

매개변수해석을 통한 Extradosed PSC 박스 거더교의 구조특성 분석

정지승[†] · 전준창^{*} · 박진석^{**}

동양대학교 철도토목학과 · *씨티씨(주) · **롯데건설
(2015. 11. 24. 접수 / 2015. 12. 26. 수정 / 2016. 1. 6. 채택)

Parametric Study on the Structural Characteristics of Extradosed PSC Box Girder Bridges

Jee-Seung Chung[†] · Jun-Chang Jeon^{*} · Jin-Seok Park^{**}

Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University

^{*}CTC Co. Ltd. · ^{**}LOTTE Engineering & Construction

(Received November 24, 2015 / Revised December 26, 2015 / Accepted January 6, 2016)

Abstract : In this paper, structural characteristics for an extradosed prestressed concrete box girder bridge are investigated in terms of selective parameters. These parameters are mainly associated with the structural details of the extradosed bridge and derived from currently available literatures regarding previous design drawings. The analyses have been carried out using general-purpose structural analysis program, RM-Space Frame. The parameters evaluated for the present study represent the most salient features of the extradosed bridge and are as follows; 1) span length ratio(side-span length to center-span length), 2) boundary condition of girder, 3) height of pylon, 4) anchorage location of external cables and 5) girder stiffness. The analytical predictions indicate that span length ratio and pylon height are reasonably adequate in the range of 0.55 to 0.60 and $L_m/8$ to $L_m/12$ respectively for the bridge under consideration. Also, demonstrated is the boundary condition of girder, in which rigid-connection details give more efficiency than the continuous details. In addition, considering structural characteristics of the extradosed bridge, it is desirable that the girder stiffness should be determined by the stress range of external cables rather than bending moment of girder.

Key Words : extradosed bridge, structural characteristics, parametric study

1. 서론

구조해석기술, 구조재료 및 시공법의 발달과 함께 새로운 개념과 구조형식을 갖는 교량의 설계·시공이 증가하는 추세에 있다. 이 중 Mathivat J.에 의해 제안된 구조형식인 Extradosed교는 구조적인 측면에서 기존 PSC 박스 거더교와 사장교의 중간적인 형태의 교량으로서 PS강재에 거더의 유효높이 이상의 대편심을 도입하여 경제적으로 PSC 박스 거더교의 장대화 도모 및 교형 자체의 상징성을 부여하고 있다¹⁾.

일본의 경우, 1990년대 초반부터 Extradosed교에 대한 적극적인 검토와 실험을 통해 설계에 적용해 왔으며, 현재에는 다수의 설계실적을 보유하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 Extradosed교의 계획 및 설계시 기존의 설계자료를 참고하여 부분적으로 답습하고 있는

실정으로서 안전하고 내구적인 교량이 되도록 하기 위해서는 구조계가 갖는 고유한 구조특성에 대한 정확한 해석과 재료 및 시공에 관련된 최신 지식을 바탕으로 종합적이고 합리적인 검토가 필요하다.

본 연구에서는 Extradosed교에 관한 기존의 연구실적 및 설계자료^{2,3)}에 대한 문헌고찰을 통해 Extradosed교의 구조제원에 관한 매개변수를 도출하고, 이에 기초한 매개변수해석을 수행하여 해석변수에 따른 Extradosed교의 구조특성을 분석하고자 한다.

2. Extradosed교의 해석 매개변수 선정

Extradosed교는 지점부의 주탑에 디비에이터(deviator)를 설치하여 PS강재에 대편심을 도입한 PSC 박스 거더교로서 외관상으로는 매우 낮은 주탑을 갖는 사장교와

[†] Corresponding Author : Jee-Seung Chung, Tel : +82-54-630-1223, E-mail : jschung@dyu.ac.kr
Department of Railroad Civil Engineering, Dongyang University, 145, Dongyang-ro Poonggi-eup, Youngju-si, Gyeongbuk-do 36040, Korea

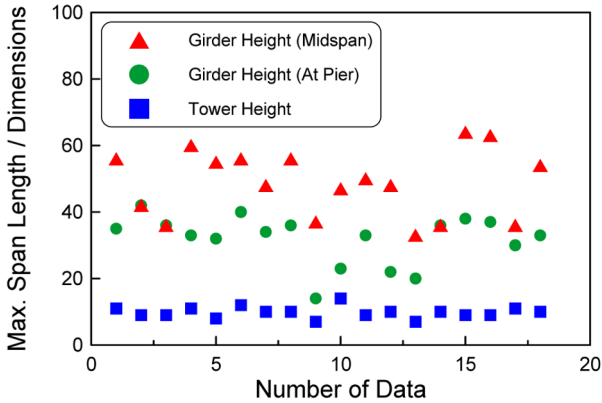


Fig. 1. Dimension of extradosed bridges according to reference data.

