

강섬유 혼입 2경간 연속보에 관한 실험과 해석의 비교

The comparative Study of experiment and analysis about two-spans beam with Steel Fiber

곽 계 환*
Kwak, Kae-Hwan

고 성 재**
ko, Seong-jae

이 재 영***
Lee, Jae-Young

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

철근콘크리트 부재가 비선형 거동을 하는 중요한 이유는 콘크리트의 균열과 철근 및 콘크리트의 재료적 비선형 특성에 기인된 것으로서 유한요소 해석시 재료적 비선형성을 정확하게 모델화 하지 못할 경우 해석 결과에 미치는 영향은 매우 클 것으로 판단된다. 정확한 해석을 위해서는 재료 특성에 관한 모델개발 및 실험적 증명이 수반되어야 하며, 유한요소법을 이용한 해석시 검증되어야 한다. 따라서 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 이차돈의 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

*** 호원대학교 교수

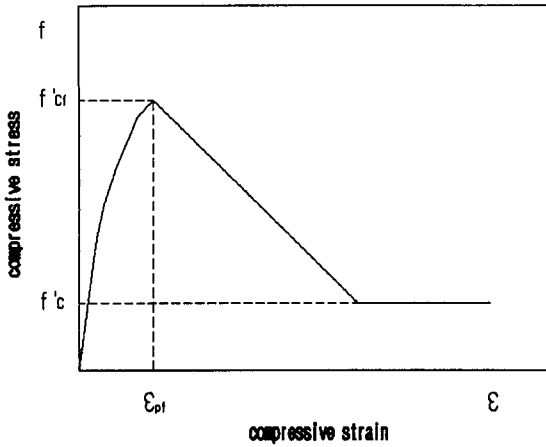


Fig.2.1.1 SFRC의 압축응력-변형률 선도

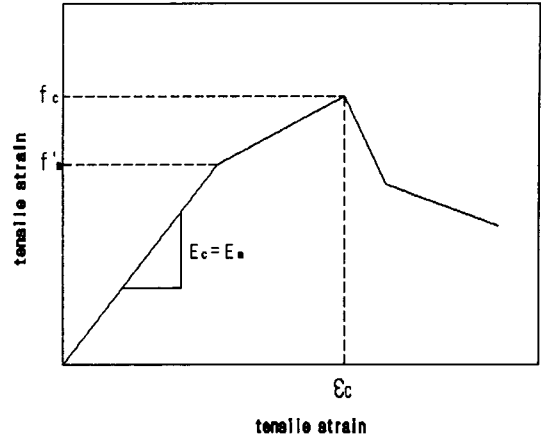


Fig.2.1.2 SFRC의 인장응력-변형률 선도

2.1.1 SFRC의 압축응력-변형률 모델

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

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

여기서 f_{cf} =SFRC의 압축강도

ϵ_{pf} =강도시 변형률

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

2.1.2 SFRC의 인장응력-변형률 모델

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

강도전(상승)부분

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

강도후(하강)부분

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

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

f_m =인장응력 f'_m =모체 인장 강도 S=균열크기

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

2.2 철근

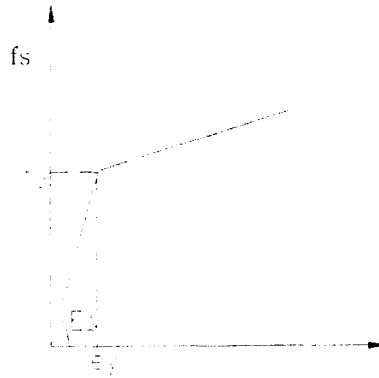


Fig. 2.2 철근의 응력-변형률곡선의 2차모델

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

$$f_s = f_y + E_u (\varepsilon_s - \varepsilon_y) .$$

위의 그림에서 후기 탄성계수는 콘크리트속에 있는 철근의 변형률 경화율, f_s 와 f_y 는 평균응력 및 평균항복응력, 그리고 ε_s 와 ε_y 는 평균변형률 및 평균항복변형률이다. E_u 는 연구자들마다 다르나, Hu[1991]는 철근콘크리트 판 및 셀해석시 $E_u=0.01E_s$ 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 적절한 워커빌리티를 갖는 배합설계를 실시한 후 시편을 설계, 제작하였으며 기본물성시험 및 정적실험을 실시하였다. 실험 결과 강섬유 혼입율이 1.0%와 1.25%의 시편은 0.75% 함유된 시편에 비하여 극한하중이나 철근의 항복하중이 크게 증가되지는 않았으며 원활한 작업성이나 강도의 증진은 강섬유 0.75%의 함유율이 적절한 것으로 사료되어 SFRC1-4에 대한 실험값과 해석값을 비교하고자 한다.

