

슬래브의 효율적인 구조 거동을 위한 강섬유보강 콘크리트의 부분적 활용에 관한 실험적 연구

Study on the Utilization of Steel Fiber Reinforced Concrete for Efficient Structural Behavior in Slab System

윤 영 수*
Yoon, Young Soo

데니스 미첼**
Denis Mitchell

최 응 규***
Choi, Eung Kyoo

박 성 균****
Park, Sung Kyun

ABSTRACT

To overcome the common deficiencies found in two-way slabs, such as excessive cracking around columns, excessive deflections and low punching shear strength, it was proposed to investigate the strategic use of steel fiber-reinforced concrete. Providing fiber-reinforced concrete results in an increase in the punching shear resistance, a significant increase in the ductility, greater post-cracking stiffness and better crack control.

1. 서론

본 연구에서는 이방향 슬래브에서 일반적으로 취약한 기둥 주위에 발생하는 많은 균열, 과도한 처짐 그리고 낮은 펀칭전단강도를 보완하기 위해 강섬유보강 고성능콘크리트(steel fibre reinforced high-performance concrete, SFR-HPC)의 전략적 사용을 제안하게 되었다. 슬래브의 국부적 위치에 강섬유보강 콘크리트를 대체하여 기둥주의 균열제어와 펀칭 전단 강도 증가에 어느 정도의 효과가 있는지를 실험실 규모의 실험을 통하여 확인하고자 하였으며, 그 결과로부터 SFR-HPC의 선별적 사용은 추가 공사비용을 들이지 않고도 슬래브의 구조 거동을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

슬래브-기둥 시험체는 상대적으로 작은 기둥으로 구성되어 있으며 기둥 주위의 높은 펀칭 전단을 받게 하기 위해 상대적으로 큰 활하중을 작용시켜 설계하였다. 본 연구에서는 그림 1에서처럼 보통 강도 콘크리트 슬래브(NSC), 전체 두께만큼을 기둥면에서 500mm 까지 강섬유보강 콘크리트로 대체한 슬래브(FRS) 및 균열제어를

* 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 조교수

** 캐나다 맥길대학교 토목공학과 교수

*** 정희원, 삼성물산 건설부분 기술연구소 수석연구원

**** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 대학원

위해 40mm의 강섬유보강 콘크리트로 상면 피복만 한 슬래브(FRC)의 3개의 시험체를 제작하였으며 각 시험체는 그림 2에서 보는 것처럼 슬래브 중앙에 700mm 높이, 225 × 225mm의 단면을 가진 기둥과 150mm 두께에 2.3 × 2.3m 의 단면의 슬래브로 구성되어 있다.

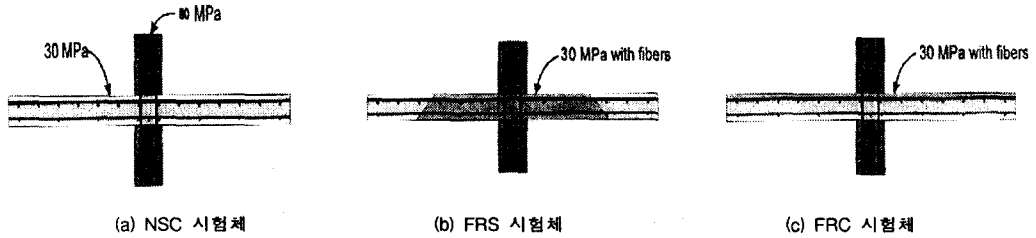


그림 1 이방향 슬래브 시험체 단면

시험체 설계 시 슬래브의 압축강도는 30MPa, 기둥의 압축강도는 80MPa로 설계되었으며 구조물을 설계하는데 사용되는 ADOSS⁽¹⁾ 프로그램을 이용하여 해석하였고, 철근 배근은 1995 ACI Building Code⁽²⁾ 에 의하여 설계하였다. 시험체에 사용된 강섬유는 Adebar와 Mindess의 연구⁽³⁾ 및 Morgan, Mindess 그리고 Chen의 연구⁽⁴⁾ 결과를 고찰하고, 작업성 및 경제성을 고려하여 30mm 길이의 갈고리형 강섬유를 체적당 0.5%를 첨가하였다.