Table 1. Comparison of structural dimensions

Items	D _{girder} /L _{max}		H _{pylon} /L _{max}
	Support	Midspan	
Extradosed br.	1/15 ~ 1/40 (1/30)*	1/35 ~ 1/65 (1/50)*	1/7 ~ 1/15 (1/10)*
PSC box girder br.	1/16 ~ 1/19	1/35 ~ 1/45	-
PSC cable stayed br.	1/80 ~ 1/100		1/4 ~ 1/5

* : Values in parenthesis mean average

유사하다. Extradosed교에 대해 조사된 자료를 이용하여 (최대경간길이/거더높이)와 (최대경간길이/주탑높이)를 Fig. 1에 나타내었으며, Table 1에는 최대경간길이에 대한 거더높이 및 주탑높이의 비를 PSC 사장교 및 PSC 박스 거더교(FCM)에 대한 자료²⁾와 비교하여 나타내었다.

Table 1에 의하면 Extradosed PSC 박스 거더교의 지점부 및 경간 중앙부의 거더높이는 최대경간길이에 대해 각각 1/30, 1/50 정도로서 사장교에 비해서는 약 2배이고 일반 PSC 박스 거더교에 비해서는 약 1/2 수준이다. PSC 사장교의 거더(보강거더)는 케이블에 의해 지지되는 보(beam)로서 최소한의 필요강도가 부여되면 거더는 경량일수록 유리하므로 경간길이에 관계없이 약 2.0~2.5 m 범위의 거더높이가 채용된다. 그러나 Extradosed교의 케이블은 거더에 프리스트레스와 이에 의한 편심모멘트를 효과적으로 도입하기 위해 설치되며, 외력에 의한 단면력은 대부분 거더에 의해 저항하도록 설계된다는 점에서 사장교와 개념이 다르다. 따라서, Extradosed교의 거더높이는 PSC 박스 거더교와 마찬가지로 경간길이에 따라 결정되지만, 대편심을 갖는 케이블의 영향으로 PSC 박스 거더교에 비해 거더높이를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 지점부 PS 강재량을 절감할 수 있다.

한편, 거더를 탄성지지하기 위해 케이블을 설치하는

사장교와 달리 Extradosed교의 케이블은 거더에 프리스트레스를 도입할 목적으로 설치되므로 주탑의 높이를 대폭 감소시킬 수 있으며, 실제에 대한 조사결과에 의하면 주탑높이는 사장교의 약 1/2~1/3 수준임을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 Extradosed교는 기존의 PSC 박스 거더교 및 사장교와 비교하여 외관상으로 거더와 주탑의 높이에 있어서 확연한 차이가 있으며, 이로 인해 기존 구조형식과 상이한 구조거동을 나타낼 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 Extradosed교의 구조계획시 주요 결정인자라고 판단되는 다음의 5가지 해석변수에 대한 매개변수해석을 통해 Extradosed교의 구조거동을 검토하고자 한다.

- ① 경간길이의 비(=측경간길이/중앙경간길이)
- ② 거더의 지지형식
- ③ 주탑의 높이
- ④ 케이블의 정착위치
- ⑤ 거더의 강성

3. Extradosed교에 대한 매개변수해석

3.1 해석개요

Extradosed교에 대한 매개변수해석을 위해 선정 한 해석대상 교량은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 1면(single plane) 구조의 3경간 연속교이다. 교량의 폭원은 31.6 m이고, 주탑의 높이는 11.0 m이다. 콘크리트의 설계기준강도는 40 MPa이며, 케이블을 구성하는 PS강연선은 SWPC7B (항복강도 1,600 MPa, 인장강도 1,900 MPa)이다.

