

강섬유를 혼입한 2경간 연속보의 거동에 관한 해석적 연구

The Analytical Study on Behavior of two-spans beam with Steel Fiber

곽 계 환*
Kwak, Kae-Hwan

고 성 재**
ko, Seong-jae

ABSTRACT

Recently, adapt cases of concrete structure are increasing according to structural largeness and variety. We energetically continue to study empirical research about Steel Fiber but analytic research of Two-spans Beam With Steel Fiber to model real structure is just beginning stage. This study will suggest analytic algorithm of Two-spans Beam With Steel Fiber by comparing and analyzing deflection and strain of Two-spans Beam With Steel Fiber after we develop Nonlinear Analysis Program considering edge stress analysis.

1. 서 론

최근에 구조물의 대형화와 다양화가 이루어지면서 콘크리트 구조물의 적용사례가 증가하였다. 각종 혼화제 사용에 따른 내부 구조가 밀실해져 콘크리트 강도는 증가하였으나, 콘크리트의 취약점인 취성파괴현상이 발생하여 낮은 균열성장 저항성을 갖는 강섬유 보강콘크리트에 대한 연구가 지속되고 있다. 강섬유에 대한 실험적인 연구는 활발히 지속되고 있으나 실제구조물을 모델링하는 2경간 연속보에 대한 해석적 연구는 아직 초기단계에 있다.

본 연구에서는 단조증가하중을 받는 강섬유를 혼입한 2경간 연속보의 역학적 거동특성을 규명하기 위하여 단부응력해석이 고려된 비선형 해석 프로그램을 개발하였으며, 적용된 재료 비선형 모델은 콘크리트인 경우 인장변형경화가 고려된 인장응력-변형률선도, 철근에 대해서는 bilinear 모델을 적용하였고, 강섬유를 혼입한 2경간 연속보의 처짐 및 변형률을 비교 분석 함으로서 강섬유를 혼입한 2경간 연속보의 해석적 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 적용된 재료모델

2.1 콘크리트

본 연구에서 적용된 SFRC의 인장 및 압축응력-변형률선도는 이차돈외 2인 "강섬유보강 콘크리트의 응력-변형률 모델 개발과 System Identification의 적용" 1993년 한국과학재단 보고서에서 제안한 식을 사용하였다. SFRC의 인장 및 압축응력-변형률선도는 Fig. 2.1.1 및 2.1.2와 같다. 콘크리트의 인장응력-변형률 관계는 일반적으로 균열발생전까지는 선형증가하나 균열이 발생한 후에는 지수형태의 응력-변형률 관계를 보였다.

