

## 프리스트레스트 강합성거더의 분절 접합부 구조거동에 관한 실험적 연구

# An Experimental Study on Structural Behavior of Segmental Joint in Prestressed Composite Girder

Juwon Lee<sup>a,\*</sup>, Taeyul Ha<sup>a,1</sup>, Inwook Yang<sup>b,2</sup>, Jongwook Han<sup>c,3</sup>

<sup>a</sup> manager, Technical Institute, SAMHYUN P.F Co.,Ltd, 16-1, Gamilnam-ro, Hanam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

<sup>b</sup> Team manager, Technical Institute, SAMHYUN P.F Co.,Ltd, 16-1, Gamilnam-ro, Hanam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

<sup>c</sup> Research Professor, Hybrid Structural Testing Center, Myongji Univ., 116 Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

### ABSTRACT

This study was evaluated in the performance of the connection according to the details of the concrete casing segment in the prestressed composite girder by fabricating and testing specimens with different segments. A total of four comparative specimens were fabricated by using the variables of general composite girders, reinforcement or non-reinforcement, and details of reinforcing bars in the segments so as to evaluate the structural behavior of steel girders. In addition, the possibility of non-cracking grade design of segmented composite girders as well as the effects of stiffness and strength according to the loop connection types after cracking were analyzed, and the appropriateness of the crack width control both the embedded steel plate and the concrete surface were evaluated.

본 연구에서는 프리스트레스트 강합성 거더의 콘크리트 케이싱 분절부 상세에 따른 연결부 성능 평가를 위해 각각 다른 분절부를 가진 실험체를 제작하여 실험하였다. 분절부가 없는 일반 강합성 거더와 분절부에 이음철근 보강 유무 및 이음철근 상세를 변수로 하는 총 4본의 비교 실험체를 제작하여 구조적 거동 평가하였다. 또한, 분절형 강합성 거더의 비균열등급 설계 가능 여부 및 균열발생 후 루프철근 상세에 따른 강성과 강도 영향에 대해 분석하고, 매립강판면과 타설접합면에 따른 균열폭 제어 적정성을 평가하였다.

### KEYWORDS

Prestressed composite girder, segment, crack, loop reinforcement

프리스트레스트 강합성거더, 분절제작, 균열, 루프철근

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-10-5343-0612. Fax. 82-2-3402-1894  
Email. [jad612@nate.com](mailto:jad612@nate.com)

1 Tel. 82-2-2140-8363 Email. [hatae10@precom.co.kr](mailto:hatae10@precom.co.kr),  
2 Tel. 82-2-2140-8362 Email. [iwyang75@precom.co.kr](mailto:iwyang75@precom.co.kr)  
3 Tel. 82-31-324-1068 Email. [jwhan@mju.ac.kr](mailto:jwhan@mju.ac.kr)

### ARTICLE HISTORY

Received Sep. 21, 2016  
Revised Nov. 10, 2016  
Accepted Dec. 11, 2016

## 1. 서론

강합성 거더의 분절제작은 사고나 재난 등으로 교량이 손상되었거나 노후된 교량등에서 급속시공이 필요한 경우 신속한 제작 및 복구 등 공사기간 단축을 위해 개발되었으며 현재는 연속교의 거더 연속화로 연구가 확장되고 있다. 분절제작은 신속한 현장 투입으로 적시성 향상, 현장 고정비 절감, 본수가 많은 경우 제작공정의 회전을 증대, 현장 제작부지의 소규모화, 재료품질의 향상, 현장 채류 단기화 등의 장점이 있다.

I형 강재거더와 콘크리트 케이싱 단면으로 구성된 강합성 거더의 분절 제작된 거더의 접합을 위해서는 강재거더는 볼트이음으로 하고, 콘크리트 케이싱은 후타설 콘크리트를 위한 공간을 두고 현장 타설하는 방식을 사용한다. 종래의 콘크리트 케이싱 분절부는 돌출된 종방향 철근의 겹이음장을 확보한 후 용접하는 방식으로 제작되고 있다. 그러나 겹이음 철근을 한 단면에서 용접하게 되면 취성 문제가 야기될 수 있고, 경우에 따라 겹이음장이 1m가 넘게 되어 케이싱 분절부의 사용성 문제를 야기한다.

콘크리트 케이싱 분절부의 적절한 이음철근 평가하기 위해 휨연결철근으로는 국외에서 활발히 적용되고 있는 루프철근상세의 이음성능을 평가하였고, 대비군으로는 분절부가 없는 일반 실험체와 텐던으로만 연결되는 실험체를 두어 비교평가 하였다. 장경간 단순교의 경우 Fig. 1 좌측과 같이 최대 정모멘트 위치를 피해서 분절부를 설치하며 3분절, 5분절, 7분절과 같이 홀수로 세그먼트를 공장 제작하고 현장에서 일체화 시킬 때 적용될 수 있고, 우측처럼 1-shoe 연속교에서 정모멘트거더와 부모멘트거더를 연결하는 위치는 일반적으로 모멘트 변곡점에서 경간 내측으로 조금 들어가는 위치에 설치될 수 있다.

Fig. 1. Segmental position

본 연구에서는 합성 거더의 콘크리트 케이싱 분절부 상세에 따른 연결부 성능 평가를 위해 각각 다른 분절부를 가진 실험체를 제작하여 실험하였으며 분절형 강합성 거더의 비균열등급 설계 가능 여부 및 균열발생 후 루프철근 상세에 따른 강성과 강도 영향에 대해 분석하고, 매립강판면과 타설접합면에 따른 균열폭 제어 적정성을 평가하였다.

