

부착 손실이 철근콘크리트 보의 전단강도에 미치는 영향

Shear Strength of RC Beams with Exposed Reinforcement

명 근 학* 이 창 신** 김 대 중*** 모 귀 석**** 김 우*****
Myung, Gun Hak Rhee, Chang Shin Kim, Dae Joong Mo, Gui Suk Kim, Woo

ABSTRACT

Reinforcement corrosion is the principal cause of deterioration of reinforced concrete. It is to be expected that loss of bond between concrete and tension reinforcement would lead to a reduction in shear strength of RC beams designed to fail in shear. This paper presents results of a FE analysis study to evaluate the shear strength of RC beams with exposed reinforcement represented the limiting condition of bond loss.

1. 서론

공용중인 철근콘크리트 구조물은 주변 환경의 영향으로 열화하는데, 철근 부식이 열화의 가장 주된 원인이다. 부식에 의해 부착이 손실된 철근은 더 이상 콘크리트와 일체 거동하는 복합체 역할을 하지 못하게 되어, 철근콘크리트의 기본 가정이 달라져 구조부재의 거동은 변하게 될 것이다.

철근콘크리트 보의 전단강도는 균열이 발생하지 않은 부분의 콘크리트의 저항, 균열면의 요철에 의한 맞물림과 마찰에 의한 저항, 주철근의 다월작용(dowel action)에 의한 저항 및 균열면과 교차된 스테럽에 의한 저항의 합으로 본다. 이러한 관점에서 보면, 콘크리트와 주철근의 부착 손실은 전단강도의 감소를 초래하리라 예측할 수 있다. 즉, 부착 손실로 인한 균열 폭의 증대와 콘크리트 덮개의 수평 쪼갬(splitting)은 각각 골재 맞물림 저항과 다월작용에 의한 저항을 감소시키고, 또한 콘크리트 덮개 탈락은 스테럽의 모서리 부분을 노출시켜 스테럽의 전단저항을 감소시키므로 부착 손실이 있는 철근콘크리트 보의 전단강도는 감소할 것으로 예측할 수 있다.

그러나 Cairns^{1), 2)}는 부착 손실의 한계상태인 주철근이 노출된 보 몇 개를 실험하여 부착손실은 오히려 전단강도의 증가를 가져온다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 부착이 손실된 보는 구조적 거동이 휨거동에서 타이드-아치거동으로 변화하기 때문이라고 설명하고 있다. Cairns의 연구 결과는 부착 손실이 있는 보의 거동에 영향을 미치는 인자 중에서 주로 주철근의 노출길이만을 고려한 제한적인 실험을 통해 얻은 결과이다.

따라서 이 연구에서는 주철근의 부착 손실이 있는 보의 거동에 관한 기존의 실험 결과를 검토하고,

*정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정

**정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

***정회원, 전남도립 남도대학 토목환경과 조교수

****정회원, 대불대학교 토목환경공학과 교수

*****정회원, 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

부착 손실이 있는 보의 거동에 영향을 미치는 여러 인자를 고려하여 유한요소해석을 통해 부착손실이 있는 RC 보의 전단거동 특성을 규명하고자 하였다. 이 연구의 결과는 공용중인 콘크리트 구조물의 전단 내하력 평가의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 유한요소해석 모델링

이 연구에서는 부착이 손실된 철근콘크리트 보의 거동을 규명하고자 유한요소해석을 수행하였으며, 범용 해석프로그램인 ATENA³⁾를 사용하였다.

이 연구에서는 부착 손실을 철근의 노출로 표현하여 그림 1과 같이 모델링하였다. 철근 부식은 부착 손실을 초래하며, 콘크리트 덮개가 제거되어 철근이 노출된 상태는 부착 손실의 한계상태라 할 수 있다. 공용중인 열화된 철근콘크리트 구조물의 잔존강도(residual strength)를 예측하는 내하력 평가의 관점에서 볼 때, 이와 같은 모델링은 안전의 여유가 다소 포함된 강도 평가로써 공학적 측면에서 타당하다고 할 수 있다.

