

부분 프리스트레스트콘크리트 휨부재의 장기거동

Time Dependent Behavior of Partially Prestressed Concrete Flexural Members

김 수 만^{*} 이 운 재^{**}
Kim, Su Man Lee, Woon Jae

ABSTRACT

Under sustained loads, the deformation of a structure gradually increase with time and eventually may be much greater than its instantaneous value. This inelastic and time-dependent deformation causes increase in deflection and curvature, redistribution of stress and internal action. In this paper, time-dependent analysis with creep and shrinkage of uncracked and cracked partially prestressed concrete flexural members is presented.

1. 서론

콘크리트는 크리프 및 건조수축과 같은 비탄성거동을 보이는 재료이며 탄성변형 이후에도 계속 시간이 경과함에 따라 추가적인 비탄성 변형이 발생한다. 이러한 장기 비탄성 요인으로 인하여 구조물은 과도한 처짐을 일으킬 수 있으며 때로는 이러한 과도한 처짐으로 인하여 구조물이 불안정하게 되거나 파괴에 이르기까지도 한다. 이러한 콘크리트의 특성으로 인하여 시간에 따른 콘크리트 단면의 응력 및 변형률을 예측하는 것은 더욱 복잡하고 어렵다. 그러므로 콘크리트 구조물의 합리적이고 경제적인 설계를 수행하기 위해서는 시간해석에 대한 규명이 매우 중요하다.

콘크리트 구조물의 시간해석은 구조물의 수명기간 동안에 나타나는 위험위치와 위험시점에서의 변형률, 응력, 곡률 및 처짐을 설정하는 것을 포함한다. 구조기술자는 크리프와 건조수축의 효과가 발생한 후 무한시간에서 나타나는 최종변형과 내력, 즉 장기거동에 가장 관심을 가져야 한다.

본 연구에서는 콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성상 정확하게 추정할 수는 없지만, 시간에 따른 영향이 어느 특정한 조건하에서 어떻게 거동하는지를 조사하기 위해 콘크리트의 장기거동 해석 방법 중 재령-보정 유효탄성계수법(AEMM)을 사용하여 크리프와 건조수축을 고려한 여러 층으로 강재가 배치된 부분 프리스트레스트 콘크리트 단면의 변형률, 곡률 및 응력의 변화를 해석하여 결과를 비교, 분석한다.

* 정회원, 수원대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 수원대학교 석사과정

2. 단면의 시간해석

2.1 비균열 단면의 장기거동(AEMM)

일정 기간이 지난 후 크리프와 건조수축변형률은 콘크리트에서 발생하고, 릴렉세이션은 프리스트레싱 강재에서 발생한다. 시간에 따라 콘크리트에서 변형률의 점진적 변화는 부착된 강재에 응력변화를 가져온다. 일반적으로 콘크리트는 압축크리프와 건조수축으로 인해 단축되므로 강재는 압축을 받게 된다. 이러한 결과는 부착된 프리스트레싱 긴장재에서 프리스트레스 손실을 가져오고, 철근에는 점진적으로 압축을 발생시키는 결과를 가져온다. 평형을 유지하기 위해 각 철근이 배근된 위치에서 강재의 점진적인 힘의 변화는 그림 2.1과 같이 콘크리트에 작용하는 힘과 크기는 같고 부호는 반대로 나타난다. 이와 같이 점진적으로 작용하는 힘은 일반적으로 인장이며, 이는 프리스트레스된 단면에 대해서는 콘크리트의 초기 압축응력을 완화시켜주는 경향이 있다.

시간에 따른 변형률과 곡률의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta\epsilon_o = \epsilon_{sh} + \epsilon_{cr}\phi + \frac{B_c\Delta M(t) + I_c\Delta N(t)}{\bar{E}_e(A_cI_c - B_c^2)} \quad \Delta\kappa = \kappa_i\phi + \frac{A_c\Delta M(t) + B_c\Delta N(t)}{\bar{E}_e(A_cI_c - B_c^2)}$$

