

강섬유보강 콘크리트의 지압강도에 관한 연구

A Study on the Bearing Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete

차 희 석*

Cha, Heui Seog

조 환 성**

Cho, Hwan Sung

ABSTRACT

SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete) has advantage of crack resistance and ductility failure behavior. But the study which investigated about effect of steel fiber under bearing stress is not to be enough, and it does not be sure of criterion of SFRC for allowable bearing stress formula in internal specification.

The purpose of this study is to clear the influence of SFRC on the bearing capacity and ductility of material through static loading test. additionally, arrive an allowable bearing stress formula for SFRC and examine mechanical behavior by the 3-D finite element analysis.

1. 서론

콘크리트의 한정된 면적에 작용하는 국부적인 하중의 문제를 지압문제라 일컫는데, 지압강도에 관한 최초의 논문은 1879년 Bauschinger¹⁾을 시초로 하여 1968년에는 Hawkins²⁾에 의해 지압강도를 추정하는 일반식이 제안되었다. 이 후 1974년 W.F Chen과 J.L.Carson³⁾ 그리고 1991년 P.Soroushian 과 Z.Bayasi⁴⁾에 의해 강섬유가 지압응력에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어졌다. 그 결과, 강섬유보강은 콘크리트 구속효과와 Crack Bridging 특성으로 콘크리트 연성효과를 증진시킴을 알았다.

이와 같이 강섬유 보강이 가지는 장점에도 불구하고 현재 지압강도에 대한 연구사례가 부족하며, 국내 지방서의 지압강도식은 일반콘크리트에 국한되어 있어 SFRC에 대한 명확한 지침이 없는 실정이다. 따라서 많은 연구와 실험을 근거로 하여 실제 현장에서 합리적인 지압강도식을 추정할 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다. 또한 지압강도는 재하 면적에 대한 구조물의 면적 비에 의해 많은 차이점이 있으므로 이에 따른 역학적인 거동파악이 선행되어야 한다.

이에 본 연구에서는 SFRC의 지압강도를 추정하는 방안으로 SFRC로 15cm 입방형 공시체를 제작하여 정사각형 재하판으로 정적 재하시험을 수행하였다. 그 결과 파괴거동을 검토하여 강섬유보강이 지압강도에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였고, 실험 결과치를 회귀분석하여 지압강도 추정식을 제안하였다. 또한 유한요소 해석프로그램인 MIDAS를 사용하여 3차원으로 역학적 거동을 고찰하였다.

* 정회원, 경남대학교 공간환경시스템공학부 토목전공 교수

** 정회원, 경남대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구에서는 강섬유의 지압강도에 관한 효과를 실험적으로 규명하고, 공시체면적과 재하면적비를 변수로 하는 허용지압강도식을 유도하기 위하여 표 1과 같이 실험시리즈를 분류하여 실험을 수행하였다.

2.2 실험방법

성형된 입방형공시체는 100톤 용량의 만능시험기에 편심이 작용하지 않도록 수평으로 올려져 재하조건에 따라 8종의 편축정방가압 시험과 4종의 양축정방가압 시험을 수행하였다. 그림 1은 공시체의 하중재하상태를 나타낸 것이다. 재하판은 공시체와 도심이 일치하도록 위치시켰으며, 500kg/sec의 속도로 정적재하를 가하면서 공시체의 파괴강도를 측정하고, 균열진행상태, 파괴형상등을 관찰하였다.

표 1 실험시리즈의 분류

공시체 종류	재하판크기 (cm×cm)	R (공시체의 면적 / 재하판의 면적)
SG 1	2.0 × 2.0	56
SG 2	2.5 × 2.5	36
SG 3	3.0 × 3.0	25
SG 4	3.75×3.75	16
SG 5	5.0 × 5.0	9
SG 6	7.5 × 7.5	4
SG 7	10.5×10.5	2
SG 8	15.0×15.0	1
DB 1	2.5 × 2.5	36
DB 2	3.75×3.75	16
DB 3	7.5 × 7.5	4
DB 4	10.5×10.5	2

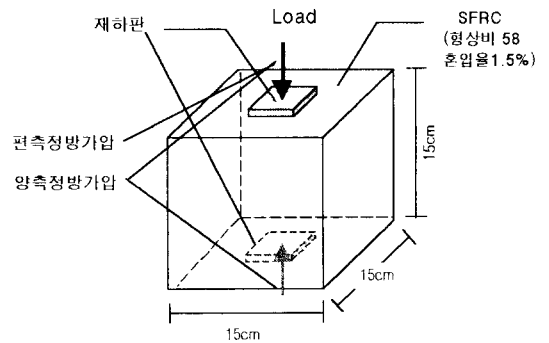


그림 1 하중재하상태

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴거동

공시체의 파괴는 그림 2와 같이 재하판에 가한 지속적인 하중으로 재하판 아래에서 콘크리트 콘의 편칭파괴에서 비롯된다. 이로 인해 공시체 연직방향으로 활열균열이 발생하였으며, 콘크리트 콘이 연직방향으로 함몰되었고 경사방향과 수직방향의 균열이 발생하였다. 이 때 균열면 직각방향으로 강섬유의 교량역할(bridging Action)로 인해 균열의 확산이 억제되기 때문에 균열폭이 감소하였으며 새로운 미소균열이 발생하여 모든 공시체들은 연성 파괴를 일으켰다.