Fig. 2의 해석대상 교량을 기본 해석모델로 하여 범용 구조해석프로그램인 RM-Space Frame⁴⁾에 의한 구조해석을 수행하였다. 구조모델링시 거더, 주탑 및 교각은 Frame 요소로 모델링하였고, 케이블은 외부케이블 요소를 적용하였다. 한편, 거더 내부에 배치된 PS강재에 대해서는 RM-Space Frame에서 지원하는 RMSPANN Module을 이용하여 PS강재의 배치형상, 긴장력 및 프리스트레스 손실 등을 고려하였다. 구조해석은 고정하중,

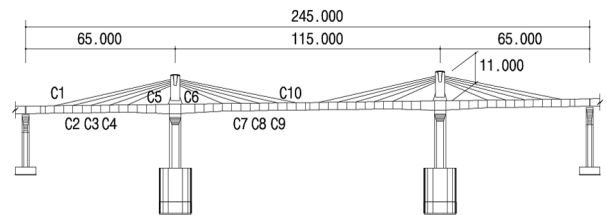


Fig. 2. Dimensions of target bridge.

활하중(DL-24, DB-24), 크리프, 건조수축 및 프리스트레스트력에 대해 수행하였다.

한편, Extradosed교는 콘크리트의 시간의존적 물성 및 PS강재의 단계별 긴장에 의해 가설단계별로 응력분포가 변화하므로 Extradosed교의 구조거동을 정확하게 파악하기 위해서는 모든 가설단계를 고려한 구조해석이 필요하다. 그러나, 모든 가설단계를 고려한 구조해석 및 결과분석에는 막대한 시간과 노력이 필요하므로 본 연구에서는 완성계에 대해서만 구조해석을 수행하고 결과를 분석하는 것으로 한다.

3.2 해석결과 및 분석

3.2.1 경간길이의 비

교량 계획시 경간분할은 구조적 성능, 경관성 및 입지조건 등에 따라 좌우되지만 본 연구에서는 Extradosed교의 실적자료에 근거하여 해석범위를 정하고, 구조성능 측면에서 주경간길이에 대한 측경간길이의 비를 검토하였다. Extradosed교의 실적자료³⁾에 의하면 주경간길이에 대한 측경간길이의 비는 대략 0.50~0.70의 범위를 갖는 것으로 조사되었다. 따라서 경간길이의 비에 대한 해석경우를 Table 2에 나타낸 바와 같이 3가지 경우로 선정하였다. Fig. 2에 나타낸 해석대상 교량의 측경간 길이만을 수정하여 3가지 경우에 대한 해석모델을 작성하였으며, 나머지 제원은 동일하게 유지하였다.

해석결과중에서 경간길이의 비에 대한 거더의 휨모멘트 및 활하중에 의한 케이블의 응력변동범위를 각각 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 지점부 휨모멘트는 부(-)모멘트이지만 경향 파악이 용이하도록 Fig. 3에는 절댓값을 취하여 나타내었다. Fig. 3에 의하면 측경간의 길이가 증가함에 따라 측경간과 중앙경간 중앙부 정모멘트는 미소하게 증가하는 경향을 나타내며, 지점부 휨모멘트의 경우는 측경간 길이 65.0 m를 경계로 증가폭이 다소 커짐을 알 수 있다.

한편, 경간길이 비의 변화에 따른 케이블의 응력변동범위를 나타낸 Fig. 4에 의하면 측경간의 길이가 증

Table 2. Analytical cases for span length ratio

Cases	Side-span length, L_s (m)	Center-span length, L_m (m)	Span length ratio (L_s/L_m)
case 1(1)	57.5	115.0	0.50
case 1(2)	65.0	115.0	0.57
case 1(3)	80.5	115.0	0.70

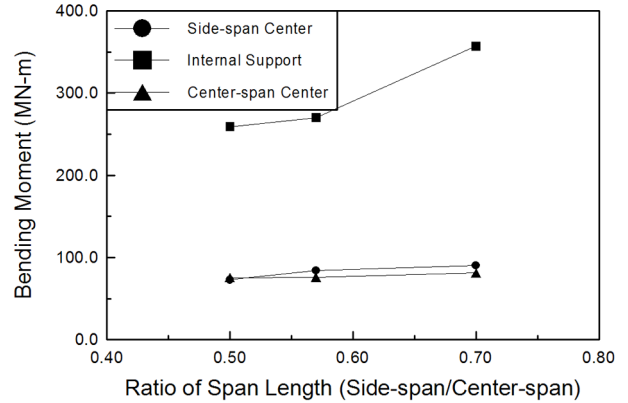
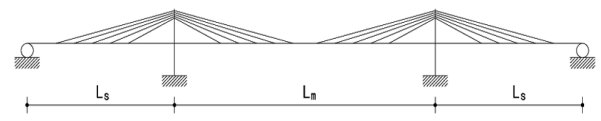


Fig. 3. Bending moment of girder with respect to span length ratio.

