

PSC Girder길이의 증가를 위한 단면형상 변화에 따른 비선형 구조해석

김 세 일^{1*}

¹동국대학교 기계공학과

초록

본 논문은 하중에 따른 변화정도에 초점을 맞추어 PSC girder길이의 증가를 위해 Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver를 통하여 비선형 구조해석을 진행하여 Jeon, S., Choi, M., and Kim, Y. 등에 의해 제시된 Decked girder의 구조적 우수성을 검증하고, 이를 보완한 새로운 단면형상의 PSC girder를 제시하였다. 도출된 결과 값은 탄성방정식을 통하여 얻은 값과 비교하여 신뢰성을 검증하였다.

해석을 통하여 단순히 girder 상단부 플랜지의 길이를 증가시키는 것은 girder의 변형정도를 줄이는데 큰 영향을 주지 않는다는 사실을 알 수 있었고 girder 상단부 플랜지와 중심부를 연결하는 부분의 단면형상을 좀 더 두껍게 함으로 하중에 따른 girder의 변형량을 크게 감소시킬 수 있었다.

Keywords : PSC Girder, Flange, 단면형상, composite laminate plate

1. 서 론

국내 교량 건설기술 수준은 꾸준한 발전을 거듭하여 국제적인 경쟁력을 갖추어 가고 있다. 자동차 고량에 사용되는 Prestressed concrete (PSC) Girder는 경제성과 안정성의 이유 때문에 이전까지 대부분 25-35m 길이의 Girder가 사용되어 왔다. 최근들어 이러한 문제점들을 개선하여 50m 이상의 긴 Girder를 사용하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있으며, 우리나라 역시 대표적으로 POSCO에서(장경간 교량용 DB-TEE 거더의 분절 제작 및 시공방법) 활발한 연구가 진행되고 있으며 대표적인 연구로는 Jeon, S, Choi, M., and Kim, Y. 등에 의해 수행되었다.

본 논문에서는 EDISON CSD Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver를 통하여 비선형 구조해석을 진행하여 Se-Jin외 2명(2012)이 제시한 PSC 거더의 단면과 기존 I형 거더의 단면 변화에 따른 구조적인 우수성을 검증하고 이를 개선한 새로운 단면형상의 PSC girder를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 PSC Girder의 성능 개선

PSC Girder Bridge에 사용되는 Girder는 I-shaped girder (Bardow et al. 1997; Lavlee and Cadman 2011; Meir et al. 1997; PCI 2003).에서 최근에는 Prestressed Concrete Institute (PCI)의 Bulb-Tee Girder까지 발전하여 왔다. I-shaped girder와 비교하여 Bulb-Tee girder는 위쪽 플랜지가 더 길고 최적화 되어있다.

Se-Jin외 2명(2012)은 기존의 Girder 길이를 증가시키고 동시에 안정성을 유지하기 위하여 재료의 변화, 단면형상의 변화, 구조의 변화 등 다양한 측면에서의 변화들을 종합적으로 고려하여 50m 이상의 girder에 적합한 새로운 형상의 'Decked Girder'를 제시하였다. 본 논문에서는 Girder의 단면형상 변화에 초점을 맞추어 단면형상 변화에 따른 구조 해석을 통하여 Decked Girder 형상의 우수성을 검증하고 한 차원 더 개선된 단면형상을 가진 AI-Decked Girder를 제시하였다.