## 2. 실험체 설계 및 제작

### 2.1 실험 개요

부분프리스트레싱(partial prestressing)은 인장을 허용하기 때문에 균열 제어를 위해 작은 지름의 종방향 철근을 배치하지만, 프리스트레스트 강합성 거더(이하 강합성 거더)는 비균열 등급으로 완전프리스트레싱(full prestressing) 설계이기 때문에 케이싱 내 종방향 철근은 긴장 전 발생하지 모르는 수축균열을 억제하기 위한 철근과 전단과 사인장에 저항시키기 위한 스티럽이 배치된다. 그런데 이것은 일체로 제작된 경우에 대한 것이고, 케이싱에 신규콘크리트 접합면이 있으면 이음면에 균열이 집중되는 것을 피할 수 없기 때문에 비균열 등급으로 설계하는 것이 적절한지에 대한 평가가 필요하다.

본 실험에서는 Fig. 2와 같이 각각 다른 분절부를 가진 실험체를 제작해서 상세의 거동을 평가하는 것을 목적으로 한다. (a)와 (b)는 휨 또는 축력을 전달하는 연결부로 흔히 적용되는 루프철근 상세로서 휨강성과 강도의 기여 수준을 평가하고자 제작한 것이다. (c)의 PR-T는 이음철근 역할을 규명하기 위해 제작하였으며, (d)의 PR-N의 경우 분절부가 없는 강합성 거더이며 분절실험체와의 직접적인 비교 하고자 한다.

겹이음 용접 방식은 실험 대상에서 제외하였는데 그 이유는 용접부의 집중은 취성파괴의 우려가 있고, 이음장을 확보하려면 분절부의 길이를 넓게 두어야한다는 단점이 있어 배제하였다.

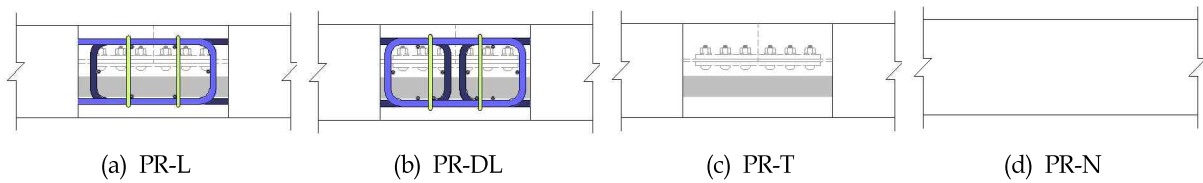


Fig. 2. Connection details by specimens

분절부 접합면에 마감판을 두는 분절부와 직접 신규콘크리트가 부착하도록 두는 분절부 두 가지에 대한 비교도 수행하였다. 루프철근을 형성시키기 위해서는 제작되는 마구리 거푸집 제작이 까다롭고, 탈형 및 요철형성 등 후속작업이 수반되기 때문에 번거로운 일이다. 그래서 시공성을 위해 강판을 매립시켜 그대로 두는 방식을 고려했던 것이다.

### 2.2 실험체 설계

실험체 설계지간은 9.3m, 3분절이며 강재거더 길이로 3.45+3.0+3.45m로 분절하였다. 바닥판 없는 강합성 거더 단면이며 형고는 850mm로 설계하였다. 케이싱 콘크리트 설계기준강도는 일반 케이싱이 45MPa, 분절 케이싱이 55MPa이다. 분절부 레미콘은 긴장 전 건조수축으로 인한 영향을 최소화하기 위해 보통콘크리트가 아닌 무수축콘크리트를 사용하고, 강도는 일반부의 20% 이상이 되도록 하였다. 사용 강재는 SM520 이고 강연선은 SWPC 7C 고강도 강연선을 적용하고 정착구 당 9가닥의 강연선이 배치되도록 설계하였다. 케이싱의 경우 가용할 수 있는 규격이 950×370으로 제한적이라 강선수의 증가는 어려웠다. 볼트이음은 강재의 항복강도 기준으로 설계하고, 하중재하 위치와 경간중앙 부근에는 두께 16T의 보강재를 설치하여 가력중 좌굴을 방지하도록 하였다.

### 2.3 실험체 제작

실험체는 제작장 반입부터 인장까지 총 48일 소요되어 완성하였으며, 제작순서는 Fig. 3과 같다. 강형제작부터 세그먼트 제작까지 공장에서 이루어졌으며 현장에서는 분절부를 완성하고 프리스트레스를 도입하는 공정만 수행한다. 그러나 실험체의 경우 분절부 상세 평가가 목적이기 때문에 (a)와 같이 공장에서 강형제작만 하고 나머지 모든 공정을 제작현장에서 완료하였다.



Fig. 3. Manufacturing of Specimens

제작공정에서 주안점은 분리된 거더를 볼트 연결할 때의 철근이나 슈스 간섭 여부와 볼트 연결 후 선형 유지 여부, 루프이음철근과 루프보강철근 배근시 작업성, 마감면 방식에 따른 작업성, 긴장력의 원활한 도입 등이다. 기존 콘크리트와 접하는 신규 콘크리트를 타설하기 전에는 건조한 상태의 부착면을 습하게 해주면 부착력이 높아질 수 있다. 그래서 분절면에 가수(加水) 하는 작업을 포함시켰고, Fig. 4와 같이 계면에 5mm 이상의 요철을 두어 계면 마찰력을 증대시켰다.



