

부분적인 비 부착 철근을 갖는 슬래브-기둥 접합부의 반복 횡하중 실험

Tests of Slab-Column Connections with Partially Debonded Reinforcement under Cyclic Lateral Loading

최정욱* 송진규**
Choi, Jung-Wook Song, Jin-Kyu

ABSTRACT

This article summarizes tests conducted on two full-scale interior slab-column connections with and without partially debonded reinforcement subjected to cyclic loading. Each test specimen consisted of a 4.2m square slab with a 355mm square column protruding 1.5m above and below the slab. The slab thickness was 152mm. The specimen with partially debonded reinforcement exhibited more lateral drift capacity than did the specimen with fully bonded reinforcement. With partial debonding of the flexural reinforcement, cyclic load appeared to produce less damage to the connection in the vicinity of the slab-column joint region.

1. 서론

본 연구의 목적은 기둥에 인접한 슬래브의 상부철근과 콘크리트 부착을 부분적으로 제거하여 접합부의 횡변위 성능을 증진시키는 것이다. 반복 횡하중에 대하여, 기둥 좌우에 배치된 슬래브의 상부철근은 각각 인장과 압축 변형을 반복한다. 기둥에 인접한 상부철근을 비 부착할 경우, 비 부착 영역에서의 철근 변형은 일정하므로, 이론적으로 반복 횡하중에 대한 비 부착 철근의 변형은 없고 중력하중에 대한 철근의 최대 변형은 감소한다. 기둥에 인접한 상부철근의 항복을 최대한 지연시킴으로써 항복 이후 급격히 증가하는 콘크리트의 균열 전파와 전단 저항영역 감소를 지연시킬 수 있다. 결국, 부분 비 부착 기술(partial debonding technique)은 기둥 주변 슬래브에 변형이 집중하고, 이로 인해 손상이 집중되는 현상을 감소시킨다.

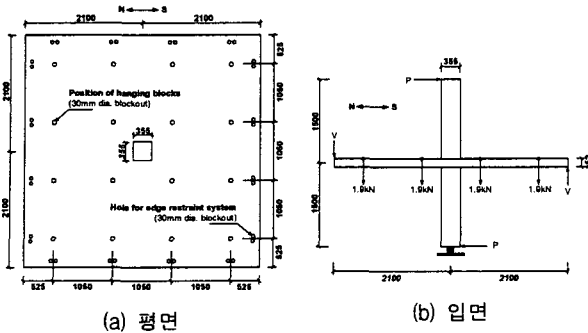
기술의 활용 측면에서, 부분 비 부착 기술은 전단 보강근을 이용하는 기술과 달리 상세한 설계가 요구되지 않고 시공 또한 매우 간편하다.

2. 구조 실험

부분적인 비 부착 철근을 갖는 슬래브-기둥 접합부의 거동을 알아보기 위하여 2개의 비 축소(full-scale) 실험체(SPA와 SPB)를 제작하였다. SPA는 부분적으로 비 부착된 철근을 갖는 실험체이고, SPB는 상대적인 비교를 위한 기준 실험체이다.

2-1. 실험체 설계

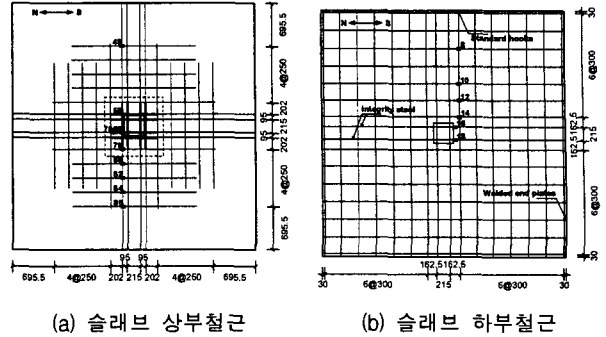
* 한국콘크리트학회 공학연구소, 선임연구원
** 전남대학교 건축학부, 부교수



