

부분 프리스트레스트 콘크리트 보의 도심축 추정

Prediction of Centroidal Axis Location for Partially Cracked Prestressed Concrete Beams

김 수 만* 윤 종대**
Kim, Su Man Yun, Jong Dae

ABSTRACT

Analysis of partially prestressed concrete beams in which cracking under service loads is allowed requires a knowledge of geometric cross section properties such as neutral axis, centroid, area and moment of inertia of this cracked transformed section. Especially an exact calculation for the stresses of steel and concrete and the width of crack and the amount of deflection can be obtained with accurate prediction of neutral or centroidal axis location.

In this paper, the procedures for predicting the centroidal axis location of partially cracked prestressed concrete members, using the compatibility of deformation of concrete and steel are formulated and compared with Dilger's computed results. And also the computed results according to this paper are compared with Branson's experimental results.

1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(PPSC)의 개발초기에는 사용하중하에서 발생하는 콘크리트의 인장응력을 완전히 상쇄하여 균열이 발생하지 않는 새로운 균질 탄성재료로 출발하였다. 이와 같은 설계개념을 완전 프리스트레싱이라한다. 그 후 경제성을 고려한 설계기술의 발달로 사용하중하에서 어느 정도의 인장응력이 발생하는 것을 허용하는 부분 프리스트레싱 설계개념이 제안되었다. 이와 같이 부분 프리스트레싱된 PSC보는 작용하중이 증가하여 균열이 발생되면 그 후부터는 하중의 크기에 따라 중립축의 위치가 변하게 되고 이로 인해 도심축의 위치도 변하게 된다.^(1, 2, 3) 이와 같이 변하는 중립축 또는 도심축의 위치에 따른 부재단면의 특성은 단면의 응력, 균열의 폭 및 처짐량을 추정하는데 결정적인 영향을 미친다. 따라서 부분 프리스트레스트 콘크리트(PPSC) 균열보의 사용성 설계에서는 중립축 또는 도심축 위치의 엄밀한 추정이 주요 과제이다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 PPSC 균열보의 중립축 또는 도심축 위치 변동에 대한 연구는 전무한 상태이다. 외국에서는 Dilger⁽⁴⁾의 해석적 방법과 Brans

* 정회원, 수원대학교 토목공학과 부교수

** 석탑엔지니어링

on⁽⁵⁾의 실험적 방법에 의해 각각의 중립축과 도심축을 추정하는 연구가 이루어 졌으며 그밖에도 다수의 연구가^(3, 6) 이루어져 있다. 본 연구에서는 PPSC 균열보의 해석시 중립축 또는 도심축을 실무에서 편리하게 추정할 수 있도록 평형 및 적합조건에 따라 중립축 위치를 추정할 수 있는 방법을 제안하고 이 방법에 의해 추정된 중립축을 기초로 도심축을 추정한다. 또한 이러한 추정방법을 전산 프로그램화 하여 실무에서 편리하게 활용할 수 있도록 한다. 그리고 이 프로그램에 의해 추정된 결과를 Dilger과 Branson에 의해 추정된 결과와 비교 검토한다.

2. 도심축 위치 추정

2.1 중립축 위치

부분 프리스트레스트 콘크리트 부재의 균열단면에 대한 중립축 위치는 단면치수와 재료특성에 의해 서만 결정되는 것이 아니라 프리스트레스와 작용하중의 크기에 따라 결정된다. 또한 균열이 발생하면 축방향 힘은 일정한 크기가 아니고 작용하중과 단면특성에 따라 변하게 된다.

