

# 철근콘크리트 보의 전단력 재분배

## Redistribution of Internal Shear Forces in a Reinforced Concrete Beams

이창신\*                      신근옥\*\*                      김대중\*\*\*                      김 우\*\*\*\*  
Rhee, Chang Shin      Shin, Geun Ok      Kim, Dae Joong      Kim, Woo

### ABSTRACT

This paper presents a model for evaluating the contribution by arch action to shear resistance in shear-critical RC beams. Based on the relationship between shear and bending moment in beams subjected to combined shear and bending, The behavior of a beam is explicitly divided into two base components of the flexural action and the tied arch action. The compatibility condition of the shear deformation that deviates from Bernoulli bending plane is formulated utilizing the smeared truss idealization with an inclined compression chord. From this shear compatibility condition in a beam, the shear contribution by the arch action is numerically decoupled.

### 1. 서론

현행 설계개념은 전단저항성분을 구성함에 있어 그림 1과 같이 콘크리트와 스티럽에 의한 저항성분으로 대별되며, 콘크리트에 의한 저항성분은 압축부 비균열 단면에 의한 저항성분, 균열면의 골조작용 및 주철근에 의한 다월작용으로 세분화 된다. 압축부 콘크리트 비균열 단면에 의한 전단저항성분을 평가함에 있어, Taylor는 전단경간비가 3.5인 보에 대해 정성적으로 30~40%를 아치작용이 분담한다고 하였고, Leonardt는 압축현재의 존재를 주장하였으나, 정량적 평가는 불가능하다. 따라서 이 논문에서는 상하현재의 전단변형과 복부의 전단변형이 같아야 한다는 변형적합조건을 이용한 새로운 트리스 모델을 이용해 철근콘크리트의 아치작용을 정량적으로 평가하였다. 그림 1은 현행 설계개념에 의한 하중증가에 따른 전단력 성분의 근사적 분포를 나타낸 것이다. 본 모델을 이용해 전단저항성분은 아치작용에 의해 저항하는 전단력과 복부의 보작용에 의해 저항하는 전단력으로 구분할 수 있다. 이 논문에서는 전단저항성분 분리를 통해 RC부재의 극한전단 움직임에 영향을 미치는 각 매개변수를 찾고자 한다.

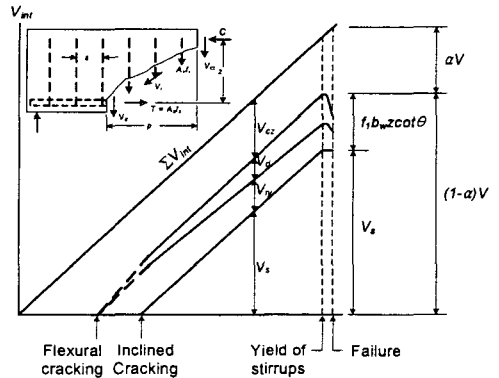


그림 1 전단저항기구

\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정  
 \*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정  
 \*\*\* 정회원, 전남도립남도대학 부교수  
 \*\*\*\* 정회원, 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

## 2. 전단변형적합조건

이 논문에서는 단면의 전단저항력이 보작용과 아치작용에 의해 저항한다는 배경에 기반하여, 두 전단 저항 성분의 구성비를 아치계수로 정의하고 다음과 같이 표현하였다.

$$\alpha = \frac{\text{Shear resisted by Arch Action}}{\text{Total Shear}} \quad (1)$$

단면의 휨인장력은 주철근이 모두 저항하고, 콘크리트 휨 압축영역을 압축합력이 작용하는 1축 압축부재로 이상화 하는 트러스 모델링 기법을 적용한다면, 그림 2(a)그림과 같이 경사상현재, 하현재와 면전단요소 3요소로 구성된 분산트러스로 이상화 할 수 있다.

그림 2(b)는 그림 2(a)의 경사 상현재를 갖는 트러스모델을 보의 전단경간에 적용하고 곡선형 아치부분을 직선형의 1축 부재로 표현해 보인 것이다. 이처럼 1축부재로 이상화한 상/하현재에는 각각  $dC/dx$ ,  $dT/dx$ 가 분포 축력으로 작용하는 상태가 된다. 받침점  $s$ 와 하중점  $i, j$ 는 각각 구속과 대칭성에 의해 변형 후에도 수평변위가 발생하지 않는다. 따라서 이점을 기준으로 받침점에서  $x$ 만큼 떨어진 위치의 타이와 아치의 상대적 수평 변위량인  $u_m$ 과  $u_n$ 은 각 부재의 축 변형량에 해당한다. 이 수평 변위량에 적합하도록 복부 전단 변형 즉 복부요소  $mnop$ 의 상/하부 수평 변위가 발생해야 한다. 이와 같은 변형적합 조건에 의해, 그림 2(b)의 단면  $m-n$ 에 나타낸 것과 같이, 복부의 평균 전단 변형률  $\gamma_w$ 와 수평 변위량  $u_m$ 과  $u_n$ 은 식(2)의 전단변형적합 조건식(gross compatibility condition)을 만족해야 한다.

$$\gamma_w = \frac{u_m + u_n}{z} \quad (2)$$

이 적합조건식에 의해 아치와 복부전단력의 분담비율이 결정된다.

