

# 전단지배형 부재의 변형능력 산정을 위한 모형

## Deformability Models of Shear Controlled Members

홍 성 곁\*

Hong, Sung Gul

---

### ABSTRACT

Estimation of deformation capacity of non-flexural reinforced concrete members is proposed using basic concepts of limit analysis and the virtual work method. This new approach starts with construction of admissible stress field as for an equilibrium set. Failure mechanisms compatible with admissible stress fields are postulated as for displacement set. It is assumed that the ultimate deformations as result of failure mechanisms are controlled by ultimate strain of concrete in compression. The derived formula for deformability of deep beams in shear shows reasonable range of ultimate displacement.

---

#### 1. 서론

구조물의 주요한 특성은 강성, 강도, 그리고 변형능력의 관점에서 살펴볼 수 있다. 강성은 부재의 단면의 크기, 콘크리트의 균열, 처짐 그리고 진동 등에 영향을 주는 특성으로 사용하중에 대한 만족여부가 주요한 관심사이다. 대체로 설계기준에는 부재의 최소 깊이를 통해 처짐량의 한계를 제어하며 간접적으로 균열폭 크기의 제한이 부재의 요구 강성을 조정한다. 부재의 강도는 구조물의 안정성을 좌우하는 중요한 특성으로 그 동안 강도설계법의 구현을 위하여 심도 있게 다루어 온 주제이다. 특히 스트럿-타이 모델은 특히 응력과 변형율이 불균일한 소위 D-구역의 철근 콘크리트 구조물의 설계를 위한 하한계 값을 제공하여 안전한 값의 극한강도를 추정하여 합리적인 배근설계도구 역할을 하였다.

최근 내진설계법의 방향은 소위 성능기초설계개념으로 발전을 요구하면서 구조물의 강성, 강도, 변형능력에 대한 적절한 요구사항을 만족하여야 한다. 종전에 별도로 검토해왔던 강도와 사용성 요구조건을 같은 단계에서 검토하는 설계방법이 제시되고 있다. 또한 항복이후 부재의 변형능력 자체와 그 영향의 정보를 요구한다. 지금까지 사용해 온 응력기초 또는 강

---

\* 정희원, 서울대학교 건축학과 부교수

도기초설계법에서 변위기초 또는 변형기초설계법으로 인식의 변환은 탄성변형과 소성변형의 정성적인 분석을 요구한다.

휨 변형이 지배하는 부재 단면의 극한 변형능력은 평면유지가정으로 쉽게 산정할 수 있다. 축력에만 저항하는 무한개의 축부재인 파이버가 일직선의 변형율을 이룬다는 가정으로 콘크리트 최대 변형율로 지배되는 최대 곡률을 예측할 수 있다. 반면 전단력이 지배하는 부분이나 응력교란구역에서 설계법은 충분히 큰 강도를 확보하여 변형능력에 대한 고려를 유보하였다. 그러나 종종 전단력이 지배하는 부재의 경우라도 주요 요소의 항복이후 최대 변형능력의 크기의 산정이 요구된다. 본 논문은 전단지배형의 부재의 최대 변형능력의 산정방법을 위하여 소성학의 기본과 가상일의 원리를 이용한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 기본 가정

변형능력의 산정을 위하여 휨 변형의 최대능력을 산정하는 방법의 유사성을 살펴보기로 한다. 휨에 대한 우선 정적시스템을 구성한다. 압축력과 인장력을 받는 시스템은 무한개의 스트럿과 하부의 1 개 타이로 이루어졌다고 본다. 단면의 변형을 지배하는 기하학적인 원리는 평면을 그대로 유지한다고 본다. 다시 말하면 정적시스템과 변형시스템의 구성이 필요하다. 변형 시스템의 한계는 최단의 압축스트럿의 극한 변형율로 결정된다. 단위 모멘트에 대하여 가상일의 원리를 적용하면서 변형형태를 고려하면 극한 곡률이 구해진다. 이와 같은 원리를 전단지배 또는 D-구역 부재에 적용하면 최대 변형능력을 산정할 수 있다.

우선 정적시스템의 구성을 위하여 해당 부재의 극한 상태의 응력장 또는 스트럿-타이 모델을 구성한다. 정적 시스템의 파괴 모드를 시도한다. 압축대의 파괴가 변형능력을 좌우하며 타이의 변형은 선택사항이다.

콘크리트는 모아쿨롱 재료로 가정하며 철근 인장재는 완전소성으로 가정한다. 균열과 스트럿의 압축응력의 방향은 콘크리트 소성학에서 논의한 바 소성변위와 균열선의 사이를 이분한 방향을 따른다. 스트럿의 파괴 모드는 회전형, 병진형 그리고 쌍곡선, 그리고 균일변형장을 도입할 수 있다.

## 3. 깊은 보의 파괴

전단파괴가 지배하는 부재의 종류와 경우가 많으나 기본적 이해를 돕기 위하여 깊은 보의 예를 들기로 한다. 주어진 깊은 보 상단에 집중하중이 작용하면 스트럿의 파괴 모드에 따라 극한 변형능력의 크기가 결정된다. 정적시스템은 가장 간단한 스트럿-타이 모델을 취한다. 극한상태에 이르면 주요한 하중전달 경로는 스트럿-작용에 의한다.

첫번째 회전형 파괴모드는 스트럿의 최단의 변형율이 변형능력의 크기를 결정한다. 정적시스템과 파괴 메커니즘으로 표현되는 변형시스템을 가상일의 원리에 적용하면 하중지점의 극한 변형량을 계산할 수 있다. 병진형 파괴 메커니즘의 경우는 인장타이가 항복과 스트럿이 파괴하는 경우와 오로지 스트럿만 파괴하는 경우로 나누어 변형능력을 살펴볼 수 있다. 콘크리트의 최대 변형율은 스트럿의 축방향 변위를 스트럿의 길이로 나눈 값으로 간주한다.

