

1축 및 2축 압축을 받는 고강도콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트의 거동

Behavior of Plain and Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete Under Uniaxial and Biaxial Compression

임 동 환 * 박 성 환**

Lim, Dong Hwan Park, Sung Hwan

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the mechanical characteristics of plain and steel fiber high strength concrete under uniaxial and biaxial loading condition. A number of plain and steel fiber high strength concrete cubes having 28 days compressive strength of 82.7Mpa (12,000psi) were made and tested. Four principal compression stress ratios, and four fiber concentrations were selected as major test variables. From test results, it is shown that confinement stress in minor stress direction has pronounced effect on the strength and deformational behavior. Both of the stiffness and ultimate strength of the plain and fiber high strength concrete increased. The maximum increase of ultimate strength occurred at biaxial stress ratio of 0.5 in the plain high strength concrete and the value were recorded 30 percent over than the strength under uniaxial condition. The failure modes of plain high strength concrete under uniaxial compression were shown as splitting type of failure but steel fiber concrete specimens under biaxial condition showed shear type failure.

1. 서론

최근 들어 고강도콘크리트는 고층건물, 장대교량, 해양구조물 및 해안구조물 등의 특수 구조물 등에 널리 활용되고 있으며, 고강도콘크리트의 높은 완성도 및 경제적인 장점 때문에 이의 활용이 증대되고 있다. 또한 섬유 콘크리트는 연성·인성의 증대, 인장 및 휨 거동의 개선, 균열제어 효과가 탁월하여 많은 구조물에 적용되고 있다. 따라서, 섬유보강 고강도콘크리트는 고강도콘크리트와 섬유 콘크리트의 역학적 특성 및 장점을 가지기 때문에 고품질의 구조물 제작에 활용될 수 있다. 본 연구에서는 1축 및 2축 압축응력을 받는 고강도콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트의 역학적 거동 및 재료특성을 규명하고자 한다. 또한 2축압축을 받는 고강도콘크리트의 탄성계수 값을 분석하여, 현행 시방기준에서 제시하고 있는 탄성계수식의 적용여

* 정희원, 동서대학교 건설공학부 토목공학 전공 부교수

** 정희원, 동서대학교 대학원 토목공학 전공 석사과정

부를 고찰하고자 한다. 이를 위하여, 82.7Mpa(12,000psi) 28일 압축강도를 발현하는 고강도콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트 큐브 시편을 제작하여 2축 압축 응력비(σ_2/σ_1) 및 섬유 혼입율(V_f)을 주된 실험 변수로 하는 1축 압축 실험 및 2축 압축 실험을 수행하였다. 위 실험을 통하여, 고강도콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트의 극한강도, 응력-변형률 특성, 파괴 형상 및 탄성계수 특성 등이 고찰되었다.

2 고강도콘크리트의 실험

본 실험에서는 82.7Mpa(12,000psi)의 28일 압축강도가 발현될 수 있도록 고강도콘크리트의 배합을 수행하였으며, 고강도 콘크리트 및 위 강도를 가지는 강섬유보강 고강도콘크리트 시편의 1축 및 2축 압축 상태에서의 재료특성 및 역학적 특성을 규명하기 위하여, 100mm×100mm×100mm 큐브 시편을 제작하였고, 콘크리트 실린더를 동시에 제작하였다. 본 실험연구에서는 부응력 방향 및 주응력 방향 압축응력비(σ_2/σ_1) 및 강섬유 혼입율(V_f)을 실험 변수로 채택하였으며, 응력비(σ_2/σ_1)를 0.0, 0.5, 0.75 및 1.00으로 채택하고, 섬유혼입률(V_f)을 부피비 (0.0, 0.5, 1.0 and 1.5%)로 채택하여 고강도콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트의 역학적 특성 등을 규명하고자 하였다. 본 실험은 만능압축시험기로 1축 압축실험 및 2축 압축실험을 수행되었고, 실험방법은 먼저 소정의 1축 압축응력을 큐브 시편에 도입하고, 이것과 동시에 다이얼 게이지가 부착된 압축기로 2축 압축응력을 도입하였다. 2축 압축응력 도입은 위에서 설명한 바와 같이 부응력 방향 및 주응력 방향 압축 응력비(σ_2/σ_1)를 0.0, 0.5, 0.75 및 1.00으로 채택하여 하중을 도입하였다. 그림. 1은 본 실험방법을 도시한 것으로서, 각 실험부재에는 변위계(LVDT), 콘크리트 스트레인 게이지 및 다이얼 게이지를 부착하여 각 조건의 변형, 변형률 및 변위를 분석하였다. 위의 측정값은 Data Acquisition Software를 통해 처리 분석되었다. Table 1은 본 실험에서 적용된 시편의 종류와 실험 변수 및 실험방법을 나타낸 것이다.

