

탄소섬유시트로 보강된 RC보의 해석 및 설계 프로그램 개발

Analysis and Design Programming of RC Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets

김성도¹ · 김성수²

Seong-Do Kim · Sung-Soo Kim

Abstract

In this study, analysis and design programs of bending of RC beams strengthened with fiber sheets are developed by using Visual Basic Language. The program consists two groups, ultimate strength method and nonlinear flexural analysis method. Ultimate strength method regards concrete compressive stress as a rectangular stress block and do not consider tensile stress of concrete and load-deflection curves. On the other hand, nonlinear flexural analysis considers tensile stress of concrete, load-deflection curves, state of stress distribution and failure strain of strengthening material. Also, the analysis method used in this study regards nonlinear flexural stress as compressive stress of concrete. This program can be a good tool for determining the bending strength of strengthened RC beams and estimating the amount of fiber sheets for practical use.

Keywords : Fiber sheets(섬유시트), Strengthened beams(보강보), Flexural behavior(휨거동), Ultimate strength method(강도설계법), Nonlinear flexural analysis(비선형 휨해석방법), Analysis and design program(해석 및 설계 프로그램)

1. 서론

철근 콘크리트는 교량, 도로, 터널, 항만, 댐 등 토목 구조물 및 건축 구조물 건설에 매우 광범위하게 적용되고 있으며 인간이 영위하는 주거 및 기반시설 구축에 큰 영향을 주고있다. 그러나 철근 콘크리트 구조물은 건설당시의 시공적 요인, 시간의 경과에 따른 노후화, 사회적 환경의 변화, 부적절한 유지 관리 등으로 인하여 구조내력이 저하될 수 있으며, 이는 공용 중에 있는 구조물의 안전성에 많은 문제점을 일으키기도 한다. 여러 가지 원인들에 의해 내하력이 부족하게 된 구조물은 조속하게 보수, 보강되어야 하며, 이에 따라 내력 증진이 요구되는 철근 콘크리트 구조물들을 효과적으로 보강하는 방법들이 최근 많이 개발되고 있다. 그 중 섬유시트를 부착하는 보강공법이 시공의 간편성이나 역학적 및 내구성에 대해 많은 장점을 가지고 있는 것으로 인정받고 있다.

본 연구는 섬유시트로 보강한 철근 콘크리트보(이하 “보강보”)의 파괴형태, 응력분포, 보강재의 파단변형률, 콘크리트 인장성능 등을 고려한 보강보 휨해석(비선형해석)기법을 이용하여[1] 보강보의 해석 및 설계 프로그램을 개발하였다. 또한 강도설계법을 이용한 보강보의 휨 해석 및 설계 프로그램도 포함하여 비선형 해석과 강도설계법에 의한 데이터를 비교할 수 있도록 함으로서 현장 실무 기술자가 현장 조건을 고려하여 보강보의 설계 및 해석을 쉽고 편리하게 적용할 수 있도록 하였다. 개발된 보강보 휨 거동 해석 및 설계 프로그램은 복잡한 식으로 구성된 공칭 휨 모멘트 산정식 및 보강 설계 섬유시트량 산출 식을 바탕으로 그리고 섬유시트 및 휨 재료 등에 대한 물성자료들을 토대로 PC 환경에 적합하도록 Visual Basic Language[2,3]에 의해 완성하였다. 이는 각종 섬유에 대한 자료를 효율적으로 관리하여 보강 휨 부재의 설계 및 해석에 대해 정당한 결과를 제공해주며, 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 구성되어 있다.

1 정희원, 경성대학교 건설환경공학부 교수

2 경성대학교 대학원 토목공학과

2. 보강보 휨 해석

2.1 강도설계법

강도설계법에 의해 보강보(직사각형 단면 : $b \times h$)의 공칭 휨모멘트(M_n)를 산정할 때 적용한 변형률 분포도와 응력 분포도는 다음과 같다(Fig. 1).

탄소섬유시트 변형률(ϵ_f)을 변형률 적합조건을 이용하여 ϵ_{cu} (=0.003)에 관하여 나타내면, 다음과 같다.

$$\epsilon_f = \left(\frac{h-c}{c} \right) \epsilon_{cu} \quad (1)$$

여기서, h 는 단면의 높이, c 는 단면의 상단으로부터의 중립축 거리를 의미한다.

