

압출가설시 ILM교량 상부구조의 단순 해석식

Simplified Analysis Formula for the Launching Superstructure of ILM Bridge

문 승 일* · 장 재 엽** · 이 환 우***

Moon, Seung-Il · Jang, Jae-Youp · Lee, Hwan-Woo

요 약

압출공법(Incremental launching method)은 교대 배후에 거더 제작장소를 설치하고, 콘크리트를 이어쳐서 교량거더를 제작하고, 이것을 잭(jack)으로 밀어내는 가설방법이다. 이 공법에 의해 시공되는 교량의 상부단면은 시공 중에 지간의 중앙부와 지점부에 일시적이거나 모두 위치하게 된다. 따라서 단면들은 자중에 의해 발생하는 최대 정모멘트와 최대 부모멘트, 그리고 최대 전단력을 모두 경험하게 되는 구조적 특성을 가지고 있다. 한편 거더의 캔틸레버 작용을 감소시키기 위하여 거더의 선단에 압출추진코(launching nose)를 부착시킨다. 상부단면에 발생하는 이 일시적인 응력의 크기는 압출추진코의 단면특성에 따라 달라진다. 본 논문에서는 압출추진코와 상부단면의 상호작용에 관한 해석식의 정확성을 유지하고, 활용도를 높이기 위해서 압출추진코를 유사등단면(강성; 등단면, 중량; 변단면)으로 가정하여 단순화된 해석식을 제안하였고, 압출추진코의 단면이 등단면으로 가정한 기존 해석식의 정확성을 향상시키기 위해서 다이어그램의 중량을 집중하중으로 치환시켜 변형된 등단면 해석식을 제안하였다. 그리고 제안된 2개의 해석식의 정확성과 활용성을 판단하기 위해 실제 ILM교량 설계자료들을 통해 전산구조해석 프로그램과, 기존 해석식들과 비교 분석 하였다.

keywords : ILM공법, 압출추진코, 상호작용 해석식의 단순화, 유사등단면

1. 서 론

대표적인 가설공법 중 하나인 ILM(Incremental Launching Method) 교량공법은 높은 품질을 확보하는데 있어 효과적인 공법으로 인정받아 널리 채택되고 있다(Renaud 등, 1999). 이런 ILM 교량에서 압출추진코와 상부구조의 길이, 강성, 중량 및 탄성계수는 압출이 진행되는 동안 상부구조에 발생하는 응력의 변화에 영향을 미친다(김광수, 2008 ; Rosignoli, 1998). 즉, ILM 교량에서는 압출 중 상호작용에 따른 응력변화를 고려하여 압출추진코를 설계하는 것이 교량 상부구조 최적화 설계를 위해서 필수적으로 이루어져야 한다(이환우, 2010). 최적화 설계를 하기위해 기존에 상부구조의 압출시 발생하는 휨모멘트 해석식에 대해 연구된 논문이 있다. 먼저 Rosignoli(2002)는 압출추진코의 단면을 길이방향으로 동일하다고 가정한 상태에서 해석식을 제안하였으며, 안태욱(2006)은 압출추진코의 단면이 길이방향으로 선형적으로 변화한다고 가정한 상태에서 해석식을 제안하였다. Rosignoli의 해석식은 압출추진코를 등단면으로 가정하여 단순하다는 장점이 있으나 다이어그램을 고려하지 않았다. 안태욱(2006)의 해석식은 다이어그램을 고려하였으며, 변단면으로 가정하였기 때