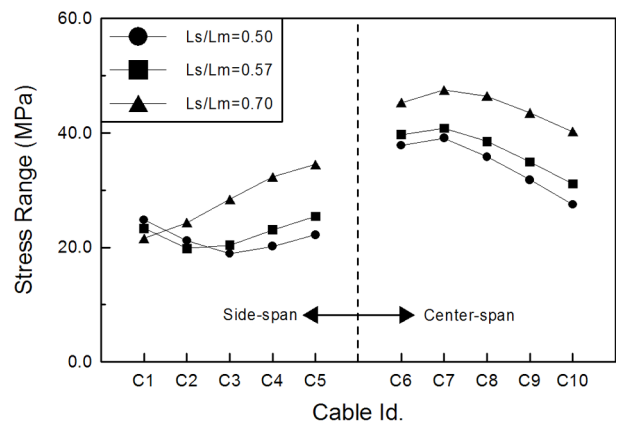


Fig. 4. Stress range of cables with respect to span length ratio.

가할수록 활하중(DL-24) 재하길이가 길어져 케이블의 응력변동범위가 증가하는 것으로 나타났다. 모든 검토 항목에 대하여 case 1(1)과 case 1(2)가 유사하고 측경간 길이가 짧아지면 측경간 지점부에서의 부반력 발생 및 미관 저하 등의 문제가 있으므로 중앙 경간길이에 대한 측경간길이의 비는 0.55~0.60정도의 범위가 적절한 것으로 판단된다. 이를 PSC 박스 거더교(FCM)의 일반적인 경간길이 비(L_s/L_m)인 60~67%와 사장교의 경간길이 비인 약 40%⁵⁾와 비교하면 Extradosed교의 경간길이 비는 PSC 박스 거더교에 보다 유사한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

3.2.2 거더의 지지형식

Extradosed교의 내측 지점부, 즉 주탑이 위치하는 부위에서의 거더 지지조건은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 교각에 교량받침을 설치하여 연속구조로 하는 방법과 거더를 교각에 강결시키는 방법으로 대별된다. 본 연구에서는 지지방법에 따른 구조특성을 고찰하고자 연

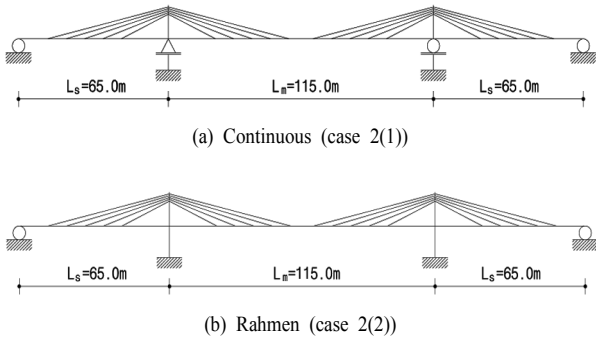


Fig. 5. Boundary condition of girder.

속구조형식(case 2(1))과 강결구조형식(case 2(2))에 대해 구조해석을 수행하였다.

연속구조형식과 강결구조형식에 대한 구조해석결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 거더의 휨모멘트 변화를 나타낸 Fig. 6에 의하면 강결구조형식은 연속구조형식에 비하여 지점부의 휨모멘트는 약 14% 증가하는 반면에 측경간과 중앙경간의 휨모멘트는 약 55% 감소함을 알 수 있다. 연속구조형식에 비하여 강결구조형식에서 지점부의 휨모멘트가 증가하는 것은 거더와 교각이 강결되어 강성이 커지기 때문이다. 또한, Fig. 6에 나타난 경향에 의하면 교량의 미관을 고려하여 교량 종방향으로 변단면의 거더를 계획하는 경우에는 강결구조형식을 채택하는 것이 단면이용효율 측면에서 보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

케이블의 응력변동범위를 나타낸 Fig. 7을 살펴보면 중앙경간측에 정착되는 케이블은 차이가 거의 없지만, 측경간측의 케이블은 연속구조형식이 강결구조형식에 비해 상당히 큰 것으로 나타나 케이블에 주안점을 두고 두 형식을 비교한다면 단연 강결구조형식이 유리하다는 것을 알 수 있다. 비록 거더의 지지형식에 따른

