

## 식재기반을 담는 RDT 거더교의 구조성능 검증

하태열<sup>1\*</sup>, 한종욱<sup>2</sup>, 양인욱<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(주)삼현피에프 기술연구소, <sup>2</sup>(재)건설연구인프라운영원

### Structural Performance Verification of RDT Girder Bridge Feasible to Fill with Planting Ground

Tae-Yul Ha<sup>1\*</sup>, Jong-Wook Han<sup>2</sup>, In-Wook Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technical Institute, SAMHYUN P.F Co., Ltd

<sup>2</sup>KOCED Collaboratory Management Institute

**요약** RDT(Reversed Double T) 거더교는 생태교 맞춤형으로 개발된 PSC 교량 형식이다. 모음 교형상과 유사한 단면형상이 가장 큰 특징이며 거더 내부 공간에 흙을 담을 수 있어 상부 구조 전체 높이를 획기적으로 낮추고 시공성과 경제성이 우수하여 생태교로써 적용이 활발할 것으로 기대되는 공법이다. 새로 제안된 RDT 거더교의 실적용을 위해서는 공용 중 안전성 검증이 필요하다. 본 연구에서는 RDT 거더교의 실물모형 실험체를 설계 및 제작하여 정적재하 실험을 수행하였다. 실험 결과와 변형률적합법을 이용한 비선형 해석 결과를 바탕으로 거동을 평가하고 구조성능을 검토하였다. 검토 결과, RDT 거더교는 사용하중의 2배 이상 균열 안전성을 확보하고 있으며 우수한 휨 성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

**Abstract** The proposed RDT(Reversed Double T) girder bridge is suitable to eco corridor, because of its cross section which resembles Korean alphabet vowel “ㅏ”. The total height and cost of bridge would be reduced for its inner space containing some of plant soil. In this study, the performance of the RDT girder was assessed by comparing results of static test with those of nonlinear analysis. The cracking load of the RDT girder was evaluated more than two times of design load.

**Key Words** : Eco-corridor, Flexural behavior, PSC girder, Static test, Strain compatibility method

### 1. 서론

생태교(육교형 생태통로)는 도로·철도 등에 의해 단절된 생태계를 연결하거나 야생동물의 이동을 위해 설치하는 인공구조물이다. 국내에는 1998년 터널형 생태통로를 시초로 매년 20~30개소가 꾸준히 설치되고 있고, 최근에는 생태계 파편화를 막는 전통적인 역할 뿐 아니라 복개공원의 목적으로 시공 되어 시민들의 위락과 심미적 쾌적함을 제공하는 역할도 하고 있다[1]. 일부 도시에서는 도심지 경관의 연속성을 위한 목적으로도 계획됨에

따라 생태교 시장은 향후 비약적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 동일한 조건이라도 생태교의 소요 공사비가 도로교에 비해 상대적으로 고가이기 때문에 생태교 설치에 대한 사회적·경제적 비용 부담도 증가할 것으로 보인다. 이 같은 비용 부담의 이유로 현재에는 Fig 1과 2와 같이 공사비가 저렴한 재래식 아치나 라멘이 선호되고 있지만 20m 이하인 경간장의 한계, 재래 시공에 따른 공사 장기화, 우회도로 마련에 따른 민원 발생 등이 문제가 되고 있어 근래에는 거더 형식의 교량이나 강합성 라멘 공법이 증가하는 추세이다.

본 논문은 2012년도 국토교통부의 건설교통기술촉진연구사업(12-기술혁신B03) 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*Corresponding Author : Tae-Yul Ha(SAMHYUN P.F)

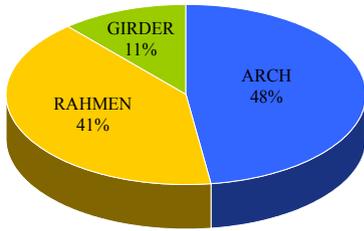
Tel: +82-2-2140-8363 email: [hatae10@precom.co.kr](mailto:hatae10@precom.co.kr)