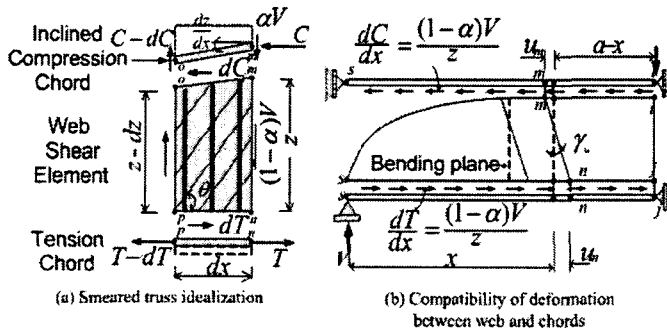


그림 2 전단변형적합조건

## 3. 전단력 성분분해

그림 3과 4는 기존 문헌들로부터 선택한 7개의 보 전단경간 중앙에서 균열이후 파괴까지 몇몇 하중 단계에서의 제안 모델을 이용해 계산한 결과를 나타내었다. 사용된 7개의 실험보는 Placas와 Regan에 의해 실험된 4개의 보와, Xie 등에 의해 실험된 3개의 보이다. 그림에 명시된 바와 같이, Placas와

Regan의 실험보는 주철근만을 변수로 하고 같은 복부철근비의 동일한 기하구조인 반면 Xie et al.의 실험보는 다른 매개변수는 일정하게 고정시켜놓고 단지 전단경간비만 변화를 주었다.

그림 3과 4에서 볼 수 있는 바와 같이  $\alpha$ 값은 모든 보에서 균열하중부터 파괴하중까지 하중증가에 따라 증가한다. 이는 하중 초기에는 전단력 모두가 복부요소에 전달되는 반면, 경사균열이 생긴 이후에는 하중강도 증가와 함께 아치(콘크리트 압축대)에 전달되는 전단력이 점차적으로 증가하면서, 남은 응력이 복부에 전달되는 응력의 재분배가 일어난다는 것을 의미한다.

보의 극한한계상태가 가장 중요하므로 파괴하중에서  $\alpha$ 값을  $\alpha_u$ 라 표시한다.  $a/d$ 가 2인 짧은 보에서 파괴시 전체 전단력의 62%이상이 아치에 의해 견디지고, 복부는 단지 극한 전단력의 38%정도만을 저항한다. 반면에  $a/d$ 가 4인 얇은 보에서는 극한 전단력의 약 70%를 복부가 저항한다. 동일한 복부철근비와 기하구조를 갖는 4개의 보에서는  $\alpha_u$ 는 주철근비가 증가함에 따라  $\alpha$ 값이 커지는 중에 0.40에서 0.55까지 변한다. 이는 극한 전단력의 40에서 55%는 압축대에서 저항하고 남은 것을 복부 요소가 견딘다는 것을 의미한다.

위의  $\alpha_u$ 를 이용하여 각 보의 측정된 전단력을 복부에 전달된 전단력과 콘크리트 압축대(아치)에 전달된 전단력으로 분류하여 그 결과를 그림3과 그림4에 나타내었다. 그림3을 보면 주철근이 전단력에 미치는 영향이 분리되어있고, 복부의 전단력이 주철근비를 고려하지 않고 일정하게 남아있다는 것을 명료하게 알 수 있다. 그림 4 또한 전단경간비의 영향이 복부철근이 있는 보에서 분리되어 있고 그 복부에서의 극한 전단력이 전단경간비에 대하여 일정하게 유지됨을 보여준다.

제안된 이 분리 접근법의 타당성을 검토하기위해, 12개의 다른 연구로부터의 실험보를 검사하였다. 콘크리트강도 범위는 20에서 70MPa, 주철근비가 0.89에서 4.12%, 스테럽비는 1.15%, 보의 유효깊이는 700mm로 하였다. 모든 실험 보는 집중하중을 갖는 단순보이다. 각 보에서  $\alpha_u$ 는 전단지간 중앙에서 계산하였고, 복부가 견디는 분리된 전단력  $(1-\alpha)V$ 는 모든 보에서 얻어진다. 이 분리된 극한 전단력들을 표준화한 항으로 그림 5에서 표현하였다. 그림 5에서 보이는 바와 같이, 통계적으로 결합된 극한 전단 응력(hollow mark)과 비교하였을 때, 분리된 극한 전단 응력(cross mark)이 훨씬 덜 흩어져 있고, 복부철근 항과 훌륭한 선형 상관관계를 갖는다. 이로 미루어 보아, 현재의 분리 접근법은 RC부재의 극한전단 움직임에 영향을 미치는 각 매개변수나 메커니즘의 법칙의 평가를 간단하게 만들 수 있다고 말할 수 있다.

