

합성거더 부모멘트부의 균열거동 평가

Cracking Behavior of Steel-Concrete Composite Girders at Negative Moment Region

윤석구* 설대호** 류형근***
Youn, Seok-Goo Seol, Dae-Ho Ryu, Hyung-Keun

ABSTRACT

Inner support regions of continuous steel and concrete composite bridge decks, transverse crackings are easily developed by tensile forces due to live loads and primary and secondary effects of concrete shrinkage. Since these cracks have an influence on the durability of bridge decks, crack width should be controlled within allowable limit values. Although crack width is a function of steel stress, bar diameter, bar spacing, etc, the current code for the amount of longitudinal reinforcements provides only one value of 2 percent of the concrete area. In order to investigate cracking behaviors of composite girders with the variation of the longitudinal steel ratios, negative flexural tests are conducted on five composite girders and crack width and crack spacing are compared to ACI Code and Eurocode. Based on the test results, it is discussed the suitability of the current code for the longitudinal steel ratio.

1. 서론

연속 합성형교량 부모멘트부 철근콘크리트바닥판은 콘크리트의 건조수축에 의한 일차효과 및 이차효과 그리고 활하중 등에 의해 바닥판 단면내에 발생하는 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하기 때문에 횡방향균열을 피하기 힘들다(배두병, 2004). 횡방향균열은 철근부식을 초래하여 교량구조의 내구성을 손상시키는 요인으로 작용하기 때문에 주변 환경조건을 고려하여 허용균열폭 이내로 제한시키는 사용성 설계를 필요로 한다. 허용균열폭과 관련된 규정은 도로교설계기준 콘크리트교면에만 제시되어 있으며 합성형교량 바닥판에 대한 규정은 마련되어 있지 않다. 현행 규정은 주로 콘크리트구조물에 대한 사항으로 ACI-318 규정(1999)에 근거하고 있으며, 현행 합성 거더 균열제어와 관련된 규정은 부모멘트부 철근비(콘크리트 단면적의 최소 2% 이상)에 대한 사항만 제안되어 있다.

본 연구에서는 종방향 철근량 변화에 따른 합성거더의 균열거동을 비교, 분석하기 위해 5개의 합성거더를 제작하여 부모멘트부 실험을 수행하였다. 실험을 통해 얻은 균열간격, 균열폭 그리고 철근변형률 등을 유로코드 및 ACI 규정과 비교분석하였으며 또한 종방향 철근량에 대한 현행 설계기준의 타당성을 평가하였다.

2. 이론적 연구

* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 조교수, 공학박사 (sgyoun@snut.ac.kr)

** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정

*** 정회원, 서울대학교 지진공학연구센터, 공학박사

2. 이론적 연구

2.1. 현행 국내 합성거더 균열폭 관련 설계규정

현행 도로교설계기준 콘크리트교편에 제시된 균열폭 산정식은 아래 식 (1)과 같으며 ACI 318-99 규정에 토대를 두고 있다.

$$w_{max} = 1.08\beta_c f_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} (\text{mm}) \quad (1)$$

여기서, w_{max} 는 최대 균열폭, β_c 는 단면의 인장축 연단으로부터 중립축까지의 거리에 대한 단면의 주철근 도심으로부터 중립축까지의 거리의 비, f_s 는 사용하중에 의해 계산된 철근의 인장응력, d_c 는 인장축 연단에 가장 가까운 인장철근의 도심으로부터 인장축 연단까지의 거리, 그리고 A 는 콘크리트의 유효인장 단면적을 철근의 수로 나눈 값을 나타낸다.

2.2. 합성거더 균열폭 관련 유로코드 규정

합성거더 콘크리트 단면에 발생하는 균열폭을 조절하기 위한 규정은 유로코드 4(1994)에 제시되어 있으며 균열폭 산정은 유로코드 2(1992)에 아래 식과 같이 제시되어 있다.

$$w_k = \beta S_{rm} \epsilon_{rm} \quad (2)$$

여기서, w_k 는 설계 균열폭, β 는 평균 균열폭에 대한 설계균열폭의 비로 1.7, S_{rm} 은 평균균열간격 그리고 ϵ_{rm} 은 철근과 콘크리트의 평균변형률의 차이를 나타낸다.

$$\epsilon_{rm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left(1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right), \quad \sigma_s = \sigma_{se} + \frac{0.4 f_{ctm} A_{ct}}{\alpha A_s}, \quad \alpha = \frac{AI}{(A_a I_a)} \quad (3)$$