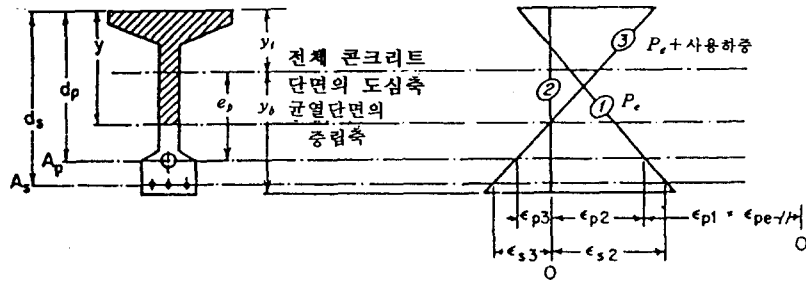


그림 1. 부분 프리스트레스트 콘크리트 균열단면의 해석

사용하중하에서 전형적인 부분 프리스트레스트 콘크리트 균열보의 유효단면은 그림 1.(a)에 도시된 바와 같으며 균열이 발생하면 비균열 단면은 압축을 받지만, 균열 발생전에 인장을 받던 인장부의 콘크리트는 철근 콘크리트와 같이 인장에 대한 저항능력을 상실하며, 강재만 인장응력을 받게 된다. 그러므로 PPSC의 균열단면 해석시 응력분포를 그림 1.(b)의 ②와 같은 상태로 할 수 있다면 이 때부터는 철근콘크리트 단면과 같게 된다. 따라서 ②와 같은 응력분포를 얻기 위해서는 긴장재에 가상의력 F 를 프리스트레스와 반대방향으로 가해야 한다.

그림 1.(b)에서 유효프리스트레스 P_e 만 작용하는 긴장재의 응력은 다음과 같다.

$$f_{p1} = \frac{P_e}{A_p} \quad (1)$$

이 긴장재가 균열 발생전 전체단면에 대한 도심축에서 편심거리 e_p 에 배치되어 콘크리트와 일체를 이룰 경우 긴장재의 변형률 변화가 콘크리트의 변형률 변화와 같으므로 하중단계 ①에서 긴장재의 응력변화는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_{p2} = \frac{P_e E_p}{A_c E_c} \left(1 + \frac{e_p^2}{r_c^2} \right) \quad (2)$$

하중단계 ②에서는 철근과 콘크리트 단면이 무응력상태를 나타낸 것으로 이와 같은 응력상태를 나타

내기 위해 긴장재에 가해지는 가상의력은 다음과 같다.

$$F = A_p(f_{p1} + f_{p2}) \quad (3)$$

이러한 가상의력 F 와 자중을 포함한 외력모멘트 M_t 를 저항하기 위해 힘 R 를 균열 발생전 전체 콘크리트 단면의 도심에서 편심거리 e_1 에 작용시켜 평형조건식을 적용하면 다음과 같이 표현된다.

$$e_1 = \frac{M_t - Fe_p}{R} \quad (4)$$

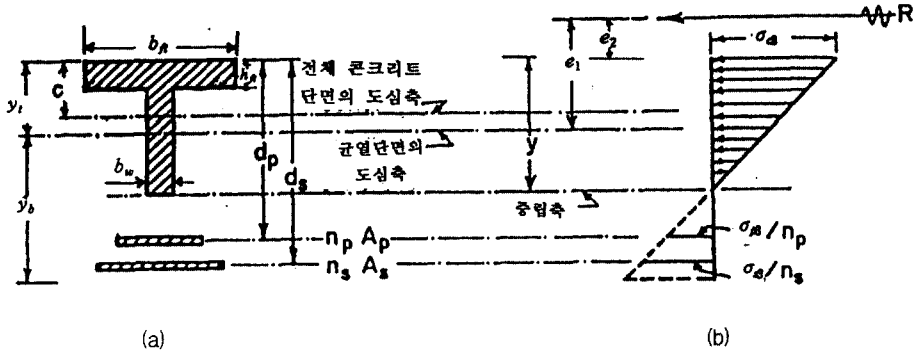


그림 2. 부분 프리스트레스트 콘크리트보의 환산균열단면

하중단계 ②에서 하중단계 ③으로 진행하는 과정은 편심 압축력을 받는 철근콘크리트 부재와 같은 거동을 한다. 따라서 그림 2에 도시된 환산균열단면의 중립축 y 는 R 의 작용선에 대한 모든 내력모멘트의 합이 0이 되는 평형조건으로부터 y 를 구할 수 있는 식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Ay^3 + By^2 + Cy + D = 0 \quad (5)$$

여기서 $A = b_w$

$$B = 3b_w e_2$$

$$C = 6[h_{ft}(b_{ft} - b_w)(e_2 + \frac{h_{ft}}{2}) + n_p A_p (e_2 + d_p) + n_s A_s (e_2 + d_s)]$$

$$D = -3[h_{ft}^2(b_{ft} - b_w)(e_2 + \frac{h_{ft}}{2}) + 2n_p A_p d_p (e_2 + d_p) + 2n_s A_s d_s (e_2 + d_s)]$$