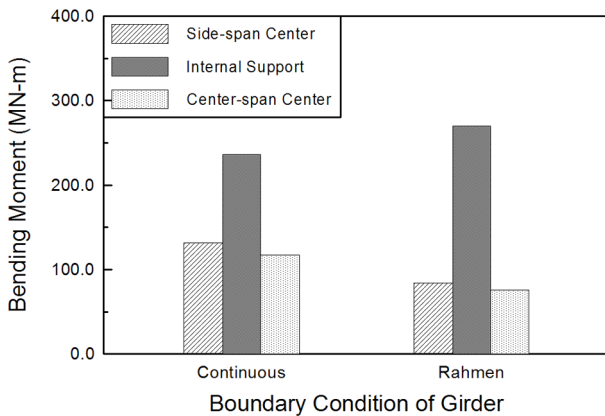


Fig. 6. Bending moment of girder with respect to boundary condition.

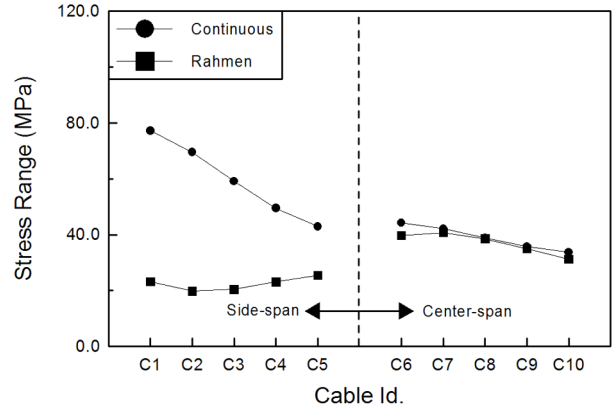


Fig. 7. Stress range of cables with respect to boundary condition.

구조거동의 비교를 위해 단순히 해석모델의 지지조건만을 변화시켜 얻어진 결과이기는 하지만 연속구조형식인 경우에는 C1 케이블(Fig. 2 참조)에서 70 MPa 이상의 응력변동이 발생하므로 케이블의 허용인장응력으로서 $0.6f_{pu}^3$ 를 적용하지 못하게 되는 문제가 있다.

3.2.3 주탑의 높이

주탑높이를 선정하기 위한 조건으로서는 시공성과 경관 등 몇 가지의 요인을 들 수 있으나, 본 연구에서는 거더 및 케이블의 응답이 최소가 되는 조건을 만족하는 주탑 높이를 선정하고자 주탑 높이에 대한 매개변수해석을 수행하였다. 본 연구에서는 주탑높이를 Table 3과 같이 총 5가지 경우에 대해 구조해석을 실시하고, 그 결과를 검토하고자 한다.

Fig. 2에 나타난 해석대상 교량의 주탑높이만을 변화시켜가며 5가지 경우에 대한 해석모델을 작성하였으며, 나머지 제원은 동일하게 유지하였다.

주탑 높이를 해석변수로 한 해석결과를 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다. 주탑높이에 따른 거더의 휨모멘트 변화를 나타낸 Fig. 8을 살펴보면 주탑의 높이가 증가함에 따라 지점부의 부모멘트는 감소하며, 측경간과 중앙경간 중앙부의 정모멘트는 증가하는 경향이 있음을

Table 3. Analytical cases for pylon height ratio

Cases	Pylon height, H(m)	Center-span length, L _m (m)	Pylon height ratio (H/L _m)
case 3(1)	6	115.0	1/19.2
case 3(2)	10		1/11.5
case 3(3)	12		1/9.6
case 3(4)	15		7.7
case 3(5)	18		6.4

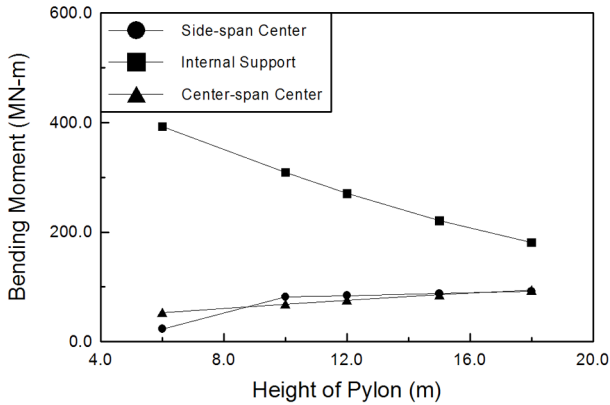


Fig. 8. Bending moment of girder with respect to pylon height.