Received October 30, 2014

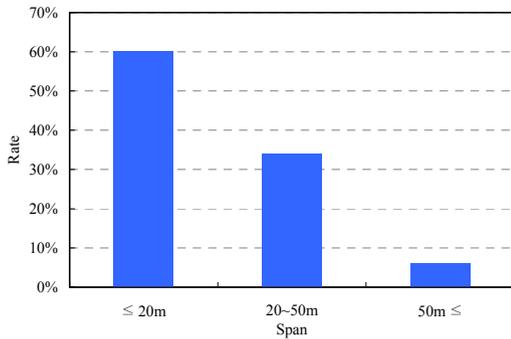
Revised December 26, 2014

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015



[Fig. 1] Type proportion of domestic eco bridges



[Fig. 2] Span length proportion of domestic eco bridges

거더형 교량 중 PSC I 거더교는 단연 경제적이고 시공성이 우수하여 국내에서 가장 보편화된 교량 형식으로 자리 잡고 있다. PSC I 거더교는 강재의 원자재 가격 상승이라는 외적 환경 요인으로 인해 강교보다 경제적이고, 최근 10년 사이 저형고로 경간장 40m까지 적용 가능한 개량형 PSC I 거더가 대거 개발되면서 강교 또는 강합성 교량으로만 가능했던 시장으로 적용이 점차 확대되고 있다[2]. 그러나 이러한 기술 발전에도 생태교 시장에서의 적용은 미미한 실정인데 가장 주된 이유로 높은 형고를 꼽을 수 있다. Table 1은 경간장 40m로 동일한 PSC 거더교로 설계된 도로교와 생태교의 설계모멘트를 비교한 것이다. 생태교는 도로교 보다 활하중은 작지만 합성 후 고정하중이 약 5배 이상 커서 설계모멘트의 총합이 도로교보다 2배 이상 큰 특성을 보인다. 그런데도 현행 설계는 도로교에 최적화된 거더 단면에 단순히 형고만 증대시켜 적용하기 때문에 생태교의 하중 특성이 전혀 반영되지 않고 있다. 결과적으로 비대한 단면이 되어 Fig. 3과 같이 형하공간 확보가 어렵고 진도 등의 위험 요인으로 인해 PSC I 거더교의 적용이 기피되고 있는 것으로 분석되었다.

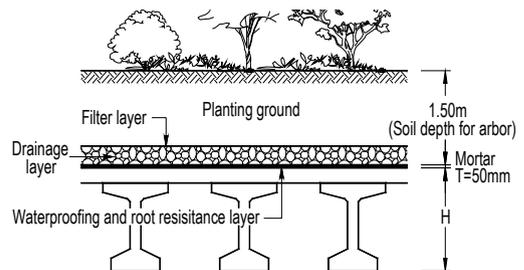
[Table 1] Design moment comparison between highway and eco bridges(L=40m)

Bridge	Load	Moment(kN·m)		
		Dead	Live	Total
Highway		1,820	3,600	5,420
Eco		9,765	2,005	11,770
Ratio		5.4	0.6	2.2



[Fig. 3] PSC beams dropped down from the pier(left) and an accident caused by insufficient clearance(right)

Fig. 4는 생태교 상부의 식재기반 구성이다. 구조물 상면부터 방수·방근층이 있고 방수·방근층을 보호하기 위한 보호몰탈층이 있다. 그 위에 자갈을 쌓아 배수층을 만들고 성토를 한다. 배수층과 성토층 사이에는 토사유입을 막기 위한 여과층을 두고 있다[3]. 생태교는 인공구조물로 분류되는데, 2013년 개정된 조경설계기준에서는 옥상녹화를 제외한 인공지반 조경의 식재토심을 1.2m 이상 확보하도록 하고 있다. 식물의 종류에 따라 식재토심과 배수층 두께를 정하는 경우 Table 2를 따른다[4]. 현재까지 설계된 생태교 사례에 따르면 토사와 자갈의 구분 없이 동일하게 단위중량을 18~20kN/m<sup>3</sup>, 층 구분 없이 1.5m를 적용하는 것으로 조사되었다. 조사 대상 교량들 대부분 식재기반층(1.5m)과 교량 상부구조 높이(H)를 고려하는 경우 최소 3m였고, 통상 상부계획고에 맞추어 교량 종단을 계획하는 것을 감안할 때 형하고 조건에 어렵게 수립하는 것을 확인하였다.



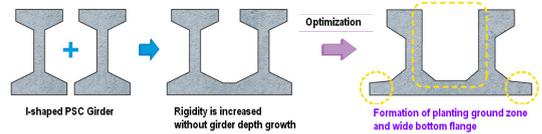
[Fig. 4] Composition of planting ground on the structure

[Table 2] Soil depth and drainage layer thickness based on the plants type(mm)

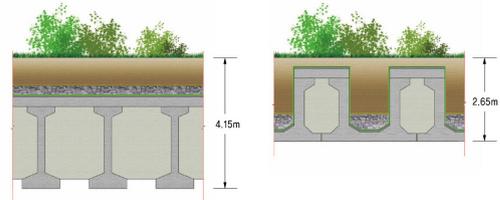
Plants Type	Soil depth		Drainage layer thickness	Sum
	Nature soil	Mixed soil		
Grass	150	100	100	200~250
Small shrubs	300	200	150	350~450
Large shrubs	450	300	200	500~650
Arbors	700	600	300	900~1000

상부고를 최소화하기 위해 하로교의 형태로 흙을 담도록 제작한 강합성 프리플렉스 라멘이 생태교 전용으로 개발된 바 있으나[5] 강제 사용으로 인한 재료비 고가 문제, 거더 간 이음부 누수 문제, 흙에 노출된 강재의 부식 문제 등이 해결되지 못한 채로 있어 현재 적용 실적은 미미하다. 본 연구에서 다루는 RDT 거더교는 Fig. 5와 같은 과정을 통해 생태교에 최적화되도록 개발된 PSC 교량이다. RDT 거더교는 콘크리트가 주재료이므로 경제적이고, 표준 PSC 거더 제작에서 추가 공정없이 제작되기 때문에 시공성이 우수하다. 일반 생태교는 흙과 접하는 바닥판에 대해 균열폭 제어로 사용성을 담보하나 RDT 거더교는 균열이 발생하지 않도록 전 단면 압축 상태로