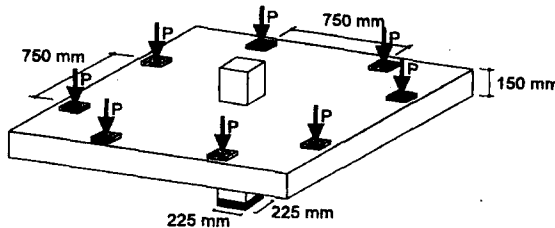


그림 2 슬래브-기둥 시험체 (2.3m × 2.3m)

2.2 콘크리트의 특성

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합이 표 1에 나와 있고, 그림 3에는 사용된 콘크리트의 전형적인 응력-변형률 관계가 나타나 있다.

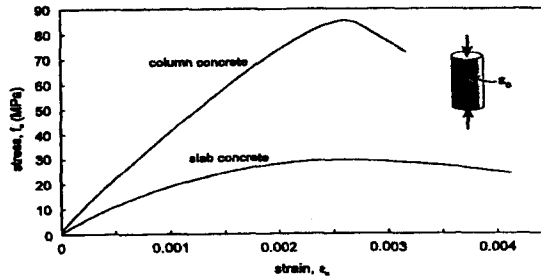


그림 3 콘크리트의 응력-변형률 곡선

표 1 콘크리트의 배합 설계

Characteristic	30 MPa	80 MPa
cement(OPC), kg/m ³	355	570*
fine aggregates, kg/m ³	790	730
coarse aggregates, kg/m ³	1040	960
total water**, kg/m ³	178	143
water-cement ration	0.50	0.25
water-reducing agent	1110	754
superplasticizer, ml/m ³	-	11.97
air-entraining agent, ml/m ³	180	-
slump, mm	146	200
air content, %	8.8	1.58
density, kg/m ³	2130	2417

* Type 10 blended cement containing 8-9 % silica fume

** Includes the water in admixtures

2.3 철근의 특성

슬래브 철근의 배근은 1995 ACI Building Code에 의하여 설계 배근하였다. 슬래브의 상부는 철근 No.15(D16)을 164.3 mm 간격으로 한 방향에 14개씩 배치하고 하부에는 No.10(D11) 철근을 그림 4와 같이 배근하였다. 기둥의 경우 No.15 철근을 주근으로 No.10 철근을 띠철근으로 사용하였다. 표 2는 시험체에 사용된 철근의 재료적 특성을 나타내고 있으며, 그림 5는 사용된 철근의 응력-변형률 곡선을 보여준다.

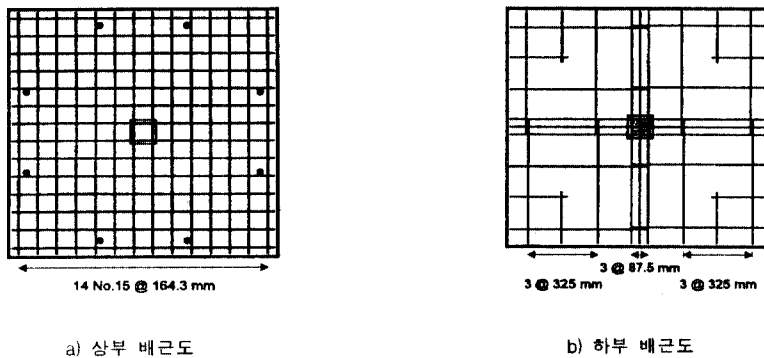


그림 4 슬래브 상부 및 하부 철근 배근

표 2 철근의 특성

철근 크기	Area (mm ²)	f _y (MPa)	ε _y (%)	ε _{sh} (%)	f _t (MPa)	기능
No.10 (D11)	100	454	0.34	0.43	676	슬래브 하부 철근 및 기둥 띠철근
No.15 (D16)	200	434	0.24	1.95	596	슬래브 상부 철근 및 기둥 주근

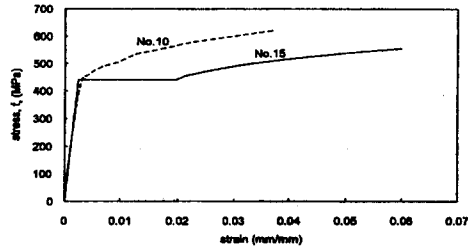


그림 5 철근의 응력-변형률 곡선

2.4 시험체 설치 및 측정장치

본 시험에 사용된 시험체 설치 및 측정장치는 참고문헌 5에 상세히 설명되어 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3개의 슬래브-기둥 시험체로부터 각각 3개씩의 그래프를 얻을 수 있었다. 우선 LVDT로부터 측정된 값으로부터 처짐-하중 곡선을 얻고, 철근에 부착한 변형률 게이지로부터 변형률 값을 얻을 수 있었으며 또한 하중을 가하면서 균열발생 시기로부터 일정 하중마다의 균열폭을 측정하여 그래프를 구하였다.