단면 내 압축력과 인장력에 대해 힘의 평형조건식을 적용하여 중립축거리 c 에 대해 정리하면, 다음과 같다.

$$0.85\beta_1 f_{ck} b c^2 + (A_f E_f \epsilon_{cu} - A_s f_y) c - A_f E_f \epsilon_{cu} h = 0 \quad (2)$$

식 (2)로 중립축 위치 c 를 구할수 있다면 강도설계법에 의한 보강보의 M_n 은 다음과 같이 산정된다.

$$M_n = T_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + T_f \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (3)$$

여기서 β_1 은 콘크리트 압축응력블록에 대한 파라미터이며, T_s (= $A_s f_y$), T_f (= $A_f E_f \epsilon_f$)는 각각 인장철근 및 탄소섬유시트의 인장력이다.

2.2 비선형 해석법

보강보의 휨거동을 살펴보면 섬유시트는 재료 물성시험에 의한 순수 인장 파단변형률에 도달하기 전에 대부분 파괴하거나 모체로부터 탈락하는 경향을 보이는 것이 일반적이다[4,5]. 이는 섬유시트의 순수인장 파단변형률을 보강보 휨해석에 그대로 적용할 수 없으며 보강보의 최대 내력을 산정할 때는 섬유시트의 변형률을 적절하게 평가할 필요가 있음을 의미하며, 이 값이 보강보의 휨거동 해석 및 설계에

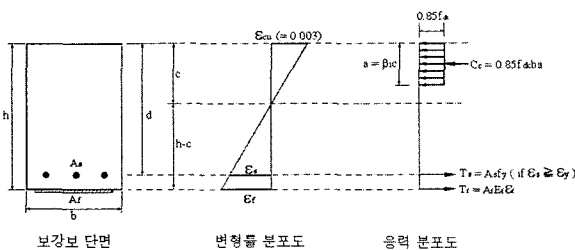


Fig. 1. Strain and stress distributions of ultimate strength method

큰 영향을 미침을 보고하였다[6]. 또한 인장 철근비나 섬유계수를 달리한 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보 실험 중에서는 측정된 콘크리트 압축변형률이 극한변형률(0.003)보다 작은 값임에도 불구하고 보강보 실험에서 측정된 최대 휨모멘트가 강도설계법으로 산정된 공칭 휨모멘트보다 큰 것으로 나타나, 인장축에 부착된 탄소섬유시트에 의해 구속된 인장축 콘크리트가 외부하중에 저항하는 힘이 있는 것으로 보고하였다[5]. 이런 점을 감안할 때, 콘크리트 인장성능을 고려하고 섬유시트에 대해 적절히 평가된 파단변형률을 적용할 수 있는 비선형 해석법으로 보강보를 해석하고 설계할 필요가 있다.

강도설계법과는 다르게 비선형 해석법은 응력분포, 보강재의 파단변형률, 콘크리트 인장성능 등을 고려하였으며, 힘의 평형조건과 변형률 적합조건을 만족시켜야 하며 섬유시트와 콘크리트 인장면 사이의 부착은 완전하다고 가정한다. 부착을 위해 사용된 접착제의 거동은 무시하며, 철근의 지름과 섬유시트의 두께는 보의 깊이와 비교할 때 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 철근과 섬유시트 단면에서의 응력들은 각 재료 도심축의 응력과 같은 크기의 응력이 작용한다고 본다. 또한, 섬유시트는 보의 하부에만 위치하는 것으로 가정하여 계산한다. 비선형 해석법에 의한 보강보의 공칭휨모멘트 M_n 의 산정을 위한 변형률 분포도와 응력 분포도를 Fig. 2에 나타내었다.

콘크리트 압축응력 $f_c(\epsilon)$ 는 다음과 같이 변형률의 함수로 주어지는 Shah 모델식[7]을 적용하였다.

$$f_c(\epsilon) = \begin{cases} f_{ck} \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^A \right] & : \epsilon \leq \epsilon_0 \\ f_{ck} \exp[-k(\epsilon - \epsilon_0)^{1.15}] & : \epsilon > \epsilon_0 \end{cases} \quad (4)$$

여기서, $\epsilon_0 = E_c \epsilon_o / f_{ck}$ 콘크리트 압축강도 f_{ck} 에 대응하는 변형률을, A (= $E_c \epsilon_o / f_{ck}$)와 k (= $2.43 f_{ck}$)는 각각 실험상수를, 그리고, E_c 는 콘크리트의 탄성계수를 의미한다.