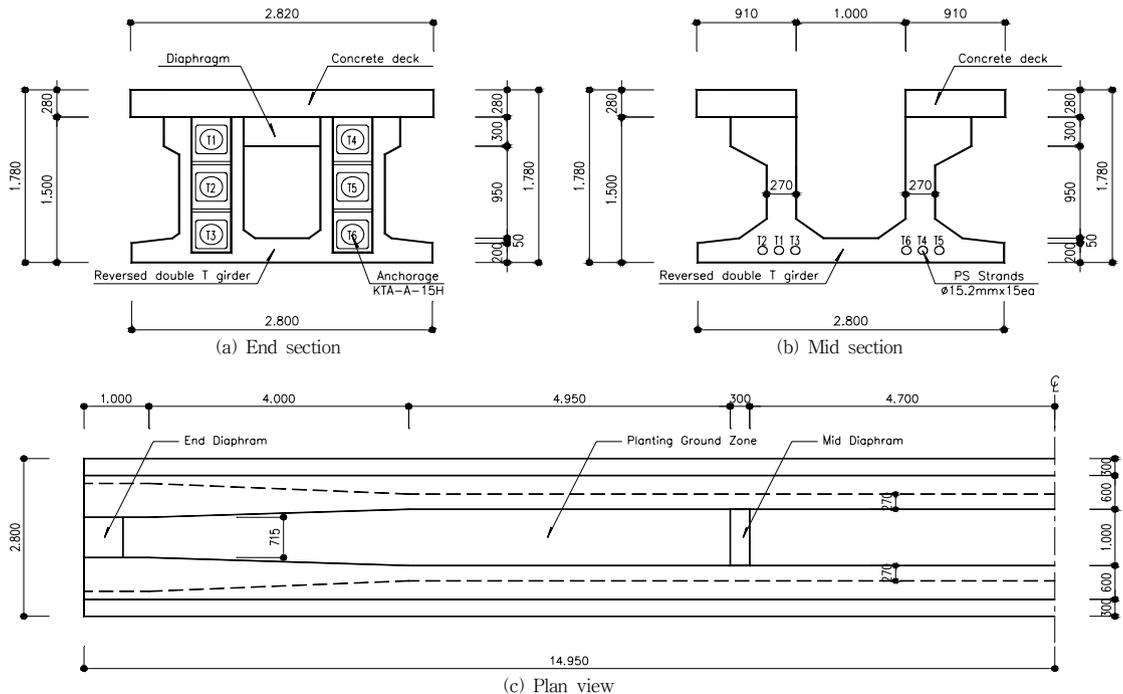
설계되기 때문에 사용수명 동안 내구성의 문제를 야기하지 않는다. 또한 하부플랜지 확장으로 추락방지 장치 설치 및 바닥 거푸집·동바리 제거 공정을 생략할 수 있고, 무게중심이 하향이므로 빔진도의 위험이 없는 안전한 구조이다. 무엇보다 Fig. 5와 같이 형고 증대를 최소화 하면서 휨강성과 비틀림강성이 큰 단면이므로 Fig. 6과 같이 동일 경간의 PSC I 거더 보다 상부 전체높이를 30% 이상 낮출 수 있다[6].



[Fig. 5] Design concept



(a) PSC I girder (b) RDT girder  
[Fig. 6] Comparison of total height(L=40m)



[Fig. 7] Test specimen

본 논문에서는 실물모형 실험체의 설계 및 제작에 대하여 기술하였고, 제작 단계에서 텐던 배치 형상에 따른 긴장응력 도입이 예상과 잘 일치하는 지 살펴보았으며 정적재하 실험을 수행하여 생태교로서의 구조적 안전성을 보유하는지 평가하였다. 또한 실험 결과와 변형률적합법 결과를 비교 분석하였다.

## 2. 실물모형 실험체 설계 및 제작

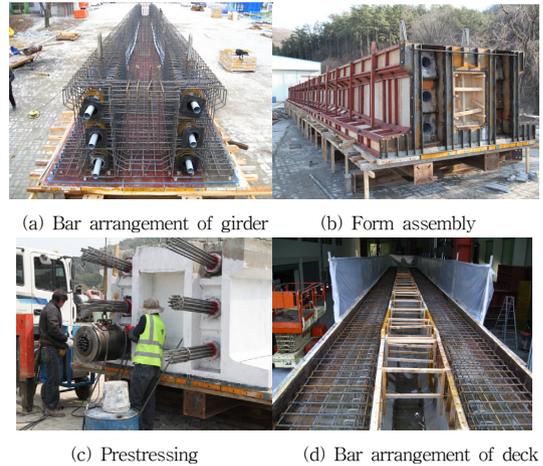
### 2.1 실험체 설계

RDT 거더교의 설계 방법은 거더는 허용응력설계법, 바닥판은 강도설계법을 적용하였으며 그 외의 시방규정은 국내 도로교설계기준[7] 및 콘크리트설계기준[8]을 적용하였다. 하중은 조경설계기준 및 동물이동통로 설계기준(안)[9]을 참고하였다. 구조거동 평가를 위한 실물모형 총길이는 29.9m, 설계계간은 29m이다. 동물이동만을 위한 교량이며, 고정하중은 식재지반 깊이 1.2m, 배수층 300mm로 가정하였고 식생하중(8.0kN/m<sup>3</sup>)과 보호물탈 하중을 고려하였다. 식재지반 흙과 배수층 자갈은 구분 없이 1.5m에 대해 공통적으로 단위질량 20kN/m<sup>3</sup>을 적용하였다. 활하중은 동물이동하중(3.5kN/m<sup>2</sup>)과 작업차량하중 중 큰 하중을 사용했으며 작업차량의 경우 도로교 3등급에 해당하는 활하중(충격계수 포함)을 적용하였다. 콘크리트 강도는 거더가 50MPa, 슬래브가 27MPa이며 PS강연선은 SWPC 7B 저릴랙세이션 강종으로 계산하였다. 시공단계 즉 프리스트레스의 도입시와 사용하중 하에서 거더의 상·하연 발생응력이 각각 허용응력 조건을 만족하도록 설계하였다. Fig. 7은 실험체의 일반도이다. 거더 높이가 1.5m, 하부플랜지 폭 2.8m, 복부두께는 흙과 접하는 구조의 피복두께 80mm를 고려하여 270mm, 식재부 폭 1.0m인 단면으로 설계하였다. 슬래브 폭은 횡단 배치시 작업자나 낙하물이 추락하지 못하도록 20mm로 간격을 두고 이에 맞게 결정하였다. 편심에 대비해 격벽을 2개소 배치하였다. 텐던수는 6개이고 텐던당  $\phi 15.2\text{mm}$  강연선 15가닥이 배치되었다.

