프이음 및 HSFRC 채움재를 사용한 나머지 실험체들의 균열 폭은 모든 위치에서 비교적 유사하게 분포되었다. 이로부터 앞의 균열양상에서 언급하였듯이 루프이음 연결 및 채움재로 HSFRC를 사용한 실험체들은 이음부의 연속성 확보에 의해 실험체 길이방향으로 하중전달이 잘 이루어진 것으로 판단된다.

각 실험체에서 균열 폭 거동에 가장 취약한 경우는 부(-) 모멘트 실험의 “Boundary” 위치로 나타났으며, 이 위치에서 각 실험체의 하중-균열 폭 관계를 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 12에 나타내었듯이 L300mw230 및 Lap220uw0 실험체의 균열은 이음부 부분에 집중되므로 균열 폭 거동이 상대적으로 다소 불리한 것으로 나타났다. 동일조건인 루프이음철근 및 HSFRC 채움재를 사용한 실험체들은 이음부 단면의 요철길이가 증가될수록 균열 폭 거동이 양호해 지는 것으로 나타났으며, 특히 L300uw230N 실험체는 도로교설계기준(2015)의 한계균열폭인 0.3 mm 이내에서 일체형 RC 실험체와 동등한 수준의 균열거동을 보였다. 균열거동에 있어서 가장 취약한 Lap220uw0N 실험체의 한계균열



**Fig. 12** Load-crack width relationship curves

폭 0.3 mm에서의 균열하중은 약 78 kN으로 나타났으며, 이 하중은 일체형 RC 실험체 하중의 약 60%에 해당된다. 이는 이음부 경계면의 표면이 매끄러운 경우에 대한 결과이므로 이음부 경계면의 표면처리 등을 통해 HSFRC 채움재의 부착성능을 향상시킨다면 이음부 단면에 요철이 없는 경우에도 한계균열폭 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3 하중-철근변형률 관계

HSFRC 채움재를 사용한 실험체에 대해 인장철근의 위치별 하중-변형률 관계를 Fig. 14에 나타내었으며, 측정된 철근변형

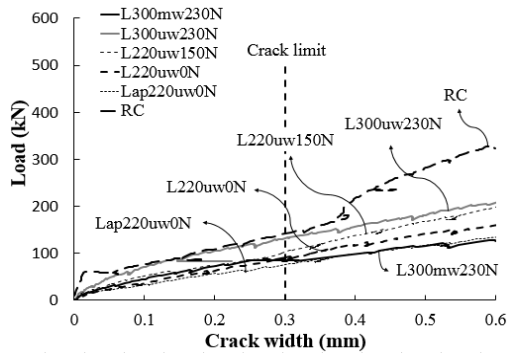


Fig. 13 Load-crack width relationship curves("Boundary" of -Moment test)

를 위치는 Fig. 6과 같다. L300uw230P 및 L220uw150P 실험체의 하중 재하위치("Precast")에 설치된 게이지는 파손 또는 유실로 인해 측정오류가 발생되어 제외하였다.

부(-) 모멘트 실험의 경우는 인장부인 이음부 경계면의 초기 균열에 의해 전체적으로 정(+) 모멘트 실험결과에 비해 강성이 다소 작게 나타났다. 또한, L300uw230, L220uw150, L220uw0 실험체를 비교해 보면, 이음부 단면의 요철길이가 길수록 루프철근의 겹침이음부("Splice") 변형률이 작아지는 경향을 보였으며, 특히 L300uw230의 경우는, 이음부와 프리캐스트 부재 간의 경계면("Joint")에서 변형이 집중되는 것으로 나타났다. 이것은 루프철근 겹침이음부에서의 정착이 완전하게 이루어지지 않아 최대 휨모멘트 구간에서 일체 거동을 하지 못했다는 것을 의미하며, 이음부 단면의 요철길이가 겹침이음철근의 정착에 영향을 주는 것으로 판단된다.

L220uw150, L220uw0 실험체는 모든 인장철근이 실험체의 파괴 이전에 항복변형률 이상의 변형을 나타내었으므로 철근의 항복강도 이상의 하중이 전달된 것으로 판단되며, 위치별 하중-변형률 관계가 유사한 것으로 보아 최대 휨모멘트 구간에서 비교적 일체거동을 한 것으로 판단된다.