한편, 콘크리트 인장성능에 대해서는, 단면내 인장변형률 ϵ_t 를 콘크리트 인장강도에 대응하는 콘크리트 인장파괴변

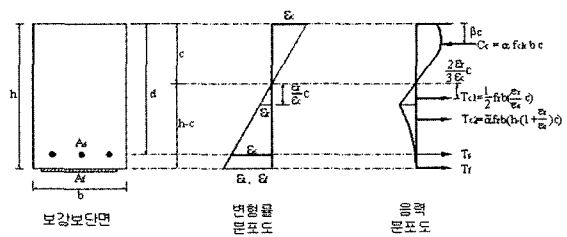


Fig. 2. Strain and stress distributions of nonlinear flexural analysis

형률 ϵ_r 과 비교하여 ϵ_r 보다 작은 영역에서는 선형 응력 분포를, 큰 영역에서는 비선형 응력 분포를 가정한 다음과 같은 Gopalaratnam의 제안식[8]을 사용하였다.

$$f_t = \begin{cases} E_c \epsilon_t & : \epsilon_t \leq \epsilon_r \\ f_r(e^{-s\omega\lambda}) & : \epsilon_t > \epsilon_r \end{cases} \quad (5)$$

여기서, E_c 는 압축탄성계수와 같은 값을 가진다고 가정하였으며, $\lambda(=1.01)$ 와 $s(=0.608 \times 10^{-3})$ 는 실험상수, ω 는 균열 폭(단위: μm)이다. 그리고 콘크리트 휨인장강도(파괴계수: f_r)는 $\epsilon_t = \epsilon_r$ 일 때의 응력 값이다.

또한, 힘의 평형조건과 변형을 적합조건을 이용하여 중립축 거리 c 에 대해 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(a f_{ck} b - \frac{b f_r \epsilon_r}{2 \epsilon_c} + \bar{a} f_r b \left(1 + \frac{\epsilon_r}{\epsilon_c} \right) \right) c^2 + (A_f E_f \epsilon_c - A_s f_y - \bar{a} f_r b h) c - A_f E_f h \epsilon_c = 0 \quad (6)$$

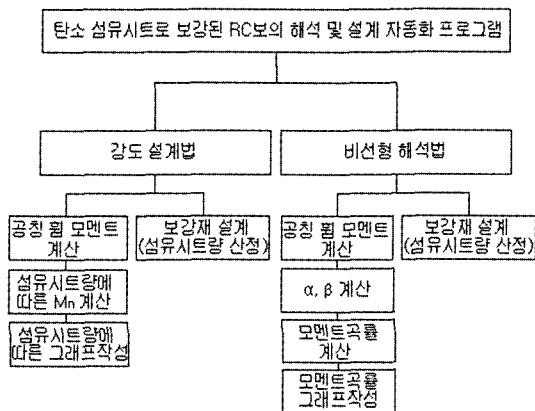


Fig. 3. Structure of program

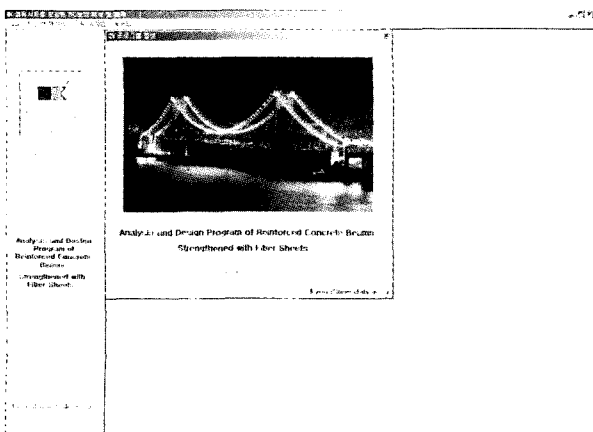


Fig. 4. Window of program beginning

따라서 Fig. 2를 참고한 보강보의 공칭휨모멘트 M_n 은 다음과 같이 주어진다.

$$M_n = T_{c1} \left(1 - \beta + \frac{2\epsilon_r}{3\epsilon_c} \right) c + T_{c2} \left[\left(1 - \beta + \frac{\epsilon_r}{\epsilon_c} \right) c + \bar{\beta} \left(h - \left(1 + \frac{\epsilon_r}{\epsilon_c} \right) c \right) \right] + T_s (d - \beta c) + T_f (h - \beta c) \quad (7)$$

여기서, T_{c1} 과 T_{c2} 는 각각 인장측 콘크리트 응력구간에서 선형응력분포와 비선형응력분포 영역의 인장력들을 의미한다. a 는 콘크리트 평균 압축응력 상수, \bar{a} 는 콘크리트 평균 인장응력 상수, β 는 콘크리트 압축력 C_c 의 작용점 거리를 나타내는 상수이며, $\bar{\beta}$ 는 콘크리트 인장력 T_{c2} 의 작용점 거리를 나타내는 상수이다.