### 2.2 실험체 제작

실험체는 구조계산에서 응력 검토시 사용하는 단면 중 내측 거더 단면을 그대로 모사하여 Fig. 8과 같이 제작하였다. 근래 개발된 개량형 PSC 거더는 별도로 추가적인 프리스트레스 도입 공정이 필요하지만 RDT 거더

는 일반적인 PSC 거더와 제작공정이 동일하기 때문에 긴장력 도입 공정은 1회만 수행한다. 공시체를 제작하여 재령별 압축강도를 측정된 값을 Table 3에 정리하였고 Table 4에는 실제제작에 사용된 PS 강연선의 재료 물성표를 정리하였다.



[Fig. 8] Fabrication procedure

[Table 3] Concrete compressive strength

Type	Day	Cylinder(MPa)	Note
Girder	7	54.0	
	14	59.7	Prestress
	33	61.9	Test
Slab	7	27.1	
	11	27.9	Test

[Table 4] Material properties of PS strands

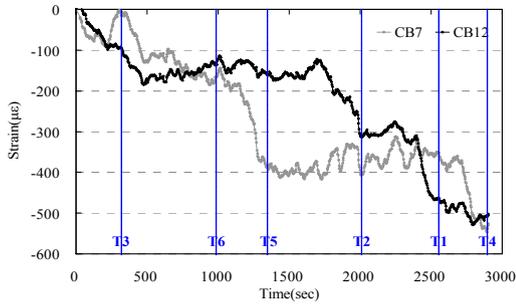
Type	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Strength (MPa)	Relaxation (%)
SWPC 7B L	15.2	142.3	1,776.5	0.93

긴장 순서는 횡방향 편심을 최소화할 수 있도록 순서를 정했고, 예상 신장량은 206mm로 계산하였다. Table 5에 긴장시 신장량과 예상 신장량 오차를 정리하였다. 본 실험체는 5% 이내 오차로 신장량이 측정되어 프리스트레스가 합리적으로 도입되었음을 확인하였다. Fig. 9는 거더 하연에서 측정된 변형률을 나타낸 것으로 각 텐던의 긴장 순서별 변형도이다.

최종 긴장시 구조계산의 응력보다 4.2% 더 큰 것으로 나타났고 제작 솜음은 15.5mm로 측정되었으며 계산된 값 16.8mm에 대해 8.4%의 오차를 보였다. 이는 텐던의 위치, 콘크리트 재령에 따른 강도, 온도 등의 제작 오차를 감안한다면 양호한 수준이며 구조계산과 잘 일치하는 것으로 판단된다.

[Table 5] Elongation of PS strands at transfer of prestress

Procedure		Elongation(mm)		Error(%)
		Estimated	measured	
1	T3	206	203	1.5
2	T6		201	2.4
3	T5		203	1.5
4	T2		203	1.5
5	T1		204	1.0
6	T4		204	1.0



[Fig. 9] Strain of girder bottom fibre in prestressing

### 3. 정적재하 실험

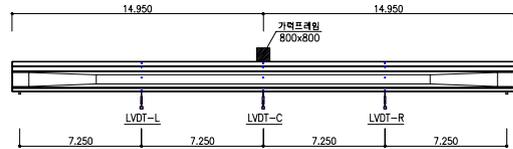
#### 3.1 하중재하 및 측정방법

지지조건은 단순지지이며 양단에 힌지와 롤러를 설치하였고, 하중재하는 L/2 위치에 800×800 단면의 프레임으로 선하중 가력하였다. Fig. 10은 실험체 세팅후 전경이다.

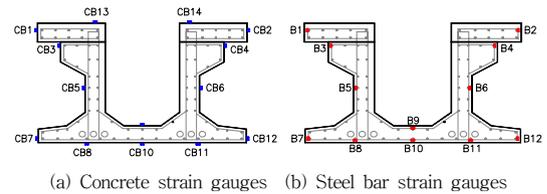


[Fig. 10] Test specimen setup

Actuator 용량은 5,000kN 급을 사용했고, 각 하중단계에서 처짐, 콘크리트 및 철근의 변형률, 균열폭을 측정하였고, 초기 균열 발생 후 하중을 제거하였다가 재가력하여 강성 저하 정도를 확인하였다. 하중재하는 변위제어로 초기균열이 발생할 때까지는 2mm/min.의 속도로 재하하였고, 이후에는 2.5mm/min.으로 속도를 증가시켰다. 균열 게이지 부착 위치는 초기 균열 중에서 중앙에 최대한 가깝도록 선정하였다. Fig. 11과 Fig. 12에 중앙부에서의 변형률 게이지 위치와 LVDT 위치를 나타내었다.