(a) 평면

(b) 입면

그림 1. 실험체(슬래브-기둥 접합부)



(a) 슬래브 상부철근

(b) 슬래브 하부철근

(All units are in millimeters)

그림 2. 슬래브의 철근 배근

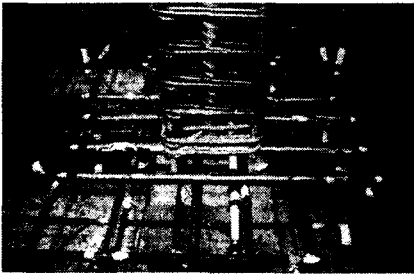
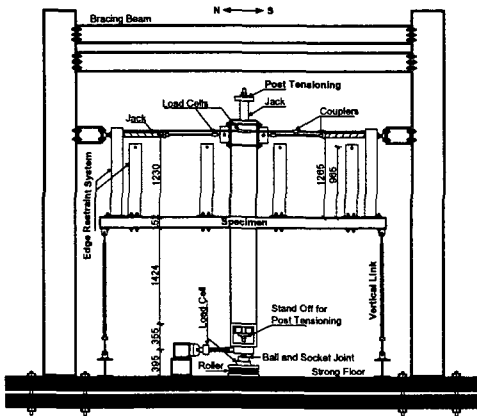


그림 3. 부분 비 부착 기술



(All units are in millimeters)

그림 4. 실험체 설치 입면

실험체는 4.2m 정사각형 슬래브와 3m 길이의 기둥으로 구성되는 비 축소 모델이다(그림 1). 실험체 슬래브는 콘크리트 구조설계 기준¹⁾과 ACI 318-02 기준²⁾에 기초하여 설계하였다. 이때, 사용 고정하중은 슬래브의 자중 3.60kN/m^2 과 마감하중 0.75kN/m^2 으로 정하고, 사용 활하중은 1.90kN/m^2 으로 가정하였다. 철근의 항복강도와 콘크리트의 압축강도는 각각 400MPa과 30MPa로 가정하였다. 중력하중에 대한 설계 모멘트는 직접설계법을 이용하였고 횡하중에 의한 불균형 모멘트는 2% 횡변위비에 기초하여 계산하였다. 슬래브 상부 및 하부 철근 배근은 그림 2와 같다.

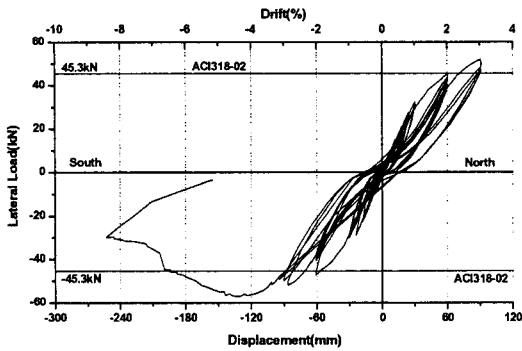
기둥은 약 10층 정도의 중력하중이 작용하는 것으로 가정하고 760kN의 축하중에 저항하도록 설계하였다. 상부 층으로부터 재하 되는 축하중을 묘사하기 위하여, 기둥 중심에 44mm 직경의 구멍이 관통하도록 만들고 35mm 직경의 프리스트레싱 바(Diwydag bar)를 삽입하여 포스트텐션으로 가력 하였다.