3. 보강보 휨 해석 프로그램

3.1 프로그램 구조

탄소 섬유시트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동 해석을 위해, 본 연구에서는 공칭 휨모멘트를 산정하는 해석 프로그램과 섬유시트량을 산출하는 설계 프로그램으로 구분하여 프로그램을 구성하였다. 프로그램 구조는 Fig. 3과 같으며 주메뉴에는 각 해석법 및 도움말 아이콘이 있으며 '도움말'은 강도설계법 및 비선형 해석법의 이론에 대한 간략한 설명과 전체 프로그램 사용에 대한 설명이 주어진다. 각 해석법의 메뉴에는 해석기법의 내용을 간략하게 설명하여 주는 '참고사항' 아이콘을 두어 본 프로그램을 처음 접하는 설계자도 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

개발된 프로그램의 시작화면과 도움말 화면은 각각 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

3.2 강도설계법 프로그램

강도설계법에 의한 보강보의 공칭휨모멘트는 식 (2)에 의해 중립축 위치를 구하고 이를 식 (3)에 대입하여 간단하게 구할 수 있다. 본 연구에서는 이를 비주얼 베이직 프로그래밍 언어를 통해 프로그램화하였으며, Fig. 6와 Fig. 7는 각각 공칭 휨모멘트 및 사용 섬유시트량 산정을 위한 보강보의 해석 및 설계 프로그램 흐름도, Fig. 8과 Fig. 9은 각각 강도 설계법으로 작성된 해석 및 설계 프로그램 화면이다.

Fig. 8의 해석 프로그램 화면에서 재료 상수들을 입력하면 식 (2)에 의한 중립축 위치 c 와 직사각형 응력 블록의 깊이 a 가 자동으로 계산된다. 또한 이 값에 의해서 철근의 변형률 ϵ_s , 섬유시트의 변형률 ϵ_f 이 계산되며, 최종적으로 식 (3)에 의해서 공칭 휨 모멘트 M_n 이 계산된다.

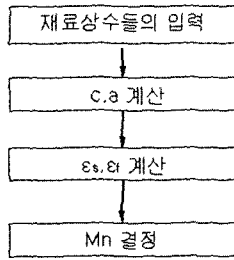


Fig. 6. Analysis flow-chart of ultimate strength method

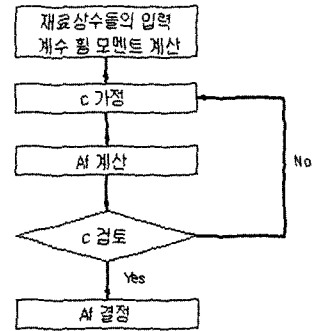


Fig. 7. Design flow-chart of ultimate strength method

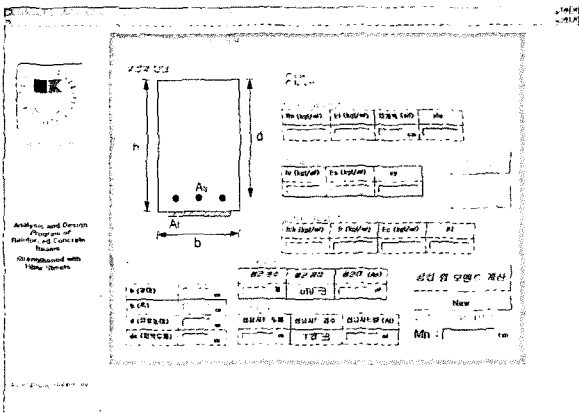


Fig. 8. Window of analysis program by ultimate strength method

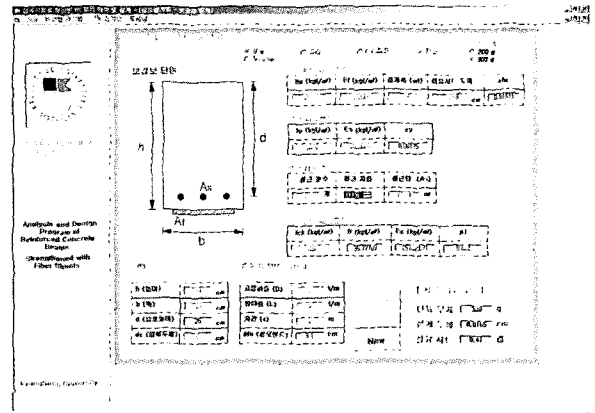


Fig. 9. Window of design program by ultimate strength method

Fig. 9의 설계 프로그램 화면에서 재료 상수들을 입력하고 외부하중에 따른 계수 휨 모멘트 값이 계산되면 프로그램은 자동으로 보강보 단면에 대한 중립축 위치 c 를 가정하게 된다. 이 가정된 c 와 식 (3)에 의해 섬유시트량 A_f 가 계산되며, 산정된 섬유시트량은 다시 식 (2)에 의해 중립축 위치 c 를 검토한다. 가정한 중립축 위치 c 와 검토된 중립축 위치 c 가 일치하게 되면 프로그램은 최종적으로 보강보 단면에 필요한 섬유시트량 A_f 를 결정하게 된다. 여기서, 공칭 휨 모멘트의 해석 및 설계에 필요한 모든 변수들은 강도설계법의 기본가정을 근거로 계산되며 특히 콘크리트 극한 변형률 $\epsilon_{cu} (=0.003)$ 에 대해 제한된 값들이다.