직선형 겹침이음 실험체(Lap220uw0)의 경우도 L300uw230 실험체와 유사하게 겹침이음부("Splice")보다는 주로 이음부 경계면("Joint")에 인장력이 집중되는 것으로 나타났으며, 겹침

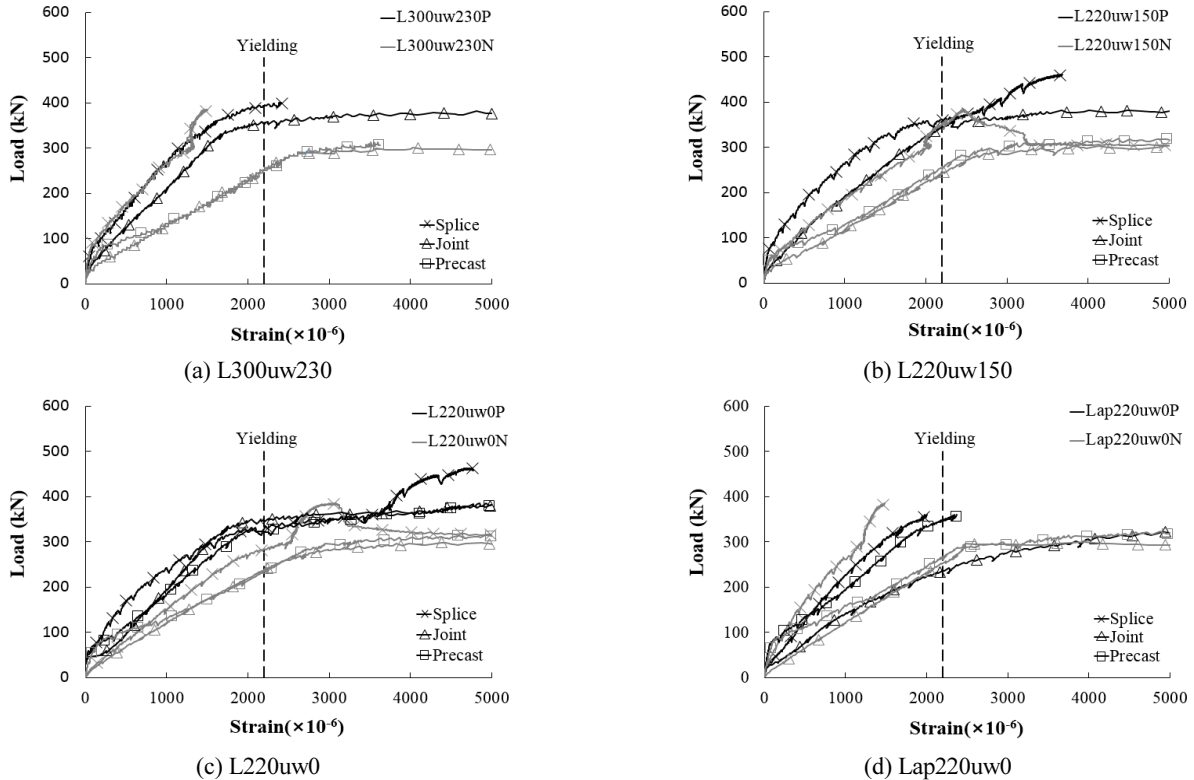


Fig. 14 Load-rebar relationship curves



이음길이의 부족으로 인한 미끄러짐(slip)이 발생되어 하중 전달이 제대로 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 프리캐스트 바닥판의 이음부 채움재로 HSFRC를 적용한 휨 부재의 요소실험을 수행하였으며, 이음부 단면형태 및 철근이음 상체에 따른 정적 휨 거동 및 휨 성능을 평가하였다. 실험결과로부터 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) HSFRC 채움재를 사용한 실험체는 이음부 폭 및 이음부 단면 형태와 관계없이 유사한 휨 성능을 갖는 것으로 나타났으며, 일체형 RC 실험체와 동등수준 이상의 휨강도를 갖는 것으로 나타났다. 최종파괴단계에서 겹침이음철근의 파괴는 나타나지 않았으며, 실험체의 최종파괴 경향은 최대 휨모멘트 구간의 콘크리트 압축파괴로 나타났다.
- 2) 루프철근 및 HSFRC 채움재를 사용한 실험체의 균열은 이음부의 연속성 확보에 의해 하중이 증가함에 따라 실험체의 길이방향으로 분포되어 일체형 RC 보와 유사한 균열양상을 보였다. 균열거동에 있어서 가장 취약한 부분은 부(-) 모멘트 실험의 프리캐스트 부재간의 경계부이며, 이음부 단면의 요철 형상에 따른 부착면적의 증가로 인해 이음부 단면의 요철길이가 길수록 균열 저항능력이 양호해 지는 것으로 나타났다.
- 3) 대부분의 철근은 항복변형률 수준의 인장변형을 나타내었으나 이음부에서의 루프철근 변형률은 이음부 단면의 요철길이가 길수록 작아지는 것으로 나타나 이음부 단면의 요철길이가 겹침이음철근의 정착에 영향을 주는 것으로 판단된다.
- 4) 도로교설계기준 설계겹침이음의 60% 수준으로 겹이음된 Lap220uw0 실험체의 정(+) 모멘트 실험에서는 겹침이음길이의 부족에 의해 겹침이음부의 미끄러짐(slip)이 발생되었으나 부(-) 모멘트 실험에서는 다른 실험체와 동등한 수준의 휨 성능을 보였다. 따라서 적절한 이음부 단면의 개선을 통해 이음부 폭의 감소 및 철근 겹침이음의 단순화가 가능할 것으로 판단된다.