Fig. 4. Surface finish of the segments

### 2.4 하중재하 및 측정방법

중양부와 분절부의 초기 강성을 비교할 수 있도록 실험체는 양단부에 지점(롤러)을 두고 10,000kN급 UTM을 이용하여 Fig. 5와 같이 지점에 연직하중을 재하 하였으며, 분절부는 순수모멘트 구간 내에 두고 전단영향 없이 모멘트에 의한 영향만 평가 할 수 있도록 하였다.

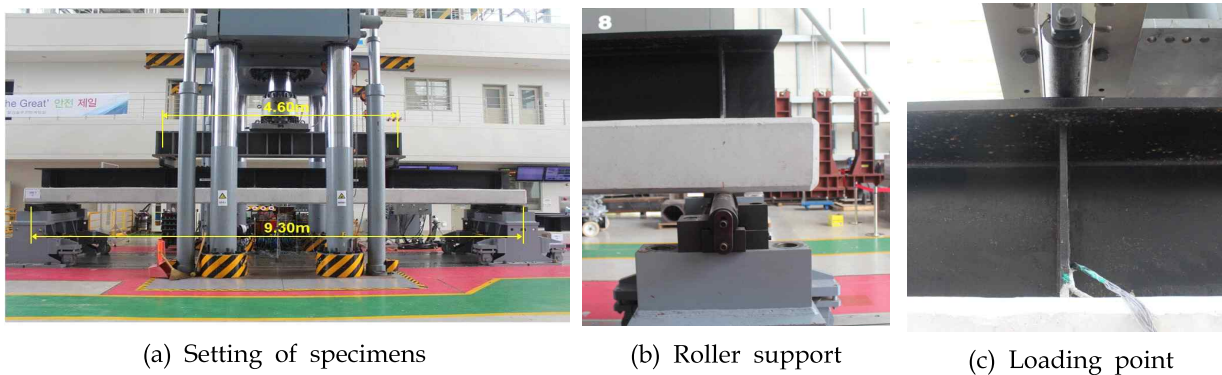


Fig. 5. Test Specimen Setup

Table 1. Loading Stage

STEP	Loading speed (mm/s)	Load, P (kN)	Remarks
0	0.01	0kN	Installing the crack gauge at the joint
1		1,400kN	Service load (1,385kN)
2		1,600kN	Cracking load (1,580 kN), Checking crack
3	0.05	2,000kN	Checking crack
4		2,500kN	Checking crack
5		3,000kN	Checking crack
6		3,200kN	Ultimate load (3,280kN)

### 3. 실험체 평가

#### 3.1 강도평가

분절 실험체는 분절부 내 마찰볼트 슬립으로 급작스럽게 종료하였고, 분절부가 없는 PR-N 부재의 경우 계산된 최대하중의 95% 이상 수준에서 가력을 중단하였다. 직접적인 비교를 위해 제작한 PR-N 부재의 처짐 데이터 누락으로 하중-변위 관계는 하중-UTM 변위로 비교하였다(Fig. 6). 균열이후 거동은 PR-DL의 강성이 다소 크게 나타났지만, 초기 거동은 콘크리트 재료의 불확실성을 감안할 때 분절 부재 모두 휨강성 차이가 없다 해도 무방할 수준이다. 균열발생 후에는 이음철근 없이 텐던만 연속시킨 PR-T 부재의 변형 능력이 가장 좋았지만 강성은 낮게 평가되었고, 더블루프상세를 가진 PR-DL은 종료시까지 분절부가 없는 PR-N과 거의 유사한 거동을 보였으나 변형 능력은 분절 실험체 중 가장 낮았다.

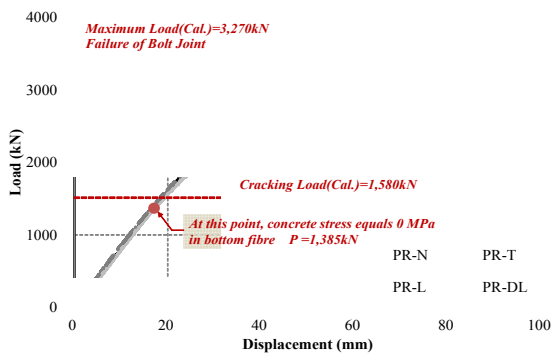


Fig. 6. Load-Displacement(UTM) curve

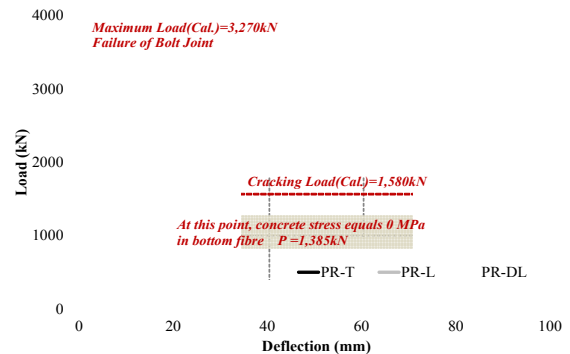


Fig. 7. Load-Deflection curve

Table 2. Summary of Test Results at Joint

Load	Design (kN)	Test Results (kN)			
		PR-L	PR-DL	PR-T	PR-N
Service load	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
Cracking load	1,580	1,500	1,500	1,500	1,500
Maximum load	3,270	3,705	3,450	3,760	3,795

Fig. 7는 분절부(매립강판면) 위치에서의 처짐-하중 관계 곡선이다. 매립강판 부착이 단면 강성에는 영향을 주지 않기 때문에 양측 분절부 거동의 차이는 나타나지 않아 타설접합면 처짐은 그래프에 나타내지 않았다.