* 정회원 · 원광대학교 토목환경공학과 교수

** 학생회원 원광대학교 토목환경공학과 석사과정

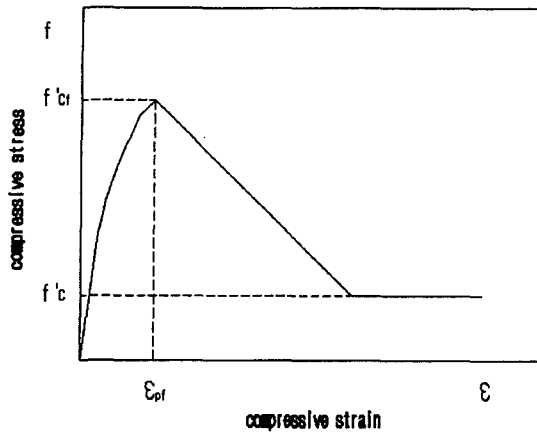


Fig.2.1.1 SFRC의 압축응력-변형률 선도

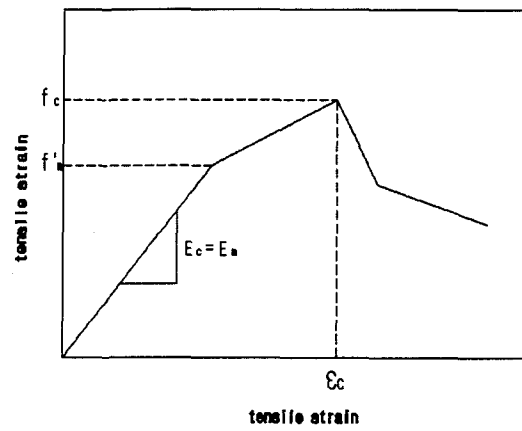


Fig.2.1.2 SFRC의 인장응력-변형률 선도

2.1.1 SFRC의 압축응력-변형도 모델

Fig.2.1.1은 앞서 Scott et.al 에 의해 무근콘크리트를 위해 사용된 모델을 수정한 것으로 curvilinear의 상승부분과 bilinear의 하강부분으로 구성되어있다.

$$f = -f'_{cf} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}} \right)^2 + 2f'_{cf} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}} \right)$$

여기서 f_{cf} =SFRC의 압축강도

ϵ_{pf} =강도시 변형률

$$f = Z(\epsilon - \epsilon_{pf}) + f'_{cf}$$

2.1.2 SFRC의 인장응력-변형도 모델

Fig.2.1.2의 강도전(상승)부분은 실험식에 근거한 것이며 강도후(하강)부분은 모체 콘크리트의 연화현상을 고려하여 modeling 되었다.

강도전(상승)부분

$$\epsilon_c = \epsilon_m (1 + 0.35 N_1 d_f l_f)$$

강도후(하강)부분

$$f_m = f'_m - 0.6 \frac{f'_m}{s_{cr}} s = 0.4 f'_m \frac{s_{co} - s}{s_{co} - s_{cr}}$$

여기서 ϵ_c = SFRC 인장강도시 변형도 ϵ_m = 모체 콘크리트 인장강도시의 변형도

f_m = 인장응력 f'_m = 모체 인장 강도 S = 균열크기

S_{cr} = f_m 이 $0.4f'_m$ 이 될 때의 균열크기 S_{co} = f_m 이 소멸될때의 균열크기

2.2 철근

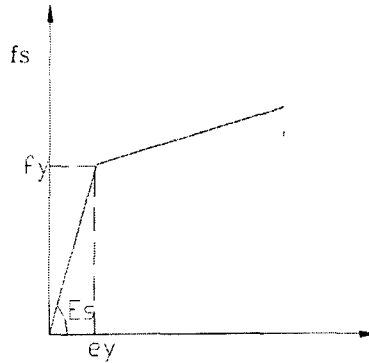


Fig. 2.2 철근의 응력-변형률곡선의 2차모델

콘크리트 속의 철근의 평균응력과 평균변형률의 관계는 철근만의 응력과 변형도와의 관계와 다르며, 변형도의 증가에 따라서 항복응력 이후에 응력이 증가하는 변형률 경화영역이 바로 나타난다. 따라서 철근의 응력-변형도 관계는 변형률 경화현상을 고려한 모델을 사용하였다. 철근의 응력과 변형률의 관계는 Fig. 2.3 과 같으며 수식으로 표현하면 아래식과 같다.

$$f_s = f_y + E_u(\epsilon_s - \epsilon_y) .$$

위의 그림에서 후기 탄성계수는 콘크리트속에 있는 철근의 변형률 경화율, f_s 와 f_y 는 평균응력 및 평균 항복응력, 그리고 ϵ_s 와 ϵ_y 는 평균변형률 및 평균항복변형률이다. E_u 는 연구자들마다 다르나, Hu[1991] 는 철근콘크리트 판 및 셸해석시 $E_u=0.01E_s$ 로 가정하였고, Owen[1980] 등은 $E_u= 0.1E_s$ 로 가정하였다. 본 연구에서는 E_u 를 $0.01E_s$ 으로 가정 하였다.

3. 실험계획 및 결과

본 연구에서는 강섬유를 혼입한 2경간 연속보의 거동특성을 파악하기 위하여 적절한 워커빌리티를 갖는 배합설계를 실시한 후 시편을 설계, 제작하였으며 기본물성실험 및 정적실험을 실시하였다.