Fig. 10과 Fig. 11은 강도설계법에 따른 프로그램의 기능 메뉴로서 특히 Fig. 10은 섬유접수에 따른 공칭 휨 모멘트 산정시 필요한 계산과정과 섬유접수별 공칭 휨 모멘트 값을 해석함으로써 불필요한 반복 계산을 피할 수 있게 하였다.

또한 자료의 수가 많아질수록 그 결과를 한눈에 알아보기가 점점 어려워지며 아무리 계산을 간단하게 하더라도 그 결과를 쉽게 알아볼 수 없기 때문에 Fig. 10의 복잡한 계산량을 한눈에 볼 수 있도록 Fig. 11과 같이 그래프로 출력하

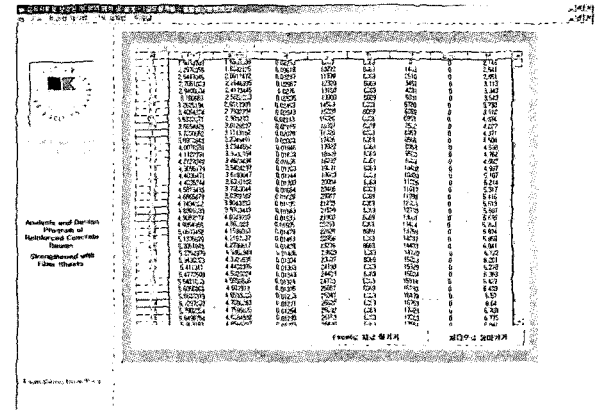


Fig. 10. Window of M_n results

여 설계자의 편의를 도모하였다.

3.3 비선형 해석법 프로그램

비선형 휨 해석법에 의한 탄소섬유시트 보강보의 공칭 휨 모멘트는 강도설계법보다 조금 더 복잡하게 전개된다. 모든 값들은 증분값으로 주어지는 콘크리트 압축변형률에 대해