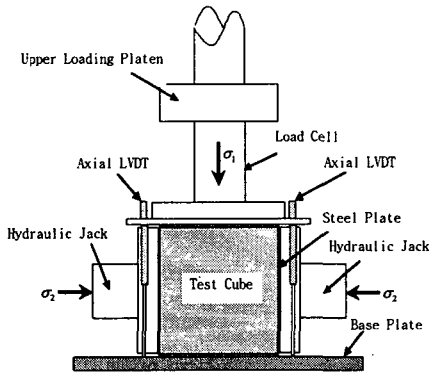


그림 1 실험장치도

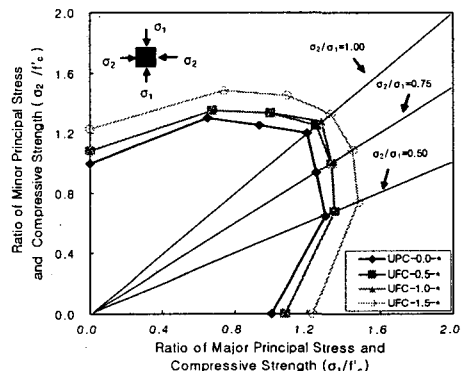


그림 2 고강도 및 섬유보강 고강도 콘크리트의 극한강도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 극한강도

본 연구에서는 고강도 보통 콘크리트 및 섬유보강 고강도콘크리트의 1축 압축 및 2축 압축 상태에서의 극한강도 증진효과를 분석하였으며, 그 결과 2축 압축상태에서의 압축강도가 크게 증진되는 것으로 나타났다. 또한 섬유 혼입률이 증가함에

따라 압축강도 증진효과가 크게 나타나며, 강섬유가 1.5% 투입된 경우에는 전혀 없는 경우보다 22%이상 증진되고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 2축응력 상태에서의 극한강도 증진효과를 보여주고 있으며, 부응력 방향(σ_2)으로 하중이 가해지면, 이 방향으로의 구속효과 때문에 주응력 방향으로(σ_1 방향)의 압축강도를 향상시키는 효과를 나타내고 있다. 또한 구속응력의 크기에 비례하여 주응력 방향으로의 1축압축 강도가 크게 나타나는 것이 아니라, 부응력 방향 및 주응력 방향 압축응력비(σ_2/σ_1)가 0.5일 때 극한강도의 효과가 가장 크게 나타나며, 최대증진효과는 1축의 그것과 비교할 때 약 30%의 증진효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는, 강섬유가 보강된 콘크리트의 경우에도 같이 적용되는 현상으로 나타났으며, 응력비가 0.5인 경우에 하중증가 비율이 가장 크게 나타나고 있다. 또한 섬유 혼입량은 0.5에서 1.0%에 이를 때 극한하중의 증가폭이 가장 크게 도출되고 있으며, 섬유 혼입량이 1%이상인 경우에는 그 증가 폭이 다소 적어지는 것으로 나타났다.

표 1 실험변수 및 극한강도

Test specimen Series	Steel Fiber Contents (V_f)	Compressive Strength of Cylinders(MPa)	Minor/Major StressRatio (σ_2/σ_1)	Ultimate Strength of Cubes(MPa)	Increase of Ultimate Strength(%)
UPC-0.0-0.00	0	81.0	0.00	82.3	-
UPC-0.0-0.50	0	80.8	0.50	106.9	29.8
UPC-0.0-0.75	0	80.7	0.75	102.1	24.1
UPC-0.0-1.00	0	81.3	1.00	98.5	19.6
UFC-0.5-0.00	0.5	84.0	0.00	88.1	-
UFC-0.5-0.50	0.5	83.8	0.50	112.8	28.0
UFC-0.5-0.75	0.5	84.2	0.75	109.2	24.0
UFC-0.5-1.00	0.5	82.9	1.00	104.0	18.0
UFC-1.0-0.00	1.0	86.5	0.00	88.5	-
UFC-1.0-0.50	1.0	85.2	0.50	112.4	27.0
UFC-1.0-0.75	1.0	88.0	0.75	109.7	24.0
UFC-1.0-1.00	1.0	87.5	1.00	101.8	15.0
UFC-1.5-0.00	1.5	88.2	0.00	100.8	-
UFC-1.5-0.50	1.5	89.5	0.50	121.0	20.0
UFC-1.5-0.75	1.5	88.7	0.75	118.9	18.5
UFC-1.5-1.00	1.5	88.5	1.00	109.0	9.0

