

# 분포하중을 받는 단순지지된 RC보에서의 아치효과

## Arch Action in Simply Supported RC Beams Applied by Distributed Loads

이 성 철\*      박 병 선\*\*      조 재 열\*\*\*      김 우\*\*\*\*  
Lee, Seong-Cheol      Park, Byung Sun      Cho, Jae Yeol      Kim, Woo

---

### ABSTRACT

In the case of RC beams simply supported, there is arch action that the length of internal lever arm varies through span. Recently the shear analysis model which considers this arch action has been developed, but this analysis model is only applicable to RC beams subjected to concentrated load. In this study, therefore, the fundamental relationship between internal lever arm length and applied moment is developed with considering general load such as uniformly distributed load. The shear compatibility condition is also derived, which is also applicable to RC beams subjected to uniformly distributed load. From the analysis results of RC beams, the variation of shear strains through span could be expected by the proposed analysis model. The magnitude of shear strains expected from analysis is so relatively small that the effect of shear force due to arch action should be considered on analysis.

### 요 약

단순지지된 콘크리트 보 부재의 경우 전단 공간에서 내부 모멘트 팔길이가 변화하는 아치 현상이 발생하게 된다. 최근 이러한 점을 고려한 전단해석모델이 개발되었으나 집중 하중에 대해서만 적용할 수 있어 등분포 하중과 같은 보다 일반적인 하중에 대해서는 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 분포하중에 대해 내부 모멘트 팔길이의 변화에 대한 기본 식을 유도하고, 특히 등분포하중이 작용할 경우 아치 작용에 의한 전단력의 비율을 산정하는데 있어 이용되는 전단변형적합 조건을 도출하였다. 제안된 해석 모델을 이용하여 기존 연구자가 수행했던 RC보를 해석하여 그 경향을 분석한 결과, 등분포하중을 받는 RC보의 공간에 따른 전단변형률의 변화를 어느 정도 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 하지만, 전단변형률이 작게 예측되는 것으로 보아 아치 작용에 의한 전단력의 영향을 추가적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

---

\* 정회원, 서울대학교, 교량설계핵심기술연구단, 선임연구원

\*\* 정회원, 서울대학교, 건설환경공학부 콘크리트구조연구실, 석사과정

\*\*\* 정회원, 서울대학교, 건설환경공학부, 조교수

\*\*\*\* 정회원, 전남대학교, 토목공학과, 교수

## 1. 서론

1980년대 이후 개발된 판요소에 대한 전단해석모델을 이용하여 아치효과를 고려한 콘크리트 보 부재의 전단해석이론이 최근들어 개발되었지만, 이 모델에서는 집중하중이 작용하는 콘크리트 보 부재에만 적용이 가능하였다. 하지만 실제 콘크리트 보 부재의 경우 등분포하중을 비롯한 다양한 하중이 작용하기 때문에 기존의 모델을 일반적인 하중을 고려할 수 있도록 개선하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 분포하중을 받는 콘크리트 보 부재의 경우 아치효과에 따른 내부 모멘트 팔길이의 변화에 대한 식을 도출하고, 가해진 전단력에 대한 보 작용에 의한 전단력의 비율을 결정하기 위한 전단변형적합조건을 일반적인 분포하중에 대해 유도하고자 한다. 또한, 분포하중을 받는 콘크리트 보 부재에 대해 해석을 수행하여 전단 경간에 따른 아치 계수 및 전단변형률, 주압축대의 기울기 등의 변화에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 분포하중을 받는 콘크리트 보 부재에 대한 전단 해석 이론

### 2.1 분포 하중이 작용하는 경우 내부 모멘트 팔길이의 변화

선행 연구에서 밝혀졌듯이 일반적으로 단순지지된 보에 하중이 작용하는 경우 아치 작용과 빔 작용에 의해 전단 경간을 따라 내부 모멘트 팔길이의 변화가 발생하게 된다. 이와 같은 아치 작용은 집중하중을 받는 보와 같이 분포하중을 받는 보에서도 존재하며, 따라서 일반적인 하중이 작용할 경우 아치 작용에 의한 전단력은 상부 압축 현재의 기울기와 같은 것을 이용, 다음의 식과 같이 정의할 수 있다.