케이싱에서 인장응력이 발생하지 않는 하중(이하 사용하중)인 1,385kN은 모두 선형 구간 내 위치하고, 선형 구간은 초기 균열하중까지 이어지다가 균열하중 이후 비선형으로 거동 하였다. 분절부 존재와 이음철근 유무에 관계없이 탄성이론에 의해 계산될 수 있으므로 기존과 동일하게 비균열 등급으로 설계할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 중요한 것은 균열하중 보다 0.2mm 균열하중이므로 별도의 평가가 필요하다.

초기균열은 육안으로 1,500kN에서 확인하였고 초기균열 이후 PR-T, PR-L, PR-DL 부재 순으로 강성이 감소하였다. 분절부에서도 이음철근이 없는 PR-T 부재가 루프이음철근이 있는 부재보다 변형 능력은 우수한 것으로 나타났고 강도 측면에서도 PR-L과 비슷한 수준까지 저항하였다. 강도에서는 이음철근의 기여보다는 텐던의 기여가 지배적이기 때문에 당연한 결과라 할 수 있지만 강성 측면에서는 이음철근의 강성 기여도가 있다는 것을 보여준다. 초기균열 하중은 1,500kN이고 설계에 의한 균열하중은 1,580kN로 계산되어 오차는 약 5% 였다. 균열하중은 잘 예측되고 있고, 현 이론식을 그대로 따르는데 무리가 없다. 모든 부재들이 볼트작용력을 3,270kN 초과시 급작스럽게 실험이 종료되었지만 실험값은 설계값의 약 1.05~1.15배 수준 이었고 PR-DL을 제외하고 항복에 가까운 상태에서 실험이 종료되었다.

Fig. 8의 분절부가 없는 PR-N 부재에서 균열발생 이후 콘크리트 변형률이 감소하는 것은 콘크리트가 부담하는 응력이

작아지면서 철근, 강재거더, 강연선이 외부하중에 대한 저항이 증가했기 때문이다. Fig. 9는 분절부에 철근연결이 없는 부재의 재료 변형을 보여주고 있다. 균열면에 철근이 없기 때문에 균열 발생이후 외부 힘에 대한 저항은 PR-N 보다 일찍 강재거더가 저항하는 것을 보여주고 있으며 타설접합면이 매립강판면 강재거더 보다 일찍 항복시점에 도달한다.

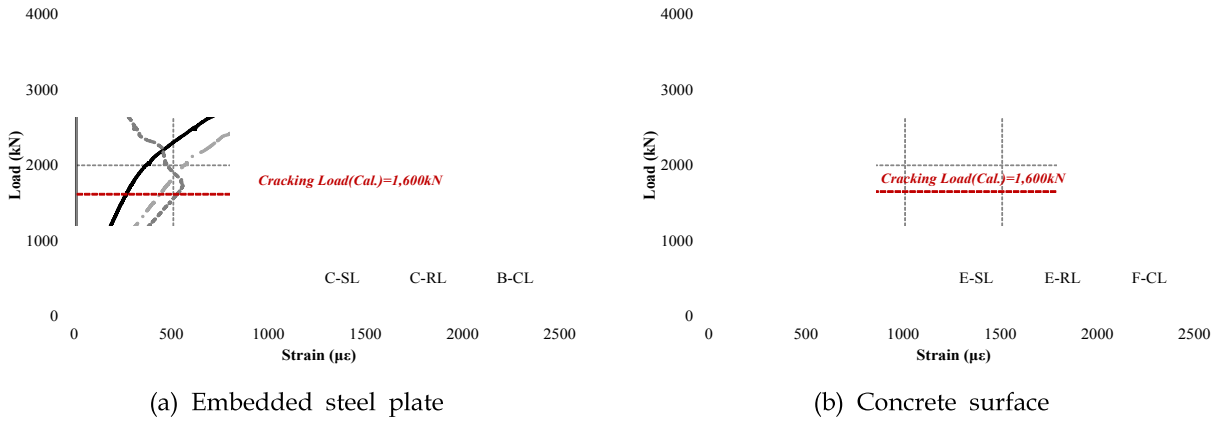


Fig. 8. Load-Strain Curve (PR-N)

