KOSDI
ISSN : 1976-2208 (Print)
ISSN : 2671-5287 (On-line)
www.sodi.or.kr

Journal of the Society of Disaster Information
Vol. 20, No. 2, pp. 329-338, June 2024
https://doi.org/10.15683/kosdi.2024.6.30.329

Original Article

복합긴장방식이 적용된 세그멘탈 U형 거더 정적 거동 연구

A Study of Statistic Behavior of Segmental U-shaped Prestressed Concrete Girder Applied with Integrated Tensioning Systems

장현옥[1] · 장일영[2]*
Hyunock Jang[1], Ilyoung Jang[2]*

[1]CEO, J Engineering and Construction Co., Ltd., Suwon, Republic of Korea
[2]Professor, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Republic of Korea

*Corresponding author: Ilyoung Jang, jbond@kumoh.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: This study verified the safety of the improved box-type girder behavior by comparing and evaluating the bending behavior results of a full-scale specimen based on the analytical behavior of the splice element PSC U-shaped girder with integrated tensioning systems. **Method:** Based on the results of the service and strength limit state design using the bridge design standard(limit state design method), the applied load of a 40m full-scale specimen was calculated and a static loading experiment using the four-point loading method was performed. **Result:** When the design load, crack load, and ultimate load were applied, the specimen deflection occurred at 97.1%, 98.5%, and 79.0% of the analytical deflection value. When the design load, crack load, and ultimate load were applied, the crack gauge was measured at 0.009~0.035mm, 0.014~0.050mm, and 6.383~5.522mm at each connection. **Conclusion:** The specimen behaved linear-elastically until the crack load was applied, and after cracks occurred, it showed strain-hardening up to the ultimate load, and it was confirmed that the resistance of bending behavior was clearly displayed against the applied load. The cracks in the dry joints were less than 25% of grade B based on the evaluation of facility condition standard. The final residual deformation after removing the ultimate load was 0.114mm, confirming the stable behavior of the segment connection.

Keywords: Integrated tensioning, Spliced, PSC U-shaped, Full-scale specimen, Dry joint, Residual deformation

요 약

연구목적: 본 연구는 긴장방식을 복합적으로 적용한 세그멘탈 PSC U형 거더에 대한 해석적 거동을 기반으로 실대형 실험체의 휨 거동 결과를 평가하여 거동의 안전성을 검증하고자 한다. **연구방법:** 도로교 설계기준 한계상태설계법의 사용한계 및 극한한계상태 설계 결과를 바탕으로 40m 실대형 실험체의 가력하중을 산정하고 이에 대한 4점재하방식 정적 하중재하 실험을 수행하였다. **연구결과:** 설계하중, 균열하중 및 극한하중이 작용할 때 해석적 처짐값 대비 97.1%, 98.5% 그리고 79.0%에 해당하는 실험체 처짐이 발생하였다. 설계하중, 균열하중 및 극한하중이 작용할 때 균열계는 각 연결부에서 0.009~0.035mm, 0.014~0.050mm, 6.383~5.522mm로 계측되었다. **결론:** 균열하중 재하시까지 실험체는 탄성적으로 거동하였고 균열발생 후 극한하중까지 변형율-경화현상을 보이며 작용하중에 대하여 휨 저항 거동이 뚜렷이 나타났음을 확인하였다. 실대형 실험체 연결부(Dry Joint) 균열은 시설물 상태평가 B등급 기준 25% 미만의 결과로써 연결부의 탄성적 거동을 확인하였고 극한하중 제거 후 최종적 잔류 변형은 0.114mm로써 세그먼트 연결부의 안정적 거동을 확인하였다.

핵심용어: 복합긴장방식, 스플라이스, 세그멘탈, PSC개구제 U형거더, 실대형 실험체, 세그먼트 연결부, 잔류변형

Received | 21 March, 2024
Revised | 23 April, 2024
Accepted | 29 April, 2024

OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

ⓒ Society of Disaster Information All rights reserved.

서 론

국내 중소규모 교량에 적용성이 높은 PSC I형 거더는 2000년 중반 이후 비약적인 점유율로 나타나고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023). 2000년 이전에는 AASHTO기반의 정형화된 PSC I형 거더 즉, 25, 30, 35m 경간길이를 제공하는 한국도로공사 표준 PSC I형 단면 거더가 중소규모 교량에 보급되었고 이후 기관 및 기업의 활발한 연구개발 결과로써 다양한 PSC I형 단면 거더 교량이 시장에 진입하였다(Cho et al., 2004; Kim et al., 2020). PSC I형 단면 거더는 제작 및 시공의 단순성, 경제성 등의 목적에 부합하여 AASHTO에서는 최대 50m 경간길이 교량에 적용성이 높고, 그 이상의 경간길이에서는 PSC 박스형 단면 거더 혹은 강박스형 단면 거더가 적정한 것으로 평가된다(Korea Expressway Corperation, 2007).