[Fig. 11] LVDT Plan



(a) Concrete strain gauges (b) Steel bar strain gauges  
[Fig. 12] Strain gauges plan in mid section

#### 3.2 하중-처짐 관계

정적 재하실험을 통해 얻은 하중-처짐 관계 곡선은 Fig. 15와 같다. 실험체에 대한 균열하중, 극한하중 및 각 단계별 처짐을 Table 6에 정리하였다.

[Table 6] Test result summary

Load	Result	
Service	Calculation	1,090 kN
	Test	2,200 kN
Cracking	Calculation	1,862 kN
	Test/Calculation	1.18
	Deflection	59.8 mm
Ultimate	Test	4,105 kN
	Calculation	3,845 kN
	Test/Calculation	1.07
	Deflection	312.5 mm

콘크리트 파괴계수로부터 산정된 균열모멘트  $M_{cr}$ 로 균열하중을 계산하였고 극한하중은 도로교설계기준

(2010)에서 제시하고 있는 극한모멘트  $M_n$ 으로부터 계산하였다. 식은 아래와 같다.

$$M_{cr} = \left[ f_{ru} Z_b + P_e \left( \frac{r_c^2}{y_b} + e_p \right) \right] - M_o - M_d \quad (1)$$

여기서, 콘크리트 파괴계수  $f_{ru} = 0.63 \sqrt{f_{ck}}$  이고  $M_o$ 는 거더의 자중에 의한 모멘트,  $M_d$ 는 합성전 고정하중에 의한 모멘트이다.

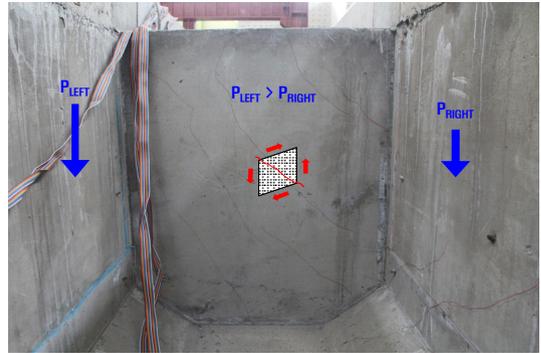
$$M_n = A_p f_{ps} d_p \left( 1 - 0.59 \frac{P_p f_{ps}}{f_{ck}} \right) \quad (2)$$

여기서,  $A_p$ 는 긴장재량이고  $f_{ps}$ 는 극한상태에서의 긴장재 응력으로 도로교설계기준에 제시되어 있는 값을 사용하였다.



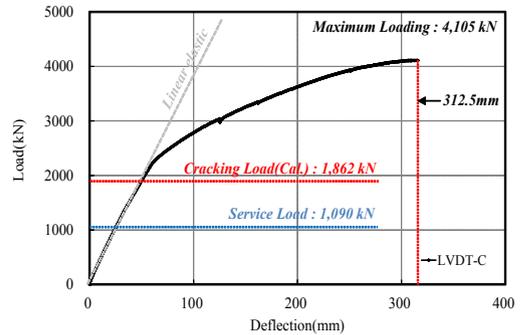
[Fig. 13] Test specimen failure

Fig. 13은 실험 종료시 파괴된 실험체 사진이다. 실험체 중앙에서 400mm 가량 벗어난 위치에서 바닥판 콘크리트 휨 압축 파괴를 육안으로 확인하였지만 뚜렷한 강성의 변화가 나타나지 않아 계속 가력을 진행하였다. 4,000kN 초과시 강성 변화가 나타났고 바닥판 콘크리트 일부가 탈락되면서 4,105kN에서 거더의 취성 파괴로 실험을 종료하였다. 실험체 점검시 실험체 횡단면상 좌우 중 한쪽에서만 파괴가 일어난 것을 확인하였고 내부 격벽의 균열 양상(Fig. 14)을 통해 한 개 복부가 편심을 받은 것이라 판단할 수 있었다. 실험체 제작 오차에 기인한 것으로 판단되지만 전체 거동에 있어서는 큰 영향을 주지 않고 충분한 거더 휨 거동을 확인하였다.

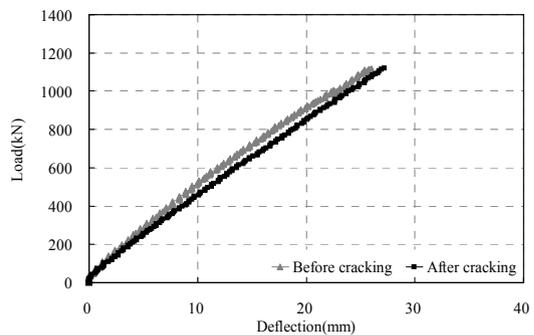


[Fig. 14] Eccentricity check through diaphragm cracks

Fig. 15 (a)는 파괴까지의 하중-처짐 관계 곡선이다. 균열은 2,200kN을 초과하면서 발생하였고, 이 때 중앙부 처짐은 Fig. 15 (a)에서와 같이 59.8mm였다. 2,200kN은 콘크리트 파괴계수에 도달하는 이론적인 균열하중인 1,862kN 보다 18% 큰 값으로 현 기준의 이론식을 따르는데 무리가 없다는 것을 알 수 있다.



