

2거더 강합성교를 위한 장지간 바닥판 설계 휨모멘트

Design Bending Moments For Long-Span Slab On a Composite Two-Girder Bridge

윤혜진¹⁾ 조창빈²⁾ 김병석³⁾
Yoon, Hye Jin Joh, Changbin Kim, Byung Suk

ABSTRACT

This study was performed to propose design bending moment formula for long-span slab on a composite two-girder bridge. FEM models representing slab spanning between 4m and 12m were analyzed, and parameters such as girder flexibility and orthotropy of slab were considered. By regression of the parametric analyses results, the moment formula that can predict the design moment with reasonable margin of safety and correctness was developed. The research also showed that the design bending moment from Korean Bridge Design Code overestimated the design moment for the span length under 9m, and underestimated for the span length over 9m.

1. 서론

현행 도로교 설계기준(2003)의 바닥판 설계 휨모멘트 규정은 미국의 Standard Specifications for High Bridges(AASHTO, 2002)의 규정을 채용한 것이다. 바닥판의 최대지간을 4m이하, 재하 차량은 한대 이하, 그리고 바닥판을 거더의 처집이 없이 단순지지된 등방성 판으로 이상화한 Westergaard(1930)의 해가 이 규정의 근거이다.

그러나 장지간 바닥판의 지간은 6m~12m정도이며 교축직각방향으로 재하 가능한 차량의 수도 한대 이상이다. 또한, 바닥판이 장지간화 함에 따라 거더의 휨강성, 바닥판의 이방성 거동이 휨모멘트에 미치는 영향도 현저하게 된다. 따라서, 현행규정을 장지간 바닥판에 적용하는 것은 무리이며, 재하 차량의 수, 거더의 휨강성, 바닥판의 이방성 거동의 영향을 고려하여 설계 휨모멘트를 산정하여야 한다.

이 논문에서는 매개변수해석과 회귀분석을 통해, 재하차량의 수, 거더의 휨강성, 바닥판의 이방성 거동이 고려된 2거더교 장지간 바닥판의 설계 휨모멘트식을 제안하고자 한다.

2. 거더의 휨강성 및 이방성 거동의 영향

거더 휨강성이 바닥판 휨모멘트에 미치는 영향을 찾기 위해 바닥판 휨강성(D_s)에 대한 거더의 휨강성비(H)를 식(1)과 같이 정의하였다(Matsui, 1997). 여기서, E_s 와 E_c 는 강거더와 콘크리트 탄성계수, I_g 는 거더 단면2차 모멘트, L_{br} 은 교량 지간, t 는 바닥판 두께, ν_c 는 콘크리트의 포아송비를 의미한다.

일반적으로 RC나 PSC 바닥판은 초기 콘크리트의 건조수축과 이동 윤풀중의 반복으로 인하여 직

- 1) 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
- 2) 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
- 3) 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

교이방성 판 거동을 보이는데, Huber는 식(2)와 같은 휨강성 식을 이용하여 이러한 판의 이방성 거동을 표현하였다(Timoshenko et. Al. 1959).

$$H = \frac{E_s I_s}{L_b D_s}, \quad D_s = \frac{E_c t^3}{12(1-\nu_c^2)} \quad (1)$$

$$D_m = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} [I_{cm} + (n-1)I_{sm}], \quad D_d = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} [I_{cd} + (n-1)I_{sd}] \quad (2)$$

여기서, D_m 은 교축직각방향 휨강성, D_d 는 교축방향 휨강성을 의미하며, $I_{cm}, I_{cd}, I_{sm}, I_{sd}$ 는 교축직각방향, 교축방향으로의 콘크리트와 철근의 단면 2차모멘트를 의미한다. n 은 강재와 콘크리트의 탄성계수 비를 의미한다. 바닥판의 이방성 거동에 의한 영향을 고려하기 위한 이방성도(A)는 바닥판 교축직각방향의 휨강성에 대한 교축방향의 휨강성비(D_d/D_m)로 정의하였다.

3. 장지간 바닥판의 해석모델과 기본모멘트 및 영향계수

해석에서 변수를 최소화하기 위해, 해석모델의 지간은 강합성 단순교의 일반적인 지간인 40m로 통일하였고, 캔틸레버의 길이도 외국의 2거더교에 대한 분석을 바탕으로 바닥판 지간의 40%로 하였다. 거더 휨강성비(H)는 5에서 25까지 변화하는 것으로 가정하였다. 바닥판의 이방성도(A)는 일반적인 바닥판 설계 예를 참조하여 0.1에서 0.4까지 변화하는 것으로 가정하였다. 바닥판 지간(L)은 4m - 12m로 변화시키면서 해석을 수행하였다(그림 1).