2.2 PSC Girder 구조해석

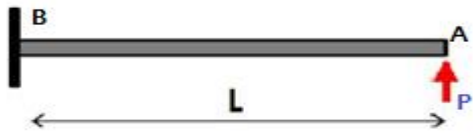


Fig. 1 analysis model

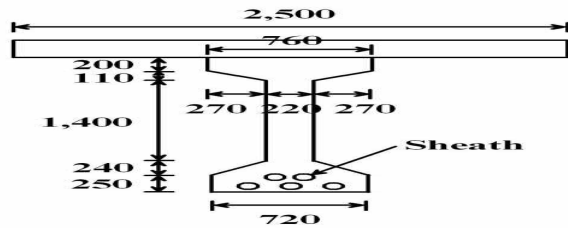


Fig. 2 I-shaped girder

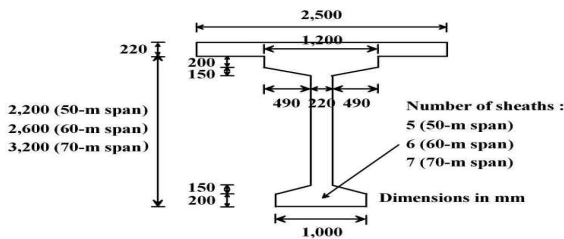


Fig. 3 Decked girder

교량의 안정성에 있어서 중요한 요소 중 하나는 일정 하중이 가해졌을 때 보의 변형량이 커다란 변화폭을 가지지 않고 안정적으로 유지되는 지의 유무이다. 보의 과도한 변형은 교량의 안정성에 커다란 영향을 끼칠 수 있으므로 본 연구에서는 일정 하중조건하에의 보의 변형량을 중심으로 정적구조 해석을 진행하였다.

Girder의 구조해석을 위하여 Fig. 1과 같이 Girder의 한쪽 부분이 고정되어 있는 Cantilever beam 형태에 끝단에 하중에 가해지지는 경우로 단순화 하였다.

기존의 I-shaped girder와 Decked girder를 비교하기 위하여 EDISON CSD Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver를 이용하여 Co-rotational framework를 기반으로 단면형상 변화에 따른 girder의 비선형 구조해석을 진행하고 결과를 비교하였다.

Table 1 Variables of Girder

Reference	Standard girder	Decked girder
A_c	1.3697m ²	1.4317m ²
I_c	1.0153m ⁴	1.0487m ⁴
E(High-Strength Concrete)	30×10 ⁹ pa	30×10 ⁹ pa
L_1	35m	35m
L_2	61m	61m

Table 2 Variables of Dead Load

	Weight (Ton)
DB-24	43.2T
DB-18	32.4T
DB-13.5	24.3T

변위로 사용된 A_c , I_c , E 값들은 Se-Jin의 2명(2012)에서 사용된 변위들을 사용하였으며, 끝단에 작용하는 하중의 크기는 국토해양부(2012), 도로교 설계기준에 제시되어 있는 1등급(DB-24), 2등급(DB-18), 3등급(DB-13.5)의 표준 고정하중을 적용하였다. 적용된 크기는 Table 2와 같다.

2.3 해석결과 및 고찰

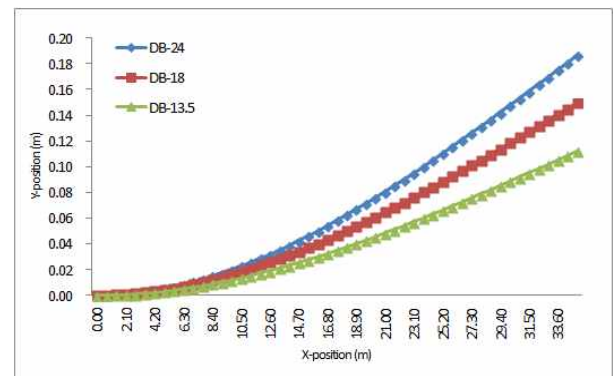


Fig. 4 I-shaped girder (35m)

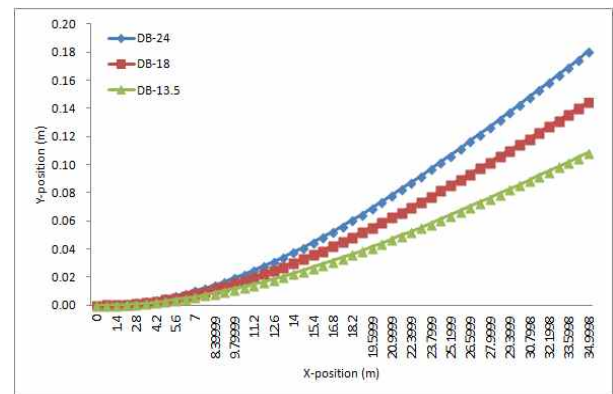


Fig. 5 Decked girder (35m)