2.2 도심축 위치

식 (5)에 의해 계산된 중립축 깊이 y 로부터 환산균열단면의 도심축 깊이 c 를 구하면 다음과 같다.

$$c = \frac{(b - b_w) \frac{h_{ft}^2}{2} + \frac{b_w y^2}{2} + n_p A_p d_p + n_s A_s d_s}{(b - b_w) h_{ft} + y b_w + n_p A_p + n_s A_s} \quad (6)$$

2.3 해석용 전산 프로그램

부분 프리스트레스 콘크리트의 사용성 검토를 위한 처짐계산시 엄밀하게 추정해야 할 도심축 위치를 실무에서 쉽게 구할 수 있도록 2.1의 이론전개에 따라 이를 전산화하였다. 이 프로그램의 흐름도는 그림 3에 도시된 바와 같다.

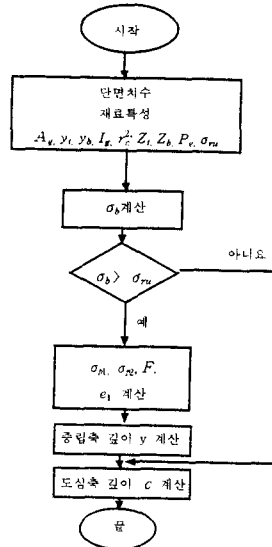


그림 3. 부분 프리스트레스 콘크리트 균열단면의 도심축 추정 프로그램 흐름도

3. 기 연구된 도심축 추정 방법고찰

3.1 Dilger의 해석적 방법

Dilger의 해석적 방법에는 부분 프리스트레스 콘크리트 균열보의 중립축을 추정하기 위해 중립축 깊이와 보의 유효폭과의 비, 즉 $k = \frac{y}{d}$ 로 표현된 다음과 같은 3차 방정식을 적용하였다.

$$k^3 + Ak^2 + Bk + D = 0 \quad (7)$$

식 (3.1)의 해를 얻기 위해서는 단면특성과 작용모멘트, 그리고 2.1에의 기술한 하중단계 ②인 무응력상태를 나타내기 위해 요구되는 가상의력 F를 알아야 한다. 이러한 가상의력 F는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F = P_e + P_s + \Delta P_p + \Delta P_s \quad (8)$$

여기서 P_e : 유효 프리스트레스

P_s : 시간에 따른 철근의 변형에 의해 발생된 힘

ΔP_p 와 ΔP_s : 유효 프리스트레스와 사하중에 의해 발생된 긴장재 및 철근위치에서의 콘크리트 응력을 소멸시키기 위해 가해지는 힘

식 (7)에서 구한 k 로부터 중립축 거리 y 가 구해지면 이를 식 (5)에 대입하여 도심축깊이 c 를 구할 수 있다.

3.2 Branson의 실험에 의한 방법

Branson은 도심축을 추정하기 위해 5개의 시험체를 사용하여 시험을 실시하였다. 이 때 시험체는 직사각형단면 4개와 I형단면 1개로 구성되어 있다. 이 중 전형적인 직사각형 단면의 시험체를 도시하면 그림 4와 같다.