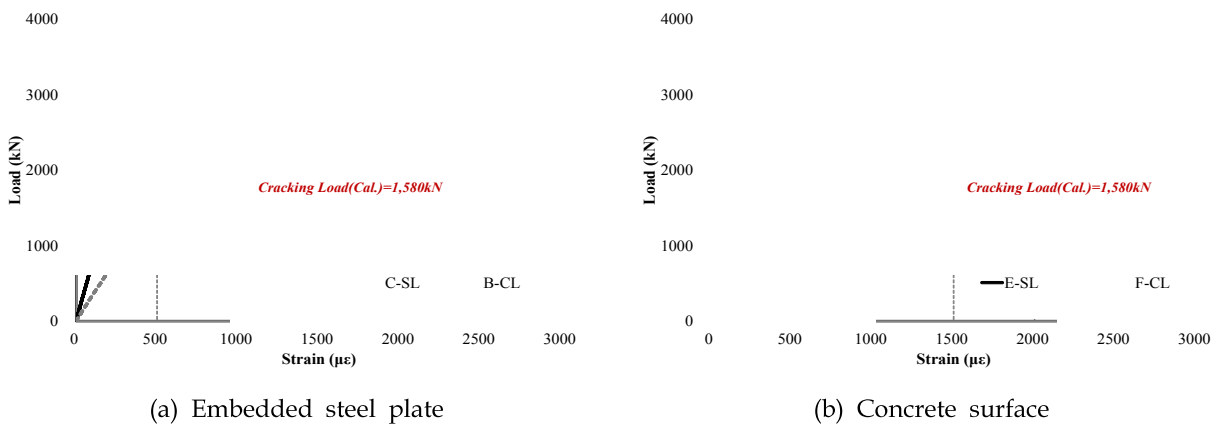


Fig. 9. Load-Strain Curve (PR-T)

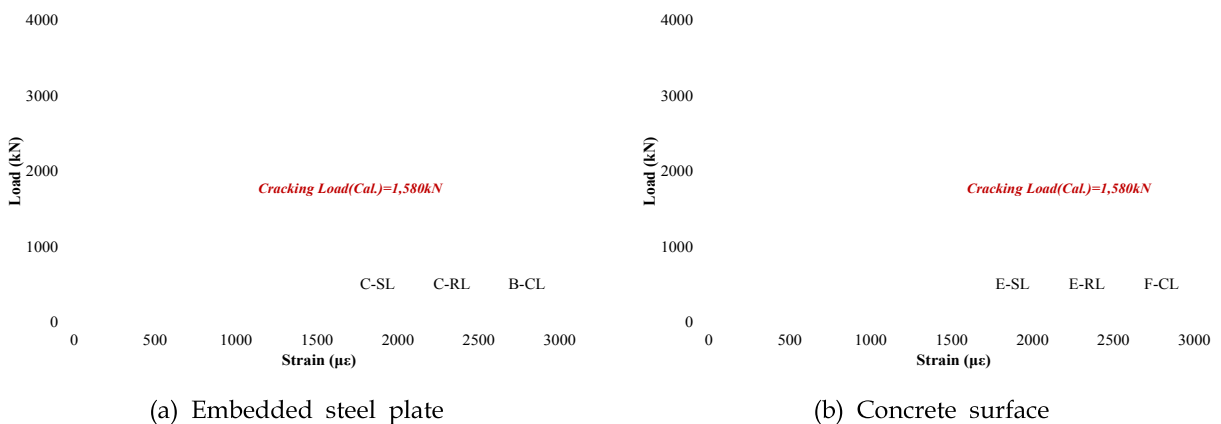


Fig. 10. Load-Strain Curve (PR-L)

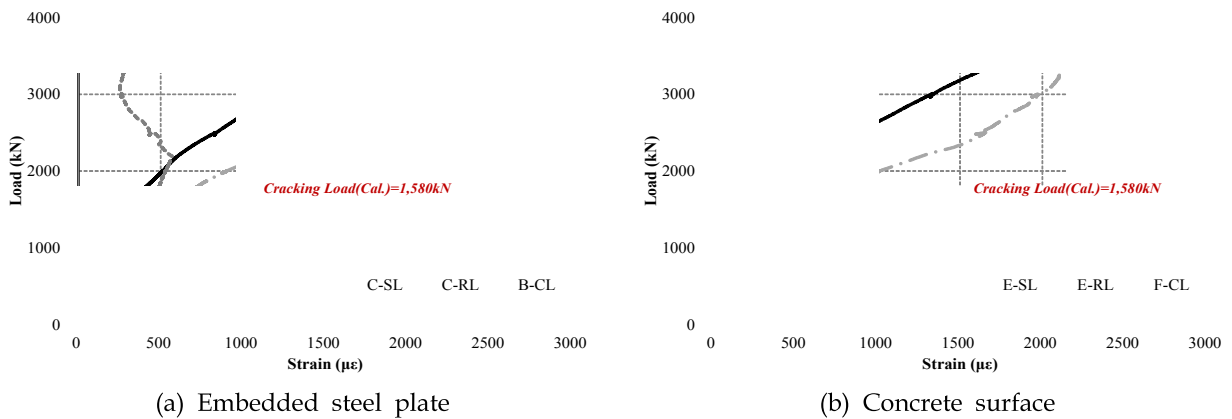


Fig. 11. Load-Strain Curve (PR-DL)

Fig. 10과 Fig. 11은 루프철근 상세를 가진 부재와 더블루프철근 상세를 가진 부재의 변형률이다. PR-L의 경우 타설접합면보다 매립강판면에서 먼저 콘크리트 변형률이 압축측으로 이동하면서 철근이 먼저 항복하고 강재거더가 항복하였다. 타설접합면은 철근과 강재는 항복 도달전에 실험에 종료되었다. Fig. 11 매립강판면과 타설접합면 둘 다 변형률이 거의 동일한 것으로 나타났고 철근과 강재는 실험 종료까지 항복점에 도달하지 못했다.