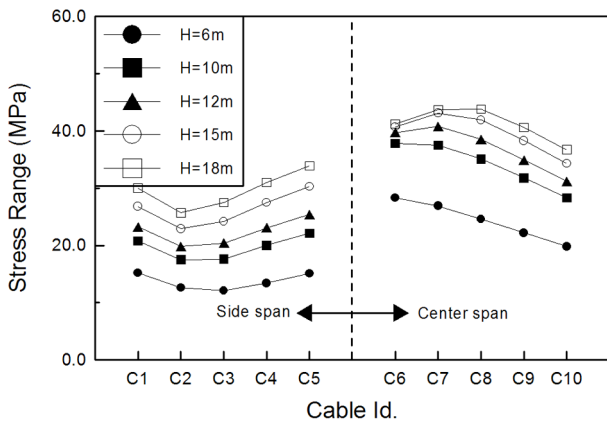


Fig. 9. Stress range of cables with respect to pylon height.

알 수 있다. 즉, 주탑의 높이가 증가할수록 사장교의 특성이, 주탑의 높이가 낮아질수록 거더교의 특성이 확연히 나타난다.

케이블에 대한 구조해석 결과인 Fig. 9에 의하면 주탑의 높이가 증가함에 따라 활하중에 의한 응력변동범위는 연직하중에 대한 분담비율이 커져 증가하는 것으로 나타났다. 활하중에 의한 응력변동범위가 크다는 것은 거더의 캠버 조절 및 케이블의 피로안전성 측면에서 불리한 요인이 되므로 Extradosed교의 장점이 반감되는 것이다.

Fig. 8에 나타난 주탑높이에 따른 거더 휨모멘트의 변화와 기존 연구결과²⁾ 및 실적조사자료를 종합적으로 고려해 볼 때 case 3(2)~case 3(4)의 경우가 Extradosed교의 적절한 주탑높이라고 사료된다.

3.2.4 케이블의 정착위치

케이블의 정착위치에 따른 구조거동 특성을 검토하기 위하여 Table 4와 같이 기본해석모델의 정착위치 ($a/L_m=0.18$)를 기준으로 전체 케이블의 위치를 주탑에서 2.5 m 이격시킨 경우($a/L_m=0.20$)와 반대로 4.5 m 근

접시킨 경우($a/L_m=0.14$)에 대해 구조해석을 각각 실시하였다.

케이블의 정착위치에 따른 해석결과를 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타내었다. 케이블 정착위치와 거더의 휨모멘트비 관계를 나타낸 Fig. 10에 의하면 a/L_m 이 작아짐에 따라, 측케이블의 정착위치가 주탑측으로 이동함에 따라 중앙경간 중앙부의 휨모멘트는 증가하지만 측경간 중앙부와 중간지점부의 휨모멘트는 감소하는 경향을 나타낸다. 한편, 케이블의 경우에는 정착위치가 주탑에 가까워지면 활하중에 의한 응력변동범위는 다소 커지는 결과를 나타내고 있다.

Extradosed교에서 케이블을 배치하는 목적이 중간지점부의 부모멘트를 저감시키기 위한 것이며, 캔틸레버 공법에 의한 가설시 부모멘트가 작을수록 경제적이라는 관점에서 보면 케이블의 정착위치를 주탑측에 근접시켜 배치하는 것이 유리하다. 그러나 케이블의 정착위치가 주탑측에 가까워질수록 중앙경간의 휨모멘트가 증가하여 큰 단면이 필요하며, 활하중에 의한 응력변동범위가 증가한다는 점을 감안하면 케이블의 정착위치는 case 4(1)과 case 4(3)의 평균적인 값인 $a/L_m=0.18$ 이 적절한 것으로 판단된다.

Table 4. Analytical cases for anchorage location of cables

Cases	a/L_m	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
case 4(1)	0.14	16.0	32.0	19.0	17.0
case 4(2)	0.18	20.5	32.0	10.0	12.5
case 4(3)	0.20	23.0	32.0	5.0	10.0