도로교량 계획에 있어서 경간길이 45m 이상으로 구성되는 장경간화는 교량 신설의 초기 비용과 향후 유지관리 비용 등 교량 총 생애주기비용 등을 고려할 때 시대적 흐름에 적합하다. 이러한 수요에 따라 이미 간단한 시공성의 강점으로 시장 보급이 확대되어 있는 PSC I형 단면 거더는 지속적인 경간길이 확대와 경쟁적 기술 개발의 결과로써 최대 경간길이 60m까지 확장하여 실험적 연구 및 현장에 적용되는 시기에 이르고 있다(Kim et al., 2012). 그러나 연직방향 휨에 대한 저항성이 우수한 PSC I형 단면은 비틀림 혹은 뒤틀림과 같은 횡방향 거동에 대한 저항 강성 확보에 물리적인 한계가 있으며 특히 교량 횡방향 거더 수를 줄이는 현재의 거더 배치 경향에 있어서는 I형 거더의 거동 한계가 명확히 드러나고 있다(KIBSE, 2015; Eby et al., 1973; Karl et al., 1973; Brockenbrough et al., 2011). 2000년대 중-후반 PSC I형 단면 거더의 경쟁 기술로써 내부가 EPS블럭으로 충전되고 슬래브 두께의 일부가 박스형 단면 일체로 제작되는 폐합 박스형 거더가 개발되어 활용되고 있으나(Choi, 2011) 박스 단면과 내부 포스트텐션 긴장방식 적용으로 자중 증가에 따른 거더 제작 및 가설에 큰 장비가 필요하여 보급성에는 한계가 있다. 한편, 박스형 단면 자중 감소와 현장 품질 확보를 목적으로 공장에서 제작된 복부패널을 이용한 개구형 박스 거더 기술이 개발되었다(Oh et al., 2016). 그러나 여전히 복부 패널간 현장 조립 및 현장 타설, 그리고 박스 하부플랜지 현장 타설 공정 등이 혼용되고 여전히 포스트텐션 긴장방식이 적용된 박스 단면으로써 시장 적용성에는 제한이 있는 현실이다.

철도교량과 같이 차량 활하중이 지배적인 교량에서 PSC I형 단면 거더는 20m, 25m 경간길이에서 적용성이 매우 우수하고 경간길이 30m 이상에서는 박스형 단면 거더를 적용하는 것이 일반적이었으나 철도교량 역시 지속적인 기술 개량으로써 PSC I형 거더는 최근 경간길이 40m까지 적용되고 있다(Yeo, 2013). 정적 거동과 동적 거동 기준이 매우 엄격한 철도교량은 중, 장경간의 교량 형식에서 PSC박스형 단면 거더 혹은 강박스형 단면 거더가 활발히 적용되고 있다.

이상과 같이 교량의 중, 장경간화 경향에 따라 상부구조형식의 횡방향 강성 한계를 극복하기 위하여 박스형 단면 적용은 필연적이다. 본 연구는 박스 단면 거더에 사용되는 재료의 효율적인 적용과 거더 자중을 감소시켜 30~60m 경간길이 규모의 교량에 적용하기 위한 방법 개발에 연구 목적을 두었다. 첫째, 거더 형상에 있어서 박스 단면 두께를 줄이고 3개의 구간별 개구제형 U형 단면 세그먼트로 구분하여 자중 감소를 유도하였다. 둘째, 효율적인 재료 사용을 위하여 중앙부 세그먼트는 프리텐션 방식으로 우선 제작하고 단순 철근콘크리트로 제작된 양 측면 세그먼트를 건식접합방식으로 거더 전체를 구성하며 외부 포스트텐션 긴장방식으로 거더 제작을 완료하였다. 본 연구는 이와 같은 방법으로 실대형 실험체를 제작하고 동일 조건의 수치해석 모델 제작 및 해석적 거동과 비교평가를 통하여 개선된 박스형 거더 거동의 안전성을 검증하고자 한다.

실험체 제원 및 해석

실험체 제원

PSC 세그먼트 U형 단면 거더의 구조적 거동을 검증하고자 거더 길이 40m 실대형 실험체 1본 제작하여 정적 거동 평가를 위한 재하실험을 실시하였다. Fig. 1과 같이 거더는 3개의 세그먼트를 합성하는 방식으로 구성되며 구조적으로 가장 큰 휨거동이 작용하는 중앙부 세그먼트는 현장에서 내부반력대를 이용하여 프리텐션 방식으로 긴장력을 도입하였다. 중앙부 세그먼트 양측으로 측면부 세그먼트를 제작하여 전체 거더를 구성하였다. 세그먼트 연결부는 Fig. 2(b)와 같이 전단력 저항을 위한 복부전단키와 압축플랜지 압축력 전달키를 배치하여 원활한 세그먼트 연결이 가능하도록 하였다. 중앙부 세그먼트를 제작할 때 프리캐스트로 제작되는 초고강도 콘크리트(UHPC) 내부 격벽을 거더 전체길이에 균등 간격으로 배치하였고 외부 포스트텐션 긴장재의 방향전환 역할을 수행하도록 구성하였다. 실험장소의 공간적 한계로 Fig. 2와 같이 슬래브 폭 3.0m로 제한되어 Fig. 3과 같이 거더 간격 3.0m를 적용한 교량 횡단면을 구성하여 도로교설계기준 한계상태설계법의 KL-510 차량활하중을 적용한 사용한계상태 및 극한한계상태 설계를 수행하였다. 설계에 적용된 사용하중 및 계수하중을 기준으로 실대형 실험체에 작용하는 정적 하중(P_1, P_2) 즉, 설계하중(사용하중), 균열하중 및 극한하중을 계산하였으며 이를 실대형 실험체에 적용하여 정적 거동 실험을 수행하였다.