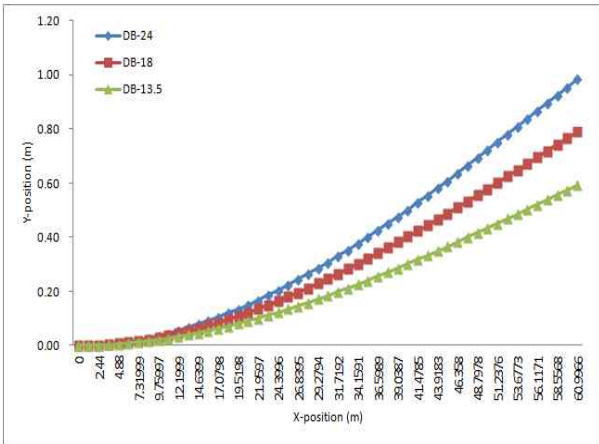


Fig. 6 I-shaped girder (61m)

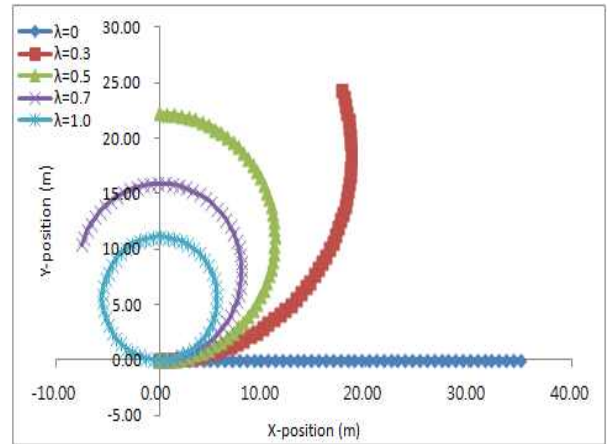


Fig. 9 Decked girder with moment (35m)

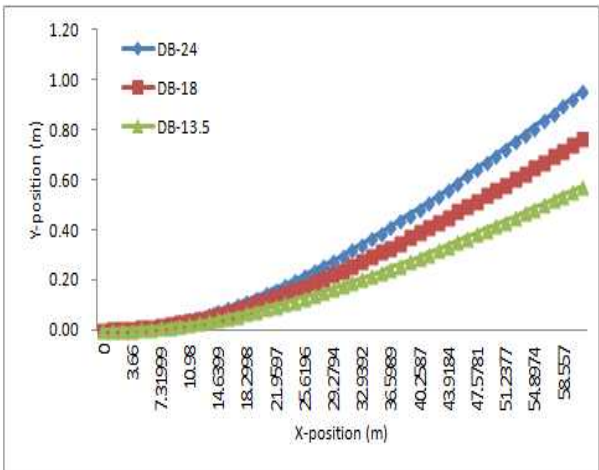


Fig. 7 Decked girder (61m)

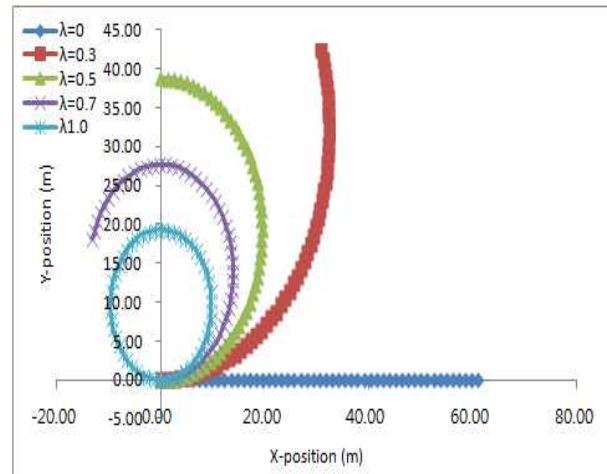


Fig. 10 I-shaped girder with moment (61m)

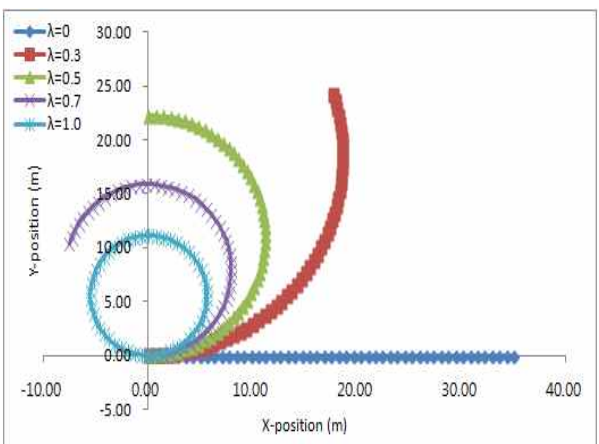


Fig. 8 I-shaped girder with moment (35m)