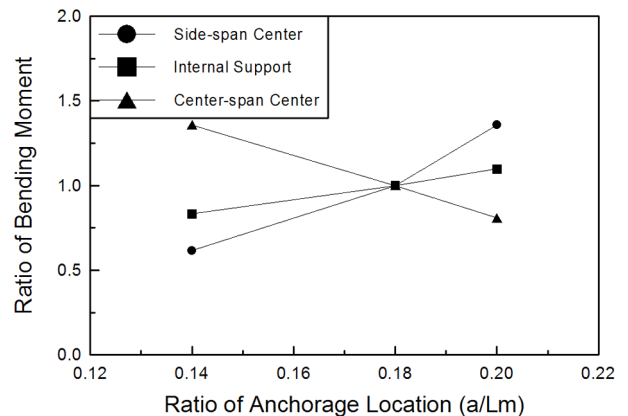
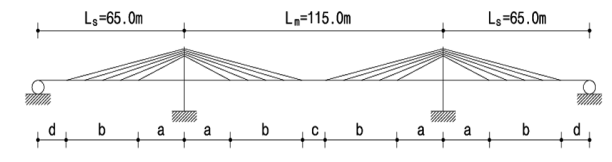


Fig. 10. Bending moment of girder with respect to anchorage location of cables.

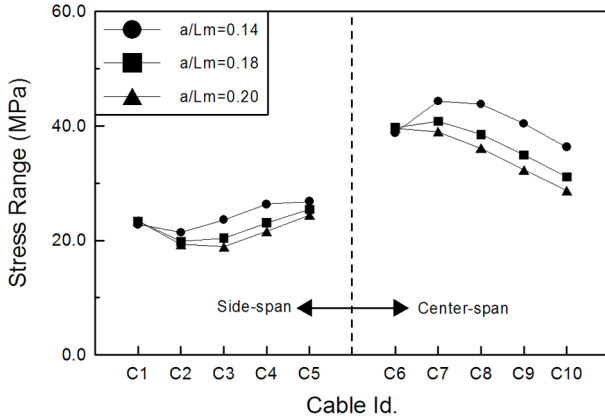


Fig. 11. Stress range of cables with respect to anchorage location of cables.

3.2.5 거더의 강성

Extradosed교의 케이블은 거더에 프리스트레스와 이에 의한 편심모멘트를 효과적으로 도입하기 위해 설치되며, 외력에 의한 단면력은 대부분 거더에 의해 저항하도록 설계된다. 따라서 일반적인 Extradosed교의 거더높이는 거더교의 약 1/2이며, 사장교에 비해서는 2배 정도의 수준이다. Table 1에서 경간 중앙부의 거더높이는 중앙경간길이의 1/35~1/65 범위이고, 중간 지점부는 1/15~1/40 범위이며, 평균적인 수치는 각각 1/50과 1/30이다. 거더높이에 따른 구조거동 변화를 파악하기 위하여 Table 5의 해석경우에 대한 매개변수해석을 하였다.

거더 강성변화에 따른 해석결과를 Fig. 12 및 Fig. 13에 나타내었다. 거더 강성에 따른 거더 휨모멘트를 나타낸 Fig. 12에 의하면 거더의 강성이 증가함에 따라 거더에 대한 의존도가 커져 전체적으로 거더의 휨모멘트는 증가하는 것을 알 수 있다. case 5(3)과 case 5(4)의 해석결과를 비교해보면 부모멘트의 변화가 거의 없어 지점부 거더높이를 3.8 m 이상으로 취하여도 구조 성능 개선효과는 기대하기 어려운 것으로 판단된다.

한편, case 5(1)과 case 5(2)의 거더 휨모멘트 및 활하중에 의한 응력변동범위를 비교하면 지점부의 부모멘트는 큰 차이가 없으나, 활하중에 의한 응력변동범위는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 13에 나타난 case 5(2)의 활하중에 의한 중앙경간측 케이블의 응력변동 범위는 약 700 MPa 전후의 값을 갖는데, 이는 케이블

Table 5. Analytical cases for girder stiffness

Items	case 5(1)	case 5(2)	case 5(3)	case 5(4)
$D_{midspan}$ (m)	1.0	2.0	3.0	4.0
$D_{support}$ (m)	1.8	2.8	3.8	4.8

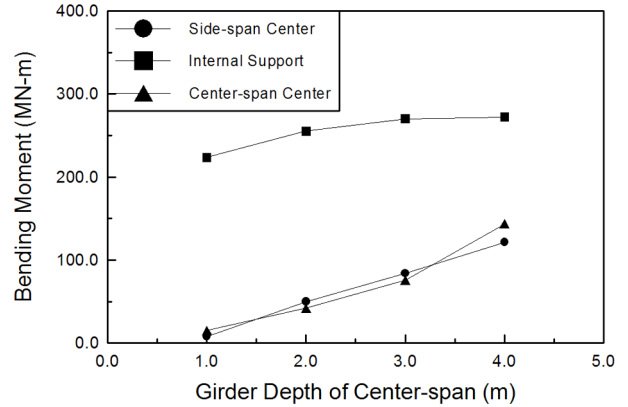


Fig. 12. Bending moment of girder with respect to girder stiffness.