* 학생회원 · 부경대학교 토목공학과 석사과정 limit720@naver.com

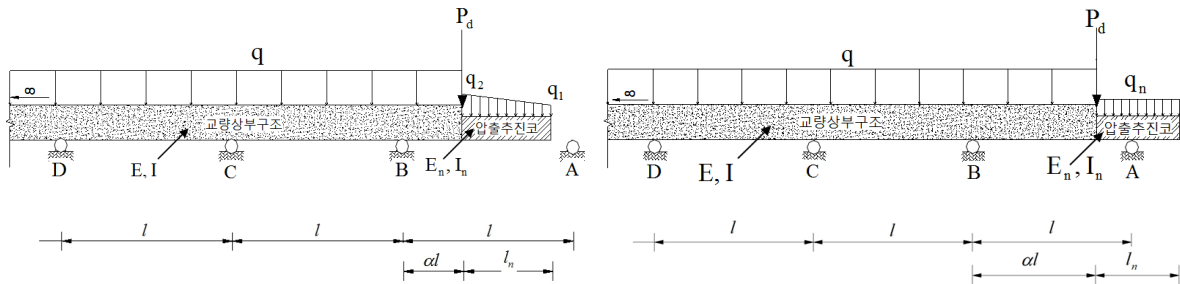
** 대한콘설탄트 사원 fervor@hanmail.net

*** 정회원 · 부경대학교 토목공학과 교수 hwanwoo@pknu.ac.kr

문에 정확성은 높다. 그러나 해석식이 복잡하다는 단점이 있다.

이 연구에서는 정확성은 높으면서도 해석식을 단순화 시키기 위해서 압출추진코의 단면을 유사등단면(강성: 등단면, 중량:변단면)과 다이아프램 하중을 고려한 등단면(강성:등단면, 중량:등단면)으로 가정하였다. 제안된 해석식은 전산구조해석 프로그램과 기존해석식과의 비교를 통해 정확성과 활용성을 판단하였다.

2. 매개변수 및 기본가정



(a) 유사등단면 해석식(강성:등단면, 중량:변단면, 다이아프램 고려) (b) 등단면 해석식(강성:등단면, 중량:등단면, 다이아프램 고려)

그림 1 제안된 해석식 모델 개념도

그림 1은 이 연구에서 제안된 해석식의 기본모델이다. 그림 1(a)는 압출추진코를 유사등단면(강성:등단면, 중량:변단면)으로 가정한 상태에서 해석식을 산출하였으며, 그림 1(b)는 등단면 해석식에 다이아프램을 고려하여 해석식을 산출하였다. 상부단면과 압출추진코로 이루어진 구조체가 압출이 진행되는 동안 가질 수 있는 대표적인 구조계는 두단계로 정의한다. 그림 1(a)와 같이 압출추진코가 지점 A에 도달하기 직전까지의 캔틸레버 상태를 1단계 압출이라 정의하고, 그림 1(b)와 같이 압출추진코가 지점 A에 도달한 후부터 콘크리트 상부가 지점 A에 도달 할 때까지를 2단계 압출이라 정의한다. 압출되는 콘크리트 상부구조의 길이를 al 로 정의하면 1단계와 2단계 압출의 α 의 범위는 $0 \leq \alpha \leq 1$ 이다. P_d 는 교량 상부단면과 압출추진코와의 연결부 다이아프램으로 인한 집중하중을 나타낸 것이다. 그리고 모멘트에 영향을 주는 압출추진코와 교량 상부단면의 기하학적, 역학적인 특성을 고려한 매개변수는 다음과 같이 정의한다(Rosignoli, 2002; 안태욱, 2006).

- 1) 상부구조(l)의 지간길이에 대한 압출추진코(l_n)의 길이비 ; l_n/l
- 2) 상부구조(q)와 압출추진코(q_1, q_2)의 단위길이당 중량비 ; $q_1/q, q_2/q$
- 3) 상부구조(I)와 압출추진코(I_n)의 강성비 ; I_n/I
- 4) 상부구조(E)와 압출추진코(E_n)의 탄성계수비 ; E_n/E

여기서, 그림 1(a)의 q_1 은 압출추진코 끝단에서의 단위 중량을 의미하고, q_2 는 압출추진코와 콘크리트 상부구조 연결부에서의 압출추진코의 단위 중량을 의미한다. 그리고, I_n, E_n 은 압출추진코의 단면 2차모멘트와 탄성계수를 의미한다.

3. 해석식의 단순화

3.1. 유산 등단면의 1단계 해석식(M_B^1/q_l^2)

1단계 압출은 강성비와 탄성계수비의 영향없이 중량비와 길이비의 영향만을 받는다(안태욱, 2006). 따라서 이 연구에서 제안된 유사등단면 해석식의 경우는 압출추진코의 강성만을 등단면으로 가정하였기 때문에 안태욱

(2006)의 1단계 압출 해석식과 동일하며 식 (1)과 같다.