(a) At 4,105kN(=Failure load)

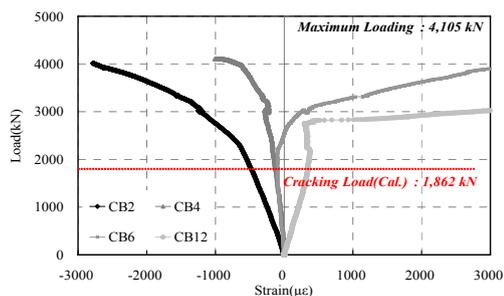


(b) Before and after cracking

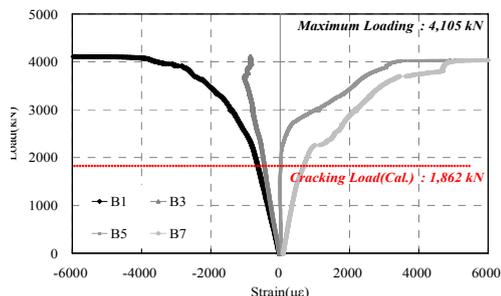
[Fig. 15] Load-deflection relation curves at mid-span

또한 탄성구간 내에 사용하중(=1,090kN)이 존재하기 때문에 실패량으로 설계된 실험체가 균열에 대한 충분한 내력을 확보한다는 것을 알 수 있다. 균열 발생 후 하중 제거 시 균열이 폐합된 것을 육안으로 확인했는데 이것은 철근과 긴장재가 여전히 선형 탄성구간 내에 있음으로 인한 탄성 복원 때문이다. 하중 재가력시 사용하중까지 거동을 살펴보면, Fig 15 (b)와 같이 균열 전 처짐이 26mm, 균열 후 처짐이 27.2mm이므로 강성은 4.3% 감소되어 강성차는 미미하였다.

### 3.3 변형률 및 균열폭



(a) Concrete



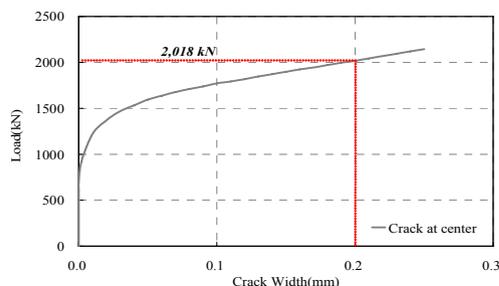
(b) Reinforcing steel

[Fig. 16] Load-strain curves at mid-span

Fig. 16 (a)는 중앙부에서 실험체 높이에 따른 콘크리트 변형률이다. 하중이 약 4,000kN 도달시 바닥판 상연 위치(CB2)에서 압괴(crushing)에 의해 콘크리트 탈락이 나타나 극한상태 압축 변형률 0.003에는 도달하지 못하였다. 거더 하연에서의 콘크리트 변형률(CB12)은 인장영역 상태에 있다가 균열하중 이후 게이지 양쪽에 균열이 발생되면서 변형이 풀어진 것으로 판단된다. Fig. 16 (b)의 거더 하연 철근 변형률(B7)은 인장영역에서 선형 거동을 하다가 거더 하연 콘크리트에서 균열이 발생하면서 급격히 변형률이 증가하였지만 철근의 항복 수준까지 미치지지는 않았다. 거더 높이의 중간에 위치한 CB6은 압축

영역에서 선형 증가하다가 균열하중을 초과하면서 인장 영역으로 바뀌었고, 같은 위치의 철근 변형률 게이지인 B5는 균열하중까지 변형률이 발생하지 않다가 균열하중 이후 인장영역으로 변형하였고 이를 통해 균열하중 이후 중립축의 위치 변동을 확인할 수 있었다.

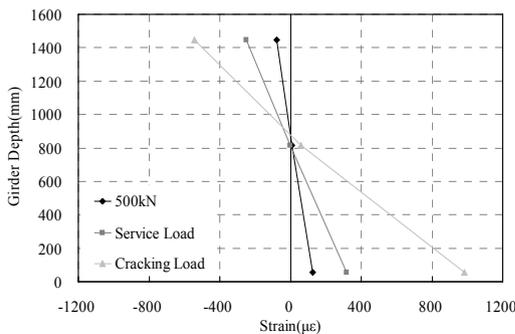
노출 환경이 습기 또는 물과 장기간 접촉할 수 있는 부식성 환경이기 때문에 이에 따라 균열폭 제어에 요구되는 설계등급을 C로 설정하였다. 설계기준에서는 설계등급 C에서의 표면 한계균열폭을 0.2mm로 규정한다. 이론식에 의한 균열 발생 하중은 1,862kN이고 실험에서 측정된 중앙부 균열폭 0.2mm 하중은 2,018kN으로 8.4% 크게 나타났다(Fig. 17).



[Fig. 17] Load-crack width curve

### 3.4 중립축 위치

Fig. 18은 각 하중 단계별로 실험체 거더의 상·중·하단에 각각 부착된 게이지의 변형률을 정리한 것이다. 사용하중 단계까지 도심의 변화는 없고 사용하중 단계의 도심 위치는 구조계산으로 얻은 도심의 위치와 5mm 이내의 오차를 보였다. 균열하중 단계의 경우 도심이 약 7% 상승되었는데 실질적인 도심의 이동은 사용하중과 균열하중 사이에서 시작된 것으로 보인다.



