

일반 강도 콘크리트 슬래브를 통한 고강도 콘크리트 기둥의 축력 전달

Transmissibility of High-Strength Concrete Column Loads through Normal-Strength Concrete Slabs

윤 영 수* 데니스 미첼**
Yoon, Young Soo Denis Mitchell

ABSTRACT

Twelve column specimens were tested in compression, six were slab-column specimens and six were isolated column specimens. The slab column specimens were first tested to punching shear failure before the columns of the specimens were loaded axially. The effects of confinement from the surrounding slab on the axial capacity of the columns was investigated. Other parameters investigated were the placement of fiber-reinforced concrete in the slab and the concentration of flexural reinforcement in the column vicinity.

1. 서론

본 연구를 위해 12개의 기둥 실험체를 제작하였으며 이중 6개는 슬래브-기둥 실험체이고 나머지 6개는 독립적인 기둥 실험체로 구성하였다. 슬래브-기둥 실험체는 고강도 콘크리트 기둥에 축방향 하중 재하 전에 일반강도 콘크리트 슬래브의 펀칭 전단 실험을 수행하였으며, 기둥 주변의 둘러싸인 슬래브로부터 얻어지는 구속효과가 고강도 콘크리트 기둥의 축력에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 슬래브의 강섬유 보강 콘크리트의 타설 및 기둥 주변 슬래브 철근의 집중 배근 효과 등을 고찰하였다.

2. 실험 개요

2.1 기둥 실험체

펀칭전단 저항을 측정할 수 있는 슬래브-기둥 실험체 6개와 슬래브가 없는 독립 기둥 실험체 6개를 제작하였다. 12개의 실험체는 보통강도 콘크리트 슬래브 계열인 N 계열, 강섬유 보강 콘크리트를 기둥 부근 슬래브 전체 두께에 사용한 FS 계열, 그리고 슬래브의 상부 덮개에만 강섬유 보강 콘크리트를 사용한 FC 계열, 모두 3 계열로 구분된다. 슬래브 구속의 유무, 철근 배근의 종류에 따라 실험체를 나누어 제작하였고 그림 2와 같이 구분하였다. 철근은 각 방향으로 14개의 No.15를 배근하되 ACI⁽¹⁾ 및 CSA⁽²⁾ 시방서를 따랐으며, 강도 12,245kg/cm²의 부피비 0.5% 만큼의 강섬유를 사용하였다.

* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

** 캐나다 맥길대학교 토목공학과 교수

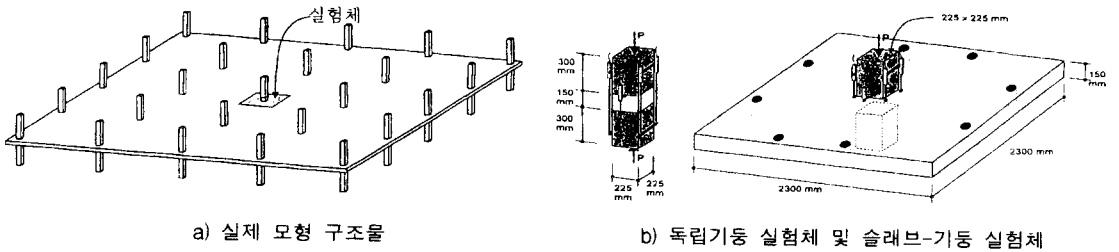


그림 1 실제 모형의 판 구조물과 실험체

2.2 실험체 설치 및 측정

모든 실험체는 1,122 ton 용량의 MTS 시험기에 의하여 축방향 하중을 받도록 하였고, 변형률 측정을 위하여 기둥 중앙에 4개 이상의 LVDT를 설치하였다. 시험 중 변위제어에 적용된 하중 및 항복 이후의 거동을 포함하는 전체적인 거동을 알 수 있도록 모든 값을 측정하였고 이 데이터들은 측정 시스템에 의하여 자동적으로 기록되도록 하였다.