$$\frac{M_B^1}{ql^2} = -\frac{1}{2}\alpha^2 - \frac{q_1}{q}\alpha \frac{l_n}{l} - \frac{1}{2}\frac{q_1}{q}\frac{l_n^2}{l^2} - \frac{1}{2}\left(\frac{q_2}{q} - \frac{q_1}{q}\right)\left(\alpha \frac{l_n}{l} + \frac{1}{3}\frac{l_n^2}{l^2}\right) - \frac{P_D}{ql}\alpha \quad (1)$$

3.2. 유산 등단면의 2단계 해석식(M_B^1/ql^2)

강성을 등단면으로 가정한 유사등단면의 2단계 압출해석식은 안태욱(2006)의 해석식에 비해 단순화 된다. 해석식의 유도는 2단계 압출 해석영역을 정하고, 4개의 구간으로 나누어 최소일의 원리를 적용한 2단계 압출과정 중의 설계 단면력 M_B^2/ql^2 의 해석식은 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{M_B^2}{ql^2} = \frac{2}{3}\left(\frac{\textcircled{a}}{\textcircled{f}} + \frac{EI}{E_n I_n} \frac{\textcircled{b} + \textcircled{c} + \textcircled{d} + \textcircled{e}}{\textcircled{f}}\right) - \frac{3}{4} \quad (2)$$

여기서 ①~⑥는 해석식의 유도과정에서 얻어진 중량비(q_1/q , q_2/q)와 길이비(l_n/l)에 대한 다항식이다.

3.3. 다이아프램 하중이 고려된 등단면 해석식

압출추진코의 중량은 1단계 압출과 2단계 압출에 모두 영향을 미치지만 그 값이 미소하기 때문에 압출추진코의 중량 역시 등단면으로 가정하고 다이아프램을 고려한 해석식의 적용도 실무적으로 가능할 것이다. 압출진행에 대한 해석 모델은 그림 1과 같이 압출추진코의 강성과 중량분포가 등분포로 가정되고 압출추진코와 상부구조의 연결부분 다이아프램을 집중하중 P_d 로 정의된 모델이다. 다이아프램이 고려된 등단면 해석식은 식 (3)과 식 (4)와 같다. 식 (3)은 1단계 압출 중 해석식이고 식(4)는 2단계 압출 중 해석식이다.

$$\frac{M_B^*}{ql^2} = -\frac{\alpha^2}{2} - \frac{q_n}{q} \frac{l_n}{l} \left(\alpha + \frac{1}{2} \frac{l_n}{l}\right) + \frac{P_d}{ql} \quad (3) \quad \frac{M_B^{**}}{ql^2} = \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{2}} \quad (4)$$

4. 해석식의 검증

4.1. 해석예제 및 실제교량의 단면력 궤적

압출추진코와 교량 상부구조 상호작용 해석식의 정확성과 활용성을 검증하기 위해 실제 사례교량의 설계조건을 바탕으로 전산구조해석 프로그램인 MIDAS Civil 2009를 사용하여 비교 분석하였다. 이 연구에서 제안된 유사등단면 해석식과, 다이아프램을 도입한 등단면 해석식, 그리고 기존해석식들(Rosignoli, 2002; 안태욱, 2006)을 비교 분석하였다. 실제 ILM교량 설계자료 중에서 유사등단면으로 가정한 해석식(해석식 1)의 경우는 중량비를 변단면으로 가정하고, 강성비는 A교량에서 G교량까지는 도심평균값을 H교량과 I교량은 산술평균값을 적용하였다. 다이아프램을 고려한 등단면 해석식(해석식 2)은 중량비는 등단면 값을 사용하고, 강성비는 유사등단면 해석식과 마찬가지로 A교량에서 G교량까지는 도심평균값을 H교량과 I교량은 산술평균값을 사용하였다. 그리고, 동일한 방법으로 Rosignoli의 해석식과 비교하였다. 안태욱의 해석식은 중량비, 강성비 모두 표 1의 변단면에 관련된 값들을 사용하였다. 그리고 정확성을 고려하기 위해서 전산구조해석의 경우는 중량비는 변단면의 값을 이용하여 사다리꼴 등분포 상태로 적용시켰으며, 강성비의 경우는 압출추진코의 도면을 고려하여 전체길이를 세분화시켜 강성값을 상세하게 고려하였다.