SPA는 부분적으로 비 부착된 상부철근을 갖는 실험체이다(그림 3). 기둥에 인접한 8개의 상부철근을 비 부착 하였다. 비 부착 길이는 임의로 기둥 양면에서부터 슬래브 유효두께의 2배 확장된 길이(795mm)로 정하였다. 실험체 제작과정에서 철근과 콘크리트를 비 부착 하는 방법은 철근의 비 부착 영역에 윤활유를 바르고

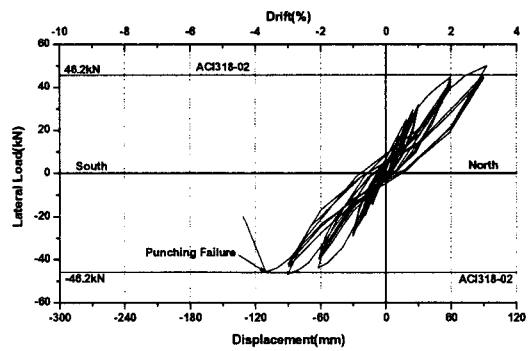
유연한 플라스틱 관으로 감싼 다음, 플라스틱 관이 움직이지 않도록 양단을 테이프로 고정하였다.

2-2. 실험체 설치

실험체 설치에 관한 입면은 그림 4와 같다. 중력 및 횡하중에 대한 슬래브의 정확한 경계조건을 위하여, 경계조건 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 중력하중에 대한 단부 구속 시스템(edge restraint system)과 횡하중에 대한 수직 링크(vertical link)로 구성된다.



(a) SPA(비 부착 철근을 갖는 실험체)



(b) SPB(기준 실험체)

그림 5. SPA와 SPB의 횡하중-횡변위 응답

실험체의 슬래브 단부는 실제 무량판 구조 슬래브의 중심선을 묘사한다. 그러므로 중력하중에 대하여 실험체의 슬래브 단부는 처짐이 발생하면서 처짐각이 없는 변형이어야 한다. 단부 구속 시스템은 8개의 독립적인 팔조로 구성되고, 하나의 팔조는 슬래브 양단에 각각 고정할 2개의 각형 강관(160×160×10mm)과 이를 연결하는 강봉(φ25mm)로 구성하였다. 강봉은 2부분으로 만들어 이를 커플러로 연결하였고, 수평 하중계를 부착하여 강봉의 축변형과 슬래브 단부의 정모멘트를 계측하였다.

횡하중에 대한 경계조건을 위하여, 횡하중 방향과 수직으로 배치되는 슬래브 단부는 수직 처짐이 구속되고 수평 이동이 자유로우며 양 단부의 회전각은 일치하여야 한다. 이와 같은 변형 형태를 얻기 위해, 8개의 수직 링크를 슬래브 하단부에 핀 접합하였다. 수직 링크를 구성하는 2개의 핀 접합부와 25mm 직경의 강봉은 커플러를 이용하여 연결하였고 수직 하중계를 강봉에 부착하여 수직 링크에 작용하는 인장 및 압축력을 계측하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3-1. 횡하중-횡변위 관계

SPA와 SPB의 횡하중-횡변위 관계는 그림 5와 같다. SPA와 SPB 응답의 일반적인 특성은 3% 횡변위 범위까지 유사하였고, 두 실험체의 강성은 횡변위의 증가와 함께 점진적으로 감소하였다.

그러나 극한상태에 도달한 이후의 두 실험체 응답은 크게 차이를 보였다. 기준 실험체인 SPB의 횡하중 응답은 3.5% 횡변위비에서 급작스런 취성파괴가 발생하였다. 반면, 부분적인 비 부착 철근을 갖는 실험체인 SPA는 4.5% 횡변위비에서 극한강도를 나타내고, 강도는 횡변위 증가와 함께 점진적으로 감소되어 8.5% 횡변위비까지 30kN 이상의 강도를 유지하였다. SPA의 연성거동은 SPB의 취성파괴와 확실히 비교된다. 또한, SPA는 4.5% 횡변위비에서 57kN의 극한하중에 저항하였고, SPB는 3% 횡변위비에서 50kN의 최대강도를 나타냈다.

3-2. 횡하중 강성

하나의 반복 이력에 대한 강성은 각각 최대 하중 및 변위를 갖는 두 점을 연결하는 직선으로 정의하였다. SPA와 SPB의 강성은 그림 6과 같이 횡변위 증가와 함께 점진적으로 감소하였고, 두 실험체 강성의 상대적인 차이는 매우 미소하여 무시될 정도였다.