3.1 배합설계

콘크리트 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	Slump (cm)	물/시멘트 비 (%)	잔골재율 (%)	강섬유 혼입율 V_f (%)	Unit volume (kg/cm ³)				
						W	C	S	G	SP (%)
강섬유 보강 0% (RCI-1)	25	10±2	36	45.7	0	156.24	433	711.24	951.83	0.2
강섬유 보강 0.75% (SFRC 1-1)	25	10±2	36	45.7	0.75	156.24	433	711.24	951.83	0.4
강섬유 보강 1.0% (SFRC 2-1)	25	10±2	36	45.7	1.0	156.24	433	711.24	951.83	0.4
강섬유 보강 1.25% (SRFC 3-1)	25	10±2	36	42.5	1.25	169.93	433	703.65	946.15	0.6

표 1 강섬유를 보강한 콘크리트의 배합표

3.2 시편제작

본 연구에서 제작된 시편은 시방기준 및 강도설계법에 의한 시편설계를 실시하였다. 휨인장파괴를 유도하기 위해 전단보강을 100% 원칙으로 22×30cm의 보에 각 혼입율 별로 제작하였으며 시편의 제원과 형상은 아래 표 2와 Fig. 3.1과 같다.

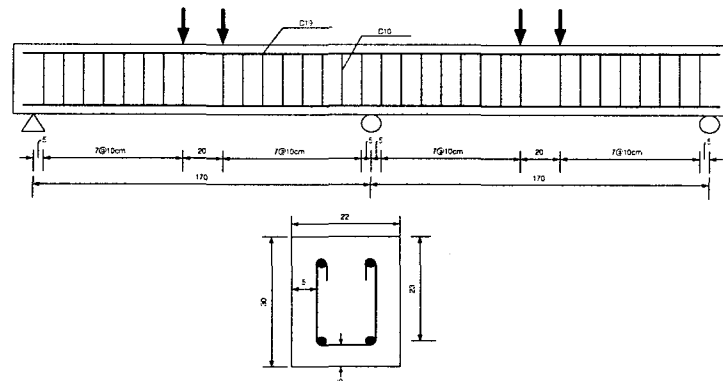


Fig. 3.1 시편의 단면형상

3.3 정적실험

정적실험은 강섬유를 보강한 2경간 연속보의 거동특성을 분석하기 위해 실험변수로 강섬유 혼입율의 변화를 선택하였으며 극한하중, 하중에 따른 균열성장과정, 변형율의 변화, 경간중앙 및 부모멘트부의 변위를 관찰하였다.

시편명	압축강도 f_{ck} (kgf/cm ²)	강섬유 혼입율 V_f (%)	부모멘트 초기균열 (tf)	정모멘트 초기균열 (tf)	항복하중 (tf)	극한하중 (tf)
RC 1-1	294	0	10.0	6.2	34.0	42.0
SFRC 1-1	395	0.75	21.0	4.1	39.0	51.0
SFRC 2-1	344	1.00	16.0	6.4	41.0	51.0
SFRC 3-1	385	1.25	12.0	10.1	44.0	50.0

표 2 정적실험결과

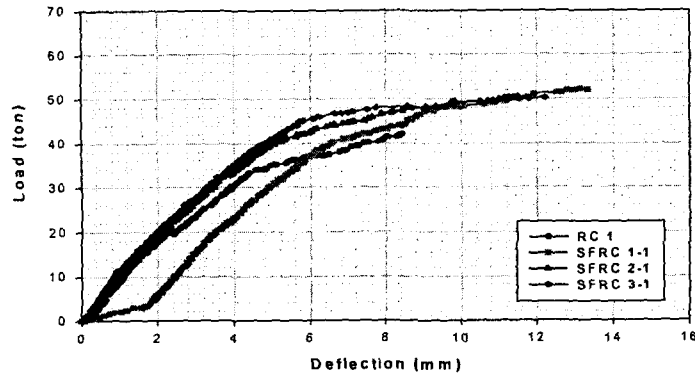
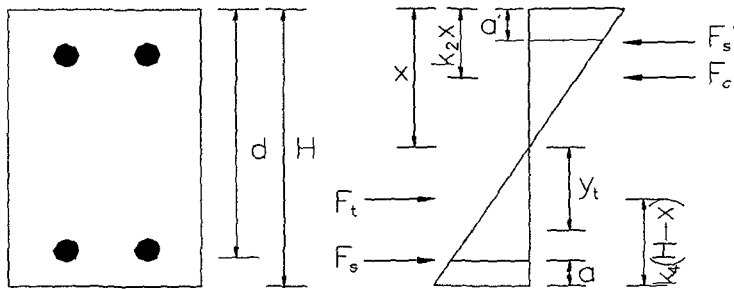