부착 손실이 있는 철근콘크리트 보의 거동에 영향을 미치는 인자는 부착손실길이(철근노출길이), 전단경간비, 콘크리트 강도, 주철근비, 철근 노출위치, 하중형태 및 단면형상 등이 있다. 이 연구에서는 부착손실길이($L_{exposed}$), 전단경간비(a/d), 콘크리트 압축강도(f_{ck}) 및 주철근비(ρ)를 주변수로 하였다. 부착손실길이 변수는 $L_{exposed}/L$ 를 0, 20, 40, 60 및 90%으로 변화시켰으며, a/d 는 2, 3, 4, 6 및 8로 f_{ck} 는 30, 50 및 70N/mm²로, ρ 는 0.74, 1.5, 2.5 및 3.5%로 변화시켜 총 60개의 보에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석 보의 제원은 그림 1과 같다.

모델링 검증을 위해서 Cairns¹⁾가 실험한 보와 동일한 제원 및 재료상수를 갖는 3개의 보에 대하여 우선 유한요소해석을 수행하였으며, 그 결과인 파괴강도 및 파괴모드를 그림 2에 나타냈다. 그림 2에서 알 수 있듯이, 유한요소해석 결과는 실험결과와 유사하다.

3. 부착 손실이 있는 RC 보의 거동

전단파괴하도록 설계된 a/d 가 2와 3인 보의 부착손실길이에 따른 전단강도의 변화를 그림 3에 나타냈다. a/d 가 2인 보는 철근 노출길이가 증가하여도 전단강도의 변화가 없고, a/d 가 3인 보 $L_{exposed}/L$ 가 40%까지 철근이 노출되어도 오히려 전단강도가 증가하는 결과이다. 이는 부착 손실로 인