3. 기둥 실험체 실험 결과 및 분석

3.1 기준 기둥 실험체

슬래브-기둥 실험체는 연성적인 파괴양상을 보인 반면 기준 기둥 시험체는 상당히 취성적인 파괴양상을 보였다. 하지만, 슬래브-기둥 실험체는 이런 연성적인 거동에 비해 그리 큰 강도 값을 갖진 못하였다. 슬래브 기둥 실험체는 슬래브가 없는 독립된 기둥들보다 더 큰 최대 하중 저항 값을 갖었다. 슬래브-기둥 실험체의 최고점 이후의 잔류 저항력은 기준 기둥 실험체와 독립된 기둥 실험체의 잔류 저항력보다 항상 큰 값을 보였다.

3.2 독립 기둥 실험체

슬래브의 취약한 부분의 콘크리트 강도는 기준 기둥 실험체와 비교해 볼 때 65%정도 감소하였고 최고점 도달 후에는 하중이 갑작스럽게 떨어졌으나, 샌드위치 층을 포함한 독립된 기둥의 성능은 하중 최고점에서 연성의 증가를 보였다. 또한 취약한 샌드위치 층에 의한 구속효과에 의하여 기둥의 유효 콘크리트 강도는 향상되었다. 슬래브 전체에 좀더 큰 강도의 보강 섬유 콘크리트에 의하여 실험체 CFS는 CN보다 8% 높은 강도를 보였다.

3.3 슬래브-기둥 실험체

슬래브 기둥 실험체는 편칭 전단 시험을 한 후 축방향 압축강도 시험을 하였다. 편칭 전단 시험 후 생기는 처짐은 실험체가 손상된 정도를 나타내는데 강섬유 보강 콘크리트를 함유한 실험체는 좀더 높은 잉여 전단저항에 의하여 더 큰 처짐 실험을 할 수가 있었다. 슬래브의 구속효과에 의한 기둥의 강도와 연성은 뚜렷이 증가하였다. 또한 철근을 집중 배근 함으로써 10%의 축방향 하중 저항능력이 증가되었다. 슬래브 층의 콘크리트 압축강도에 대한 유효강도

계열	독립기둥 실험체	슬래브-기둥 실험체와 철근의 배근		기준기둥 실험체
		균일 배근	집중 배근	
N	CN 30 MPa 80 MPa	NU 80 MPa 30 MPa	NB	C1 80 MPa
FS	CFS 160 mm 30 MPa with fibers	FSU 30 MPa with fibers	FSB 500 mm FRC	C2
FC	CFC 30 MPa with fibers	FCU 30 MPa with fibers	FCB 40 mm rRC	C3

