

주기하중을 받는 보-기둥 접합부내 보주철근 부착 및 정착의 해석적 평가

Analytical Evaluation of Beam-Bar Bond and Anchorage in Beam-column joints under Cyclic Loading

오 수 연* 이 주 하** 윤 영 수***
Oh, Soo Yeun Lee, Joo Ha Yoon, Young Soo

ABSTRACT

The objectives of this research are to evaluate the effect of the compressive strength of concrete, reinforcing bar size, spacing of column transverse bars related to the concrete confinement effects on anchorage bond strength and bond behavior of beam-column joints subjected to cyclic loading and to predict the bond behavior of beam-column joints according to the variables by Finite Element Analysis applying the interface element between concrete and reinforced bar surface in a three-dimensional configuration. This paper shows that to verify the results by three-dimensional nonlinear finite element analysis applying a interface element, the test results that were already conducted are compared with analytic results. The behavior of bond and anchorage of beam bar is expressed by a local bond stress-slip relationship and the failure mode of bond is predicted by principal stress contour.

1. 서 론

구조물의 일반적인 관점에서 접합부는 하나의 일체로 작용하며 두개의 접합된 부재 사이의 접합면은 분리되지 않는다고 가정한다. 하지만 비탄성적인 영역에서 특히 주기하중을 받는 부재의 경우에는 철근과 콘크리트 간에 부착의 상당한 손실이 발생하고 이러한 접합부의 부착 파괴는 전체 구조물의 붕괴 결과에 이를 수 있는 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 주기하중을 받는 보-기둥 접합부의 부착 거동을 규명하기 위하여 부착 응력에 영향을 미치는 콘크리트 압축 강도, 철근 간격, 철근 크기, 횡방향 철근의 위치와 양, 하중 형태와 하중률을 변수로 하여 3차원 계면 요소를 적용한 모델을 통하여 해석적으로 평가하였다.

2. 부착 응력 - 슬립 관계 곡선

부착 효율은 부착 응력과 철근 슬립의 관계 곡선에 의해 표현된다. ACI Committee 408 의 보고에 따르면 부착 응력은 콘크리트와 철근 사이의 부착면을 따라 각각 철근 변형에서의 국부 응력이 아닌 적어도 15 배의 지름 길이의 길이를 따라 계산된 평균 부착응력이다.

*정회원, Esco Technology 부설 기술연구소 연구원

**정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

***정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

주기 하중을 받는 보-기둥 접합부의 보 주철근에 대한 부착 응력과 철근 슬립의 관계 곡선은 다양한 영향 인자로 인해 그의 곡선 추이 예상이나 표준화가 아직 이루어지지 않은 상태이지만 현재 많은 연구자들에 의해서 연구가 이루어지고 있다.

3. 계면 요소를 적용한 접합부 모델링

시험체는 보-기둥 접합부에 영향을 미치는 요소들 중에서 철근 크기, 콘크리트 구속 효과와 관련이 있는 횡방향 철근 간격, 콘크리트 압축 강도를 변수로 하여 ACI 352-02 에 의해 설계하여 해석을 수행하였다.

표1 시험체 변수

구분	변수 설정
철근 크기	D25
	D32
횡방향 철근 간격	Plain
	Only Column Reinforcement
	4.88 cm 12.6 cm
콘크리트 압축강도	250 kg/cm ²
	300 kg/cm ²
	350 kg/cm ²
	550 kg/cm ²

철근 크기와 횡방향 철근 간격을 변수로 한 시험체의 콘크리트 압축 강도는 280 kg/cm²이고, 콘크리트 압축 강도를 변수로 한 시험체의 횡방향 철근은 D-10을 8.4cm 간격으로 배근하였다. 구속조건은 기둥이 연결되어 있음을 모사하기 위하여 기둥방향의 상하면에 x, y, z 방향을 모두 구속하였고, 하중은 변위 조절에 의한 주기하중을 가했다. 이미 수행된 연구 결과에서 시험체의 형상이 콘크리트와 철근 사이의 접촉면에서의 복잡한 관계에 많은 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 따라서 시험체의 형상에 영향을 받지 않는 결과를 유도하기 위해서 시험체의 형상 효과를 유한 요소 해석 모델을 이용하여 일정하게 적용하여 해석을 수행하였다.