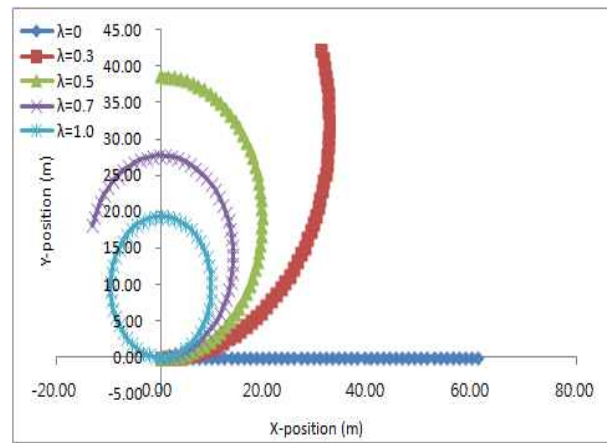


Fig. 11 Decked girder with moment (61m)

해석대상 보의 길이는 기존의 통상적으로 사용되던 35m와 Decked girder의 61m로 나누어 분석을 진행하였으며, 끝단에 가해지는 하중의 크기는 DB-24, DB-18, DB-13.5의 정적하중을 사용하여 각 절점에서 X좌표에 따른 Y좌표의 변화를 그래프로 도식화 하였다.

먼저 단순히 girder의 길이만 증가시킨 결과 끝단에 하중이 작용하는 경우 각 절점에서 X좌표에 따른 Y좌표의 변화량이 증가함을 확인할 수 있었다.

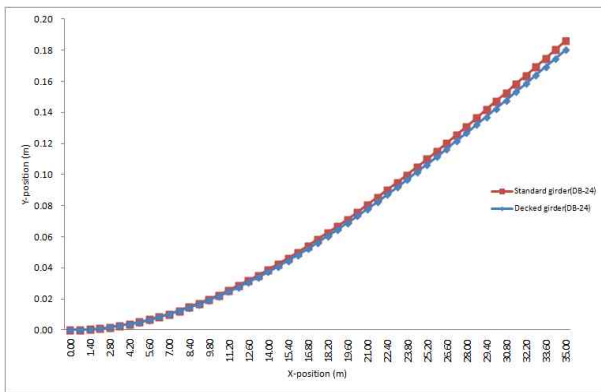


Fig. 12 I-shpaed - Decked 비교_35m_(DB-24)

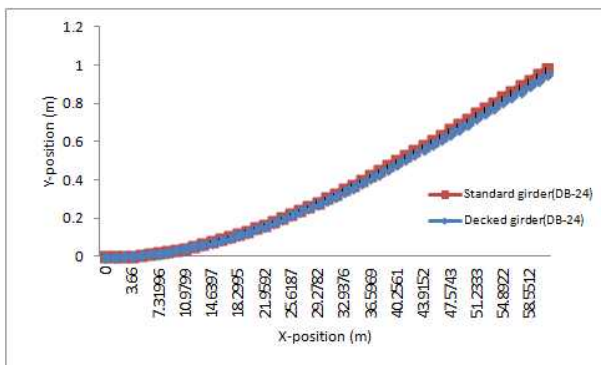


Fig. 13 I-shpaed - Decked 비교_61m_(DB-24)

Fig. 12, Fig. 13는 같은 하중 조건에서 I-shpaed girder와 Decked girder의 변형정도를 비교한 그래프이다. 그래프 상으로 나타나는 변형량의 차이는 크진 않지만 두 단면형상 사이에는 분명한 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이를 통해 beam의 상단부 플랜지 형상의 변화를 주었을 때 변형률의 크기를 줄일 수 있다는 사실을 확인하였다.

2.4 해석결과 검증

위에서 Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver의 결과 값을 검증하기 위하여 탄성곡선 방정식을 정의하고 식을 통하여 얻은 X좌표에 따른 Y좌표의

변화를 결과 값과 비교하였다.