그림 2 독립 기둥 및 슬래브-기둥 실험체

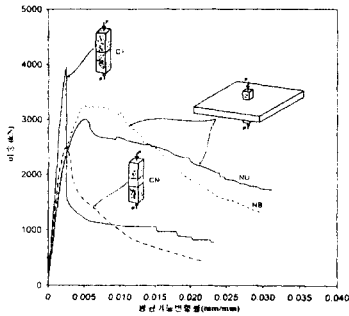


그림 3 N계열의 하중-변형률 관계

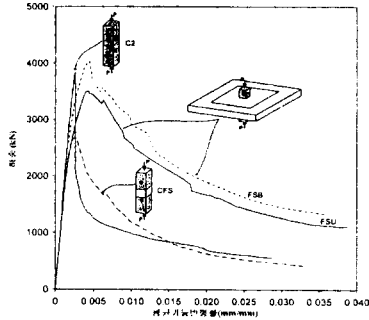


그림 4 FS계열의 하중-변형률관계

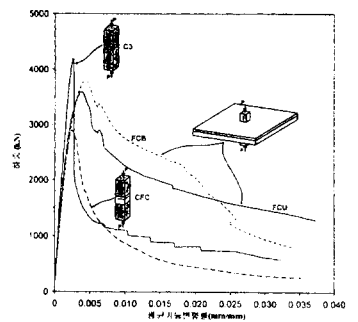


그림 5 FC계열의 하중-변형률관계

비율은 독립 기둥보다 횡철근을 균일·집중 배근한 경우에 훨씬 큰 값을 보였다. 축방향 하중과 변형률 사이의 관계에 강섬유 보강 콘크리트가 미치는 영향을 조사한 결과 강섬유로 인하여 기둥의 강도와 초기 하중 강성이 증가했다. 강섬유가 없는 NU 실험체는 펀칭 전단 테스트에서 강섬유 보강 콘크리트 실험체가 받은 손상 때문에 다른 두 실험체보다 더 많은 잉여 하중 저항 능력을 갖게된다. 강섬유 보강 콘크리트가 횡철근을 집중 배근한 보통 콘크리트 슬래브에 쓰일 경우, 기둥의 유효 강도는 슬래브 위·아래의 고강도 콘크리트 기둥이 갖는 강도와 같아진다. 강섬유 보강 콘크리트 사용과 횡철근의 집중 배근은 취약한 샌드위치 층이 거의 생기지 않게 슬래브-기둥 실험체가 받는 축방향 하중 저항 능력을 증가시킬 수 있는 이점이 있다.