기존에 수행된 보-기둥 접합부의 부착 거동에 대한 해석 연구는 철근과 콘크리트 사이의 3차원 거동으로 나타나는 부착을 수직 응력과 전단 응력의 조합에 의한 평면 모델을 활용하여 계면에서의 접합 특성을 분석하고 있다. 기존의 평면 모델의 모델링은 부착거동을 모사하기 위해 스프링 요소를 사용하여 철근과 콘크리트의 접촉면적의 부착 특성을 절점과 절점을 연결하는 스프링 강성으로 치환하여 표현하여야 한다. 반면에 본 연구에서 적용한 계면 요소는 수직 및 전단력과 수직 및 전단 상대 변위 사이의 관계에 의해서 계면 거동을 표현한다. 실제 철근 콘크리트 사이의 거동은 3차원으로 나타나는 부착이라는 이유 뿐 만 아니라 본 연구의 변수 중 콘크리트 구속 효과와 관련이 있는 횡방향 철근을 모사하기 목적으로 삼차원의 모델링을 수행하였다.

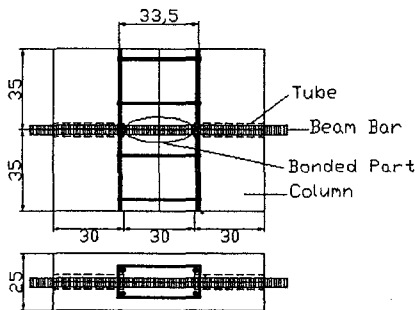


그림 1 철근크기 변수 시험체

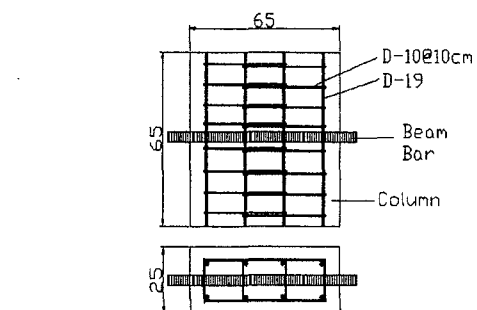


그림 2 철근간격과 콘크리트압축강도 변수 시험체

본 연구에서 적용한 3차원 계면 요소는 기본적인 변수로 절점 변위 u , 상대 변위 Δu , σ 는 힘 (traction) t 가 있다. 이 계면 요소는 σ 는 힘(traction) t 와 상대 변위 Δu 사이의 관계를 모사하고 있다. 수직력 (normal traction) t_x 은 계면과 전단력(shear traction) t_y 에 수직하고 t_x 는 계면에 접한다. 콘크리트와 철근사이의 계면에서 발생하는 힘은 $t_n = k_n \Delta u_n$ $t_t = f_t(d_t)$ 와 같고, 콘크리트와 철근 사이의 계면에서 발생하는 수직 및 전단 강성은 $D_{11} = k_n \approx 0$ $D_{22} = \frac{\partial f_t}{\partial \Delta t} = k_{22} E_c$ 으로 표현할 수 있다. k_{22} 는 실험에 의해 이형철근의 경우 6.0/m 의 값을 사용한다.

4. 해석 결과

횡방향 철근의 무유를 변수한 시험체의 결과에서 알수 있듯이 콘크리트의 구속효과는 부착에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 좀 더 연성적인 거동과 접합면에서 발생 할 수 있는 철근의 Spalling 현상도 감소될 것을 유추할 수 있다. 하지만 횡방향 철근 간격이 부착 응력과는 비례 관계가 아님을 알 수 있다. 콘크리트 강도에 대한 결과는 콘크리트 강도가 더 클수록 큰 부착 응력을 나타내고 있음을 알 수 있다. 단일 하중의 경우 부착 응력은 콘크리트의 근호값과 비례 관계를 나타내지만 주기 하중하에서는 좀 더 복잡한 거동으로 좀 더 많은 연구가 필요하리라 본다.