실대형 실험체 제작에서 거더 재료 특성값은 Table 1과 같이 설계기준강도 40MPa을 적용하였고 슬래브는 27MPa을 적용하였으며 콘크리트 평균인장강도(f_{ctm})와 탄성계수는 설계기준에서 제시하는 산정식에 근거하여 계산하였다. 긴장재는 기준인장강도 1,860MPa급을 사용하였다. 단면형상 제원은 중앙부 단면을 기준으로 슬래브 합성전,후로 구분하여 단면적, 단면2차모멘트 및 하연 거리를 Table 3에 요약하였다.

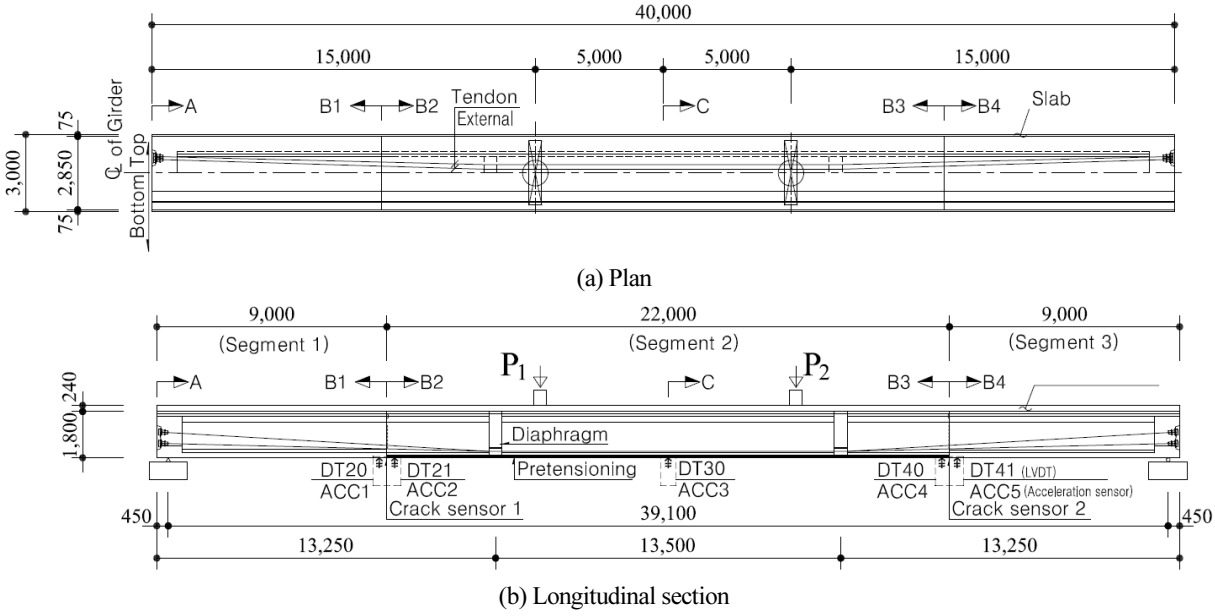
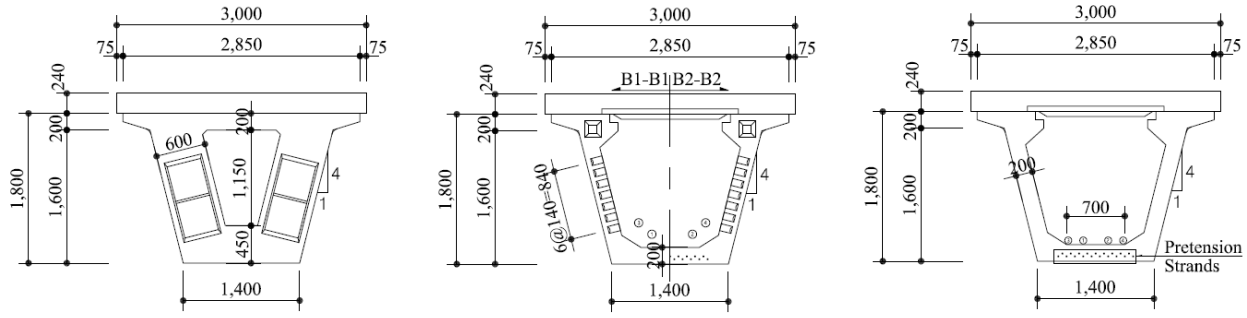