하중은 도로교 설계기준에 따라 DB24 하중을 적용하였다. 최대 정모멘트를 얻기 위해, 교축직각방향으로 바닥판 지간내에 가능한 모든 차선에 DB24 하중을 재하 하였으며 교축방향으로는 각 차선 당 한대를 재하 하였다. 캔틸레버 바닥판의 부모멘트도 최대 값을 얻기 위해 캔틸레버 바닥판에 교축직각방향으로 가능한 모든 차선에 DB24 하중을 재하하였다.

2거더교 해석모델(Simplified FEM Model)은 바닥판은 쉘요소, 거더는 3절점 보요소를 사용하였으며 거더의 비틀림강성을 고려하기 위해 보요소에 비틀림 스프링 요소를 추가하여 모델링하였다. 바닥판의 이방성 거동은 바닥판의 교축방향과 교축직각방향의 탄성계수를 조절하여 모사하였다.

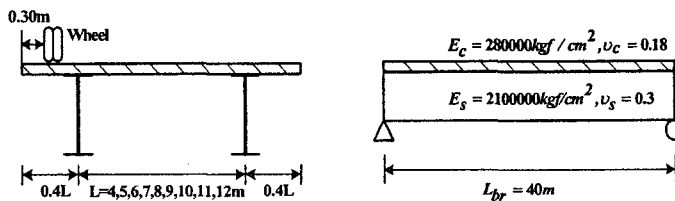


그림 1. 강합성 2거더교의 해석 모델

표 1. 해석모델에 따른 모멘트의 정의

모멘트	정의
기본모멘트 (M_o)	거더의 휨강성 및 비틀림강성, 이방성 거동을 고려하지 않은 기본모델의 모멘트
휨강성모멘트 (M_b)	기본모델에 거더의 휨강성만 고려한 해석모델의 모멘트
이방성모멘트 (M_d)	기본모델에 이방성 거동만 고려된 모델의 모멘트

바닥판 휨모멘트에 영향을 미치는 요인들을 독립적으로 고려하기 위하여, 표 1와 같이 해석조건을

달리하여 세 개의 독립적인 모멘트를 구한다. 이에 따라 거더의 휨강성, 바닥판 이방성 거동의 영향계수는 표 2과 같이 정의할 수 있다.

표 2. 영향계수(k)의 정의

영향계수(k)	정의
거더 휨강성 영향계수(k_b)	$k_b = M_b / M_o$
이방성 거동의 영향계수(k_a)	$k_a = M_a / M_o$

영향계수를 사용하여 교축직각방향 정모멘트(M_m), 교축방향 정모멘트(M_d), 교축직각방향 부모멘트(M_s)는 각각 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, M_{mo} , M_{do} , M_{so} 는 각각 교축직각방향, 교축방향, 캔틸레버 바닥판의 기본모멘트이다.

$$M_m = k_b k_a M_{mo}, \quad M_d = k_b k_a M_{do}, \quad M_s = k_b k_a M_{so} \quad (3)$$

4. 해석결과, 제안식, 그리고 검증

범용 유한요소 프로그램을 이용하여 2거더교 해석모델(Simplified FEM Model)을 바닥판 지간(L), 거더의 휨강성비(H), 이방성도(A)를 매개변수로 하여 해석을 수행하였다.

기본식(Initial Regression)은 기본모델에 대한 매개변수해석의 결과를 선형회귀분석을 통해 도출하고, 제안식(Modified Regression)은 기본식을 기본모델의 해석 결과와 비교하여 안전측으로 평행이동하여 구하였다(표 3 그림 2, 3, 4).

휨강성에 대한 영향계수는 표2의 정의에 따라 기본모멘트와 휨강성모멘트를 비교하여 구하고 이들의 비선형회귀분석을 통하여 표 3와 같이 구하였다. 이방성 거동에 대한 영향계수도 같은 방법으로 구하였다(L_c : 캔틸레버 바닥판 지간).

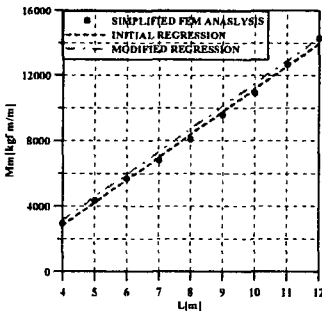


그림 2. 기본모멘트 M_{mo}

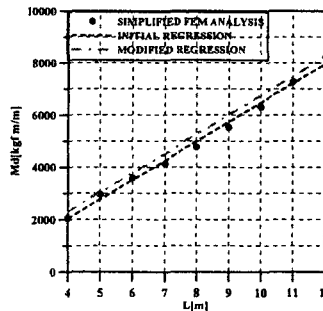


그림 3. 기본모멘트 M_{do}

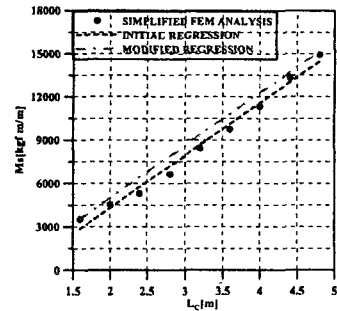


그림 4. 기본모멘트 M_{so}

제안된 장지간 바닥판 설계 휨모멘트식을 검증하기 위하여, 임의의 휨강성비(H), 이방성도(A)를 갖는 바닥판에 대해 이 연구의 제안식을 사용하여 구한 모멘트와 거더를 쉘요소로 모델링한 상세유한요소모델(Detailed FEM Model)에 의한 해석 결과를 비교해보았다. 또한, 제안식의 결과와 현행 도로교 설계기준의 설계 휨모멘트식의 결과를 비교하였다.