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% (RC1-1)	25	10±2	36	45.7	0	156.24	433	711.24	951.83	0.2
강섬유 보강 0.75% (SFRC 1-4)	25	10±2	36	45.7	0.75	156.24	433	711.24	951.83	0.4
강섬유 보강 1.0% (SFRC 2-3)	25	10±2	36	45.7	1.0	156.24	433	711.24	951.83	0.4
강섬유 보강 1.25% (SFRC 3-6)	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 혼입물 별로 제작하였으며 시편의 제원과 형상은 아래 표 2와 Fig. 3.1과 같다.

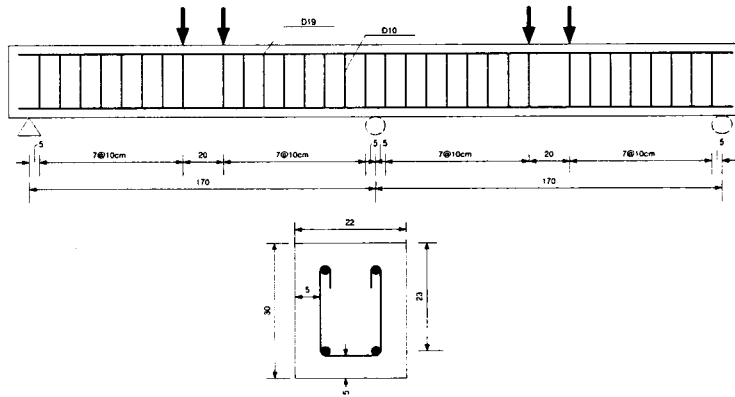


Fig. 3.1 시편의 단면형상

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	32.0	42.0
SFRC 1-4	395	0.75	21.0	4.1	36.0	52.0
SFRC 2-3	344	1.00	16.0	6.4	38.0	51.0
SFRC 3-6	385	1.25	12.0	10.1	38.0	50.0

표 2 정적실험결과

4. 해석 계획

4.1 모델링

본 연구에서 해석적 연구를 진행하기 위하여 사용한 모델링은 Fig4.1과 같다.

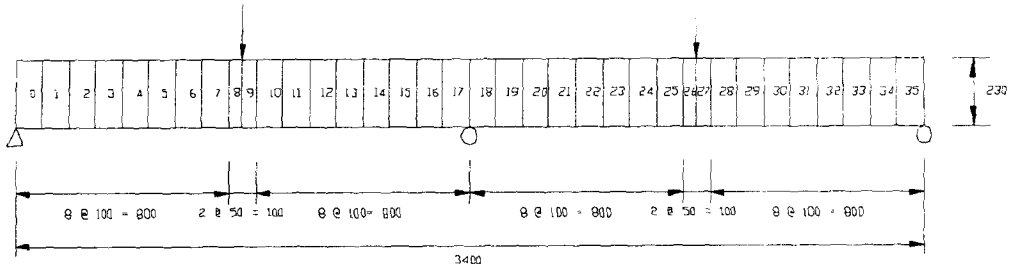


Fig. 4.1 시편의 모델링

4.2 해석알고리즘

강섬유 보강 철근콘크리트보의 역학적 거동을 해석하기 위한 해석적 알고리즘은 아래와 같다.

초기값 설정 → 변형율 → 탄성계수 → 중립축 → 강성 → 2차초기값 설정

4.3.1 변형율의 산정

본 연구에서 변형율은 정의에 의하여 식 4-1와같이 산정하였다

$$\varepsilon = -y \frac{d^2 u}{dx^2} = -y \frac{d\theta}{dx} = -y \frac{(\theta_i - \theta_j)}{l} \quad (4-1)$$

4.3.2 탄성계수의 산정

변형율이 산정되면 탄성계수는 응력-변형율 곡선으로부터 할선법에 의해 산정하였다.