[Fig. 18] Movement of neutral axis in girder

### 3.5 하중-균열 양상 관계

초기 균열은 실험체 중심에서 좌우 각각 400mm 범위 내에서 발견되었다. 초기 균열 발견 후 하중을 제거했을 때 균열이 폐합됨을 육안으로 관찰하고 재가력을 실시했을 때, 초기 균열이 확인되었던 하중까지 균열은 확인되지 않았고, 그 이상의 하중에서 육안으로 관찰이 가능했다. 최대 균열폭은 430 $\mu$ m 이고 균열이 고르게 분포하여 하중이 잘 분배되었음을 확인할 수 있었다. Fig. 19는 균열 양상을 도시한 그림이다. 하부플랜지 현치까지 수직으로 진전하다가 복부 영역으로 들어가면서 균열이 경사로 진전하기 시작했다. 3,000kN에 이르기 까지 구조계산에서 산정된 중립축 높이까지 균열이 미치지 않았고, 실험 종료시에도 상부플랜지로의 균열 진전은 찾을 수 없었다.

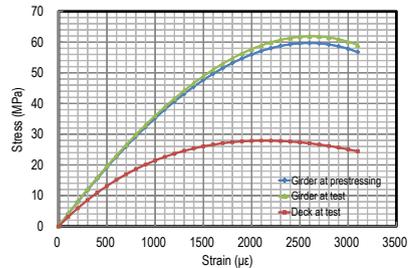
## 4. 실험모형 실험체 해석

거동을 예측하기 위해 변형률적합법으로 비선형 해석을 수행하였다. 해석 결과를 실험모형 실험체의 휨거동 실험 결과에 대입하여 거동을 예측하였다. 시공단계별 응력과 구조계산서 상의 응력 비교를 통해 5% 이내의 오차 결과를 얻어 재료모델 및 방법의 적절성을 확인하였다. Table 7에 이를 정리하였다.

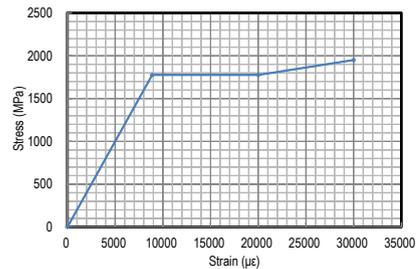
[Table 7] Stress summary

Construction Stage		Self weight	Prestress	Before composite	
Girder stress (MPa)	Top	Design	9.81	3.32	6.14
		Analysis	9.74	3.18	5.98
		Error	-0.7%	-4.2%	-2.6%
	Bottom	Design	-6.89	13.28	11.42
		Analysis	-7.07	13.30	11.51
		Error	+2.6%	+0.2%	+0.8%
PS Strand stress (MPa)	Design	-	-1208	-1217	
	Analysis	-	-1208	-1201	
	Error	-	0%	-1.3%	

해석에서 철근은 무시하였고 PS강재는 Trilinear model을 적용하였다. 콘크리트는 도로교설계기준 한계상태설계법(2012)[10]에서 제시하는 비선형 구조해석을 위한 모델을 적용하였고, 이에 대한 재료모델을 Fig. 20에 나타내었다. Fig. 21은 실험체 해석을 위한 단면의 층 요소로서 총 76개의 층으로 나누었고 쉬스관 면적은 공제하였다.

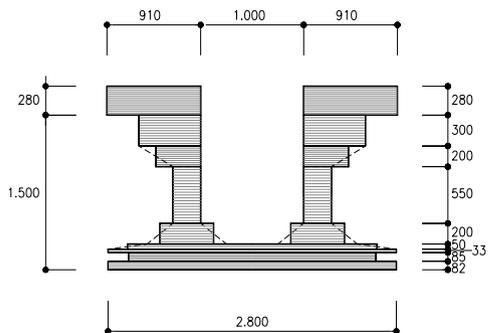


(a) Concrete model

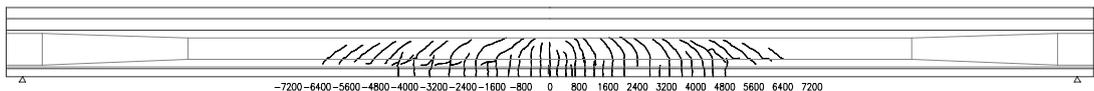


(b) PS strand model

[Fig. 20] Material models

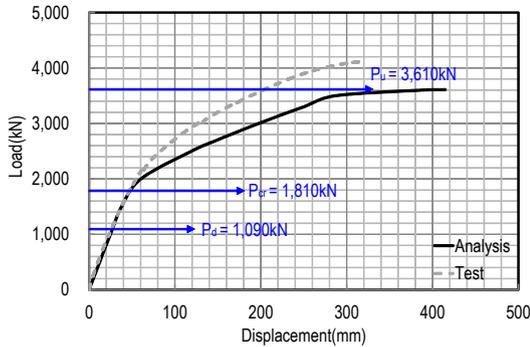


[Fig. 21] Layer components of test specimen



[Fig. 19] Crack pattern

콘크리트 압축파괴시 변형도는 0.00304로 산정하였다. 전 단면에 걸쳐 변형률 분포는 선형으로 가정하고 콘크리트의 인장강도는 무시하였다. 정적재하 실험을 통해 얻은 경간 중앙의 하중-처짐 관계 곡선과 해석을 통해 얻은 결과 비교는 Fig. 22와 같다. 사용하중  $P_d$ , 균열하중  $P_{cr}$  및 극한하중  $P_u$ 와 비교하였고 사용하중은 총 설계하중에서 거더의 자중과 바닥판 하중을 뺀 합성후 고정하중 및 활하중이다.