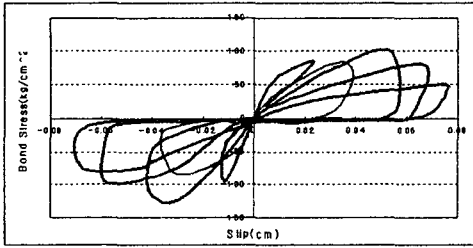


그림 3 무근 시험체의 부착 응력-슬립 곡선

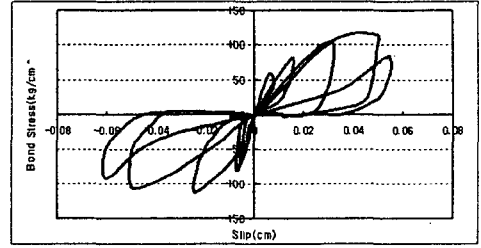


그림 4 기둥의 횡방향 철근이 배근안된 시험체

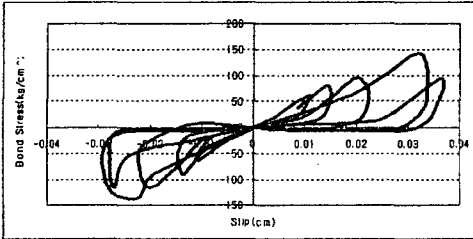


그림 5 4.88cm간격의 횡방향 철근 배근 시험체

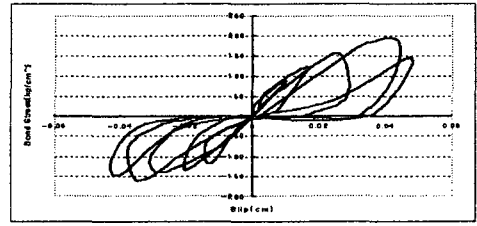


그림 6 12.6cm간격의 횡방향철근 배근 시험체

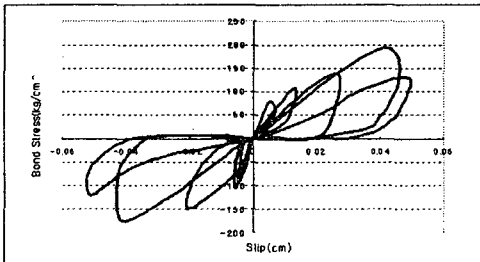


그림 7 압축 강도가 250 kg/cm² 인 시험체

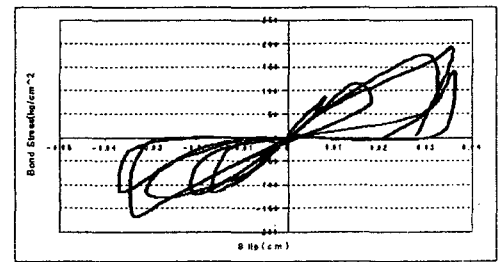


그림 8 압축 강도가 500 kg/cm² 인 시험체

5. 검 증

하중률을 변수로 한 이미 수행된 실험의 시험체를 3차원 계면 요소를 이용해 모델링하여 유한 요소 해석결과 실험결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

6. 결 론

해석 결과에 따른 결론은 주기하중을 받는 보-기둥 접합부의 부착에 관한 이미 수행된 실험과 동일한 결과가 나왔음을 알 수 있다. 이는 시험체의 해석 결과와 검증의 과정을 통해 본 연구에서 수행된 계면 요소를 이용한 3차원 비선형 해석의 타당성에 큰의미를 둘 수 있다. 해석 결과에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 철근 사이즈로 변수를 준 실험체의 부착 응력 - 철근 슬립의 양상을 비교하면 동일한 슬립의 범위에서 부착 응력의 범위가 D-25보다 D-32가 더 큰 것을 알 수 있다.
- 2) 무근과 기둥 철근만을 배근한 실험체의 부착 파괴 양상은 콘크리트의 불충분한 구속으로 인한 할렬 파괴를 예상할 수 있다.
- 3) ACI 352-02 제안식에 의한 철근 간격인 12.6cm와 그보다 작은 4.88cm를 비교해 볼 때, 유사한 거동을 나타내고 있으므로 콘크리트 구속 정도와 부착 강도는 선형 관계가 아님을 알 수 있다.
- 4) 실험 결과에서 밝혀진 것과 동일하게 부착응력 - 철근 슬립 양상 결과도 콘크리트 압축 강도가 증가하면 부착응력도 증가함을 알 수 있다. 콘크리트의 고강도화에 따라 주기 하중뿐 아니라 단일 하중하에서도 고강도 콘크리트와 부착 응력과의 관계에 대한 연구도 필요하다.
- 5) 계면 요소를 이용한 유한 요소 해석으로 보-기둥 접합부의 거동 정립과 부착 응력 - 철근 슬립 관계곡선의 표준화 연구에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. ACI-ASCE 352R-02 "Recommendations for Design of Beam-Column connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures" reported by joint ACI-ASCE Committee 352
2. Giorgio Monti, Filip C. Filippou, and Enrico Sparcone, "Analysis of hysteretic behavior of anchored reinforcing bars", ACI Structural Journal May-June 1997
3. Parviz Soroushian and Ki-Bong Choi, "Analytical Evaluation of straight bar anchorage design in exterior joints", ACI Structural Journal March-April 1991