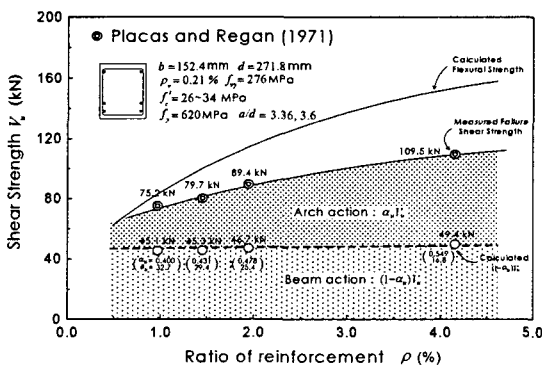


그림 3 주철근비 영향

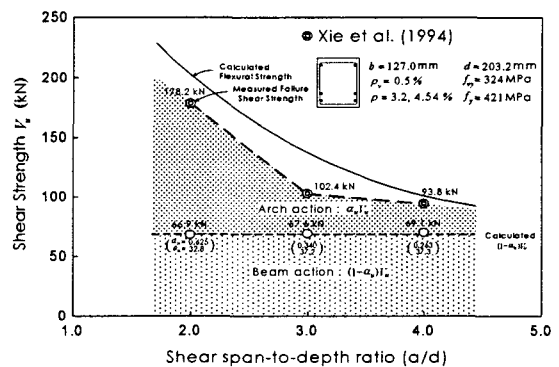


그림 4 전단경간비 영향

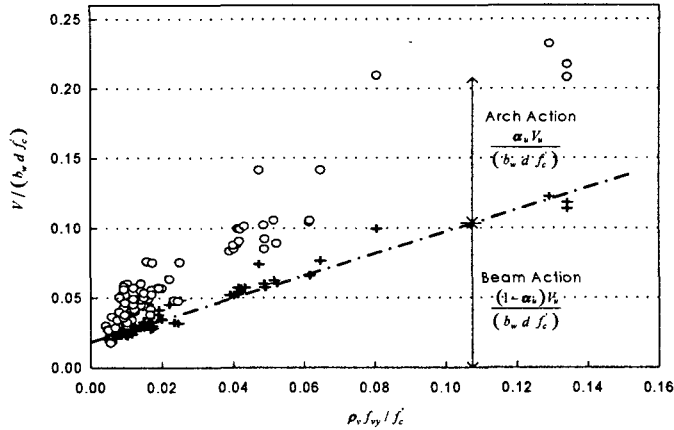


그림 5 아치작용과 보작용으로 분리된 전단성분

#### 4. 결론

전단이 지배하는 철근콘크리트 보의 전단저항성분은 크게 아치작용과 보작용으로 분리가 가능하다. 전단변형적합조건에 기반한 트러스 모델을 이용하여 아치성분을 정량적으로 파악할 수 있었으며, 이를 이용하면 각 보의 측정된 전단력을 복부에 전달된 전단력과 콘크리트 압축대(아치)에 전달된 전단력으로 분류할 수 있었다. 주철근비가 전단력에 미치는 영향을 성분분해해 보면, 복부의 전단력이 주철근비를 고려하지 않고 일정하게 남아있다는 것을 명료하게 알 수 있고, 전단경간비의 영향을 성분분해하면 복부에서의 극한 전단력이 전단경간비에 대하여 일정하게 유지됨을 보여준다. 이러한 사실들로 미루어 보아, 현재의 분리 접근법은 RC부재의 극한전단 움직임에 영향을 미치는 각 매개변수나 메커니즘의 법칙의 평가를 간단하게 만들 수 있다고 말할 수 있다.

#### 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. ASCE-ACI Committee 445, "Recent approaches to shear design of structural concrete," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 124, No. 5, 1998, pp.1375-1417.
2. ASCE-ACI Committee 426, "The shear strength of reinforced concrete members," *Journal of Structural Division*, ASCE, V. 99, No. 6, 1973, pp. 1091-1187.
3. Michael P.Collins, "Prestressed Concrete Structures" Prentice Hall.
4. 김우, 정제평, 김대중, "전단이 지배하는 RC 부재의 새로운 트러스 모델링 기법 연구(전편)-기본 개념 유도를 중심으로-", 콘크리트학회논문집, 16권, 6호, 2004, pp.785~794.