[Fig. 22] Result of Load-displacement relation curve

해석 결과, 탄성구간 내에서 실험 결과와 잘 일치하였고, 사용하중 하에서 비균열 상태를 유지하고 있었다. 선형구간 이후 거동은 실험과 다소 차이를 보였지만 극한하중 이론값 3,845kN 보다 6% 작은 결과값이 도출되었다. 균열 이후에서의 거동 차이는 콘크리트의 인장강성과 비등방 재료인 콘크리트의 특성, 그리고 가정시 철근을 무시한 것에 따른 것이라 판단된다. 실험시 편심으로 인한 파괴가 없었다면 해석에서와 같이 충분한 연성을 발현되었을 것이라는 것이라 평가된다. 요약하면, 변형률적합법을 이용한 비선형 해석으로 탄성구간 내에서 RDT 거더의 해석과 실험 결과가 거의 일치하며 비선형 구간에서는 실험 결과에 비해 안전측의 결과를 얻을 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 RDT 거더교의 구조거동 특성 규명을 위하여 식재기반 높이 1.5m를 수용하는 경간장 29m인 실물모형 실험체를 설계 및 제작하였다. 내측거더 합성 단면에 대해 정적재하 실험을 수행하였고, 변형률적합법

을 통해 실험 결과와 해석 결과를 비교 분석하여 생태교로 적용하는데 대한 구조 안전성과 사용성을 평가하였다. 실험으로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 실교량 설계를 통해 RDT 거더 최적 단면을 산출하였고 정적재하 실험 결과 구조계산에서 얻은 결과와 잘 일치하고 있음을 확인하였다.
- (2) 긴장력 도입시 계측된 거더 변형률과 솟음이 계산값에 비해 오차가 크지 않아 횡방향 편심이 최소화 되도록 긴장 순서를 결정하면 프리스트레스가 합리적으로 도입됨을 확인하였다.
- (3) 균열하중은 이론값과 잘 일치하였고, 사용하중 보다 약 2배 크며 극한하중은 설계기준에 따른 계산값 보다 6.8% 정도 크게 나타났다. 따라서 RDT 교량 실험체는 경간장 29m의 생태교 설계하중 하에서 충분한 균열 안전성을 가지고 극한상태에서도 충분한 안전율을 보유하고 있는 것으로 나타났다.
- (4) 변형률적합법을 이용한 해석 결과, 탄성구간 내 거동은 거의 동일하고 설계기준에서 제시하는 이론식을 따르는 경우와도 큰 차이가 없어 현 이론식 적용에 무리가 없다. 또한 비탄성구간에서는 안전측의 결과를 얻을 수 있어 변형률적합법을 이용한 거동 예측이 가능함을 확인하였다.

## References

- [1] Ministry of Environment "Current State of Affairs of Installation and Management for Eco-corridor in Korea", 2011
- [2] Kwang-Soo Kim, In-Hwan Yang, "Development of New Type PSC Beam Girder Bridges in Korea", *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No.3, pp. 26~33, 2008
- [3] Korean Institute of Landscape Architecture, "Landscape Architecture Standard Construction Specification", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2008
- [4] Korean Institute of Landscape Architecture, "Landscape Architecture Design Criteria", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2013
- [5] Land Transport and Maritime, "Development of Construction Technology for Eco Bridges and Cut-and-cover Tunnels Using Composite Preflex Rahmen Structures", *Land Transport and Maritime R&D Report*, 2011
- [6] Choong-Eon Kim, Jong-Wook Han, "Application Study of the Reversed Double-T Prestressed Concrete Girder",

*KCI Conference Journal*, Vol. 25, No. 1, pp. 7~8, 2013

- [7] Korea Road & Transportation Association, "Design Specification of Highway Bridges", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2010
- [8] Korea Concrete Institute, "Concrete Structure Design Standard", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2012
- [9] Korea Express Corporation, "Eco Bridge Design Standard(Draft)", *Korea Expressway Corporation*, 2003
- [10] Korea Road & Transportation Association, "Design Specification of Highway Bridges(Limit State Design)", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, 2012

---

**양 인 옥(In-Wook Yang)**

[정회원]



- 2001년 2월 : 충북대학교 구조시스템공학과(공학사)
- 2001년 2월 ~ 2007년 11월 : 삼표이앤씨(주) 교량사업부 과장
- 2008년 3월 ~ 현재 : (주)삼현피에프 기술연구소 근무

<관심분야>

합성구조, 강구조, 구조공학

---

**하 태 열(Tae-Yul Ha)**

[정회원]



- 2006년 2월 : 중앙대학교 일반대학원 토목공학과(공학석사)
- 2006년 8월 ~ 2009년 3월 : (재)포항산업과학연구원 토목연구본부 위촉연구원
- 2009년 4월 ~ 현재 : (주)삼현피에프 기술연구소 근무

<관심분야>

합성구조, PSC구조, 프리캐스트콘크리트

---

**한 종 옥(Jong-Wook Han)**

[정회원]



- 2006년 2월 : 명지대학교 일반대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2006년 8월 ~ 현재 : 명지대학교 연구교수
- 2009년 7월 ~ 현재 : (재)건설연구원프라운영원 실장

<관심분야>

구조공학, 강구조