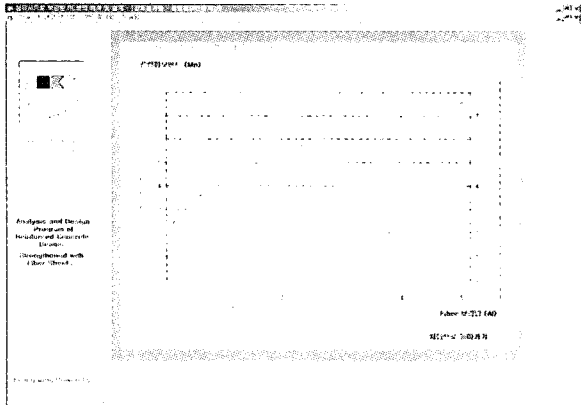


Fig. 11. Window of M_n - fiber sheets graph

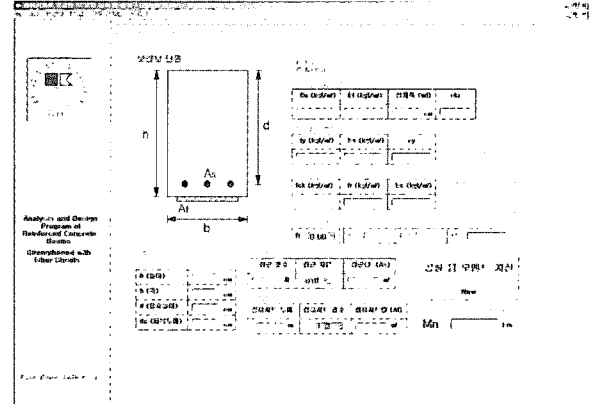


Fig. 14. Window of analysis program by nonlinear flexural analysis

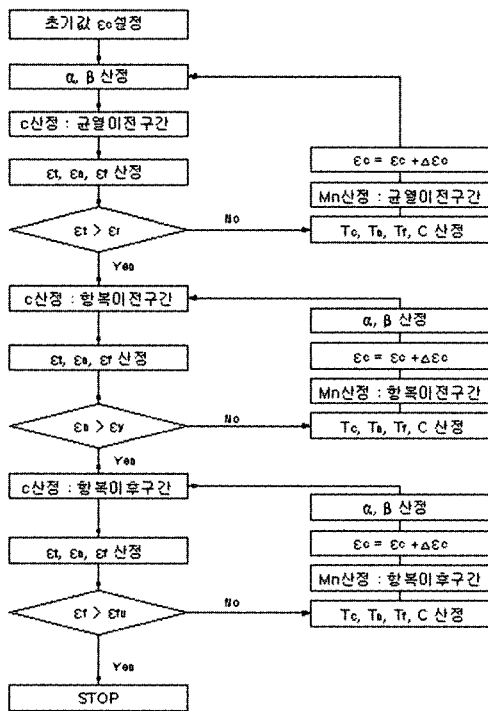


Fig. 12. Analysis flow-chart by nonlinear flexural analysis

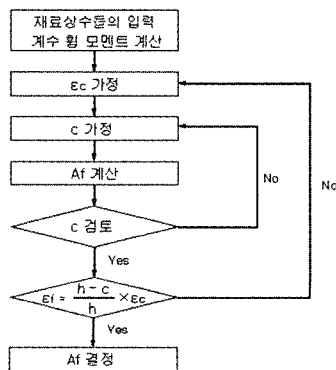


Fig. 13. Design flow-chart by nonlinear flexural analysis

보강보의 중립축 위치 c , 탄소섬유시트의 변형률 ϵ_f , 철근의 변형률 ϵ_s 가 계산되어 최종적으로 공칭휨모멘트 M_n 이 계산된다. 이를 비주얼 베이직 언어를 통해 프로그램화하였으며, Fig. 12과 Fig. 13은 각각 공칭휨모멘트 및 사용 섬유시트량 산정에 대한 보강보 해석 및 설계 흐름도이며, Fig. 14과 Fig. 15는 각각 비선형 해석법에 의해 개발된 해석 및 설계 프로그램 화면이다.

Fig. 12는 비선형 해석법에 의한 보강보 해석 흐름도로 콘크리트 변형률 ϵ_c 의 초기치를 설정하여 Fig. 2의 응력 분포도 형상에 따른 콘크리트 평균 압축 상수 α 와 평균 인장 응력 상수 $\bar{\alpha}$ 가 구해지며, 또한 콘크리트 압축력의 작용점 β 와 콘크리트 인장력의 작용점 $\bar{\beta}$ 가 구해진다. 식 (6)에 의해 중립축 위치 c 가 계산되고, 섬유시트 변형률, 철근의 변형률이 산정되면 콘크리트 압축력, 콘크리트 인장력, 철근의 인장력, 섬유시트의 인장력이 구해진다. 최종적으로 본 연구에서는 모멘트-곡률 선도에서 정의한 각 구간(균열이전구간, 항복이전구간, 항복이후구간[1])에서의 보강보의 휨모멘트를 산정하였다.

Fig. 13은 비선형 해석법에 의한 보강보 설계 흐름도로 콘크리트 변형률과 보강보의 중립축 위치 c 를 가정하게 되면 식 (7)에 의해 섬유시트량이 계산되며, 산정된 섬유시트량은 다시 식 (6)에 의해 중립축 위치 c 가 검토된다. 가정한 중립축 위치 c 와 검토된 중립축 위치 c 가 일치하게 되면 프로그램은 다음 단계인 변형률 적합 조건식으로 넘어가게 되며 여기서 프로그램에 내장된 겹수별 섬유시트 파단 변형률에 대한 데이터에 적합한 섬유시트량이 결정된다. 적당한 보강보 해석 및 합리적인 설계를 위해 섬유시트 파단 변형률에 대해 적절한 감소계수(1겹에서는 75%, 2겹에서는 65%, 3겹에서는 60%, 4겹에서는 55%를 사용 [6])가 도입

된 탄소 섬유시트 파단변형률을 적용하였다.

Fig. 12 및 Fig. 13의 알고리즘에 따라 작성된 해석 및 설계 프로그램 화면이 Fig. 14와 Fig. 15에 주어졌다.

Fig. 16와 Fig. 17는 비선형 해석법에 의한 프로그램의 기능메뉴로서, Fig. 16는 공칭휨모멘트를 계산하는 과정을 나타낸 화면이다. 콘크리트 변형률의 증분값에 따라 공칭 휨

모멘트를 계산하였으며, 이때 필요한 계산 과정을 설계자가 볼 수 있도록 함과 동시에 엑셀 스프레드 시트로 데이터를 옮길 수 있게 하였다. 이 기능은 설계자에게 필요한 자료를 부분적으로 취할 수 있게 하는 등 계산된 결과들을 폭넓게 활용할 수 있도록 하였다.