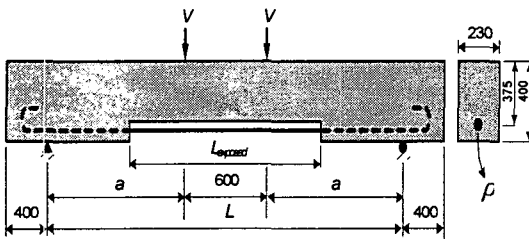


그림 1 해석 보의 제원

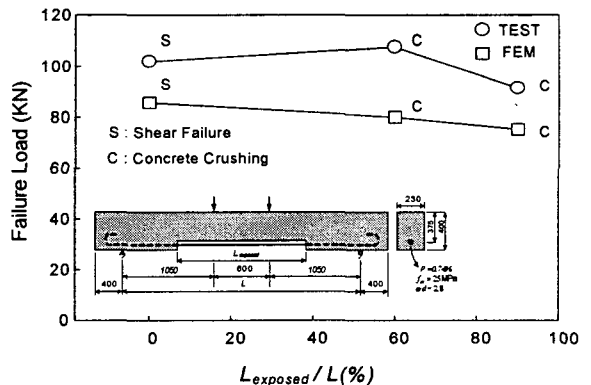


그림 2 유한요소해석 모델링 검증

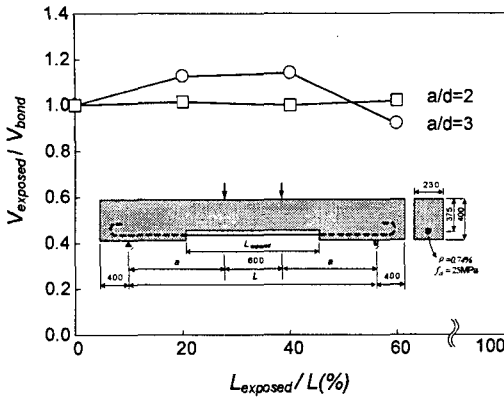


그림 3 부착 손실 길이에 따른 전단강도의 변화

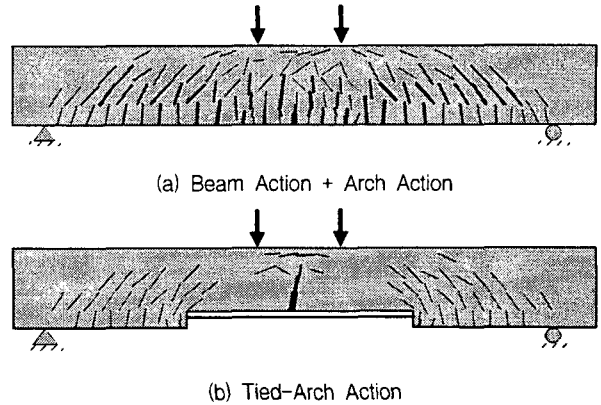


그림 4 부착 손실에 따른 균열 형상 비교

한 균열 폭의 증대와 콘크리트 덮개의 수평 쪼갬 때문에 골재 맞물림 저항과 다월작용에 의한 저항이 감소하여 전단강도가 감소할 것이라는 일반적인 전단저항메카니즘에 기초한 예측과는 상반되는 결과이다. 이와 같은 해석 결과는 철근 노출이 저항 구조계를 변화시키기 때문인 것으로 판단된다. a/d 가 2인 보는 잘 알려진 바와 같이 타이드-아치거동을 한다. 즉, 이 보는 당초부터 주철근이 인장타이 역할을 하며 부착이 없고 주철근력이 일정하게 거동한다. 따라서 철근 노출이 파괴강도에 영향을 미치지 않아 파괴강도의 변화가 없는 것이다. 반면에 a/d 가 3인 보는 철근 노출이 없을 때는 보작용 (beam action)과 아치작용 (arch action)의 조합에 의해 저항하다가 철근이 노출됨에 따라 타이드-아치 거동으로 저항 구조계가 변화하여 아치작용이 증대되므로 오히려 전단강도가 증가하는 현상을 보인 것이다. 그림 4에 a/d 가 3인 보의 유한요소해석 결과로부터 철근 노출에 따른 균열형상을 비교하였다. 그림 4에서도 정성적으로 알 수 있듯이, 철근이 노출됨에 따라 타이드-아치거동으로 변화되는 현상이 나타난다.

그림 5에 보인 바와 같이 a/d 가 3인 보의 $L_{exposed}/L$ 가 40%까지 철근이 노출되어도 오히려 전단강도는 증가하거나 변화하지 않는 결과를 보이고 있다. 앞에서 언급하였듯이, 사인장파괴하는 보의 주철근이 노출되면 저항기구가 타이드-아치거동으로 변하므로 오히려 전단강도가 증가한 것이다.

타이드-아치거동을 하는 보의 콘크리트 아치가 압괴 (concrete crushing)하여 파괴하든지, 인장 타이인 철근이 항복하여 파괴하든지 또는 정착파괴할 것이다. 인장 타이인 철근이 항복하여 파괴하는 경우는 철근 노출길이에 상관없이 전단강도는 일정해야 한다. 그림 5에서 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 큰 $f_{ck}=70\text{N/mm}^2$ 인 경우는 철근 노출이 없는 당초부터 철근이 항복하여 파괴한 경우로써 철근이 노출되더라도 전단강도는 변하지 않는다.

그림 5에서 콘크리트 압축강도가 30N/mm^2 와 50N/mm^2 인 보의 철근이 노출됨에 따라 타이드-아치 거동으로 변하였으며, 콘크리트 아치가 압괴하여 파괴한 경우이다. 따라서 두 경우 모두 철근 노출이 일정한 길이까지 증가함에 따라 타이드-아치기구로 변화하여 전단강도가 증가한 것이다. 또한 해석 결과에 기초하면, 콘크리트 압축강도가 클수록 철근 노출에 따른 저항기구의 변화로 인한 전단강도의 증가율이 작아짐을 알 수 있었다.

a/d 가 3인 철근이 노출된 보의 주철근비의 변화에 따른 전단강도의 변화를 그림 6에 나타냈다. 그림 6의 모든 보의 전단이 지배하는 보로써 철근 노출이 일정한 길이까지 증가함에 따라 타이드-아치기구로 변화하여 전단강도가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 주철근비가 클수록 전단강도 증가율이 작아지는 경향을 보인다.