2거더교의 대표적인 경우인 휨강성비(H)가 5, 이방성도(A)가 0.2인 경우를 보면(그림 5, 6, 7), 제안식의 결과가 정해라 할 수 있는 상세유한요소모델의 결과를 안전측으로 잘 대표하고 있다.

표 3. 단위폭(1m)당 기본모멘트 및 영향계수(k) 제안식

M	단위폭당 제안식(kgf·m)	k_b ($5 < H < 25$)	k_a ($0.1 < A < 0.4$)
M_m	$M_{m0} = 1395L - 2439$	$k_{mb} = 1$	$k_{ma} = 1 + \frac{0.14}{L} + \frac{0.014}{A} - \frac{0.0007}{A^2}$
M_d	$M_{d0} = 740L - 659$	$k_{db} = 0.98 + \frac{1.29}{H}$	$k_{da} = 0.82 + \frac{0.31}{L} - \frac{0.115}{A} + \frac{0.006}{A^2}$
M_s	$M_{s0} = 3634 L_c - 2000$	$k_{sb} = 0.94 + 0.01 L_c - \frac{0.42}{H}$	$k_{sa} = 0.92 + \frac{0.24}{L_c} + \frac{0.053}{A} - \frac{0.002}{A^2}$

그림 5의 M_m 의 경우 대체로 9m보다 짧은 지간에서는 현행식이 설계 휨모멘트를 과대평가하고 있고 9m보다 긴 경우는 과소평가하고 있다. 이는 현행식으로 장지간 바닥판을 설계할 경우 9m이하에서는 과다설계, 9m이상에서는 과소설계가 될 가능성이 있다는 것을 의미한다. 마찬가지로, 그림 9의 M_s 의 경우, 지간이 길어질수록 현행식으로 설계를 하면 과다설계가 되는 것을 알 수 있다.

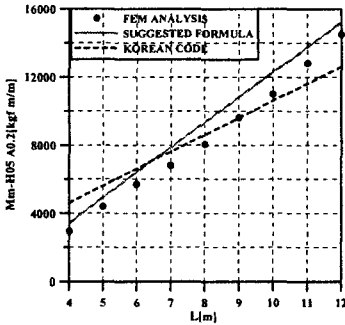


그림 5. M_m

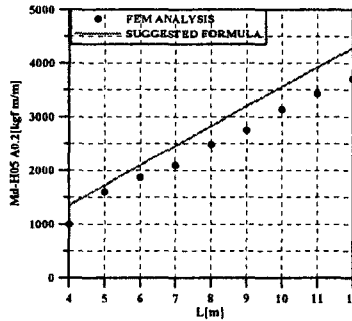


그림 6. M_d

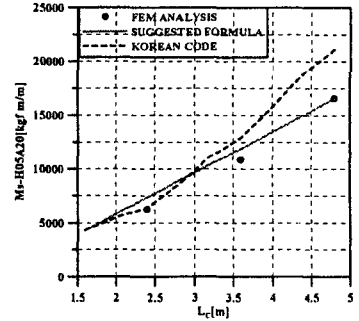


그림 7. M_s

5. 결론

장지간 바닥판의 설계 휨모멘트를 위해서, 현행 도로교 설계기준의 설계 휨모멘트식을 직접 적용하는 것은 적절하지 못하며, 이 연구에서 제안된 간단하면서도 거더의 휨강성과 바닥판의 이방성 거동의 영향을 합리적으로 고려할 수 있는 제안식을 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대한토목학회(2003), “도로교 설계기준·해석”, 대한토목학회
2. AASHTO(2002), “Standard Specifications for High Bridges”, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., USA, 17th Edition.
3. Westergaard, H. M.(1930), “Computations of Stresses in Bridge Slabs due to Wheel Loads”, Public Roads, March, pp1-23.
4. Matsui, S., and Egashira, K.(1997). “Study on Design Bending Moment for Various Concrete Floor Slabs on Highway Bridges” Technology Reports of the Osaka University, Japan, vol. 47, No. 2777.
5. Timoshenko S., and Woinowsky-Krieger S.(1959), “Theory of Plates and shells”, 2nd McGraw-Hill, New York, p366