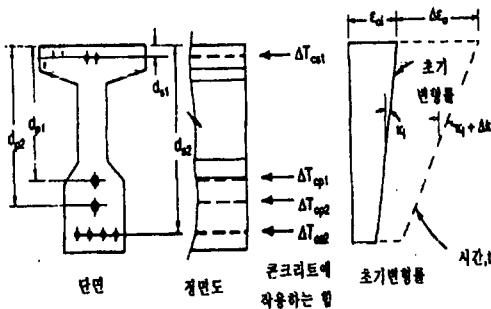


그림 2.1 비균열 단면의 변형률과 곡률

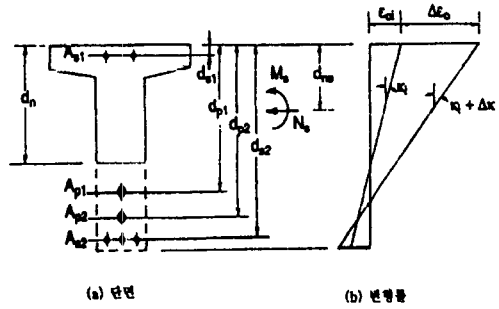


그림 2.2 균열 단면의 변형률과 곡률

2.2 균열 단면의 장기거동(AEMM)

균열단면이 지속하중을 받을 때 크리프는 중립축의 변화를 일으키고, 시간에 따라 중립축의 깊이가 증가하여 콘크리트 압축면적도 증가한다. 균열단면의 면적은 시간에 따라 일정하게 유지된다고 가정한다. 단기와 시간에 따른 응력과 변형률 증분이 각각 계산되고 최종응력과 변형을 얻기 위해 더해진다(즉 중첩이론이 비균열 단면에 적용되어 왔던 바와 같은 방법으로 완전 균열단면에 적용된다면) 이 가정은 실제로 필요한 것이다. 이 가정은 해석을 매우 간단하게 하고 오류가 적게 나타난다.

그림 2.2와 같이 시간에 따른 변형률과 곡률의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta\epsilon_o = \frac{\bar{B}_e\Delta M + \bar{I}_e\Delta N}{\bar{E}_e(\bar{A}_e\bar{I}_e - \bar{B}_e^2)} \quad \Delta\kappa = \frac{\bar{A}_e\Delta M + \bar{B}_e\Delta N}{\bar{E}_e(\bar{A}_e\bar{I}_e - \bar{B}_e^2)}$$

3. 선택된 모델의 해석

그림 4.1은 프리스트레스되지 않은 철근이 두 층으로 배근되어 있고 포스트텐션된 케이블이 한 층으로 배치된 부분 프리스트레스트 콘크리트 단면을 나타내고 있다. 단면은 일정한 외부지속모멘트 M_s 를 받는다. 단면의 단기와 시간에 따른 거동이 프리스트레스되지 않은 철근의 여러 하중조합에 대해 계산되어진다.

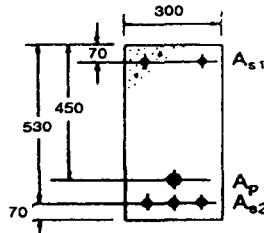


그림 4.1 단면 상세

고려하는 시간해석에 대해 연관된 재료특성은 다음과 같다.

$$f_{ck} = 21MPa ; f_y = 400MPa ; E_c = 30000MPa ; E_s = 2 \times 10^5 MPa ; N = 1000 KN$$

$$P = 1000 KN ; E_p = 2 \times 10^5 MPa ; kR = 20 KN ; d = 60mm$$

표 4.2의 계수 값들은 표 4.1의 여러 조건들을 고려하여 콘크리트 구조설계기준(KCI 2003)에 의한 크리프 및 건조수축 추정방법으로 산정하였다.