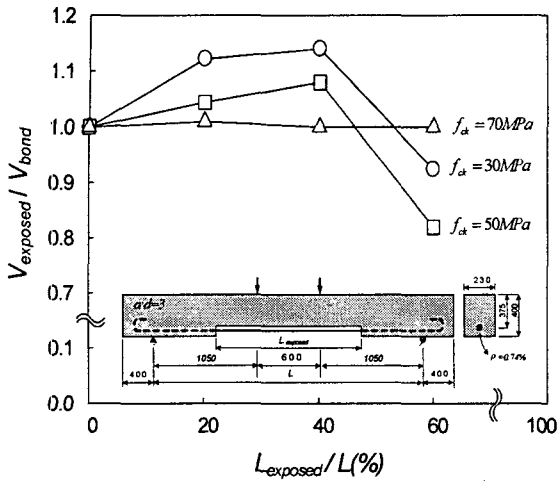


그림 5 콘크리트 압축강도의 영향

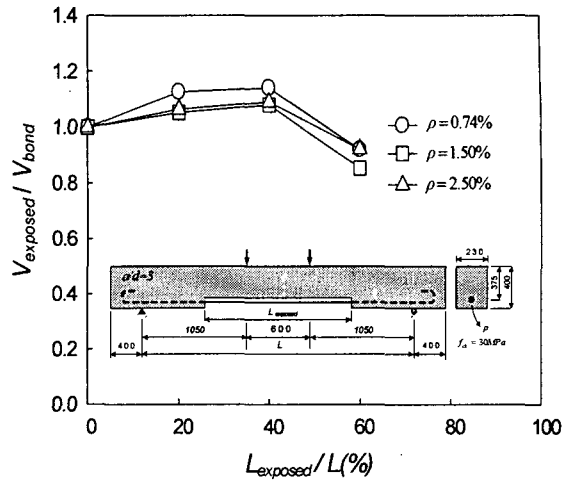


그림 6 주철근비의 영향

4. 결론

이 연구에서는 유한요소해석을 통해 부착 손실이 있는 RC 보의 전단강도를 평가하여 보았으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 타이드-아치 거동을 하는 깊은 보의 주철근이 노출되어도 전단강도는 변화하지 않는다.
- 2) 사인장파괴하는 보의 주철근이 노출되면 저항기구가 타이드-아치거동으로 변화하여, 보 경간의 40%까지 주철근이 노출되어도 오히려 전단강도가 증가하였다.
- 3) 사인장파괴하는 보의 철근 노출에 따른 전단강도 증가율은 콘크리트 압축강도 및 주철근비가 클수록 작아지는 경향이였다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Cairns, J. and Zhao, Z., "Structural Behaviour of Concrete Beams with Exposed Reinforcement," Proceeding Institution of Civil Engineer: *Structures & Buildings*, V. 99, May 1993, pp.141-154.
2. Cairns, J., "Strength in Shear of Concrete Beams with Exposed Reinforcement," Proceeding Institution of Civil Engineer: *Structures & Buildings*, V. 110, May 1995, pp.176-185.
3. Cervenka, V., ATENA Program, Cervenka Consulting, 2000.
4. Kani, G. N. J., "The Riddle of Shear and Its Solution," *ACI Structural Journal*, V. 64, No. 4, Apr. 1964, pp.441-467.
5. Minakrah, I. and Ringo, B. C., "Behaviour and Repair of Deteriorated Reinforced Concrete Beams," *Transpn. Res. Rec.* No. 821, 1982, pp.73-79.