Fig. 1. Distribution of sensors and actuator for the mockup test(units: mm)



(a) Section A-A (b) Section B-B (c) Section C-C

Fig. 2. The cross section of PSC U shaped girder for the mockup test (units: mm)

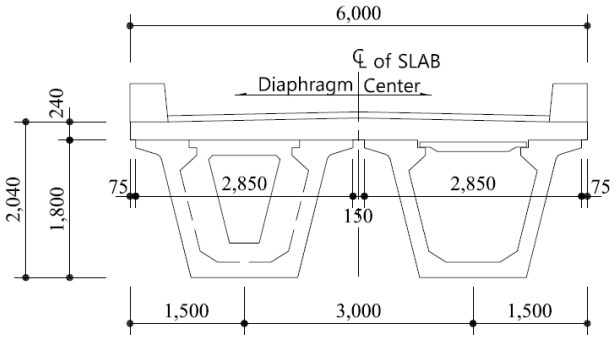


Fig. 3. Cross Setion of Bridge applied for PSC U shaped girders(units: mm)

Table 1. Materials and geometric properties of PSC U shaped girder for the mock up test

Properties	Girder	Concrete slab	Strands (1)	Properties	Girder	Girder+Slab
Strength (MPa)	f_{ck} : 40.00 f_{ctm} : 3.74 (2)	f_{ck} : 27.00	f_{pu} : 1,860 f_{py} : 1,581	Area (mm^2)	1,217,430	1,872,119
Mass (kN/m^3)	24.5	24.5	-	Inertia (mm^4)	488,268,056,000	947,239,643,737
E (MPa)	30,891 (3)	27,804 (3)	200,000	y_b (mm)	-900	-1,243

Note (1) : Strands, SWPC 7B 15.2mm(low-relaxation), A_{ps}=138.7mm^2

Note (2) : Tensile strength, $f_{ctm} = 0.3(f_{cm})^{2/3}$, $f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$

Note (3) : Modulus of elasticity of concrete, $E_c = 8{,}500 \times \sqrt[3]{f_{cu}}$ (MPa)

실험체 해석 결과

Fig. 3 단면이 적용된 교량에 대한 시공단계별 단면력은 Table 2에 요약하였다. 실대형 실험체는 거더와 슬래브를 합성하여 제작한 후 실험이 진행되므로 Table 2의 자중 및 슬래브 하중 재하 단계에서는 정적 평형 상태이다. 따라서, 2차 고정하중 및 활하중이 실대형 실험체 재하 실험의 가력하중이므로 이에 대한 집중하중을 산정한다.

Table 2. Summary of sectional forces and stresses

Sta. (m)	Moment (kN-m)					Stress at center of girder(MPa, (+)Comp., (-)Tensile)		
	Self	Slab	Superimposed	Live	Sum.	Step	Top flange	Low flange
0.60	385.59	212.76	33.69	55.81	687.85	Self weight	11.45	-11.22
4.00	2,261.09	1,296.00	752.62	1,053.61	5,363.32	Prestressing	-4.63	22.28
9.00	4,372.74	2,511.00	1,558.28	1,822.52	10,264.54	Slab load	6.58	-6.45
20.00	6,265.53	3,600.00	2,276.49	2,348.87	14,490.89	Summation	13.40	4.61

실험체 경간 중앙부 20.0m 위치 단면에 작용하는 모멘트를 기준으로 Fig. 1과 같이 4점 재하의 집중하중 P_1, P_2를 계산하면 식(1)과 같고 이는 정적 하중 재하실험의 설계하중(사용하중)이다.

$$P_1 + P_2 = 2 \times [14,490.90 - (6,265.53 + 3,600.00)] / 15.0 = 616.72\,\mathrm{kN} \tag{1}$$

균열하중은 최대 모멘트가 작용하는 거더 중앙부 단면 하연에 콘크리트 평균인장강도가 작용하도록 재하하는 하중이다. Table 2의 하연 작용응력 합계 4.61MPa(압축)로부터 Table 1에서 콘크리트 평균인장강도 -3.47MPa(인장)에 도달할 때 까지의 하중이므로 이를 합산하여 식(2)와 같이 산정하였다.

$$M_{crack} = \frac{I_4}{y_{bot}}(\text{작용응력} + f_{ctm}) = (\frac{947,239,643,737}{-1,243}) \times (-4.61 - 3.74) = 6,363.19\,\mathrm{kN-m} \tag{2(a)}$$

$$P_{crack} = 2 \times 6,363.19 / (15.0) = 848.42\,\mathrm{kN} \tag{2(b)}$$

단면이 저항하는 극한모멘트를 기준값으로 자중 및 슬래브 하중에 의한 계수모멘트(계수값 1.25)를 제외하면 실대형 실험체에 가력시킬 극한하중이 산정되며 식(3)과 같다.