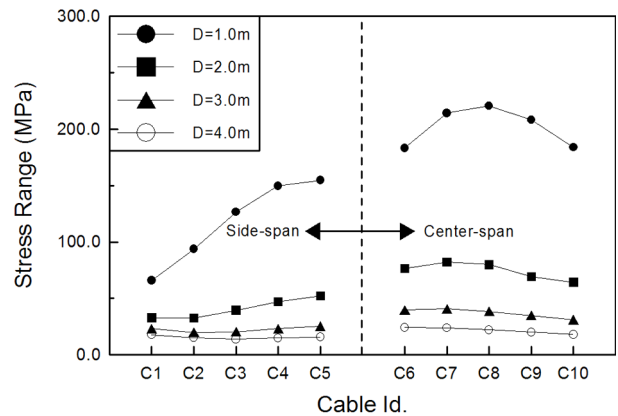


Fig. 13. Stress range of cables with respect to girder stiffness.

의 허용응력 $0.6f_{pu}$ 에 해당하므로 case 5(2)의 거더높이가 Extradosed교에 적용가능한 최소치라고 사료된다. 실제로 case 5(2)의 중앙경간길이에 대한 거더 높이는 중앙 경간부에서 1/58, 중간 지점부에서 1/41이며, Table 1의 하한치인 1/65, 1/40과 거의 유사한 값이다.

4. 결론

본 연구에서는 새로운 구조형식인 Extradosed교의 기본개념 및 구조적 특징을 이해하고자 기존의 연구실적과 설계자료에 대한 문헌고찰을 실시하였으며, 이에 기초하여 교량의 구조제원에 관한 매개변수해석을 수행하여 해석변수에 따른 Extradosed교의 구조특성을 검토하였다. 매개변수해석을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Extradosed교의 중앙 경간길이에 대한 측경간길이의 비는 0.55~0.60정도의 범위가 적정하며, 이는 사장교 보다는 PSC 박스 거더교(FCM)에 유사한 특성임을

알 수 있었다.

2) 거더단면의 이용효율 측면 및 케이블의 응력변동 범위 측면에서 볼 때 Extradosed교의 지지형식은 거더와 교각을 강결시키는 강결구조형식이 유리하다.

3) 주탑의 높이가 증가하면 케이블에 미치는 건조수축·크리프의 영향 및 연직하중에 대한 분담비율이 커져 Extradosed교의 장점이 반감되며, 적절한 주탑의 높이는 중앙경간길이의 1/8~1/12 정도라고 판단된다.

4) Extradosed교의 구조적 특성을 감안할 때 케이블을 주탑측에 근접시켜 배치하는 것이 유리하지만 케이블의 정착위치가 주탑측에 가까워질수록 경간 중앙부의 휨모멘트 및 케이블의 응력변동범위가 증가하므로 주탑으로부터의 첫 번째 케이블 정착위치는 중앙경간길이의 18% 정도가 적절한 것으로 판단된다.

5) Extradosed교의 거더높이 변화에 따라 거더 휨모멘트와 케이블 축력은 상호 반비례하는 경향을 나타낸다. 거더 강성의 결정은 Extradosed교의 구조적 특성을 감안하여 거더의 휨모멘트보다는 케이블의 응력변동 범위에 중점을 두어야 할 것으로 사료된다.

6) 향후 고강도 콘크리트 및 강선을 적용할 경우 본 논문에서 기술한 Extradosed교의 구조특성은 다소 변화될 것으로 판단되므로 사용되어지는 재료특성을 고려한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- 1) J. Mathivat, "Recent Development in Prestressed Concrete Bridges", FIP Note, 1988.
- 2) M. Komiya, "Characteristics of PSC Box Girder Bridges with Large Eccentricity and Its Design", Prestressed Concrete, Vol. 39, No. 2, pp.40-52, 1997.
- 3) Japan Prestressed Concrete Institute, Guideline for Design and Construction of PSC Cable Stayed Bridges and Extradosed Bridges, 2000.
- 4) User's Manual, RM-SPACE FRAME -Static, Dynamic and Geometric Non-Linear Analysis of Space Frame-, TDV, 1999.
- 5) N.J. Gimsing, Cable Supported Bridges, John Wiley & Sons, p.150, 1983.