$$\alpha V = C \frac{dz}{dx} = \frac{M}{z} \frac{dz}{dx} \quad (1)$$

위 식에서 등분포 하중이 작용할 때 모멘트가 최대인 지점에서의 내부 모멘트 팔길이가 베르누이 보 이론에 의한 것과 같다고 가정하고 그 크기가  $z_0$ 이며 지점으로부터의 거리가  $a$  라 하면, 경간 위치에 따른 내부 모멘트 팔길이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$z = \left( \frac{M}{M_{\max}} \right)^\alpha z_0 = R_x^\alpha z_0 \quad (2)$$

그림1.은 분포하중이 작용할 경우 내부 모멘트 팔 길이의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 집중하중을 받는 보 부재의 경우와 달리 가해진 전단력이 모두 아치 작용에 의한 전단력으로 작용한 경우( $\alpha = 1$ )에도 내부 모멘트 팔길이가 경간 위치에 따라 최대 모멘트가 발생하는 곳으로부터 지점으로 갈수록 비선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

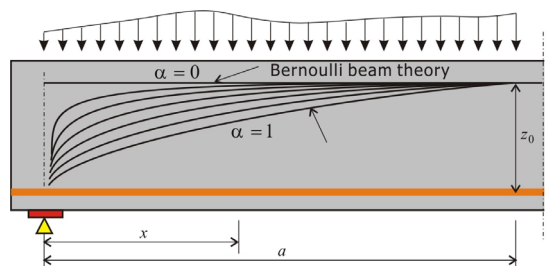


그림1. 내부 모멘트 팔 길이의 변화

## 2.2 등분포하중이 작용하는 경우의 전단변형 적합조건

등분포 하중이 작용하는 경우 식(2)로부터 내부 모멘트 팔길이에 대한 변수,  $R_x^\alpha$ 를 식(3)과 같이 유도할 수 있으며, 내부 모멘트 팔길이가 작아짐에 따른 하현재의 인장력의 증가량은 식(4)와 같이 유도할 수 있다. 에 관한 해석을 수행하기 위해 기존의 집중하중에 관련된 식들을 등분포 하중에 의한 식으로 바꾸었다.

$$R_x^\alpha = \left(\frac{M_x}{M_{\max}}\right)^\alpha = \left(\frac{4x(l-x)}{l^2}\right)^\alpha \quad (3)$$

$$\Delta T = \frac{qx(l-x)}{z_0} \left(\frac{1}{R_x^\alpha} - 1\right) \quad (4)$$

복부에서의 전단변형률은 아치 효과로 인해 발생하는 상·하현재의 변형의 차로부터 그림2를 이용하여 아래와 같은 식으로 유도할 수 있으며, 이 식으로부터 가해진 전단력에 대한 아치 작용에 의한 전단력의 비,  $\alpha$ 를 결정할 수 있게 된다.

$$\gamma_{w,x} = \frac{1}{\alpha z_0 R_x^\alpha} \frac{x(l-x)}{l-2x} \Delta T \left(\frac{1}{E_{sm} A_s} - \frac{1}{E_c A_{cc}}\right) \quad (5)$$

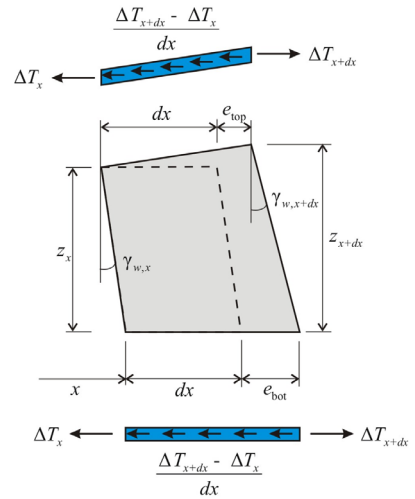


그림2. 아치효과에 의한 전단변형상태

## 3. 해석 결과

그림3은 집중하중 및 등분포하중이 작용한 경우 복부에서의 평균 전단 변형률을 경간 및 하중 크기에 따라 나타낸 것이다. 해석은 Leonhardt(1965)가 실험한 보 중 전단경간비가 3.5인 ET4를 예제로 수행하였으며, 그림에서의 평균 전단 변형률은 실제  $(1-\alpha)V$ 가 작용하는 복부 요소의 전단 변형률을 압축 상현재 윗부분에서의 전단 변형률을 0으로 가정하여 단면 전체에 대해 평균을 취한 것이다. 그림에서 보듯이 등분포하중이 작용한 경우 최대 평균 전단 변형률이 발생하는 위치가 집중하중이 작용하는 경우보다 지점부에 더 가까운 것을 알 수 있으며, 일반적으로 알려진 경간에 따른 전단변형률의 변화를 비교적 잘 묘사하고 있는 것으로 나타났다. 하지만, 하중이 매우 큰 경우에도 제안된 해석 모델은 평균 전단 변형률의 크기가 비교적 작게 발생하는 것으로 예측하고 있다. 이는 아치 작용에 의한 전단력,  $\alpha V$ 에 의한 변형을 고려하지 않았기 때문에 발생한 것으로 사료되며 향후 이부분에 대해서는 좀 더 개선이 필요한 것으로 보인다.