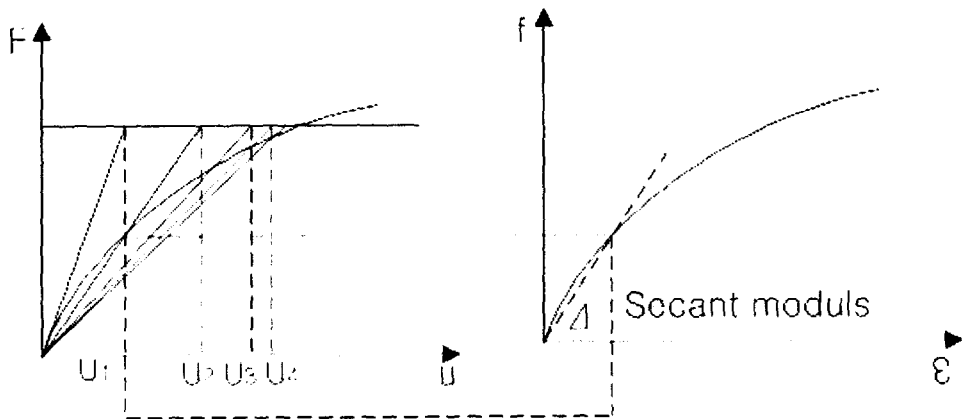


Fig. 4.2 탄성계수의 산정

4.3.3 중립축의 산정

중립축은 중립축 상하단의 단면1차모멘트는 같다는 조건하에서 식 4-2를 산정하였다.