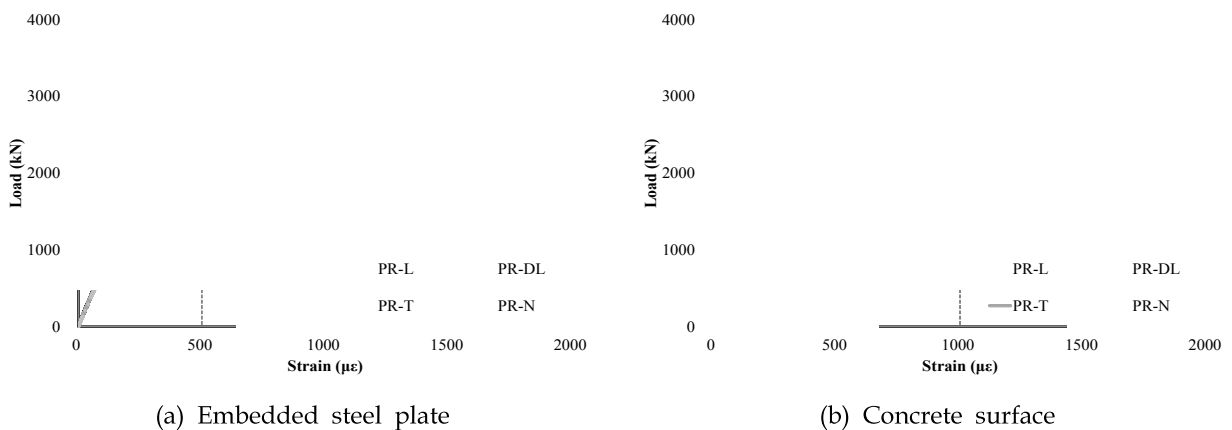


Fig. 12. Strain of Bottom flange of Steel girder in Connection

Fig. 12는 분절부의 강재 하중-변형률 관계 곡선이다. PR-T 부재의 타설접합면 강재 항복변형률은 다른 분절실험체 보다 빨리 도달한다. 균열이 일찍 발생한 이유도 있지만 균열 발생 후 급격하게 휨응력이 전달될 수 있다는 것이므로 바람직하지 않다. PR-DL 부재는 양쪽이 거의 동일한 거동을 보이고 있고, PR-L 부재는 타설접합면이 외력에 대한 변형능력이 PR-N 수준으로 나타났다.

### 3.2 균열폭 제어

강도 평가를 통해 분절실험체는 균열을 유발하는 하중이 재하되지 않는 한 탄성적으로 거동한다는 것과 휨균열 발생 이후 루프철근이 강성에 기여를 한다는 것을 확인하였다. 분절부에 철근이 없는 PR-T 부재의 경우 균열 이후 변형능력은 좋으나 강재의 변형이 급격하다. 루프철근이 있는 경우는 신구콘크리트 접합면에서 균열이 진전하여도 철근이 외력 저항하지만 PR-T는 신구콘크리트의 부착에만 의존하기 때문에 균열은 순간적으로 나타날 수 있다. 그래서 균열하중 보다 0.2mm 균열하중이 더 중요하다. 도로교설계기준 한계상태설계법에 따르면 PSC구조에서 균열폭은 0.2mm로 제한을 두고 있기 때문에 균열

폭에 따른 거동을 살펴봄으로써 보다 정밀한 평가를 하고자 한다.

균열폭을 제어하는 방법은 크게 4가지가 있다. 균열폭과 철근응력은 비례한다는 상관관계를 이용하여 철근의 응력으로 제어하는 방법, 직경이 작은 철근 여러 개를 배근하는 철근 배근을 통한 방법, 균등한 간격으로 배근하여 연성파괴를 유도하는 방법, 구조적 균열 외의 균열을 제어하는 방법이다. 여기서는 설계에 의한 균열하중과 균열개지를 통해 얻은 0.2mm 균열하중을 이용하여 적절히 제어되었는지를 평가하였다. 또한 이 때 철근 응력 수준이 항복이하에 있는지 평가하였다.

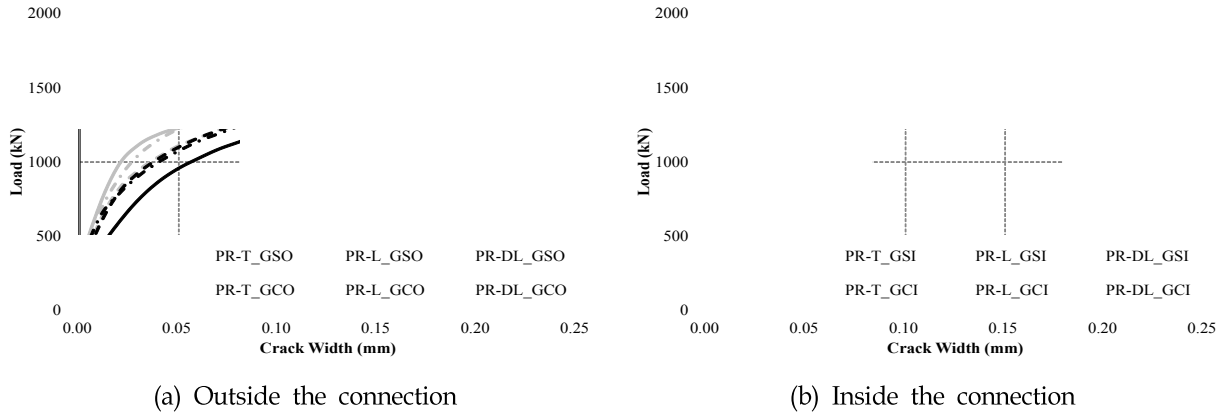


Fig. 13. Load-Crack width Curve

Table 3. Comparison of 0.2mm Cracking load

Specimens	Initial Cracking load (Design)	0.2mm Cracking load (measurement)				Remarks
		Embedded steel plate		Concrete surface		
		Outside	Inside	Outside	Inside	
PR-L	1,580 kN	1,627 kN	1,703 kN	1,638 kN	1,703 kN	OK
PR-DL		1,724 kN	1,695 kN	1,635 kN	1,672 kN	OK
PR-T		1,571 kN	1,642 kN	1,465 kN	1,636 kN	NG