Fig.3.2 하중-중앙처짐 관계

4. 해석 계획

4.1 평형방정식 구성



$$F_c + F_s' = F_t + F_s$$

$$F_c = k_1 f_{ck} b x$$

$$F_s = f_s A_s$$

$$F_t = k_3 f_t b y_t$$

$$F_s' = f_s' A_s'$$

$$K_1 = \frac{1}{f_{ck}^\epsilon} \int_0^\epsilon f_a d\epsilon$$

$$K_2 = 1 - \frac{1}{\epsilon} \frac{\int_0^\epsilon f_a \epsilon d\epsilon}{\int_0^\epsilon f_a d\epsilon}$$

$$K_3 = \frac{1}{f_{cr}^\epsilon} \int_0^\epsilon f_t d\epsilon$$

$$K_4 = 1 - \frac{1}{\epsilon} \frac{\int_0^\epsilon f_t \epsilon d\epsilon}{\int_0^\epsilon f_t d\epsilon}$$

$$M_s + M_s' + M_t = M$$

$$M_s = f_s (d - k_2 x)$$

$$M_s' = f_s' (d - a')$$

$$M_t = k_3 f_t b y_t (H - k_4 (d - x) - k_2 x)$$

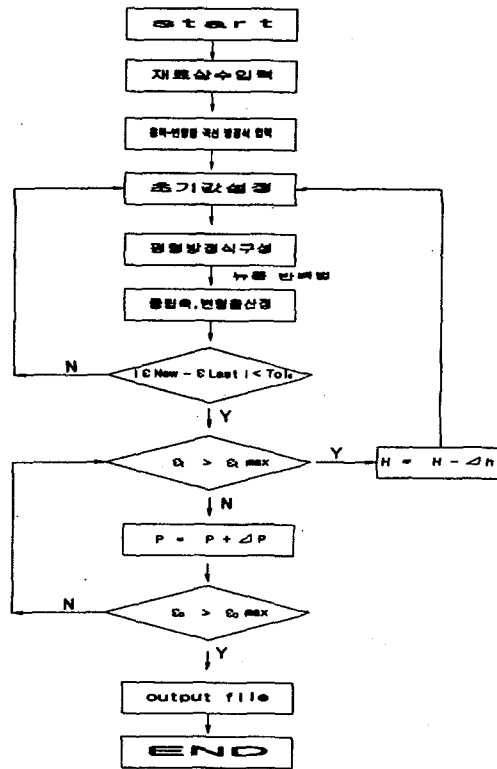
4.2 변형률 적합조건

변형전의 단면이 평면이면 변형후인 단면도 평면이라는 가정하에 아래와 같은 변형률 적합조건이 성립된다.

$$\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_s}{(d-x)} = \frac{\epsilon_s'}{a'} = \frac{\epsilon_t}{y_t}$$

위의 힘의 평형조건과 변형률 적합조건을 적용하여 Newton-Raphson 반복법에 의하여 중립축과 각 매트릭스의 변형률을 산정할 수 있으며 변형률로부터 고려되는 절점의 처짐과 응력-변형률을 산정할 수 있다.

4.3 System 흐름도



참고문헌

1. 이차돈외 2인. "강섬유보강 콘크리트의 응력-변형률 모델 개발과 System Identification의 적용". 1993년 한국과학재단 보고서
2. 광계환, "강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트보의 거동 및 보수에 관한 연구", 1998년 건설 기술연구 개발 논문집.
3. 심중성의 1인 "강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트보에 대한 해석적 연구" 콘크리트 학회지 제9권 6호