3.2 응력-변형률 곡선

그림 3은 고강도 보통 콘크리트, 섬유 혼입률이 0.5, 1.0 및 1.5%인 강섬유보강 고강도콘크리트의 1축 압축상태의 응력-변형률을 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 섬유 혼입률이 증가할수록 극한강도는 증가하는 현상을 파악할 수 있으며, 섬유 혼입률이 1%가 될 때 까지는 약 8% 정도의 강도가 증진하다가 섬유 혼입량이 1.5% 혼입 되었을 때는 극한강도가 약 22% 증진되는 현상을 발견할 수 있다. 또한 섬유가 혼입될수록 연성은 증가하여 연성과파괴의 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다. 그러나 섬유 혼입률이 1%이상 증진되면 연성의 증가는 거의 없는 것으로 나타나고 있으며, 이는 섬유 혼입률이 1% 이상인 경우에는 부재의 역학적 거동이 크게 개선되지 않는다는 사실을 말하고 있다. 그림 4는 고강도 보통 콘크리트, 섬유 혼입률이 0.5, 1.0 및 1.5%인 강섬유보강 고강도콘크리트의 2축 압축응력비(σ_2/σ_1)가 0.5인 2축 압축상태의 응력 변형률을 도시한

것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 섬유 혼입률이 증가할수록 극한강도는 106.9MPa에서 121MPa 로 계속 증가하고 있으며, 섬유 혼입률이 0.5% 인 경우 1축 상태의 그것보다 6%, 1.5%인 경우는 20%로 증가하는 사실을 알 수 있으며, 이는 섬유 혼입률이 일정수준(1%)이상 증가할수록 2축의 효과는 커진다는 사실을 말하고 있다. 그림 5 는 섬유 혼입률이 0.5, 1.0 및 1.5%인 강섬유보강 고강도콘크리트의 2축 압축 응력비(σ_2/σ_1)가 1.0인 2축 압축상태의 응력 변형률을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 2축 압축 응력비(σ_2/σ_1)가 0.5인 경우(그림. 4)와 거의 유사한 결과를 보이고 있다.

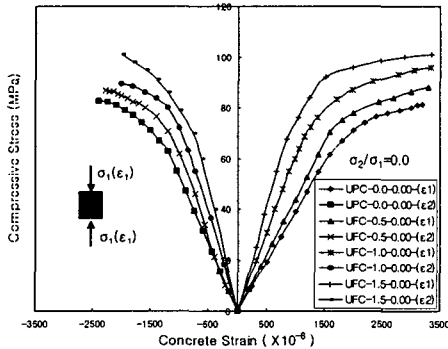


그림 3 고강도콘크리트의 1축 압축상태의 응력-변형률

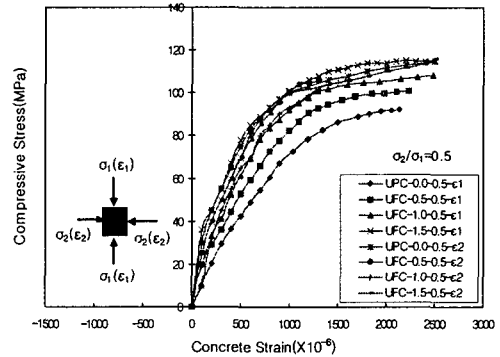


그림 4 고강도콘크리트의 2축 압축상태의 응력-변형률

4. 결 론

- 1) 부응력 방향으로 도입된 구속응력은 주응력 방향으로의 강도 및 변형거동에 좋은 개선 효과를 보이며, 고강도콘크리트 및 강섬유 보강 고강도콘크리트의 강성 및 극한강도가 현저히 증대되었다.
- 2) 2축 압축하중이 콘크리트에 도입될 때 극한강도는 1축압 축이 작용할 때의 극한강도 보다 증대되었다. 고강도 보통 콘크리트인 경우, 주응력 방향 및 부응력 방향 압축 응력비(σ_2/σ_1)가 0.5일 때 극한강도의 효과가 가장 크게 나타났다. 최대 증진효과는 1축의 그것과 비교할 때 약 30%의 증진효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 강섬유보강 고강도콘크리트의 경우에도 2축 압축상태에서의 압축강도가 크게 증진되는 것으로 나타났으며, 섬유 혼입률이 증가 함에 따라 압축강도 증진효과가 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Traina, L. A., and Mansour, S. A., "Biaxial Strength and Deformational Behavior of Plain and Steel Fiber Concrete," ACI Material Journal , July-Aug. 1991, pp.354~362.
2. Liu, T., Nilson, A., and Slate, F., "Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Uniaxial and Biaxial Compression," ACI Journal, Proceedings V.69, No.5, May 1972, pp.291~295.
3. Tasuji, I., Slate, F., and Nilson, A., "Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Compression," ACI Journal, Proceedings V.75, No.7, July 1978, pp.306~312.
4. Hussein, A., and Marzouk, H., "Behavior of High Strength Concrete under Biaxial Stresses," ACI Materials Journal, Jan.-Feb, 2000, pp.27~36.