

경제성과 장대경간 구성을 구현할 수 있는 I.L.M교량에 사용되는 추진코의 적정제원 산정에 관한 연구

The study of determination proper nose properties, used for I.L.M constructing economic long spans bridge .

박 상 현* 이 승 주** 김 찬 념*** 심 재 수**** 황 의 승*****
Park, Sang Hyun Lee, Seung Joo Kim, Chan Nyong Shim, Jae Soo Hwang, Eui Seung

ABSTRACT

The PSC bridge being built by ILM may have greater bending moment during its construction rather than after completion. When it occurs, Engineer should suggest to reduce stress-resultants than to make bigger cross-section with considering stability, economics, and proper span-to-depth ratio. The used method is to install extruded nose at the end of girder. It substitutes the weighted segment for the light. From the reference, the stiffness of extruded nose, is 1/10 of the main girder, and the length is 60 to 70% of the length of the span, with little justification. In this study, the proper length and stiffness of the nose element is determined by the parametric study and idealizing procedure. The results about the extruded nose through the mixing of the parameter of its stiffness and length, the proper length of extruded nose is 80% of the longest span and the proper stiffness is 13% of the bending stiffness of the superstructure and the proper length of extruded nose is 70% of the longest span and the proper stiffness is 9.5% of the bending stiffness of the superstructure.

1. 서 론

일반적으로 압출공법으로 시공되는 I.L.M (Incremental Launching Method)교량은 완공 후보다도 시공 중에 더욱 큰 단면력이 발생하게 되어 초기에 제작된 세그먼트의 선단에 강성 및 중량이 상대적으로 작은 추진코를 부착시킨 방법을 사용하여 압출시의 과도한 단면력을 줄이고 있다. 그에 대한 중량 및 강성의 사용은 기존 설계자료와 참고문헌을 바탕으로 하고 있다. 그러나, 이러한 자료는 그 근거가 명확하지 않은 변수(추진코길이 비 60~70%, 강성 비 $1/10^1 \Rightarrow$ 이 중에서 길이비는 70~72%, 강성비는 6.01%를 현재의 설계에서는 적용하고 있음.)

- * 정회원, ㈜브리지컨설팅 대표이사
- ** 정회원, ㈜브리지컨설팅 대리
- *** 정회원, ㈜휘선건설 설계실장
- **** 정회원, 경희대학교 토목공학과 교수
- ***** 정회원, 경희대학교 토목공학과 부교수

의 범위일 뿐이며, 추진코의 제원(중량, 강성 및 길이)이라는 변수가 구조계에 미치는 영향을 정확하게 분석하여 구조물의 거동에 최적의 영향을 주는 안을 제시하지는 못하였다.

다라서, 본 연구의 목적은 추진코제원이 구조물 거동(교량 상부 본체)에 미치는 영향을 정확하게 분석하여 구조적인 안정성을 확보하면서 경제성과 조형성을 동시에 만족시킬 수 있는 추진코에 관한 적정제원을 결정하고자 한다.

2. 본 론

압출시 발생하는 과도한 휨모멘트를 감소시키려는 추진코의 사용목적은 내민보의 구조계를 어떻게 효율적으로 제어하느냐의 문제로 귀결된다.

경우1은 압출 추진코 선단이 교각 B를 출발하여 교각 C에 도달하기 전까지의 경우(그림1 참조)로 교각B의 모멘트를 M_1 이라 표기한다. 경우2는 압출 추진코 선단이 교각 C를 지나서 교각 D에 도달하기 전까지의 경우(그림 1 참조)로 교각B의 모멘트를 M_2 라 표기한다.