주어진 정적 문제에 대하여 탄성곡선 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (1)$$

$$M = Px \quad (2)$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = Px \quad (3)$$

Fig. 1 B에서 $x=L$ 이고 $\theta = dy/dx = 0$ 이다.

$$C_1 = \frac{1}{2} PL^2 \quad (4)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2} Px^2 + \frac{1}{2} PL^2 \quad (5)$$

$$EI y = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} PL^2 x + C_2 \quad (6)$$

B에서 $x=L, y=0$ 이므로

$$C_2 = -\frac{1}{3} PL^3 \quad (7)$$

$$EI = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} PL^2 x - \frac{1}{3} PL^3 \quad (8)$$

$$y = \frac{P}{6EI} (-x^3 + 3L^2 x - 2L^3) \quad (9)$$

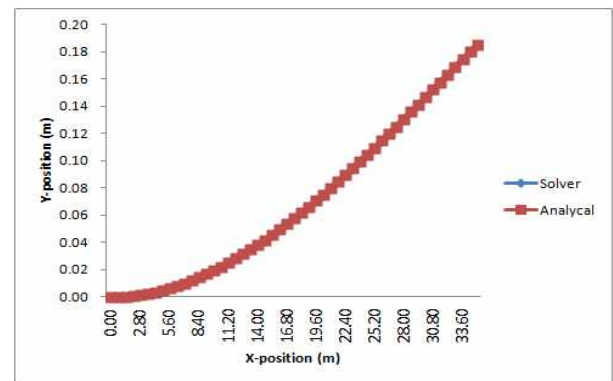


Fig. 14 탄성방정식을 통한 y값과 data값 비교

Fig. 13은 Solver를 통하여 얻은 결과 값과 탄성곡선 방정식을 통하여 얻은 결과 값을 비교하여 나타낸 그래프이다. 그 결과 두 값들이 서로 일치하였다. 이를 통하여 Solver를 통하여 얻은 결과 값들의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

2.5 개선된 AI-Decked Girder 제시

I-shpaped girder와 Decked girder의 정적해석을 통하여 위쪽 플랜지의 길이 증가가 보의 안정성에 있어서

긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였으므로, 이를 바탕으로 위쪽 플랜지부분과 중심부의 연결부위의 형상을 수정하여 더욱 안정적인 PSC girder의 단면형상 Al-Decked girder를 제시하고 Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver를 통하여 결과 값을 분석, Decked girder와 비교를 진행하였다. Al-Decked girder의 단면형상은 Fig. 14와 같다.