여기서, σ_s 는 균열단면에서 계산된 인장철근의 응력, β_1 는 철근의 부착계수, β_2 는 하중작용계수, 그리고 σ_{sr} 은 균열이 최초로 발생할 경우의 계산된 인장철근의 응력을 나타낸다. σ_{se} 는 인장을 받는 콘크리트 단면을 뺀 균열단면을 토대로 콘크리트 표면에서 가장 가까운 철근의 응력, A_{ct} 는 인장영역 안에 있는 콘크리트 플랜지의 유효 단면적, A_s 는 A_{ct} 내에 있는 종방향 철근의 총 단면적, f_{ctm} 은 콘크리트 평균인장강도, A 와 I 는 총강재의 단면적과 단면2차모멘트, A_a 와 I_a 는 강거더의 단면적과 단면2차모멘트를 나타낸다. 균열간격은 아래 식 (4)와 같이 철근지름 ϕ 와 철근비 ρ_r 의 함수로 표현된다.

$$S_{rm} = 50 + 0.25 k_1 k_2 \frac{\phi}{\rho_r}, \quad k_2 = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2\epsilon_1} \quad (4)$$

여기서, k_1 은 철근의 부착계수, k_2 는 변형률 계수를 나타낸다.

3. 실험적 연구

3.1 실험 부재 및 실험방법

표 1과 그림 2에 나타난 합성거더 4개를 제작하여 그림 1과 같은 방법으로 부모멘트 실험을 수행하였다. 하중재하는 균열하중 M_{cr} 에 해당되는 하중을 기준으로 조금씩 증가시켰으며 각 하중 단계마

다 3회 반복하였다. 반복하중 재하는 균열안정화 단계에 해당되는 휨모멘트 $M_{cr,E}$ 을 넘어 총 400kN 까지 반복재하한 후 파괴시까지 하중을 단조증가시켰다.

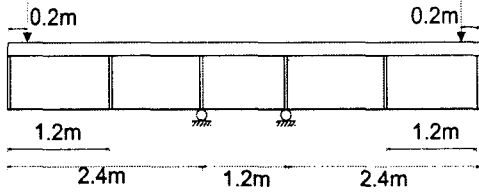


그림 1. 합성거더 하중재하 개략도

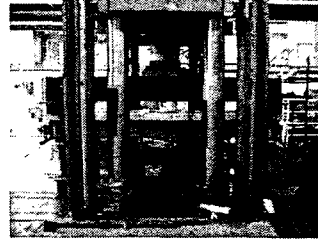


그림 2. 합성거더 부모멘트부 실험중인 사진

표 1. 합성거더 해석 단면 제원 및 재료적 성질

종류	B_c (mm)	t_c (mm)	b_f (mm)	t_f (mm)	h_w (mm)	t_w (mm)	ρ (%)	Φ (rebar)	주장률	f_{28} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	f_y (MPa)	E_c (MPa)	E_s (MPa)
a1	1000	140	200	16	500	8	1.14	13	0.0035	30.24	2.93	400	28332	2×10^5
a2	1000	140	220	12	500	8	1.72	16	0.00431					
a3	1000	140	240	10	500	8	2.43	19	0.00512					
a4	1000	140	220	12	520	8	1.33	13	0.00408	26	2.65	400	26821	2×10^5
a5	1000	140	180	10	520	8	1.72	16	0.0043					

3.2 실험결과 및 분석

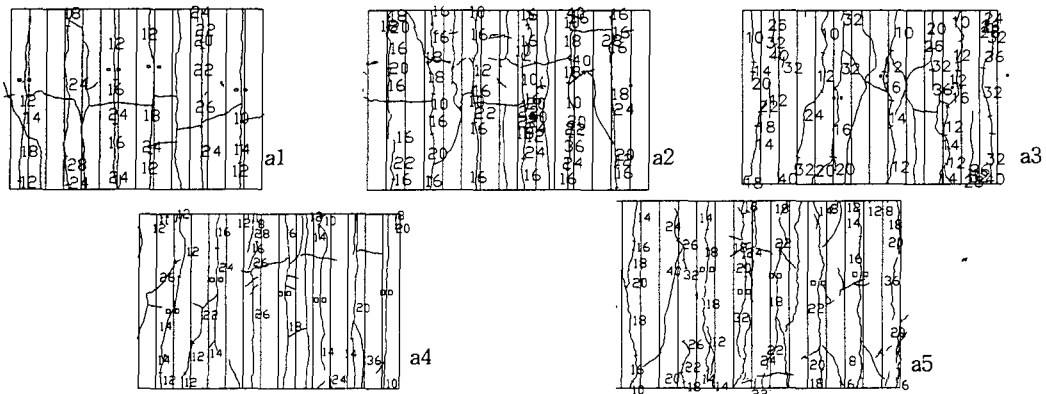


그림 3. 균열도

실험체 부모멘트부의 균열 형상과 균열 진행 상태를 그림 3에 나타내었고, 각각의 시험체에 대하여 부모멘트부 인장 철근에 발생하는 응력이 200MPa일 때 코드별 균열폭 및 균열 간격을 표 2에 표시하였다.