그림 2(a)와 그림 2(b)를 분석하여 보면 먼저 전산구조해석과 가장 비슷한 값을 나타내는 식은 해석식 1이다. 해석식 2의 경우는 중량을 등단면으로 가정하였기 때문에 1단계 압출의 단면력이 높게 나타났으며, 2단계 압출 초반에는 단면력이 낮게 나타나고, 어느 정도 이상의 압출이 일어나면 단면력이 전산구조해석의 값

보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 안테옥의 해석식의 경우는 압출추진코의 강성을 선형적으로 변화한다고 가정하였기 때문에 다른 해석식의 경우보다 단면력이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 다이어그램이 고려되지 않은 Rosignoli 해석식의 경우는 단면력의 차이가 매우 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 정확성이 매우 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 나머지 C교량부터 I교량까지 모두 비슷한 형상을 나타내는 그래프를 얻을 수 있었다.

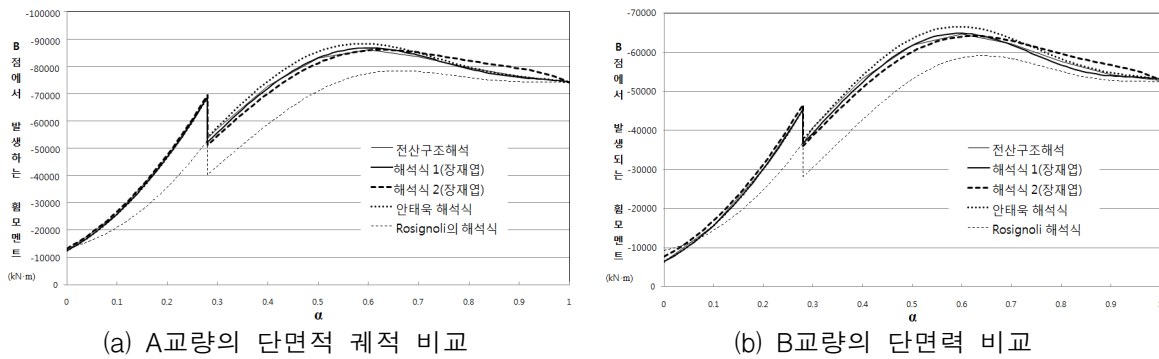


그림 2 단면력 비교

5. 결론

압출추진코의 강성을 실제 단면과 등단면(산술평균값, 도심평균값)을 사용하였을 때 휨모멘트는 2~3% 정도 밖에 영향이 없다. 따라서 압출추진코의 단면 강성을 등단면으로 가정하고 중량은 변단면으로 가정한 유사등단면 해석식을 제안하였다. 압출추진코의 중량을 변단면과 등단면으로 가정하였을 때의 휨모멘트는 1단계 압출에서 3%와 2단계 압출에서 1%정도로 미소하게 나타났다. 그러나 중량의 변화는 최대 단면력의 압출 위치를 변화시킨다. 따라서 중량분포를 변단면으로 가정한 유사등단면 해석식과 아울러 등단면으로 가정한 해석식도 제안하였다. 압출추진코의 단면형상에 따라 유사등단면 해석식의 강성값을 결정하는 기준을 제시하였다. 제안된 2개의 해석식 중 약간의 시간적 소요 감수하더라도 유사등단면으로 가정한 해석식(해석식 1)을 사용하는 것이 안전성 측면에서 보다 신뢰할 수 있는 설계를 할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

- 김광수 (2008) 파형강판 PSC 박스거더 교량의 설계 및 시공중 안전관리, **한국안전학회지**, 23(2), pp. 87~97.
- 안테옥, 이환우, 정두희 (2006) 변단면 압출추진코와 ILM 교량 상부단면의 상호작용 해석, **한국전산구조공학회 논문집**, 19(2), pp.139~150.
- 이환우, 장재엽 (2010) 상부단면과의 상호작용을 고려한 ILM 교량용 압출추진코의 최적화 설계식, **한국전산구조공학회 논문집**, 23(1), pp.53~60.
- Renaud, F., Marc, B., Olivier, B., Pierre, L. (1999) Design of a curved incrementally launched bridge, *journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering*, 9(2), pp.128~132.
- Rosignoli, M. (1998). Nose-Deck interaction in launched Prestressed concrete bridge. *Bridge Engineering*, 3(1), pp.21-27.
- Rosignoli, M. (2002) Bridge launching, Thomas Telford Ltd., London.