

철도 P.S.C BOX 교량의 고강도 강연선 적용에 대한 분석 Analysis of applying for high strength strand of P.S.C Box Railway Bridge

장윤호[†], 강창호*, 권태로* 안홍영*,

Yoon-Ho Jang^{*†}, Chang-Ho Kang*, Tae-Ro Gwon*, Hong-young Ann*

Abstract In recent years, there has been growing interest in improving the safety, sectional reduction, and economic efficiency of structures through the application of high-strength materials. P.S.C bridges have already been developed in the field with the development of high-strength concrete and high-strength strands. In this study, generalized P.S.C box girder was applied to 2,400Mpa high strength strands, and structural safety and economic analysis were carried out by comparing with the original design by using three parameters such as quantity, tendon arrangement and the number of strands. As a result, it is analyzed that the post-tension construction cost is reduced by 27.98% at maximum in the case of the P.S.C box, which is more stable than the original design, and it would be economical with the high strength strands.

Keywords : high strength materials, P.S.C Box railway bridges, economic effect, high strength strand

초 록 최근 고강도 재료의 활용을 통한 구조물의 안전성, 단면 축소, 경제성 향상에 대한 관심이 증대되고 있다. 이미 P.S.C 교량은 고강도 콘크리트 및 고강도 강연선을 적용한 상부형식이 개발되어 현장에 적용되고 있다.

본 연구에서는 일반화 된 P.S.C Box 거더를 대상으로 2,400Mpa 고강도 강연선을 적용하여 수량, 텐던 배치 및 개수 3가지 매개변수를 주어 원설계와의 비교를 통해 구조 안전성 및 경제성 분석을 수행하였다. 그 결과, P.S.C Box의 경우 원설계 이상의 안정성이 확보되는 조건으로 포스트텐션 공사비가 최대 27.98%의 절감효과가 있는 것으로 분석되어, 고강도 강연선 적용시 경제적 시공이 가능할 것으로 판단된다

주요어 : 고강도재료, P.S.C box교, 경제성, 고강도 강연선

1. 서 론

최근 고강도 재료의 활용을 통한 구조물의 안전성은 물론 경제성 향상에 대한 관심이 증대되고 있으며, 고강도 콘크리트 및 강연선을 적용한 프리스트레스 콘크리트 교량(이하 P.S.C 교량) 개발되어 현장에 적용되고 있다. 본 연구에서는 일반화 된 P.S.C BOX(40m)에 대하여 고강도 강연선 적용시 원설계 대비 경제성 및 안전성을 분석하여 현장 적용성에 대하여 검토하고자 한다.

† 교신저자: 한국철도시설공단 KR연구원 기술연구처(civil67@kr.or.kr)

* 한국철도시설공단 KR연구원 기술연구처

2. 본 론

2.1 검토 대상

철도교량 상부구조 중 일반화 된 P.S.C Box 거더에 대해서 고강도 강연선 적용성 검토를 위하여, 현재 시공 중인 1개교량(FSM, L=40M)에 대하여 원설계 성능을 유지하는 조건으로 안정성 해석 및 공사비 분석을 수행하도록 한다.

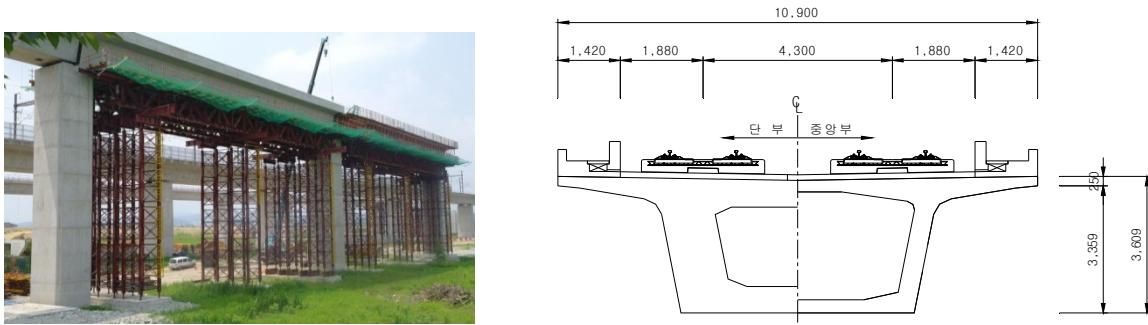


Fig. 1 View of installation about P.S.C Box girder (Using F.S.M)

2.2 검토방법

인장강도 2,400MPa 강연선에 대하여 텐던개수는 원설계와 동일하게 적용하고 강연선 가닥 수만 변경하는 방법(Case I)과 텐던개수와 강연선 가닥수를 변경하여 검토하는 방법(Case II)으로 나누어 수행하였다.