Fig. 17은 모멘트-곡률 그래프를 나타낸 것으로 비선형 해석법에 의해 계산된 곡률과 휨모멘트 값을 그래프로 출력한 것이다. 각 구간별 휨모멘트 값과 최대 공칭 휨 모멘트 값을 출력함으로써 복잡하게 계산된 값들을 한눈에 볼 수 있도록 하여 설계자의 편의를 도모하였다.

3.4 프로그램 결과

탄소섬유시트 보강보 휨거동 실험[4]에 사용된 보와 동일한 조건을 본 프로그램에 적용하였다. 보의 폭은 20cm, 높이는 30cm, 유효깊이는 25cm이다. 보강보 휨거동 실험에서는 총 27개의 보가 실험되었으며, 세가지 인장철근비가 적용되었다. 이들을 D13철근이 2본 사용된 D13인 보, D16철근이 2본 사용된 D16인 보, D19철근이 2본 사용된 D19인 보로 구분하였다. 탄소섬유시트(설계두께: 0.165mm, 단위면적당 무게 : 300 gf/m²)는 보강보의 하부에 15 cm 폭으로 1겹에서 4겹까지 보강하였으며, 콘크리트는 압축강도가 340 kgf/cm², 철근은 항복강도가 3500 kgf/cm²이었다. Table. 1은 본 프로그램에 의해 산정된 공칭 휨모멘트 값을 보강보 실험결과들과 비교한 것으로 결과 값들이 대체로 일치하는 것으로 나타나 본 프로그램의 신뢰성을 입증할 수 있었다.

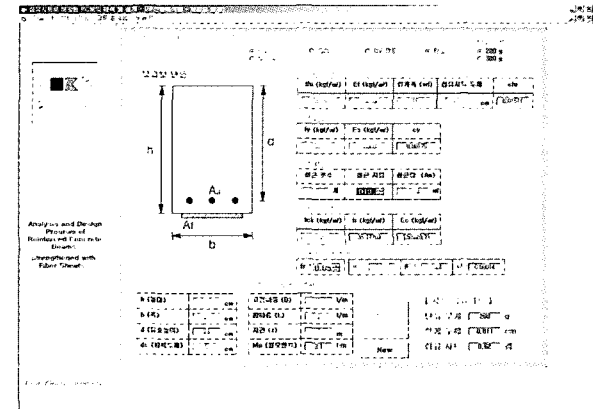


Fig. 15. Window of design program by nonlinear flexural analysis

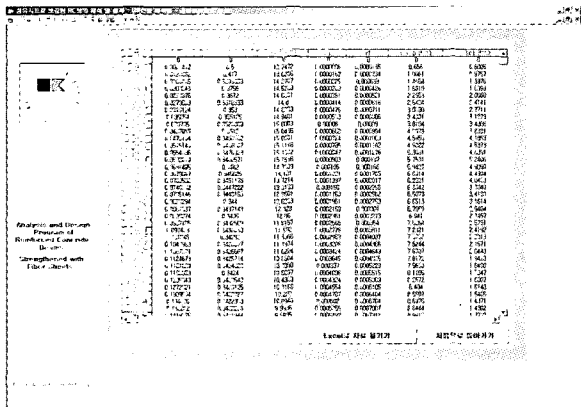


Fig. 16. Window of M_n results

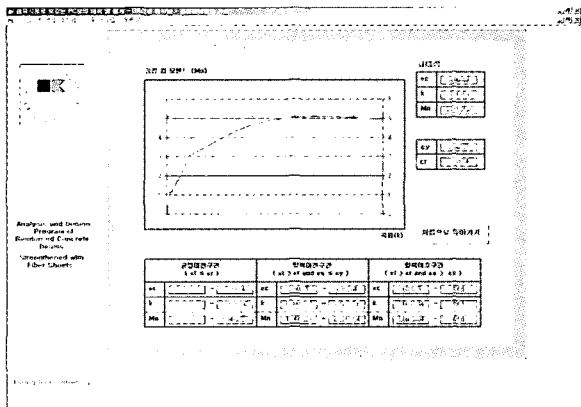


Fig. 17. Window of moment - curvature graph

Table. 1. Comparison of M_n values

보강보 종류	보강 접수	실험에 의한 공칭 휨 모멘트 값 $M_n(t \cdot m)$	프로그램에 의한 공칭 휨 모멘트 값 $M_n(t \cdot m)$	
			비선형해석법	강도설계법
D13인 보	1	4.68	4.72	5.10
	2	5.39	5.99	6.51
	3	6.56	7.13	7.52
	4	8.35	8.01	8.33
D16인 보	1	5.68	5.80	5.71
	2	6.84	7.04	7.01
	3	8.15	8.12	7.96
	4	9.08	8.97	8.73
D19인 보	1	7.36	7.55	6.94
	2	8.38	8.69	8.02
	3	-	9.63	8.85
	4	10.20	10.37	9.53