결과적으로, 균열거동 및 인장철근의 거동에서는 실험체별로 다소 다르게 나타났으나 HSFRC의 높은 부착특성 및 인장기여에 의해 이음부 폭 및 이음부 단면 형태와 관계없이 충분한 휨 저항성을 확보하는 것으로 나타났다. 따라서 이음부 폭의 감소 및 요철에 의한 채움재 타설 양의 감소 등 본 연구에서 제안된 연결형식은 프리캐스트 바닥판 이음부에 효과적으로 적용 가능할 것으로 판단된다. 향후, 본 연구에서 제안된 연결시스템을 갖는 합성형 교량실험을 통해 교량구조계에서의 구조성능 및 피로내구성 등을 검토할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술 연구사업의 연구비지원(13건설기술A01)에 의해 수행되었습니다.

#### References

Chung, C. H., Byun, T. G., Kim, I. G., Shin, D. H., and Lee, H. J. (2017), Evaluation on Structural Performance of Joint with Asymmetric Ribbed Connection Details used in Precast Bridge Deck, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 29(2), 159-167(in Korean).

Graybeal, B. and Tenesi, J. (2007), Durability of an Ultra High Performance Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 19(10), 848-854.

Hwang, H. H., Yeo, I. S., Cho, K. H., and Park, S. Y. (2011), Evaluation of Flexural Strength for UHPC Deck Joints with Lap-Spliced Reinforced Steel Bar, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 15(6), 92-99(in Korean).

Kim, I. G., Kim, Y. J., Kim, S. W., and Jang, S. K. (2007), Rapid and Mechanized Construction of Bridge Deck with Precast Concrete Deck System used Longitudinal Tendon, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 19(3), 50-54(in Korean).

Korean Institute of Bridge and Structural Engineers (2015), Korea Highway Bridge Design Code : Limit states design method(in Korean).

Lee, J. K. (2015), Fatigue Evaluation of Precast Concrete Deck Connection using Ultra-High Performance, Fiber Reinforced Concrete, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 35(2), 275-285(in Korean).

Oh, H. C., Chung, C. H., Kang, M. G., Park, S. J., and Shin, D. H. (2016), Evaluation on Flexural Performance of Precast Decks with Ribbed Joint by FEM, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(1), 85-94(in Korean).

Ryu, H. K., Kim, Y. J., and Jang, S. P. (2007), Experimental Study on Static and Fatigue Strength of Loop Joints, *Engineering Structures*, 29, 145-162.

Shin, D. H., Chung, C. H., Oh, H. C., Park, S. J., Kim, I. G., Kim, Y. J., Byun, T. G., and Kang, M. G. (2016), Structural Behavior of Precast Concrete Deck with Ribbed Loop Joints in a Composite Bridge, *Smart Structures and Systems*, 17(4), 559-576.

Shin, D. H., Park, S. J., Oh, H. C., Kim, I. G., and Kim, Y. J. (2015), Evaluation on Flexural Performance of Precast Bridge Decks with Ribbed Connection, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(3), 1-9(in Korean).

Received : 10/12/2017

Revised : 10/16/2017

Accepted : 10/23/2017

---

**요 지** : 프리캐스트 바닥판 공법은 바닥판간 이음부가 존재하며, 이음부의 연결성능에 따라 전체 교량 구조물의 성능이 좌우되므로 이음부의 연결성능 확보가 중요한 요소이다. 본 연구에서는 고강도 강섬유보강콘크리트(High Strength Fiber Reinforced Concrete, HSFRC)가 적용된 비대칭 요철형 이음단면을 갖는 연결형식을 제안하였으며, 이음부의 단면형태, 철근 겹침이음길이 및 겹침이음 형식에 따른 구조실험을 수행하여 제안된 연결형식의 휨 성능을 평가하였다. 실험결과, 이음부 상세에 관계없이 이음철근은 항복변형률 수준의 인장변형을 나타내었으며, 제안된 연결형식은 충분한 휨 저항성능을 확보하는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를, 현행 도로교설계기준의 최소 겹침이음길이에 대한 규정은 이음부 채움재로 HSFRC를 적용한 프리캐스트 바닥판 이음부에서는 보수적인 규정임을 알 수 있다. 따라서 이음부 채움재로 HSFRC를 사용함에 의해 철근 겹침이음 상세의 단순화 및 이음부 폭의 감소가 가능하며, 제안된 연결형식은 프리캐스트 바닥판 이음부에 효과적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 프리캐스트 바닥판, 고강도 강섬유보강콘크리트(HSFRC), 요철형 이음단면, 철근 겹침이음길이

---