3.1 하중-처짐 관계

그림 6은 3개의 시험체로부터 얻은 하중-처짐 곡선을 비교한 것이다. 초기 균열 강도는 NSC, FRC, FRS 순으로 커졌으며 NSC보다 FRC는 8%, FRS는 17%의 균열강도 증가를 나타내었다. 시험체의 강성은 FRS의 경우 가장 컸으며, 다음으로 FRC, NSC가 가장 작게 나왔다. 슬래브-기둥 시험체의 극한 하중의 크기는 FRS, FRC, NSC 순으로 작아졌다.

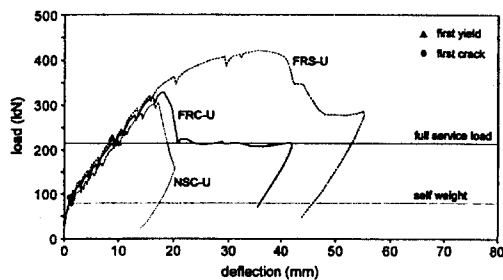


그림 6 하중-처짐에 대한 강섬유보강 콘크리트의 영향

3.2 철근의 변형률 분포

이방향 슬래브의 거동 상 기둥 주위에서 가장 큰 모멘트가 걸린다. 이러한 이유로 기둥부위의 슬래브 철근은 변형률이 커지기 때문에 이 부분에 국부적으로 강섬유로 보강한 콘크리트가 사용된 FRS, FRC의 경우가 NSC보다 철근의 변형률이 작게 나타났으며, 그림 7에 철근의 변형률 분포가 나타나 있다.

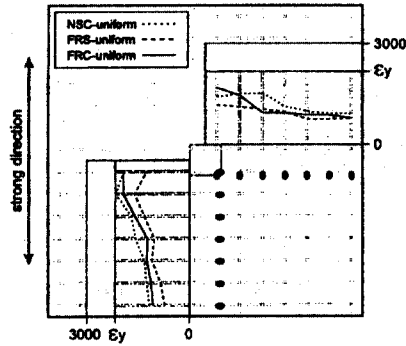
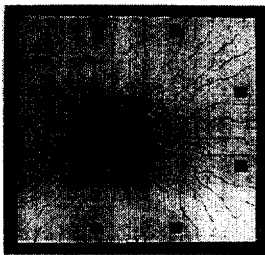


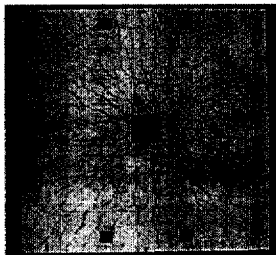
그림 7 철근의 변형률 분포

3.3 파괴 양상

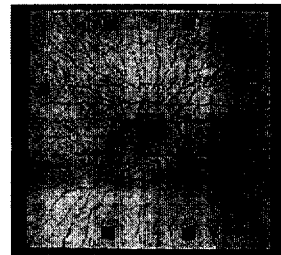
콘크리트에 강섬유를 보강함으로써 얻어지는 가장 큰 효과는 파괴 양상의 변화이다. 강섬유는 콘크리트에 인장 강도 즉 펀칭 전단 능력을 증가시키며, 예로 NSC 시험체는 펀칭 전단 파괴가 일어났을 경우 하중 전달 능력이 반으로 줄어들었으나 FRS 시험체는 FRC나 NSC보다도 더욱 연성적이었다. 시험체의 파괴 양상을 살펴보면 NSC의 경우 파괴시 슬래브의 하부에서 45°의 각도로 기울어져 기둥면에서 슬래브 두께만큼 떨어진 상부 슬래브에서 파괴되었으나 FRS의 경우 강섬유보강 콘크리트와 보통 강도 콘크리트가 접하는 부위에서 파괴가 일어났으며 FRC의 경우 하부 기둥과 슬래브가 만나는 지점에서 45°각도로 상부쪽으로 파괴가 일어나다가 상면에 타설된 강섬유 콘크리트가 있는 부분에 와서는 파괴 경로가 강섬유보강 콘크리트 피복부분을 통과하지 못하고 슬래브 철근을 따라 수평적인 파괴가 발생하였다. 사진 1은 파괴시 슬래브의 파괴 양상을 나타내고 있다.