$$M_{pu} = M_r - (\text{(자중 + 슬래브)에 의한 모멘트}) = 28,028.35 - (7,831.91 + 4,500.00) = 15,696.44\,\mathrm{kN-m} \tag{3(a)}$$

$$P_u = 2 \times 15,696.44 / (15.0) = 2,092.86\,\mathrm{kN} \tag{3(b)}$$

사용하중과 균열하중에 따른 실대형 실험체 처짐은 균열 직전 하중이므로 전단면 유효한 탄성거동으로써 전단면 유효 강성(I_g)으로 정정구조물 처짐방정식을 활용하여 산정하였다. 균열 이후는 압축부 콘크리트와 인장부 긴장재가 저항하는 단면으로 가정하여 극한하중에 대한 처짐을 산정하였다. 압축부 단면과 인장부 긴장재 단면의 단면1차모멘트(우력모멘트) 적합방정식으로 중립축을 산정하고 이를 이용하여 단면2차모멘트(I_{cr})를 산정하였으며 모멘트면적법을 적용하여 극한하중이

작용할 때 처짐을 계산하였다. 상기 각 하중에 대한 처짐값을 요약정리하면 Table 3과 같다.

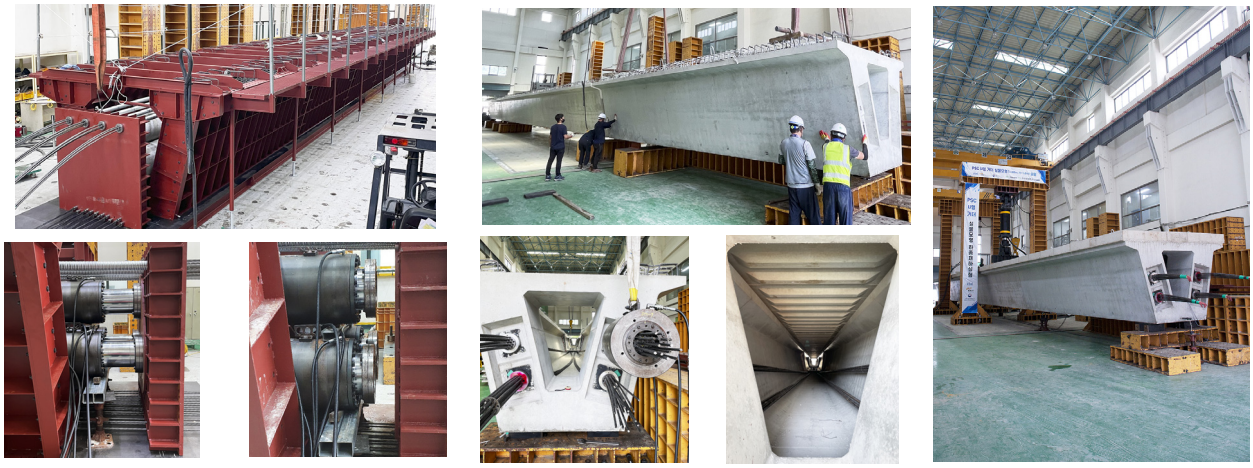
Table 3. Summary of deflections by numerical analysis

Load Type	Load (kN)	Deflection (mm)
Design Load	616.72	27.35
Cracking Load	848.42	37.63
Ultimate Load	2,092.86	246.23

실험체 제작 및 실험 방법

실대형 실험체 제작

중앙부 세그먼트 내에 배치되는 내부 격벽은 프리캐스트 방식으로 미리 제작하여 중앙부 세그먼트 제작시 전체 거더 길이의 1/3 위치에 배치한 후 철근 조립을 진행하였다. 중앙부 세그먼트의 내부거푸집과 내부반력대를 배치하고, 양측면에 프리텐션 정착부를 설치하였다. Fig. 4와 같이 내부반력대 한 측면에 설치된 유압잭을 이용하여 긴장재를 신장하고 중앙부 세그먼트 콘크리트를 타설하고 양생하였으며 양생이 완료된 후 유압잭에 도입된 힘을 풀어 긴장력을 도입하여 중앙부 세그먼트 제작을 완료하였다. Fig. 4(a)와 같이 중앙부 세그먼트를 현장 프리텐션 방식으로 제작하였고 중앙부 세그먼트를 기준으로 양 측면부 세그먼트를 제작하여 연결하는 방법으로써 실험실에서 제작 받침대를 이용하여 가설하였다. 거더 내부에서 외부 긴장재(External Tendon)를 내부격벽 방향전환블럭을 이용하여 거더 전체 길이에 대한 포스트텐션 방식으로 긴장력을 도입하여 거더 제작을 완료하였다. 거더 상면에는 슬래브 콘크리트 타설을 위한 거푸집 역할을 위하여 프리캐스트로 제작된 패널을 배치하였다. 거더 횡단면 양측으로 돌출된 위치는 별도의 거푸집을 제작하여 특정 폭의 슬래브를 구성하였고 콘크리트를 타설하여 U형 거더에서 슬래브를 이용한 폐합 박스형 단면의 실대형 실험체 제작을 완료하였다.