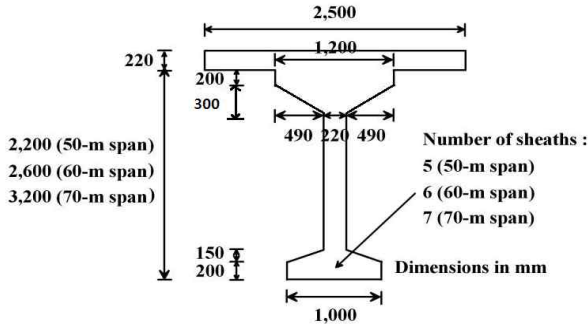


Fig. 15 Al-Decked girder

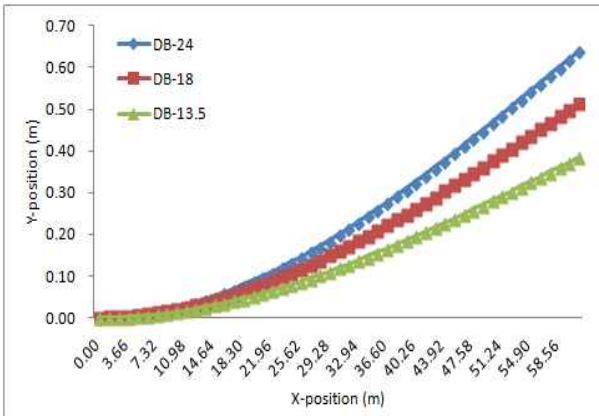


Fig. 16 Al-Decked girder_61m

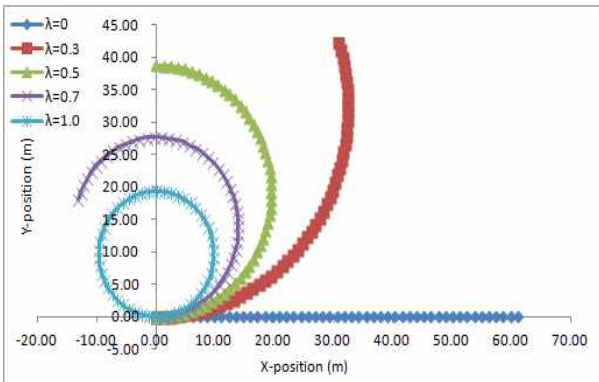


Fig. 17 Al-Decked girder_61m_moment

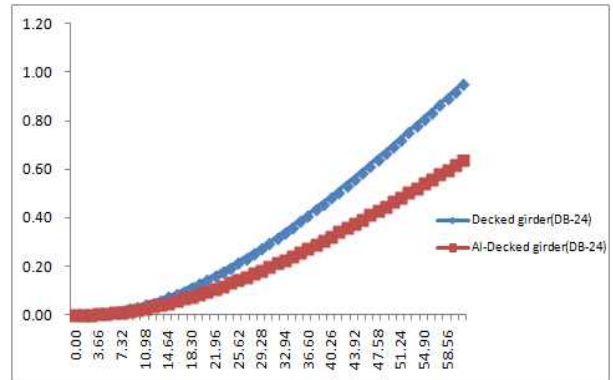


Fig. 18 Decked girder와 Al-Decked girder 비교

61m girder를 기준으로 Decked girder와 Al-Decked girder의 해설결과를 비교한 결과, Al-Decked girder의 단면형상이 동일 하중조건에서 X좌표에 따른 Y좌표의 변화 정도가 훨씬 적게 나타났으며 이는 Al-Decked girder가 변형에 대한 저항이 더 크고 구조적으로 안정적이라는 사실을 나타낸다. Fig. 18을 통해서도 알 수 있듯이 동일 하중조건 (DB-24)에서 Al-Decked girder의 단면형상의 변화가 더 적게 나타나고 있다. 이를 통하여 단순히 girder 상부 플랜지의 길이증가가 아닌 상부와 중심부를 연결하는 부분의 형상의 변화도 고려되어야 함을 알 수 있었다.

3. 결 론

전통적인 PSC girder brige들은 이전까지 40m보다 짧은 길이의 girder를 사용하였다. 그러나 이러한 girder들은 경제적인 손실이 크고, 연결부위에서 발생하는 여러 위험 요소들로 인하여 50-70m의 girder의 사용이 점차적으로 대두되고 있다. girder의 길이를 증가시키기 위해 단순히 girder의 높이를 증기시키는 것은 경제성에 있어서 많은 단점이 있어 여러 가지 요소들을 고려한 단면형상 디자인이 필요한 상황이다.

본 논문은 하중에 따른 변형량의 변화에 초점을 맞추어 PSC girder길이의 증가를 위해 Co-rotational Plane Beam with Arbitrary Section Solver를 통하여 비선형 구조해석을 진행하여 Jeon, S., Choi, M., and Kim, Y. 등에 의해 제시된 Decked girder의 구조적 우수성을 검증하고, 이를 보완한 새로운 단면형상의 PSC girder를 제시하였다. 도출된 결과 값은 탄성방정식을 통하여 얻은 값과 비교하여 신뢰성을 검증하였다.

해석을 통하여 단순히 girder 상단부 플랜지의 길이를 증가시키는 것은 girder의 변형정도를 줄이는데 큰 영향을 주지 않는다는 사실을 알 수 있었고 girder 상단부 플랜지와 중심부를 연결하는 부분의 단면형상을 좀 더 두껍게 함으로써 하중에 따른 girder의 변형량을 크게 감소시킬 수 있었다.

향 후 본 연구에서 제시한 PSC girder 단면형상을 바탕으로 경제성, 재료의 변화 등 다른 요소들과 종합하여 시스템측면에서의 해석을 진행한다면 가장 이상적인 50-70m 길이의 PSC girder의 단면형상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No, 2014M3C1A6038344)

참 고 문 헌

- Jeon, S., Choi, M., and Kim, Y. (2012). "Graphical Assessment for Span Ranges of PSC Girder Bridges." J. Bridge Eng., 17(2), 343 - 352.
- Cristopher D. Moen, Chair, Carin L. Roberts-Wollman, William J. Wright, (2012) Lifting Analysis of Precast Prestressed Concrete Beams, Blacksburg, VA
- 국토해양부, (2012) 도로교 설계기준(환경상태설계법)
- 백인열 박항수, 변형균, (2010) PSC빔교에 대한 설계기준별 활하중조합에 따른 설계단면력 비교, 대한 토목학회 정기학술대회
- Kyungsu Ha, (2014), Load Application for Highway Bridge Design