- 원설계 : 텐던수 18개, 강연선 가닥수 22개
- Case I : 텐던수 고정, 강연선 가닥수 변경
- Case II : 텐던수 및 텐던 배치 변경, 강연선 가닥수 변경

관련기준은 철도설계기준(2016)이며, 하중조건은 고속열차와 일반열차의 통합하중인 KRL-2012 표준활하중을 적용하였다. 검토항목으로는 1,860MPa 강연선을 적용한 원설계와 위의 Case I, II 방법으로 2,400MPa급의 고강도 강연선을 적용하여 안정성 검토를 수행하였다. 원설계에 적용된 강연선 적용수량 및 단면은 다음과 같다.

Table 1 Application and section of original design strand

	Status of strand	Application of strand section
A type of strand	SWPC 7B (1,860MPa)	
Number of tendon	18	
Number of strand	22	

2.3 구조검토

2.3.1 원설계

강연선 인장강도 1,860Mpa을 적용한 원설계의 구조 안전성 검토내용은 아래와 같다.

Table 2 Prestressed Concrete and Strand Allowable Stress

	Allowable stress
Prestressed Concrete	<ul style="list-style-type: none"> . PS Compressive strength (f_{ci})=28.0Mpa . Yield stress before creep and loss due to drying shrinkage <ul style="list-style-type: none"> - Allowable bending compressive stress (f_{cai})=$0.55 \times f_{ci}=15.40$Mpa - Allowable bending tensile stress (f_{tj})=$0.60 \times 0.06 \cdot f_{ci}=-2.28$Mpa * $F_{tai}=0.70 \times f_{tj}=-1.60$Mpa . Allowable stress in working load after all losses have occurred <ul style="list-style-type: none"> - Allowable bending compressive stress (f_{ca})=$0.40 \times f_{ci}=16.00$Mpa - Allowable bending tensile stress (f_{ta})=0.00Mpa
PS strand	<ul style="list-style-type: none"> . Strand Specification: SWPC 7B ϕ 15.2mm - 22연선 ($A_p=138.70$mm²) . Yield strength (f_{py}) : 1,600MPa . tensile strength (f_{pu}) : 1,900MPa . strail stress(f_{pj}) : $0.87 \times 0.9 \times f_{py}=1,253$MPa . Allowable tensile stress <ul style="list-style-type: none"> - Initial tensile stress (f_{pia})=$0.90 \times f_{py}=1,440.00$Mpa - Applied tensile stress ($f_{p.Ta}$)=$0.70 \times f_{py}=1,330.00$Mpa - Tensile stress at working load (f_{pa})=$0.80 \times f_{py}=1,280.00$Mpa

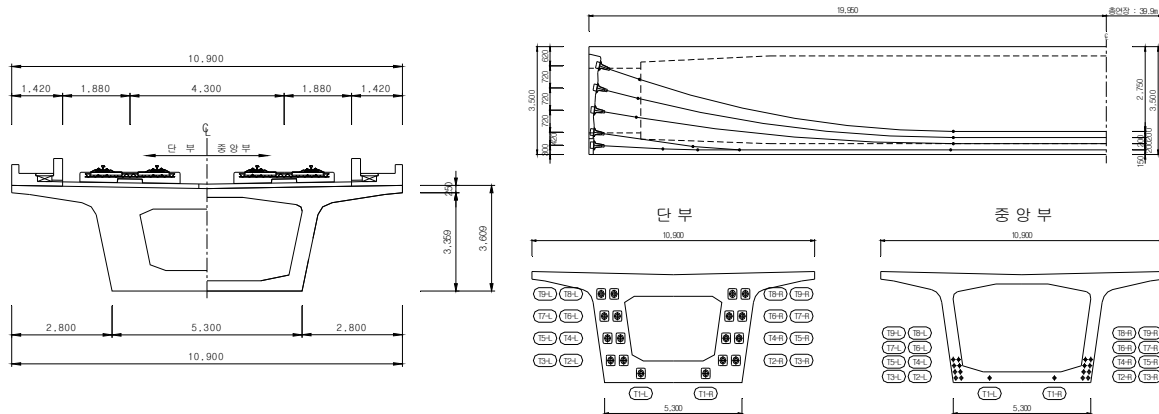


Fig. 2 Tendon and strand application section

Table 3 Girder stress review

	Under construction		In use after construction		
	compression	tension	compression	tension	
Design application	14.540	5.170	10.050	4.710	O.K
Allowable stress (standard)	15.40	-1.596	16.00	0.00	

2.3. 2 텐던을 고정하고 고강도강연선 수량을 조정하는 Case-I 분석

텐던 개수 및 텐던배치는 동일하게 유지(텐던 개소수 18EA)하고 2,400Mpa 고강도 강연선 개수를 조정(13~19개)하여 원설계와 비교하였다. 응력검토 결과, 강연선이 19개 일 때 프리스트레스 도입시 발생하는 압축응력이 허용응력을 초과하며, 강연선 13개일 경우는 공용 중 인장응력이 발생하여 안전성에 문제가 있는 것으로 검토되었다. 따라서 시공단계별 응력검토결과 최적 설계는 강연선 가닥수 14EA를 적용한 경우로 나타났다.