(a) Fabrication of segment2, Pre-tensioning (b) Segment connection, Post-tensioning (c) Fabrication completed

Fig. 4. Procedure of fabrication of PSC U shaped girder for the mockup test

실험 방법

실험체 계측

정적 하중재하 실험에 사용한 계측기는 Fig. 5(a), (c)와 같이 세그먼트 연결부 전후 즉 Section B1-B2, Section B3-B4 위치에 각각 처짐 측정용 센서(LVDT)를 설치하였고 연결부(Dry Joint)의 벌어짐을 계측하기 위하여 Section B1과 B2, Section B3과 B4를 잇는 균열계를 부착하였다. 최대 휨모멘트가 발생하는 거더 중앙부는 Fig. 5(b)와 같이 연직방향 처짐계를 설치하여 순수 휨모멘트에 대한 처짐을 계측하도록 하였다. 정적 하중 재하를 위한 가력은 Fig. 5(d)와 같이 5,000kN급 2개를 실대형 실험체 중앙부 단면을 중심으로 단부측으로 각 5.0m 이격을 두고 배치하였다.

(a) Section B1, B2 (b) Section C (c) Section B3, B4 (d) 4 points loading

Fig. 5. Installation of deflection and crack sensors for loading experiments

정적 하중 가력 방법

실대형 실험체는 Fig. 1 및 Fig. 5(d)와 같이 4점 재하 실험을 실시하여 중앙부 순수 휨모멘트가 발생하도록 하였다. 실험은 200kN, 400kN, 800kN 그리고 2,000kN을 총 가력 하중으로 하여 4번의 실험을 진행하였다. 앞선 3차례 실험은 가력 하중 100kN 단위로 가력하는 하중 제어 방식을 적용하였다. 마지막 실험은 극한하중에 대한 실험으로써 실대형 실험체의 거동 및 실험실의 안전을 위하여 변위제어 방식으로 가력하였다.

실험결과

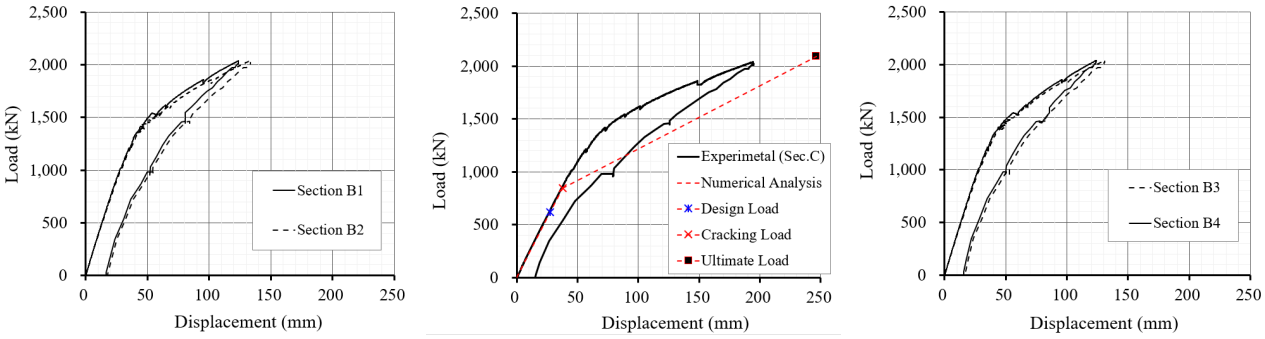
정적 하중 재하 결과

가력하중 200, 400, 800kN 의 실험결과는 탄성영역 거동 실험으로 본 논문에서는 그 결과 검토를 생략한다. 4번째 실험의 하중-처짐 결과는 Table 4에 요약하였고 하중-처짐 곡선은 Fig. 6과 같다. 최대 가력하중은 2,039.10kN이고 이 때 중앙부 처짐은 194.480mm로 계측되었다. Table 3에서 극한하중 작용시 이론적 처짐은 246.23mm로써 실험체 처짐은 이론 처짐의 79.0% 변형이 발생한 것으로 나타났으며 이를 하중-처짐 곡선에 도식하면 Fig. 6(b) 단면 C 그래프와 같다. 설계하중 616.72kN 작용할 때 이론적 처짐은 27.35mm이며 실험에서는 작용하중 616.84kN 일 때 26.56mm 처짐이 발생하여 이론 대비 실험의 처짐값은 0.9711로 나타났다. 균열하중 848.42kN 작용할 때 이론적 처짐은 37.63mm이며 실험에서는 작용하중 851.87kN 일 때 37.08mm 처짐이 발생하여 이론 대비 실험의 처짐값은 0.9854로 나타났다. Fig. 6을 살펴보면 균열발생 후

극한하중까지 변형율-경화현상(strain-hardening)을 보이며 작용하중에 대하여 휨 저항 거동을 나타내고 있다.