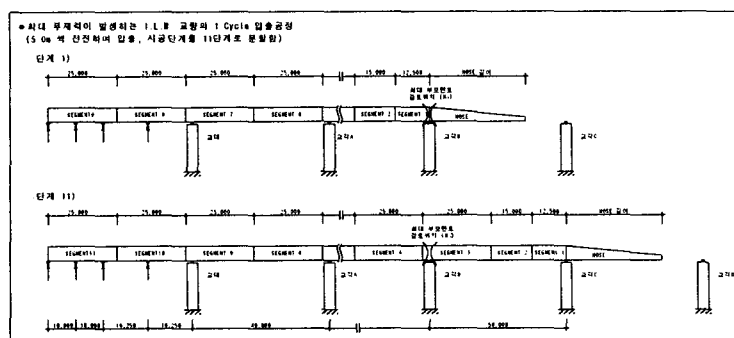


그림 1. 압출단계 및 검토위치

추진코제원에 대해서는 두 가지 변수가 존재한다. 바로 강성 비와 길이 비이다. 이들 두 변수 모두 설계력의 크기에 막대한 영향을 미치면서 독립적인 변수역할을 하고 있다. (즉, 두 인자 중 어느 것도 다른 것에 대한 종속변수가 되지 못하므로 본 연구에서는 두 변수를 모두 독립변수로 하는 매개변수 연구(Parametric Study)방법을 적용하기로 한다.)

2.1 대상구조물

본 연구에서 대상으로 정한 교량은 PSC박스거더교로 한국도로공사 설계편람에 수록된 교량이다. 그 제원은 다음과 같고 구조물의 단면 및 추진코의 단면은 각각 그림 2,3 과 같다.

¹ 추진코와 세그먼트의 상대적인 길이 및 강성비

경간구성 : 40+5@50.0+40 (m), 폭원 : 12.145m (3차로), 형고 : 2.95m, 한 세그먼트의 길이 : 25.0m

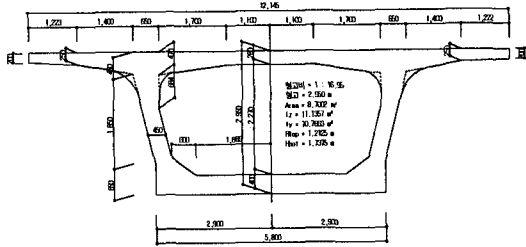


그림 2. 검토 구조물 단면

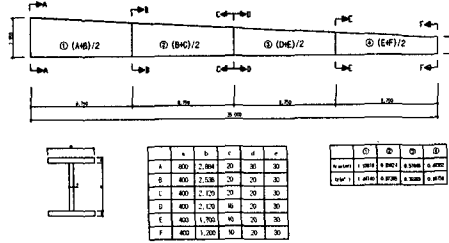


그림 3. 추진코단면

2.2 매개변수 연구(Parametric Study)

- ① 추진코강성을 거더강성의 6.01%²로 고정시키고, 추진코길이를 거더 경간의 40~80%로 변화시켜 길이 비에 대한 독립변수 데이터를 형성한다.
- ② 추진코길이를 0.70L²로 고정하고, 추진코강성을 거더 강성의 6.01~15%의 범위에서 변화시켜 강성 비에 대한 독립변수 데이터를 구성한다.
- ③ ①,②에서 나타난 결과를 바탕으로 두 독립변수를 함께 고려하여 검토할 수 있는 추진코길이 및 강성 비의 범위를 규정한다. 그 후 서로 교차 조합하여 얻은 결과로서 이상화된(idealized)제원을 산정한다.

2.3 결과 분석

2.3.1 추진코길이 비의 영향분석

- ① 그림에서 휨모멘트가 연직 방향으로 급변하는 현상은 추진코의 선단이 교각 C에 도달하였을 때의 영향이며, 이 크기는 다시 추진코의 선단이 더욱 압축하게 되면 해당 경간에 재하되는 세그먼트의 길이가 늘어나므로 교각B의 모멘트는 일정량 다시 증가하는 모습을 나타낸다.
- ② 표1에서 보면, 길이비가 0.4L(20m)인 경우는 압축응력 크기가 193.8kg/cm²로서 허용 압축응력160kg/cm²을 초과하여 단면보강이 불가능한 상태이다. 이것은, 단면자체가 인장이 아닌 압축으로 인한 취성파괴를 일으키게 됨을 의미하므로 더 이상 연구할 가치가 없어 이후 진행과정에서 제외한다.
- ③ 추진코의 길이비가 증가할수록 중량이 가벼운 추진코길이가 교각 B와 C사이에서 차지하는 비율이 큰 경우는 경우1과 경우2의 단면력 중 경우2의 단면력이 크다는 것을 알 수 있다.(즉, M1<M2)

² 강성 비 6.01%와 길이 비 0.70L은 현재 실무에서 일반적으로 적용하고 있는 제원임. 한편, 강성비는 추진코길이에 걸친 평균강성 비를 의미함.