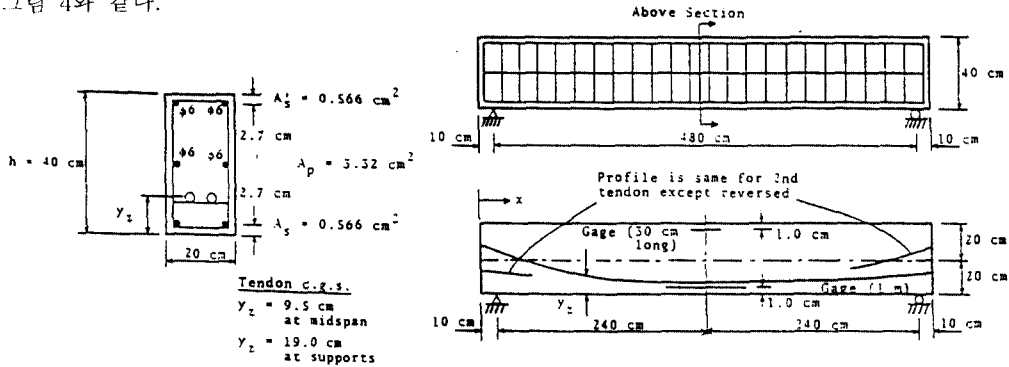


그림 4. Branson의 시험체 단면

4. 도심축 추정예

4.1 해석모델 및 해석결과

평형 및 변형률 적합조건에 기초하여 제안된 방법에 의해 추정된 도심축 위치와 Branson의 실험에 의해 추정된 도심축위치를 비교하기 위해 Branson이 실험에 사용한 시험체중 그림 4에 도시된 시험체를 해석모델로 선정하였다. 또한 이러한 모델에 Dilger의 해석방법도 적용하여 그 결과를 비교, 검토하였다. 활하중 모멘트 증가에 따른 도심축 위치의 변화를 추정한 결과는 그림 5와 같다.

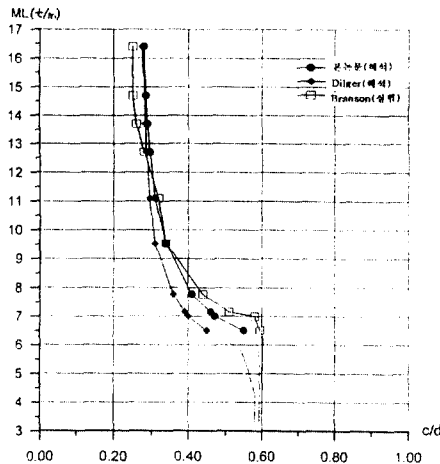


그림 5. 해석 결과와 실험결과의 비교

4.2 결과고찰

그림 5에 도시된 바와 같이 Branson의 실험에 의한 추정결과와 Dilger의 본 연구의 해석에 의한 추정결과, 균열이 시작되는 활하중 작용하에서는 환산균열단면의 도심축 위치는 상당한 차이를 나타내고 있다. 그러나 활하중 모멘트가 증가되어 균열이 깊어지면 질수록 해석결과와 실험결과는 잘 일치함을 보여주고 있다. 또한 Dilger의 해석결과와 본 연구에 의한 해석결과는 전반적으로 잘 일치됨을 알 수 있다.

5. 결론

부분 프리스트레스트 콘크리트 균열보의 도심축 추정을 위해 평형 및 변형을 적합조건식을 적용하여 유도한 해석방법과 Dilger가 제안하는 해석방법을 비교 검토하였다. 또한 Branson의 실험에 의한 추정 방법과도 그 결과를 검토하였다.

검토결과 Dilger의 해석에 의한 도심축 추정 결과와 본 논문에서 추정한 결과는 잘 일치하였다. 그러나 해석에 의한 추정결과와 실험에 의한 도심축 추정결과에서는 균열을 발생시키는 초기의 활하중 재하시에는 상당한 차이를 나타내고 있지만 활하중이 증가되어 균열이 깊어지는 경우에도 실험결과와 해석결과는 잘 일치하고 있었다.

연구결과 부분 프리스트레스트 콘크리트 균열보의 도심축 깊이는 실험결과에 비해 해석결과에서 전반적으로 적은 값을 나타 내고 있다. 따라서 해석에 의해 추정된 도심축을 보단면의 응력, 균열폭 및 처짐량을 계산하는데 적용할 경우 보수적인 해석결과를 얻어 안전축의 설계결과를 얻게된다.

참고문헌

1. A. H. Nilson "Design of Prestressed Concrete", 1987, John Wiley and Sons, 1987
2. A. E. Namman, "Prestressed Concrete Analysis and Design", McGrawHill Book co, 1982
3. A. H. Nilson, "Flexural stresses after cracking in partially prestressed beams", PCI Journal, 1976
4. W. H. Dilger and K. M. Suri, "Steel stresses in Partially Prestressed Concrete Members", PCI Journal, 1986
5. D. E. Branson. and H. Trost, "Unified Procedures for Predicting the Deflection and Centroidal Axis Location of Partially Cracked Nonprestressed and Prestressed Concrete members", ACI Journal 1982
6. T. B. Nielsen, "On the Problems of Partially Prestressing ", Martinns Nijhoff Publishers, 1986