Table 4. Summary of load-deflection results [units : mm]

Load (kN)			Deflection					Crack sensor	
P_1	P_2	Sum. Load (P_1+P_2)	Section B1	Section B2	Center	Section B3	Section B4	Section B1,B2	Section B3,B4
4.55	7.84	12.39	0.515	0.540	0.800	0.505	0.490	0.000	0.002
306.53	310.31	616.84	16.460	16.860	26.560	16.890	16.425	0.009	0.035
422.35	42952	851.87	23.085	23.665	37.080	23.665	22.970	0.014	0.050
496.55	506.00	1,002.55	27.755	28.475	44.560	28.450	27.610	0.017	0.062
1,020.57	1,018.53	2,039.10	123.985	133.460	194.480	130.840	123.842	6.383	5.522
0.60	1.40	2.00	16.095	17.430	14.420	16.310	14.972	0.114	0.089



(a) Section B1,B2 (b) Section C-C (c) Section B3,B4

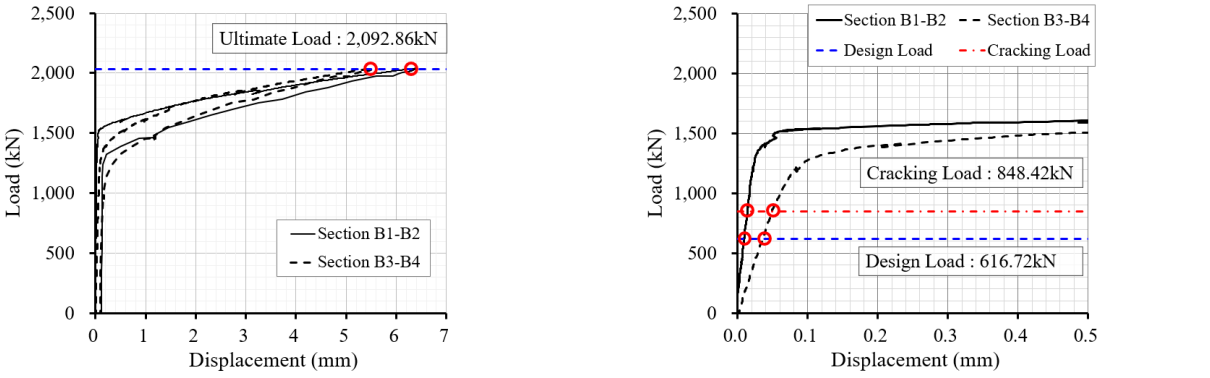
Fig. 6. Load-deflection curves

이론적 설계하중과 유사한 하중 616.84kN이 실험체에 작용할 때 연결부 B1-B2 단면 처짐은 각각 16.460mm, 16.860mm로써 0.200mm의 위상 차이를 보이고 있고, 연결부 B3-B4 단면 처짐은 16.890mm, 16.425mm로써 0.465mm의 위상 차이로 나타났다. 이론적 균열하중과 유사한 하중 851.87kN이 실험체에 작용할 때 연결부 B1-B2 단면 처짐은 각각 23.085mm, 23.665mm로써 0.580mm의 차이를 보이고 있고, 연결부 B3-B4 단면 처짐은 23.665mm, 22.970mm로써 0.695mm의 차이로 나타났다. Fig. 6(a) 단면 B1-B2 그래프 및 Fig. 6(c) 단면 B3-B4 그래프에서 작용하중 약 1.300kN 재하단계까지는 하중-처짐 곡선이 선형적으로 변하고 있음을 알 수 있다. 점선으로 표시된 중앙부 세그먼트(S2)측 단면 B2, B3의 기울기와 실선으로 표시된 양측면부 세그먼트(S1, S3) 단면 B1, B4의 하중-처짐에 대한 기울기가 일치하는 거동을 보이고 있다. 이론적 극한하중과 유사한 하중 2,039.10kN이 작용하는 경우 연결부 B1-B2 단면 처짐은 각각 123.985mm, 133.460mm로써 9.475mm의 차이를 보이고 있으며, B3-B4 단면 연결부 처짐은 각각 130.840mm, 123.842mm로써 6.998mm의 차이로 계측되었다.

연결부(Dry Joint) 거동 결과

설계하중 재하시 균열계는 Fig. 7과 같이 연결부 B1-B2 단면에서 0.009mm, 연결부 B3-B4 단면에서 0.035mm로 계측되

었고 균열하중 재하시 균열계는 연결부 B1-B2 단면에서 0.014mm, 연결부 B3-B4 단면에서 0.050mm로 계측되었다. 극한하중 재하 상태에서 연결부 B1-B2 단면에서 6.383mm, 연결부 B3-B4 단면에서 5.522mm로 계측되었다.