$$G_L = G_U \quad (4-2)$$

$$G_U = \sum_1^n N_{U_i} b \delta_i h_{U_i} + A_s (d-x) \quad (4-2-1)$$

$$G_L = \sum_1^n N_{L_i} b \delta_i h_{L_i} \quad (4-2-3)$$

여기서

$$N_{U_i} = \frac{E_{ci}}{E_{si}} \quad (4-2-4)$$

$$N_{L_i} = \frac{E_{ci}}{E_{si}} \quad (4-2-5)$$

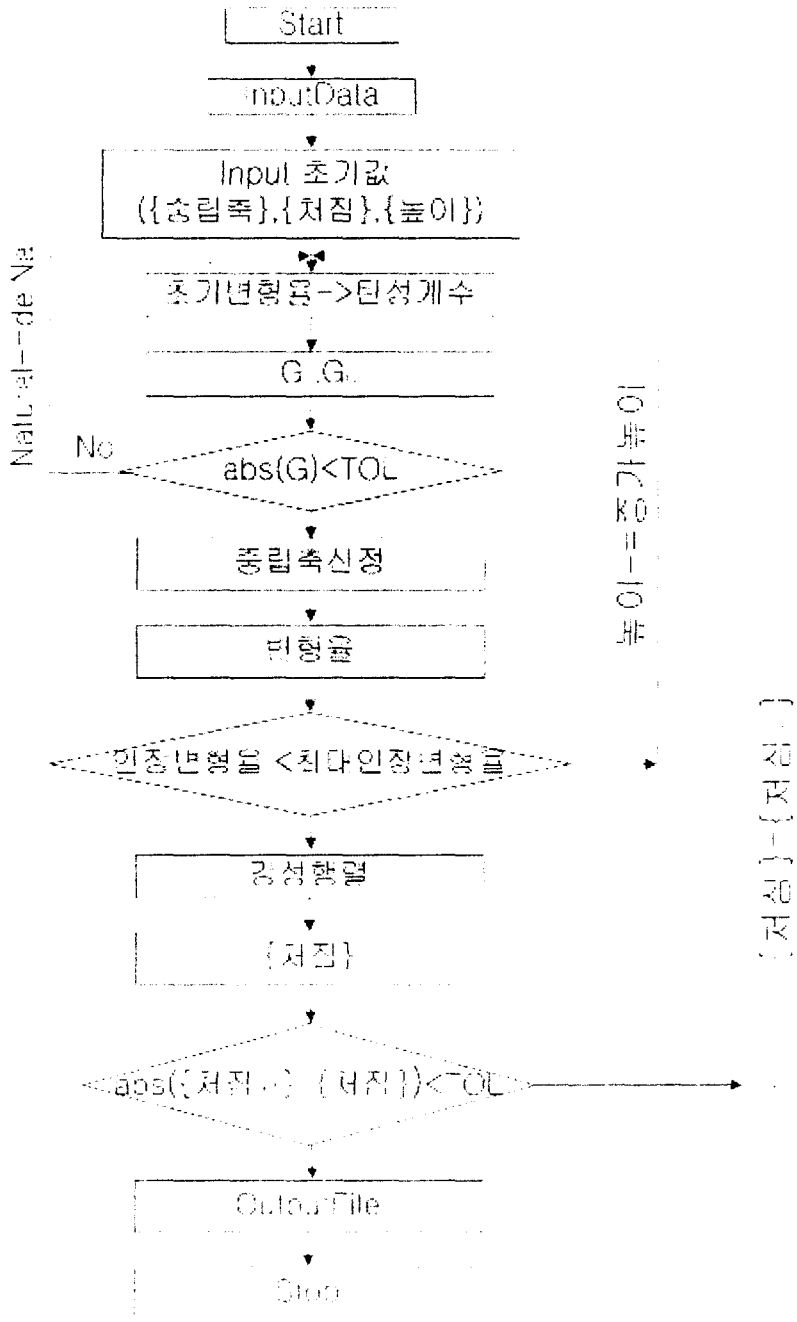
4.3.4 강성의 산정

강성은 각 단면의 레이어의 합을 구함으로서 산정 하였으며 식 4-3과 같다.

$$I = \sum_1^n b \Delta h_L H_{L_i} + b \Delta h_U H_{U_i} + A_s (d-x)^2 \quad (4-3)$$

$$EI = \sum_1^n E_i I_i + E_s I_s + E_{sh} I_{sh} \quad (4-4)$$

4.3.5 해석 흐름도



5. 실험 및 해석결과

본 연구에서 실시한 강섬유 혼입율 0.75%인 시편 SFRC1-4에 대한 실험값 및 해석값을 비교해본 결과 Fig.5.1에서와 같이 근접하게 모델링 된 것으로 사료된다.

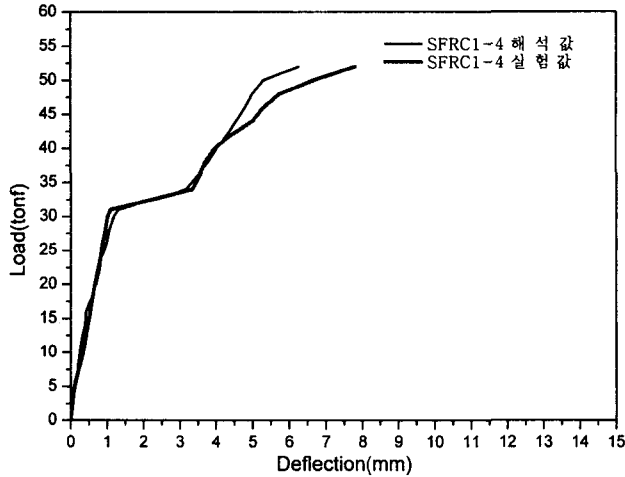


Fig. 5.1 하중-처짐곡선

6. 결론

본 연구에서 실험한 결과 강섬유 혼입율이 1.0%와 1.25%의 시편은 0.75% 함유된 시편에 비하여 극한하중이나 철근의 항복하중이 크게 증가되지는 않았으며 원활한 작업성이나 강도의 증진은 강섬유 0.75%의 함유율이 적절하고 경제적인 것으로 판단되었고, 개발한 프로그램은 균열발생과 균열진전을 근접하게 모델링 되었으며, 실험결과와 비교한 결과 대체로 실험결과를 잘 예측하는 것으로 나타나 응용된 모델의 타당성을 검증하였으며, 해석값과 실험값의 하중-처짐곡선으로부터 개발한 프로그램이 강섬유 0.75%의 실험체에 대해 근사하게 모델링 할수 있었다.

참고문헌

1. 이차돈외 2인. “강섬유보강 콘크리트의 응력-변형률 모델 개발과 System Identification의 적용”. 1993년 한국과학기술연구원 보고서
2. 광계환, “강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트보의 거동 및 보수에 관한 연구”, 1998년 건설 기술연구개발 논문집.
3. 심중성외 1인 “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트보에 대한 해석적 연구” 콘크리트 학회지 제9권 6호
4. 박제선의 4인 “인장강성 모델을 고려한 철근콘크리트 부재의 비선형 해석”