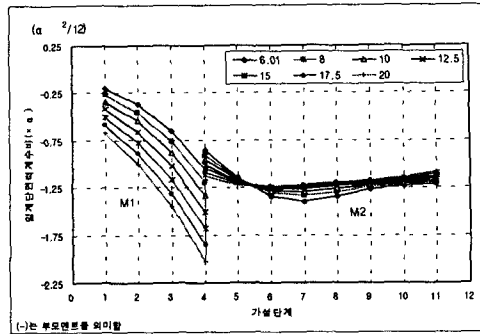
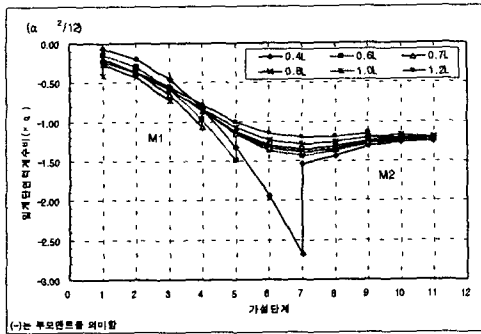


그림 4. 추진코길이 비 변화에 따른 모멘트 포락선

그림 5. 추진코강성 비 변화에 대한 모멘트 포락선

표 1. 추진코길이 비 변화에 따른 주형의 휨응력비교³

구 분		0.40L	0.60L	0.70L	0.80L
응력 (kg/cm ²)	상연	-136.3	-75.8	-72.6	-71.6
	하연	193.8	107.8	103.3	101.7

표 2. 추진코강성 비 변화에 따른 주형의 휨응력비교

구 분		6.01%	8.0%	10%	12.5%	15.0%
응력 (kg/cm ²)	상연	-72.6	-69.1	-67.9	-76.8	-85.6
	하연	103.3	98.3	96.6	109.2	121.7

Note; 단면계수는 $Z_{top}=8.894, Z_{bot}=6.255m^3$ (그림 2 참조), 또한, 단면계수는 전단지연을 고려한 유효휨단면 값임.

2.3.2 추진코강성 비의 영향분석

추진코길이를 0.70L(35m)로 고정 시킨후 추진코 강성 비의 변화에 대한 영향은 그림5, 표2과 같다.

- ① 강성이 증가함에 따라서 M1은 증가하며 M2는 감소한다. 이는 추진코의 중량증가에 기인한 것이다.
- ② 강성변화에 따른 응력결과는 표2와 같으며, 그 크기의 차는 상호간에 인장응력 13.0kg/cm², 압축응력 20.7kg/cm²의 범위를 가지고 있다.

2.3.3 거더의 휨에 대한 안정성 비교

- (1) 상호 교차 조합할 수 있는 데이터의 범위

³ 응력은 부 모멘트에 의한 비교이며, 단위는 kg/cm²임. 부호는 (-)는 인장, (+)는 압축응력을 의미함.

추진코길이 比의 경우는 거더 경간길이의 0.6L ~0.8L이며, 추진코강성 比의 경우는 거더 강성의 6.01~15%의 범위로 나타났다. 다음 표3은 이러한 결과를 바탕으로 길이 비와 강성 비 간에 상호변수의 범위를 조합하여 검토한 결과이다.

(2) 이상화 제원 선정

- ① 길이 비가 0.6L인 경우의 이상화 제원은 현재의 강성 비 6.01%보다 작은 크기에서 형성될 것으로 보이며, 그 크기는 강성 비 6.01% 일때의 단면력 -6745.2t-m이다. (Case 1)
- ② 길이 비가 0.70L인 경우는 강성 비가 8~10.0%의 사이에서 형성됨이 예측되어 추가로 해석하였다. 그 결과, 강성비는 9.5%정도이며 그 크기는 평균치인 -5974.9t-m인 것으로 판단됨. (Case 2)
- ③ 길이 비가 0.80L인 경우는 이상화된 강성 비가 13%로 나타났으며, 크기는 -5646.9t-m임. (Case 3)
- ④ Case 4는 현재의 보편적으로 적용하고 있는 설계제원으로 단면력의 크기 -6461.4t-m를 나타냄.