3-3. 철근의 변형률과 응력 분포

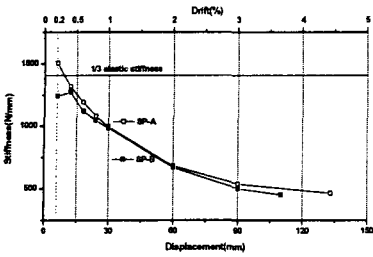


그림 6. 횡강성의 비교

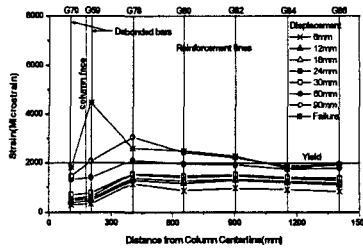


그림 7(a). SPA

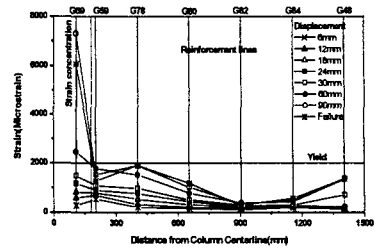


그림 7(b). SPB

횡하중 방향(N-S dir.)으로 배치한 상부 철근의 변형을 분포는 그림 7과 같다. 그림에서 X축은 기둥 중심선에서부터 슬래브 폭 방향으로 떨어진 거리를 의미한다. 그림에 나타난 철근 변형률의 계측 위치는 그림 2에 표시하였다.

극한상태에 가까워지면서, 기준 실험체 SPB의 철근 변형을 분포는 기둥 근처에 집중 하였고, 기둥에서 멀리 떨어진 철근의 변형률은 상대적으로 작게 나타났다. 반면, 부분적인 비 부착 철근을 갖는 SPA는 극한상태에서 기둥 근처 상부철근에 변형률이 집중하는 현상이 완화되고, 기둥에서 슬래브 폭 방향으로 떨어진 상부철근의 변형률이 증가하였다.

4. 요약 및 결론

반복 횡하중에 대하여 2개의 슬래브-기둥 접합부를 실험하였다. 실험의 목적은 슬래브-기둥 접합부의 횡변위 성능을 증진시키기 위하여 개발한 비 부착 기술(슬래브 상부철근을 부분적으로 비 부착하는 기술)의 효과를 알아보기 위한 것이다. 강도, 강성, 그리고 횡변위 성능에 대한 실험결과의 요약은 다음과 같다.

1. 슬래브의 상부철근을 부분적으로 비 부착하는 기술은 슬래브-기둥 접합부의 강도와 강성을 저감시키지 않았다.
2. 부분적인 비 부착 철근을 갖는 실험체는 극한강도 이후 급작스런 취성파괴를 보이지 않고 하중지지 능력이 점진적으로 감소하였고 횡변위 성능 또한 기준 실험체에 비해 약 2.5배 증가하였다.

반복 횡하중에 대하여, 기둥에 인접한 슬래브의 상부철근을 비 부착하는 기술은 ① 비 부착 영역의 철근항복을 지연시켜 항복이후 급격히 증가하는 콘크리트 균열 전파와 전단 저항영역 감소를 지연시키고, ② 기둥 근처에 집중하는 변형을 완화시키고 이를 슬래브 폭 방향으로 넓게 분포시킨다. 결과적으로 기둥에 인접한 슬래브의 손상을 감소시켜 슬래브-기둥 접합부가 연성 거동하도록 한다.

감사의 글

이 논문은 한국학술진흥재단의 해외 Post-doc. 연수지원과 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회·대한건축학회, "건설교통부 제정 콘크리트 구조설계 기준", 한국콘크리트학회·대한건축학회, 1999.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Reinforced Concrete," American Concrete Institute, Detroit, MI, 2002.