Table 4 Case-1 Study of girder stress according to the condition of high strength strand

tendon (ea)	high strength strand(ea)	Under construction		In use after construction		Flexural strength	
		compression	tension	compression	tension		
18	19	17.21 (N.G)	-	12.65	-	O.K	
	17	15.15	-	11.07	-	O.K	
	16	14.08	-	10.25	-	O.K	
	15	13.03	-	9.43	-	O.K	
	14	11.95	-	8.68	-	O.K	BEST
	13	10.87	-	7.73	-0.28 (N.G)	O.K	
허용응력		15.40	-1.596	16.00	0.00		

2.3. 3 텐던 및 고강도강연선 수량을 모두 조정하는 Case- II 분석

2,400MPa의 고강도 강연선을 적용하여 텐던 개수 및 텐던배치를 조정하고, 동시에 강연선 수량도 조정하여 구조 안전성 검토를 실시하였다. 시공단계별 응력검토결과 최적 설계는 텐던수 14EA에 강연선 가닥수 17EA를 적용한 경우로 검토되었다.

Table 5 Case-2 Study of girder stress according to the condition of applying tendon+ high strength strand

tendon (ea)	high strength strand(ea)	Under construction		In use after construction		Flexural strength	
		compression	tension	compression	tension		
16	19	15.52 (N.G)	-	11.45	-	O.K	
	18	14.55	-	10.71	-	O.K	
	17	13.58	-	9.96	-	O.K	
	16	12.60	-	9.19	-	O.K	
	15	11.61	-	8.42	-	O.K	
	14	10.62	-	7.63	-0.52 (N.G)	O.K	
14	22	15.79 (N.G)	-	11.85	-	O.K	
	20	14.10	-	10.54	-	O.K	
	19	13.26	-	9.88	-	O.K	
	17	11.63	-	8.50	-	O.K	BEST

	16	10.80	-	7.81	-0.42 (N.G)	O.K	
12	26	15.56 (N.G)	-	11.57	-	O.K	
	24	14.14	-	10.48	-	O.K	
	22	12.78	-	9.39	-	O.K	
	21	12.02	-	8.79	-	O.K	
	19	10.30	-	7.65	-0.51 (N.G)	O.K	
허용응력		15.40	-1.596	16.00	0.00		

2.4 고강도 강연선 적용에 따른 경제성

고강도 강연선 적용에 따른 포스트텐션 공사비를 확인하기 위하여, 본 연구의 기간의 견적과 물가자료를 기준으로 검토하였으며, 원설계 원가계산서와 비교한 결과 고강도 강연선이 고가인 반면 수량 절감효과가 큰 것으로 분석되어 Case-1의 경우 15.61%, Case-2의 경우는 27.98%의 포스트텐션 공사비가 절감되는 것으로 검토되었다.

3. 결론

선정된 P.S.C Box 거더교의 원설계에 대한 구조 검토를 실시하고, 텐던 및 강연선 수량을 매개변수로 최적의 적용안을 도출하고자 하였다. 그 결과 구조적으로 안전성이 확보되는 최적안으로 Case-1에서는 텐던 수 18개, 강연선 수 14개일 경우로 원설계 대비 -15.61%의 공사비를 절감할 수 있을 것으로 기대된다. Case-2에서는 텐던 수 14개, 강연선 수 17개 일 때 구조적으로 안전성을 확보하는 범위에서 최적안으로 선정되었으며, 원설계 대비 -27.98%의 공사비를 절감하는 효과가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 고강도 강연선 적용으로 인한 구조안정성 확보 및 포스트텐션 공사비 절감효과를 고려할 때, 향후 P.S.C 철도교량 설계시 시장여건을 반영하여 고강도 강연선 적용에 대하여 검토가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국철도시설공단의 자체연구비(PSC 교량 고강도 PS 강연선 적용방안 연구과제)로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Park, Ho(2015) Applicability of KCI Concrete design code on high-strength strand-Tension- and Compression-controlled strain limit, *Korea concrete institute* , pp. 743-744.
- [2] Park, Jae-Hyun, Lee, Sang Ho, Cho, Jae-Yeol (2016) Prediction of Bonded Strand Stress at Flexural Strength for a Beam with High-Strength Strands, *Korea concrete institute* , pp. 735-736.
- [3] Kim, Jin-woo, Oh, Myung-seok, Kim, Jin-kook (2011) The Assessment of Bending Strength of PSC Girder that Applied High Strength PS Strand, *Korea concrete institute* , pp. 521-522.

- [4] Park, Jae Hyun, Park, Ho, Cho, Jae Yeol (2015) Analysis of Design Standards for Applying High-Strength Strands to PSC Girders-Based on Estimation Equations for PS Strand Stress, *Korea concrete institute* , pp 205-206.
- [5] Park, Jong Sup, Kim, Young Jin, Keum, Moon Seoung, Cho, Jae-Yeol (2012) Flexural Capacity of PSC Girder with High Strength Strand according to Concrete Strength, *Korea concrete institute* , pp 87-88.