표 4.1 크리프와 건조수축의 추정 조건

양생조건	습윤양생
재하 일	15일
건조수축 발생일	7일
부재치수	200mm
시멘트 종류	1종
상대습도	65%
시간	10000일
f_{ck}	21MPa

표 4.2 재령에 따른 계수 값

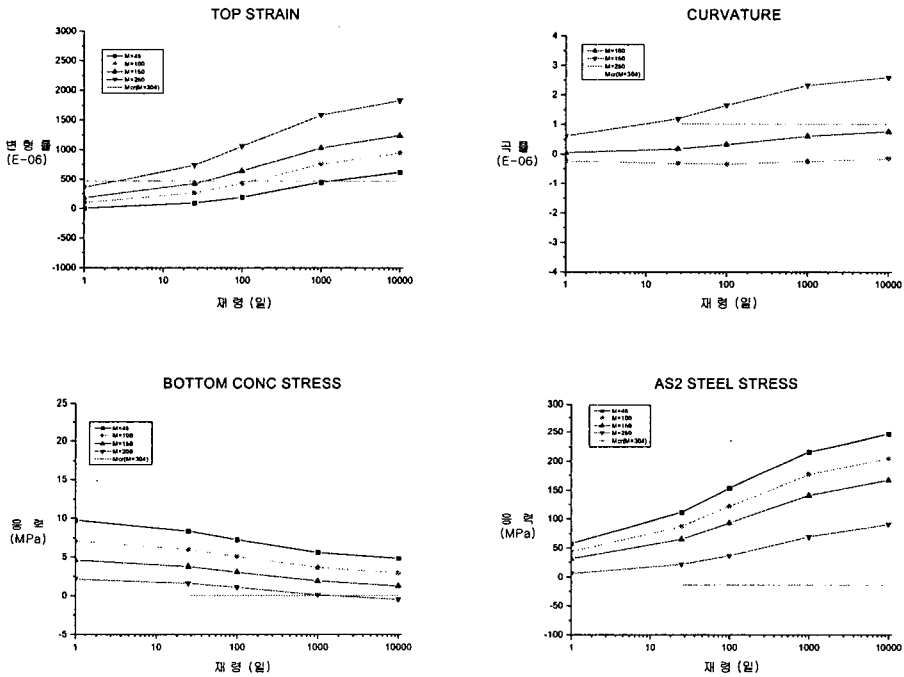
	ϕ (크리프)	χ (재령)	$\epsilon_{sh} (10^{-6})$ (건조수축)
0일	0	1.0	0
25일	0.96	0.86	64
100일	1.76	0.8	142
1000일	2.82	0.8	366
10000일	3.17	0.8	532

위와 같은 조건들로 R. I. GILBERT가 제시한 프로그램을 본 연구에 맞게 개선하여 파괴계수를 기준으로 비균열, 균열단면을 구분하여 해석하였다.

4. 결과 및 고찰

아래의 결과는 그림 4.1의 단면에서 인장 철근이 1000mm^2 , 압축 철근이 500mm^2 그리고 프리스트레싱 강재가 750mm^2 배근된 부분 프리스트레스트 콘크리트 단면의 하중과 시간에 따른 변형률과 곡률 그리고 콘크리트의 하연응력 및 인장 철근의 응력 변화를 나타내고 있다.

결과와 같이 변형률과 곡률에서 최초 균열은 $M_{cr} = 304\text{KNm}$ (균열 시 초기값 ; 그래프의 직선 구간) 지점에서 나타난다. 그러나 균열 모멘트 보다 적은 하중이 발생한 비균열 단면에서도 시간이 지남에 따라 균열 단면의 초기값을 초과하여 균열 단면의 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 콘크리트의 하연 응력에서는 인장 크리프의 영향으로 시간이 지남에 따라 응력이 감소하고, 그러한 응력의 영향으로 인장부 철근은 시간이 지남에 따라 증가하다가 균열이 발생하면 감소하는 현상을 나타낸다.



결과에서 나타나듯이 설계기준에 맞게 구조물을 비균열 상태로 설계하여도 시간이 지남에 따라 허용기준치를 초과하여 구조물의 균열이 발생하는 것으로 보아 설계 시 크리프와 건조수축에 의한 구조물의 장기거동을 고려하는 것은 꼭 필요하며, 구조물의 안전진단 시에도 이러한 영향을 고려하여 실시하는 것이 바람직하다고 생각한다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조 설계기준, 2003.
2. 김수만, 철근콘크리트 구조공학, 청문각, 2003.
3. R. I. GILBERT, Time Effects in Concrete Structures, Elsevier Science, 1988.
4. A. E. Naaman, Prestressed Concrete Analysis and Design, McGraw-Hill, 1982.