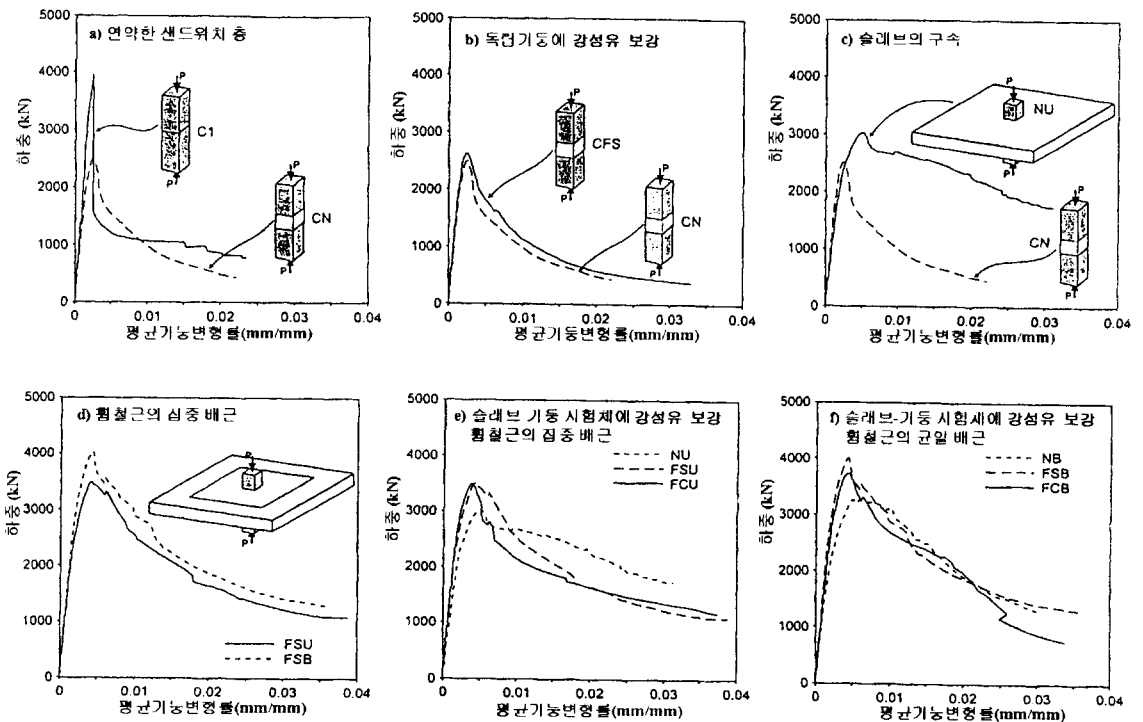


그림 6 각 요소에 따른 축하중 반응의 비교

3.4 ACI와 CSA 예측 방법 비교

그림 7은 이번 실험 값과 CSA 및 ACI 시방서 기준 값과의 비교를 나타내고 있는데, CSA 기준은 너무 보수적이며 ACI 기준은 몇몇 경우에 안전치 못하다는 것을 나타내주고 있다. 실험 결과에 잘 부합되는 기준은 아직 없으나 그 중에서도 h/c값을 포함하고 있는 Ospina와 Alexander⁽³⁾에 의해 제한된 공식은 이들보다 좀 더 안전하고 정확하게 강도를 예측하였다.

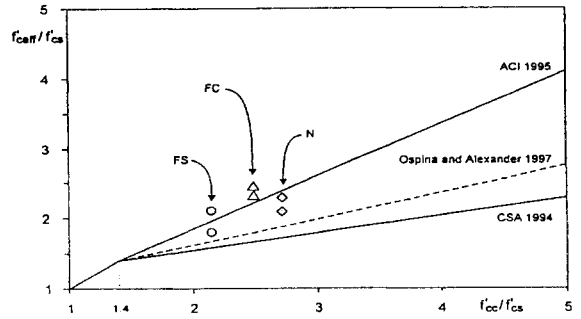


그림 7 예측 값과 실험 값의 비교

4. 결 론

- (1) 슬래브-기둥 실험체의 기둥 주위의 슬래브로부터 얻어지는 구속 효과는 기둥의 연성과 축 방향 압축 강도를 증가시켰다. 슬래브-기둥 실험체의 기둥은 독립된 기둥 실험체보다 균일하게 철근을 배근한 경우에는 29%, 집중 철근 배근한 경우엔 43%의 유효 콘크리트 강도 증가를 보였다.
- (2) 슬래브-기둥 실험체 기둥 주위에 철근을 집중 배근 결과 기둥의 유효 콘크리트 강도가 10% 증가하였고 슬래브-기둥 실험체에 강섬유 보강 콘크리트가 첨가되어 실험체의 강도와 강성이 증가하였으며, 기둥 주위의 철근을 조밀하게 배근함과 동시에 섬유 보강 콘크리트를 사용함으로써 취약한 "샌드위치" 부분이 나타나지 않을 정도로 실험체의 축 방향 압축 강도가 향상되었다.
- (3) 기둥에 하중을 가하기 전 슬래브에 펀칭 전단 파괴가 생기더라도 슬래브 기둥 접합 부분을 통하여 축방향 하중 전달에 대한 안전한 설계가 CSA 시방서에 포함되어있다. ACI 시방서에는 기둥 콘크리트 강도에 대한 슬래브 콘크리트 강도의 비가 1.4보다 큰 경우 슬래브와 기둥의 연결부분에서 기둥의 유효 강도에 대해 안전한 설계 지침을 제시하지 못한 반면, Ospina 와 Alexander가 추천한 식은 강도면에서 적합함을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

1. American Concrete Institute (ACI) 1995. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-95 and ACI 318R-95). Farmington Hills, Michigan, 369 pp.
2. Canadian Standards Association (CSA) 1994. CSA A23.3-94, Design of Concrete Structures. CSA, Rexdale, Ont., 220 pp.
3. Ospina, C.E., Alexander, S.D.B. 1997. "Transmission of High-Strength Concrete Column Loads through Concrete Slabs", "Structural Engineering Report No.214, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Jan.
4. Bianchini, A. C., Woods, R. E., Kesler, C. E. 1960. "Effect of Floor Concrete Strength on Column Strength", ACI Journal, Proceedings, V. 31, No. 11, pp. 1149-1169.
5. American Concrete Institute (ACI) 1963. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-63). Detroit, Michigan, 144 pp.