Table 3은 0.2mm 균열폭 발생시 각 단면에서의 균열하중과 설계 균열하중을 비교한 것이다. 루프철근이 있는 PR-L과 PR-DL은 적절한 균열폭 제어가 되고 있으나 무철근인 PR-T의 경우 이론상 균열하중 이전에 외측에서 0.2mm 균열이 발생했다. 케이싱 압축력 도입 전 발생하는 균열을 위해서도 최소한의 이음철근은 있어야 할 것이라 판단된다.

Table 4. Comparison of Reinforcement stresses in Crack width

Specimens	Measurement		Reinforced bar (yield Stress)	Remarks
	Embedded steel plate	Concrete surface		
PR-L	165.6 MPa	140.2 MPa	500 MPa	OK
PR-DL	138.2 MPa	153.2 MPa		OK



Table 4는 0.2mm 균열폭 발생시 측정된 철근응력과 철근 항복강도와의 비교를 통해 적절히 제어되고 있는지 검토한 것이다. 실험체 모두 충분한 안전율을 가지고 있는 것을 보여준다. 강합성 거더에서는 철근이 강성 측면에서 기여가 분명한지만 외력에 대해 강재거더와 PS강재 단면이 저항하기 때문에 철근의 하중분담 비율은 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 균열폭과 균열폭을 계측한 위치에서 수직으로 동일한 선상에 있는 인장철근 응력 관계를 나타낸 그래프이다. PR-T의 경우 철근이 없기 때문에 생략했고, PR-L과 PR-DL에 대해서만 보여주고 있다.

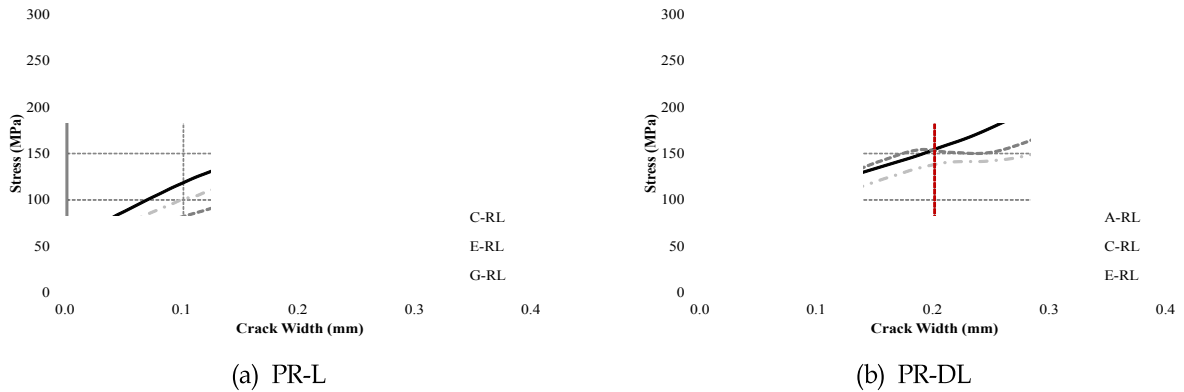


Fig. 14. Stress-Crack width Curve

Fig. 15는 실험체 분절부의 균열 사진과 균열분포도이다. PR-L과 PR-DL과 같이 루프철근이 있는 부재의 경우 분절부 콘크리트 내 균열이 나타나는 것은 철근의 휨 전달이 양호하게 이루어지고 있는 것으로 판단되며 최대균열간격은 각각 270mm, 280mm 였다.