그림 4에 균열폭 측정값과 ACI 및 유로코드에 의한 균열폭 산정값을 비교하여 도시하였다. 시험체 a4에서 균열폭에 대한 1개의 측정치만이 초기 하중 재하단계 일부에서 유로코드에 의한 값보다 크게 나타났을뿐 그 외 모든 시험체에서 측정된 균열폭은 유로코드에 의해 산정된 값보다는 작게 나타났으며, ACI에 의한 값보다는 대체로 크게 나타났음을 확인 할 수 있었다. 또한 균열폭은 같은 하중 단계에서 비교했을 때 종방향 철근비가 낮을 수록 균열폭이 크게 나타나는 경향이 있음을 알 수 있다.

그림 5는 a4 부재의 1개의 종방향 철근에 대하여 중앙에서 10cm 간격으로 steel 게이지를 부착하여

얻은 결과이다. 균열발생 위치에서 측정위치까지 거리에 따라 철근 변형률이 다음을 확인할 수 있다.

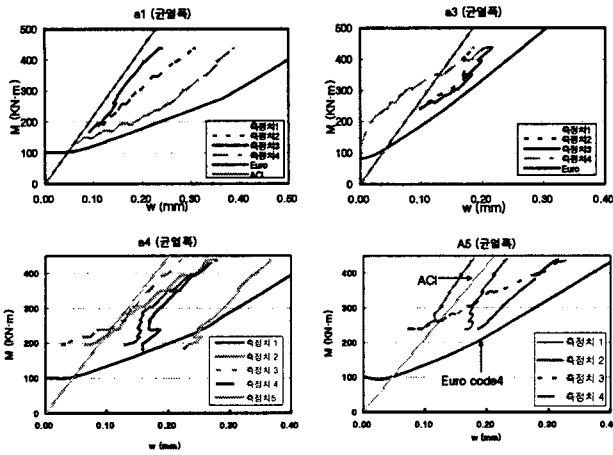


그림4. 측정치와 규정별 분석치의 균열폭 비교

표 2. 합성단면의 균열폭 및 균열간격

종류	규정	균열간격	균열폭
a1	CEB-FIP(90)	228.31 mm	0.121 mm
	Euro Code	232.00 mm	0.348 mm
	ACI(99)	-	0.180 mm
a2	CEB-FIP(90)	258.39 mm	0.137 mm
	Euro Code	195.72 mm	0.303 mm
	ACI(99)	-	0.182 mm
a3	CEB-FIP(90)	219.19 mm	0.140 mm
	Euro Code	169.84 mm	0.270 mm
	ACI(99)	-	0.183 mm
a4	CEB-FIP(90)	249.59 mm	0.124 mm
	Euro Code	205.79 mm	0.407 mm
	ACI(99)	-	0.180 mm
a5	CEB-FIP(90)	299.71 mm	0.159 mm
	Euro Code	195.41 mm	0.356 mm
	ACI(99)	-	0.182 mm

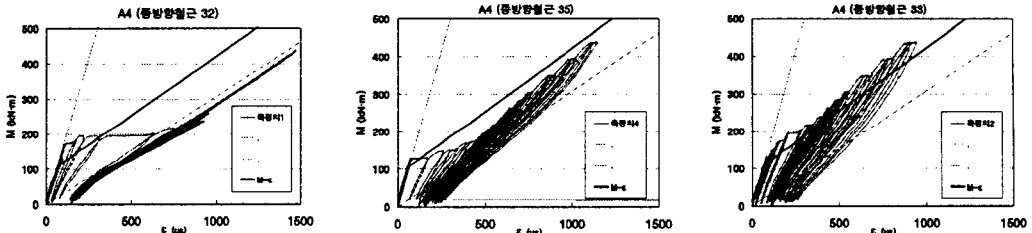


그림 5. a4부재의 10cm 간격 중방향 철근 변형률

4. 결론

1. 연속합성보에 대한 실험결과 횡방향 균열폭은 ACI 318 규정보다는 Eurocode 4의 규정에 따른 예상치에 근접한 결과를 나타내었다. 따라서 연속합성보의 균열폭 산정시 ACI 318 규정을 적용하는 경우 실제 균열폭을 과소평가할 위험성이 크다고 판단된다.
2. 균열폭은 철근배근상세 뿐만 아니라 외부 작용하중의 크기 변화에 따라 영향을 받기 때문에, 균열폭 제어를 위한 중방향 철근 배근량은 현행 도로교설계기준에 제시된 고정적인 철근비 규정(콘크리트 단면적의 최소 2%이상)보다는 부모멘트부에 발생하는 휨모멘트를 토대로 허용균열폭을 만족시키는 범위 내에서 철근 배근량을 산정하는 방법이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 교량설계핵심기술연구단의 지원에 의한 것으로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Hanswille (1996), "Cracking of Concrete Mechanical Models of the Design Rules in Eurocode 4", Composite Construction in Steel and Concrete III, pp. 420-433.