표3. 상호교차 조합한 단면력 결과(t-m) M_1, M_2

길이 비 강성 비		0.6L	0.70L	0.80L
		6.01%	(-6745.2), -6482.7 *	(-4787.7), -6461.4 **
(-)	8.0%	(-7337.0), -6206.5	(-5413.5), -6147.3	(-3959.3), -6091.5
	9.5%	(-7783.1), -6066.5	(-5885.1), -6064.6 *	(-4442.5), -5953.0
모	10.0%	(-7931.8), -6028.6	(-6042.4), -5973.2	(-4603.7), -5915.4
멘	12.5%	(-8675.4), -5884.7	(-6828.6), -5832.1	(-5409.4), -5771.0
트	13.0%	(-8824.1), -5862.9	(-6985.8), -5810.6	(-5570.5), -5723.2 *
	15.0%	(-9419.0), -5792.3	(-7614.7), -5740.9	(-6214.9), -5675.8

Note: *는 각각의 경우에 대한 이상화 제원임을 나타내며, **은 현재 적용되고 있는 설계제원임을 의미함.

※ 각각의 이상화 제원에 대한 휨응력 검토

모든 경우에 대한 검토는 부분긴장개념⁴(Partial Pre-stressing)에 의해서 비교를 하며, 허용인장, 압축응력의 범위를 초과하는 경우는 최적인 선정에서 제외한다.

한편, 발생된 인장응력에 대한 보강 한계는 취성파괴를 방지하기 위해 압축응력의 범위이내로 정함.

- ① 먼저, Case1(0.6L, 6.01%)은 비교대상에서 제외된다. 그 이유는 하연에 허용압축응력에 대한 여유가

⁴ 허용인장응력 -32 kg/cm², 압축응력은 160 kg/cm² 임.

52.2(=160-107.8) kg/cm²뿐으로 이 크기는 보강후 인장응력의 수준을 -75.8+52.2=-23.6kg /cm²로 만든다.

② Case2(0.70L, 9.5%)는 압축응력의 여유가 64.5 kg/cm²이며 이 크기를 강선에 의해 보강하였을 경우 발생하는 인장응력의 크기는 -67.2+64.5= -2.7kg/cm²이다.

③ Case3(0.8L, 13%)은 하연의 압축응력의 크기가 작아서 69.7 kg/cm²만큼의 보강이 가능하며, 이로 인해 구조물에는 압축응력 6.2 kg/cm² 이 발생되므로 완전긴장개념(Pull Prestressing)으로 접근할 수 있어 구조계의 안정성 측면에서는 가장 유리한 안이다.

④ Case4(0.70L, 6.01%)는 압축응력의 여유가 56.7 kg/cm²으로 현재 설계에서 적용되고 있는 안이다. 상연의 인장응력 -72.6 kg/cm²은 보강후를 고려하더라도 -15.9 kg/cm²만큼의 인장을 발생시킨다.

표9. 허용압축응력내에서 보강한 경우 휨응력 비교

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
응력 (kg/cm ²)	상연	-23.6	-2.7	6.2	-24.3
	하연	160.0	160.0	160.0	160.0

4. 결 론

추진코의 설계 및 제작방법에 있어서 역학적인 논리에 근거한 합리적인 제원(길이, 강성, 중량 등의) 결정방법을 적용한다면 구조적으로도 내구성이 우수하면서, (형고 감소효과로 인해 나타나는) 전체적인 공사비 절감효과가 기대되는 경제적인 ILM교량 건설을 완성할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1.Podolny,JR., " Construction and design of Prestressed Concrete Segmental Bridges", John Wiley and Sons,NewYork,1982
- 2.Fritz Leonhardt, " Prestressed Concrete Design and Construction", Wilhelm Eranst & Sohn Berlin Munich,1964
- 3.김병석," 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 설계 및 최적에 관한 연구", 서울 대학교 대학원 박사학위 논문, 1992
- 4.한국건설기술 연구원, "경제적인 P.S콘크리트 교량건설공법에 관한 연구", 한국건설기술연구원 연구보고서
- 5.한국도로공사(1996), "한국도로공사 설계편람",한국도로공사