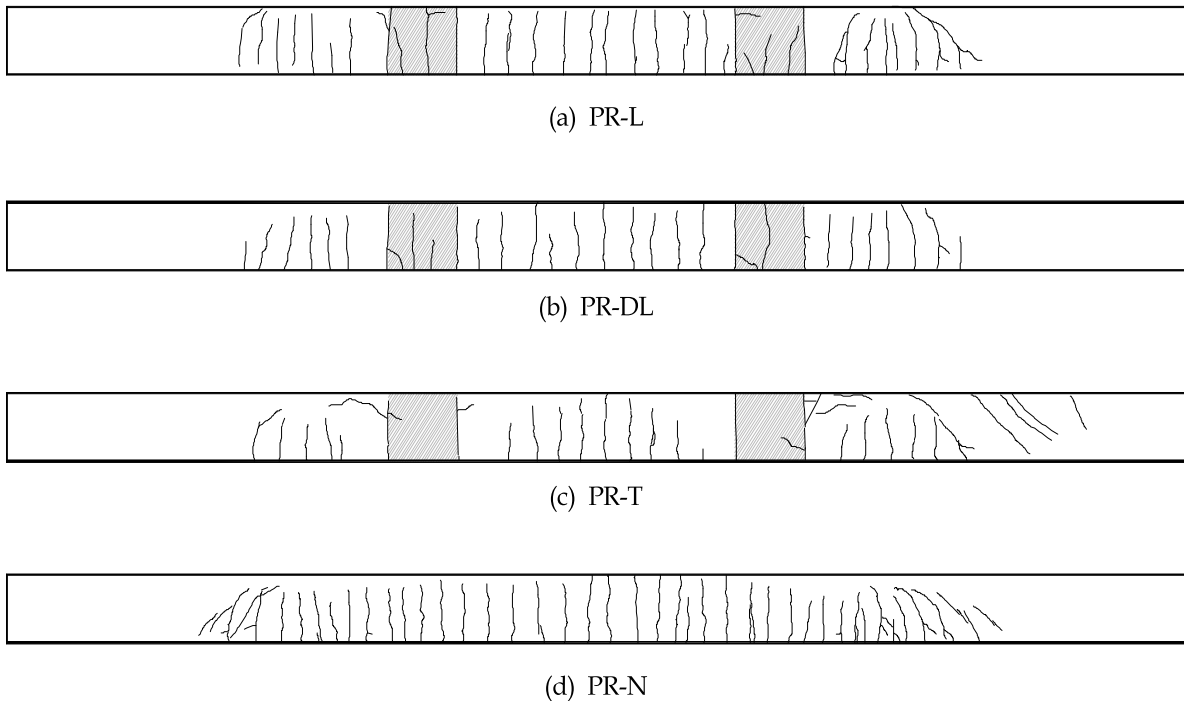


Fig. 15. Crack Patterns

## 4. 결론

본 연구에서는 강합성 거더의 콘크리트 케이싱 분절부 상세에 따른 연결부 성능 평가를 위해 각각 다른 분절부를 가진 실험체를 제작하여 실험하였다. 분절부가 없는 일반 강합성 거더와 분절부에 이음철근 보강 유무 및 이음철근 상세를 변수로 하는 총 4본의 비교 실험체를 제작하여 구조적 거동을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 분절부의 존재와 이음철근 유무에 관계없이 사용하중은 선형구간 내에 위치하였고 균열발생 전 휨강성의 차이는 없었다. 다만 균열발생 후 거동 차이가 있었고 이음철근이 일정 수준 강성에 기여한다는 것을 확인하였다.

(2) 초기균열 하중은 1,500kN이고 설계에 의한 균열하중은 1,580kN으로 계산되어 이론값과의 오차 5% 수준으로 실제와 잘 일치하며 현 이론식을 사용해도 무방하다.

(3) 분절면 거푸집 마구리 대응으로 강판을 매립하면, 콘크리트 노출 시킨 경우의 표면 요철작업, 거푸집 탈형과 같은 후속 작업이 생략되기 때문에 작업성이 개선되며 매립강판면과 타설접합면의 강성차는 없고 분절실험체 모두 신구콘크리트 접합면 균열발생 후 강재와 철근 변형률의 급작스런 증가는 나타나지 않는 등 균열폭 제어에 있어서도 타설접합 방식과 동일하다.

(4) 분절부에 이음철근을 두면 강도 및 강성 기여도가 있고 균열폭 제어에도 유리하다. 더블루프철근은 제작 중 양측 루프 철근의 오차 발생 시 링 모양의 루프연결철근을 이용하여 오차를 조정하기 좋지만 링 모양 철근을 감는 방법상의 한계로 인해 루프철근과 밀착해서 이음하기 어려우며 실험결과 루프철근을 겹이음하는 상세가 분절부가 없는 일반 강합성 거더와 가장 유사한 거동을 보였다.

(5) 비균열 등급의 설계는 분절 단면의 외력에 대한 저항은 주로 강연선과 I형 강재거더가 저항하므로 기존과 같이 적용가능하나 분절부에 이음철근 없이 강연선만 배치한 경우 시공성이 개선되지만 균열이 급작스럽고 크게 발생하여 강재가 일찍 항복 변형률에 도달하는 등 균열폭 제어가 어렵다. 또한 프리스트레스 도입 전 육안으로 관찰되는 균열이 발생하므로 제작 중 품질관리 및 외력 작용 시 균열폭 제어가 불리하다. 따라서 최소한의 이음철근은 반드시 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 국토교통부의 국토교통기술사업화 지원사업(15TBIP-C092770-01) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## References

- Kim, D. W., Shim, C. S. (2015). "Crack Width Control on Concrete Slab using Half-Depth Precast Panels with Loop Joints", Journal of KSCE, Vol.35, No.1, pp.19-29.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010). Korean Bridge Design Code. Korea Road & Transportation Association.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012). Concrete Structure Design Standard. Korea Concrete Institute.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012). Korean Bridge Design Code(Limit State Design). Korea Road & Transportation Association.
- Mary H., John, M., Anagha P. (2012). Continuous Prestressed Concrete Girder Bridges Volume 1 : Literature Review and Preliminary Designs. Texas Department of Transportation.
- Ryu, H.K., Chang, S. P., Kim, Y. J. (2003). "Experimental Works on the Flexural Behavior of Precast Reinforced Concrete Decks with Loop Joints", Journal of KSCE, Vol.23, No.3A, pp.479-486.