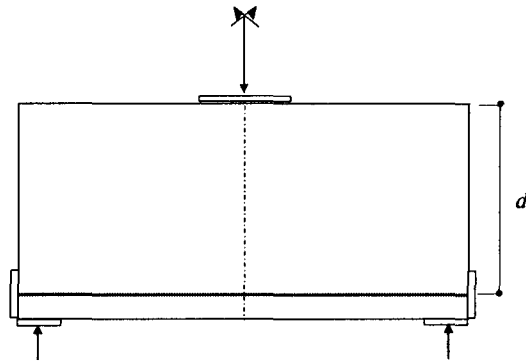


그림1. Strut-and-tie model for deep beam under concentrated load

또 다른 스트럿의 파괴 메커니즘은 Marti에 의하여 제안된 쌍곡선 균열선이다. 직사각형 모양의 스트럿의 대각선 연장선에 회전 중심이 있으며 쌍곡선은 스트럿의 꼭지점을 통과한다. 회전 중심의 위치는 인장타이의 항복여부에 따라 달라진다. 타이의 연장선에 위치하면 회전운동에 의한 타이의 축방향변형이 발생하지 않으므로 스트럿의 파괴만이 시스템의 극한상태를 좌우한다.

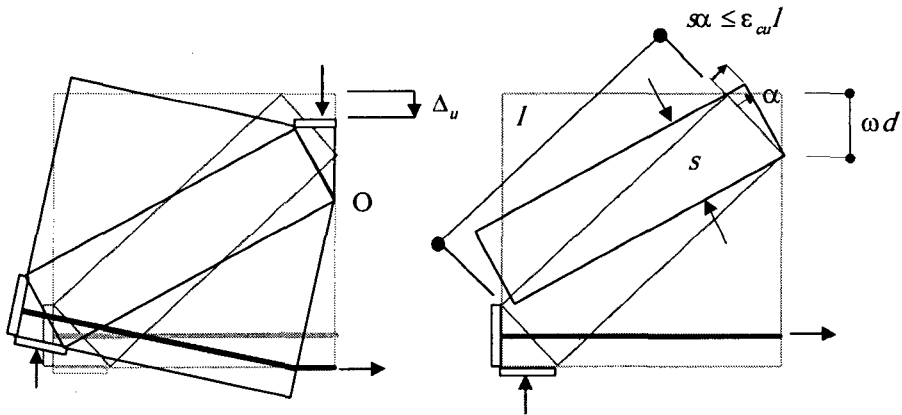


그림2. Bending mechanism and limit of rotation

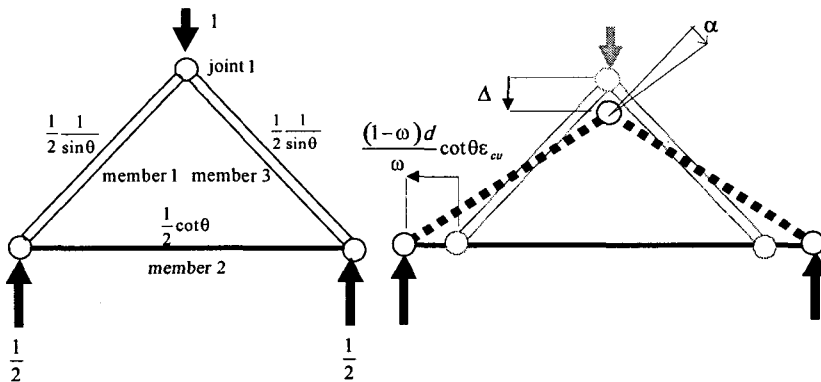


그림3. Equilibrium set and displacement set for virtual work method

#### 4. 비교 및 분석

앞서 구한 공식과 변형능력이 측정된 깊은 보의 거동 결과와 비교하여 제시된 변형능력산정 모형의 유용성을 보여주고자 한다. 비교 결과 제시한 변형능력의 산정값이 실험결과 범위에 적절하게 나타난다. 단지 취성파괴의 결과 소성변위가 작아 적절한 환산 모형 적용이 필요하다.

#### 5. 결 론

- 1) 제시한 전단지배형 부재의 변형능력 모형은 스트럿-타이 모델을 이용한 정적시스템과 이에 적합한 파괴 메커니즘을 변형 시스템으로 이용한 가상일의 원리를 적용하였다.
- 2) 소성학에 근거한 모형은 기존의 휨부재 변형능력 산정모형과 일관성을 유지한다.
- 3) 깊은 보의 변형능력산정 모형은 응력교란 구역 및 전단지배형 부재의 변형능력산정에 확장하여 응용될 수 있다.

#### 참고 문헌

1. Nielsen, M. P., "Limit Analysis and Concrete Plasticity," 2nd Edition, CRC Press, New York, 1999, 908pp.
2. Chen, W.F, and Han, D.J. "Plasticity for Structural Engineers," Springer-Verlag New York Inc., 1988, 606pp.
3. Muttoni, A., Schwartz, J., and Thürlimann, "Design of Concretes with Stress Fields," Birkhäuser, Boston, 1997, 143pp
4. Schlaich, J., Schäfer, K., and Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," PCI J. Vol.32, No.3, pp.74-150.
5. Marti, P., "Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design," ACI Journal, Jan.-Feb., 1985, pp.46-56.
6. Paulay, T., and Priestley, M.J.N., "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings," John Wiley & Sons, New York, 1992, 744 pp
7. Ashour, A. F., and Morley, C. T., "Effectiveness Factor of Concrete in Continuous Deep Beams," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.122, No.1, 1996, pp.169-178.