Table. 2. Fiber sheets design by program

주철근 종류	계수 휩 모멘트 M_u ($t \cdot m$)	비선형해석법에 의한 설계계수	강도설계법에 의한 설계계수
D13을 적용한 보	5.9	2.6계	2.5계
D16을 적용한 보	5.9	1.7계	2.0계
D19을 적용한 보	5.9	0.6계	1.0계

Table. 2에는 설계 프로그램에 의해 계산된 탄소 섬유시트 설계계수(보강재 양)들을 열거하였다. 설계 프로그램에 적용된 보의 단면 크기 및 구성재료 물성치들은 해석 프로그램에서 사용된 값들을 토대로 하였으며, 적용된 섬유시트의 설계두께는 모두 0.165mm이다. 똑같은 계수 휩 모멘트 값 M_u 에 대해 인장철근비가 높을수록 강도설계법에 의한 설계보다 비선형 해석법에 의한 설계에서 보강재량이 적게 산정되었다.

4. 결론

본 연구는 철근 콘크리트보에 적용되는 강도설계법과 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트보 해석에서 타당성이 입증된 비선형 해석 기법을 이용하여 보강보의 해석 및 설계 프로그램을 개발하였다. 프로그램 내에는 강도 설계법 및 비선형 해석법 과정에 필요한 이론 및 계산식이 제시되어 있으며 단순 반복적인 작업으로 인한 실수와 불필요한 인력의 낭비를 줄일 수 있도록 편리한 인터페이스 및 도움말을 첨부하였다. 특히 비선형 해석 기법에서는 콘크리트 인장성능 및 섬유 적층수에 따른 파단변형률 감소 경향을 고려하였다.

개발한 프로그램은 비주얼 베이직 언어로 작성되었으며, 주 메뉴는 파일, 비선형 해석법과 강도설계법 및 도움말로 구성되어 있다. 하위 메뉴를 통해 공칭 휩모멘트를 산정하는 해석 프로그램과 사용 섬유시트량을 결정하는 설계 프로그램을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 섬유계수에 따른 공칭 휩 모멘트 산정시 필요한 계산과정을 볼 수 있도록 하였으며 계산값들은 다시 부분적 자료로 취합과 동시에 다른 필요한 값으로 변환 및 응용 가능하게 하여 계산된 데이터를 폭 넓게 활용이 가능하도록 하였다.

본 프로그램의 해석 결과들인 공칭 휩 모멘트, 섬유시트 사용량, 모멘트-곡률 곡선 등은 보강보의 휩 거동을 파악하는데 유용한 자료를 제공할 것으로 판단되며, 또한 본 프로그램의 설계 부분은 설계 실무에 종사하는 기술자에게 번거롭고 불필요한 반복작업을 감소시킴과 동시에 설계자의 직관과 경험에 의존함으로써 발생하는 과다설계의 가능성을 줄일 수 있으며, 설계의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 많은 시간을 필요로 했던 계산서와 그래프 작성을 간편하게 하여, 최적의 섬유시트량을 산출할 수 있도록 하였다.

감사의 글

이 논문은 2004학년도 경성대학교 학술지원연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 정진환, 김성도, 조백순, 이우철, "탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 공칭휩모멘트-II. 해석적 연구", 대한토목학회 논문집, 제23권 제5A호, pp.931-938, 2003.
2. 주경민, 박성완, 김민호, "Visual Basic Programming Bible Ver.6.x", (주)영진출판사, 1998.
3. 김기성, "Microsoft Visual Basic Database Programming", 삼양출판사, 2000.
4. 정진환, 김성도, 조백순, 이우철, "탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 공칭휩모멘트-I. 실험적연구", 대한토목학회 논문집, 제23권 제5A호, pp.921-929, 2003.
5. Hollaway, L. C. and Mays, G. C., "Strengthening of Reinforced Concrete Structures", Edited by Hollaway, L. C. and Leeming M. B., CRC Press, pp.327, 1999.
6. 김성도, 황태일, "R.C.보에 부착된 섬유시트의 파단변형률 평가에 관한 실험적 연구", 한국구조물진단학회, 제7권 3호, pp.157-165, 2003.
7. Shah, S. P. and Fafitis, A., and Arnold, R., "Cyclic Loading of Spirally Reinforced Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.109, No.7, pp.1695-1710, 1983.
8. Gopalaratnam, V. S. and Shah, S. P., "Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension", ACI Journal, Vol.82, No.3, pp.310-323, 1985.