(a) When ultimate load acts

(b) When design and cracking loads act(Graph with expanded section)

Fig. 7. Load-crack curves of connecting section

결 론

본 연구는 구간별 세그먼트로 분할하여 중앙부 세그먼트는 프리텐션 방식으로 우선 제작하고 양 측면 세그먼트는 단순 철근콘크리트로 제작한 후 건식접합방식으로 거더 전체를 구성하며 외부 포스트텐션 긴장방식으로 제작한 개구제형 U형 단면 거더에 대한 수치해석적 거동과 실대형 실험체 거동을 비교평가하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 실대형 실험체는 설계하중 및 균열하중에 대하여 이론적 하중-처짐의 결과 대비 97.11~98.54%의 매우 유사한 선형 탄성 거동을 나타내고 있음을 확인하였다.

(2) 실대형 실험체 균열발생 후 극한하중까지 변형율-경화현상(strain-hardening)을 보이며 지속적으로 작용하는 하중에 대하여 휨 저항 거동을 나타낸 결과 극한하중 재하시 실험체 변형이 이론적 극한하중에 의한 처짐 대비 79.0%의 결과로 계측되어 실대형 실험체의 구조적 안전성을 확인하였다.

(3) 복부전단키 및 압축전달키로 구성되는 실대형 실험체 연결부(Dry Joint)의 균열은 설계하중 작용시 최대 균열 0.035mm로 계측되었고 균열하중에서 최대 균열 0.050mm가 발생하였다. 시설물 상태평가 기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023)의 B등급 판별값 0.2mm미만의 25%에 해당하는 결과로써 연결부는 사용하중 및 균열하중 상태에서 탄성적 거동이 확인되어 안전성을 확보하고 있다.

(4) 실대형 실험체에 극한하중이 작용하는 경우 세그먼트 연결부의 최대 균열은 6.383mm로 계측되었으며 하중 제거 후 연결부는 최종적으로 0.114mm 잔류 변형이 발생한 결과로부터 실대형 실험체 세그먼트 연결부(Dry Joint)는 프리스트레스트 콘크리트 구조물로써 안정적으로 거동하고 있음을 확인하였다.

References

[1] Brockenbrough, R.L., Merritt, F.S. (2011). Structural Steel Designer's Handbook. 5th Ed., ASCE Press, McGraw-Hill, US.

[2] Cho, S.K., Youn, S.G., Park, Y.H. (2004). “Optimization of prestressed concrete girders for standard sectios.” Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 4A, pp. 853-859.

[3] Choi, S.H. (2011). “Dynamic performance evaluation of new type PSC railroad bridges.” Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 7, No. 4, pp. 259-265.

[4] Eby, C.C., Kulicki, J.M., Kostem, C.N., Zellin, M.A. (1973). The Evaluation of St. Venant Torsional Constants for Prestressed Concrete I beams. Fritz Laboratory Report No.400.12, Lehigh University, Bethlehem, PA.

[5] Hindi, A., Macgregor, R., Kreger, M.E., Breen, J.E. (1995). “Enhancing strength and ductility of post-tensioned segmental box girder bridges.” ACI Structural Journal, Vol.92, No.1, pp. 33-44.

[6] Karl, R., Melvin, R. (1973). Bridge Strudl Manual. Bridge Engineering, University of California Davis, CA, US.

[7] KIBSE (2015). Commentary of Bridge Design Standard (Limit State Design), Seoul.

[8] Kim, T.M., Park, J.H., Kim, M.K., Lim, Y.M. (2012). “A study on static behavior of 60 m span Half-Decked PSC girder.” Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32 No. 2A, pp. 65-73.

[9] Kim, W.H., Lee, J.W., Lee, S.M. (2020). “Evaluation for ultimate flexural strength of steel composite girder with high strength concrete.” Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 16, No. 4, pp. 796-805.

[10] Korea Expressway Coperation (2007). Construction Magazine of the Gochang-Damyang Expressway on National Highway No. 14. Korea Expressway Coperation, Gyeonggi-do, Republic of Korea.

[11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023). 2023 Road Bridge and Tunnel Status Report. Ministry of Land, Gyeonggi-do, Republic of Korea.

[12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023). Detailed Instruction of the Safety Control and Maintenance of Establishments(Safety inspection, diagnosis). Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, Republic of Korea.

[13] Oh, S.H., Kim, S.G., Kim, Y.H., Choi, H.S. (2016). “PSC trapezoidal girder with precast prestressed concrete web joined by socket joints (Nodular Girder).” Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 28, No. 3, pp. 40-45.

[14] Takebayashi, T., Deeprasertwong, K., Leung, Y.W. (1994). “A full-scale destructive test of a precast segmental box girder bridge with dry joints and external tendons.” Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings, Vol. 104, No. 3, pp. 297-315.

[15] Yeo, I.H. (2013). “Experimental performance estimate of a 40m PSC I girder for railway bridges.” Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 5, pp. 394-401.