그림4~5는 등분포하중이 작용했을 경우 경간 위치에 따른 복부에서의 아치 계수( $\alpha$ )와 주압축대의 기울기( $\theta$ )의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 하중이 크게 작용할 경우 지점부와 최대 모멘트가 발생하는 부위에 가까울수록 아치 계수( $\alpha$ )가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 또한, 최대 모멘트가 발생하는 위치에서 지점부에 가까워질수록 주압축대의 기울기( $\theta$ )의 값이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 특히, 아치 효과에 의해 복부에 유발되는 압축응력이 최대 모멘트 발생 단면에서 발생하지 않는 반면 해석 예제의 경우 복부에 전단 철근만 배근되어 있지 않기 때문에, 최대 모멘트가 발생하는 위치에서 주압축대의 기울기가 45도보다 큰 것으로 나타났다.

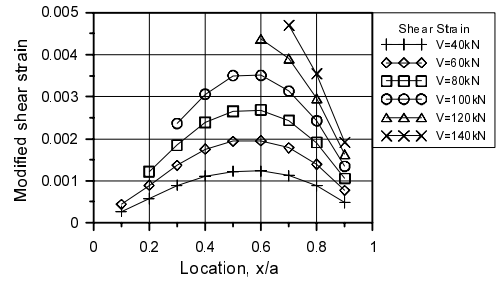
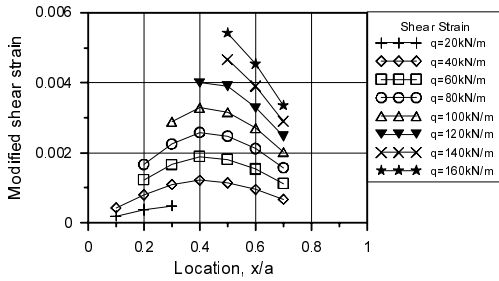
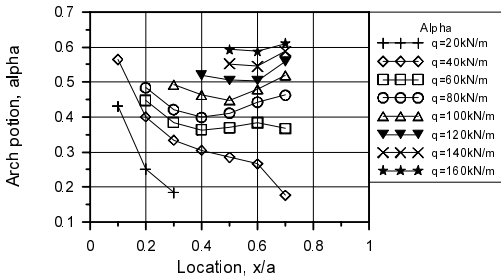
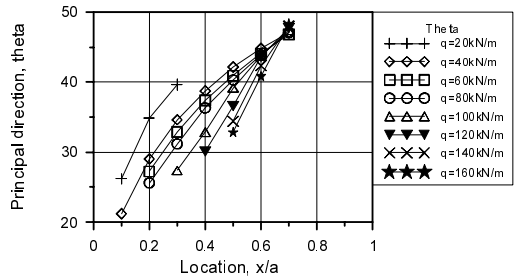


그림 3. 하중 형태에 따른 위치별 평균 전단 변형률



(a)  $\alpha$  값의 변화



(b)  $\theta$  값의 변화

그림 4. 등분포 하중 하에서의 위치별  $\alpha$  및  $\theta$  값의 변화

#### 4. 결론

본 연구에서는 집중하중을 받는 단순지지된 RC보의 아치효과를 고려한 전단 해석 모델을 일반적인 하중에 대해 적용할 수 있도록 해석 모델을 개선하였다. 또한, 제안된 해석 모델을 이용하여 기존 연구자가 수행했던 RC보를 해석하여 그 경향을 분석한 결과, 등분포하중을 받는 RC보의 공간에 따른 전단변형률의 변화를 어느 정도 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 하지만, 전단변형률이 작게 예측되는 것으로 보아 아치 작용에 의한 전단력의 영향을 고려해야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Kim, W., Rhee, C. S. and Jeong, J. P. (2006), Shear Behavioral Model Based on Shear Deformation Compatibility in Reinforced Concrete Members, Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 18, No. 3, June, pp. 379-388.
2. Vecchio, F. J. and Collins, M. P. (1986), The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 83, No. 2, March-April, pp. 219-231
3. Leonhardt, F. (1965), Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs, Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No. 53, December, pp. 187-198.