a) NSC 시험체



b) FRS 시험체



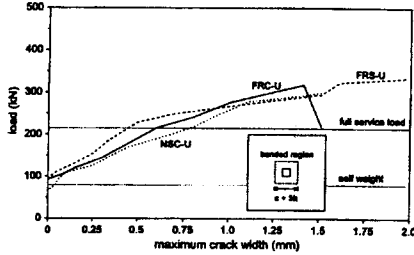
c) FRC 시험체

사진 1 파괴시 시험체의 파괴 양상

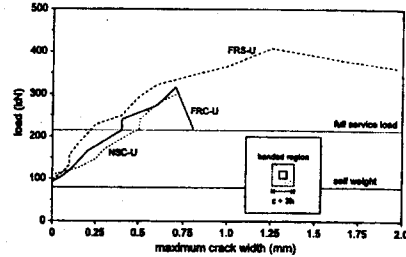
3.4 최대 균열 폭

하중에 따른 균열폭을 측정할 결과 그림 8에서 보는 것처럼 강섬유보강 콘크리트 슬래브(FRS, FRC)의 경우 균열

폭이 NSC에 비해서 균열폭이 감소하는 것을 볼 수 있다. 강섬유보강 콘크리트는 초기 균열 강도를 증가시키는데 크게 기여하지는 못했으나 하중이 증가함에 따라 슬래브의 균열을 제어하는 역할을 하게되므로 큰 내구성과 연성을 기대할 수 있다.



a) 기둥면에서 1.5h 지역내부의 균열폭



b) 기둥면에서 1.5h 지역외부의 균열폭

그림 8 하중에 따른 균열폭 관계

4. 결론

본 연구는 이방향 슬래브의 구조 성능을 개선하기 위한 강섬유보강 고성능 콘크리트의 부분적 활용에 관한 것으로 실험 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기둥 주위로부터 500mm 내 슬래브 전체를 강섬유 콘크리트로 보강한 슬래브(FRS)의 경우 구조 성능에 있어서 현저한 향상을 나타냈다. 이러한 향상에는 편칭 전단 저항성의 증가, 연성증가, 균열 후 큰 강성과 작은 균열 폭의 결과를 가져왔다. 상부 철근의 변형률은 강섬유보강 콘크리트의 영향으로 작게 나왔다. 또한 편칭 전단 저항성은 보통 콘크리트 슬래브(NSC)보다 38%의 향상 효과를 가져왔다.
- 2) 상부만 강섬유 콘크리트로 피복 한 슬래브(FRC)의 경우 편칭 전단 저항성의 증가와 특히 균열 제어에 있어서 높은 결과를 나타냈다.
- 3) 실험 결과로부터 기둥주의 균열제어와 편칭전단 저항성을 높이기 위해서는 슬래브에 부분적으로 강섬유를 보강하는 것만으로도 구조성능 향상에 효율적이었다.

참 고 문 헌

1. Canadian Portland Cement Association (CPCA) 1991. "Analysis and Design of Slab System" (ADOSS), Ottawa.
2. American Concrete Institute (ACI) 1995. Building Code Requirement for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-95 and ACI 318R-95). Detroit, Michigan, 369 p.
3. Adebar, P., Mindess, S., St-Pierre, D. and Oulund, B. 1997. "Shear Test of Fiber Concrete Beams Without Strrups", ACI Structural Journal, 94(1), Jan.-Feb., pp. 68-76.
4. Morgan, D.R., Mindess, S., and Chen, L. 1995. "Testing and Specifying Toughness for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete", Proc. Decond University-Industry Workshop on Fiber Reinforced Concrete and Other Advanced Composites, Fiber Reinforced Concrete Modern Developments, Eds. N. Banthia and S. Mindness, Toronto, pp. 29-50.
5. 윤영수, 데니스 미첼, 최용규, 최한태. "이방향 슬래브의 구조성능 향상을 위한 배근상세의 제안", 콘크리트학회 1998년도 봄 학술발표회, 1998. 5.