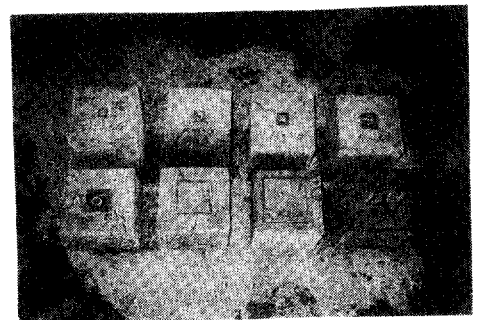


그림 2 공시체 파괴형상

3.2 시험결과치

본 재하시험의 결과는 표 2와 같다.

표 2 실험 결과치

공시체	파괴하중 (ton)					평균파괴하중 (ton)	평균지압응력 (kg/cm ²)
	1	2	3	4	5		
SG 1	9.0	8.6	8.1	8.5	8.5	8.5	2,133.33
SG 2	9.5	10.0	9.8	9.1	9.3	9.5	1,525.33
SG 3	12.5	12.6	12.8	12.3	12.3	12.5	1,385.19
SG 4	15.2	14.7	15.0	14.4	15.5	15.0	1,064.30
SG 5	20.0	17.9	18.8	21.1	22.0	20.0	798.67
SG 6	28.9	25.6	29.0	25.0	26.5	27.0	480.00
SG 7	34.2	38.1	37.9	37.8	41.7	37.9	344.07
SG 8	53.6	52.5	52.4	55.5	55.4	54.0	239.85
DB 1	8.4	8.0	8.0	8.6	8.5	8.3	1,328.00
DB 2	10.1	10.8	12.0	9.8	11.8	10.9	775.11
DB 3	20.1	16.7	19.5	19.0	15.8	18.1	322.37
DB 4	27.7	29.5	31.2	28.9	30.0	29.5	267.27

3.3 R-U 곡선

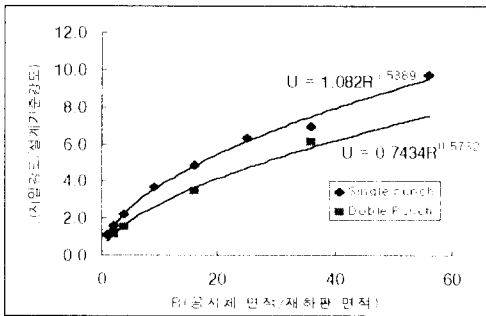


그림 3 R과 U의 관계

재하판과 공시체의 면적비는 콘크리트 지압강도에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 그림 3에서는 편축정방가압과 양축정방가압 시험을 통해 공시체 면적의 재하판 면적에 대한 비 R과 지압 강도의 압축강도에 대한 비 U의 관계를 나타내고 있다. 그 결과 편축정방가압 시험의 값이 다소 크게 나타났으며, R과 U의 두 변수 사이의 수학적 관계에서 안전율을 고려하면 식 (1),(2)와 같은 허용지압강도식을 나타낼 수 있다.

$$f_{bp} \text{ (편축가압)} = 0.43R^{0.5} f_{ck} \quad (1)$$

$$f_{bp} \text{ (양축가압)} = 0.30R^{0.6} f_{ck} \quad (2)$$

3.4 실험결과치 검토

표 3 파괴하중과 시방규준과 비교

공시체	U.S.D		W.S.D	
	공칭하중 (ton)	파괴하중 /공칭하중	설계하중 (ton)	파괴하중 /설계하중
SG 1	0.89	9.55	1.64	5.20
SG 2	1.40	6.83	2.05	4.64
SG 3	2.01	6.20	2.46	5.06
SG 4	3.14	4.76	3.08	4.86
SG 5	5.58	3.58	4.11	4.86
SG 6	12.57	2.15	6.16	4.38
SG 7	17.61	2.15	8.62	4.40
SG 8	25.13	2.15	12.36	4.38

표 3은 국내 시방서의 강도설계법에 의한 공칭하중 및 허용응력설계법에 의한 설계하중을 실제 파괴하중과 비교한 것이다. U.S.D와 W.S.D에 의한 안전율은 각각 2배와 4배 이상으로 나타났다. 그리고 최대 R값을 가지는 공시체의 경우에는 각각 9배와 5배로 나타나 안전율이 과대하게 증가함을 알았다. 즉 재하판 면적이 작은 경우 과다한 설계의 가능성이 있다. 따라서 SFRC의 지압강도를 예측하기 위해서 시방서의 콘크리트의 지압강도식을 적용시키는 것은 바람직하지 않다고 판단된다.

3.5 수치해석결과

수치해석결과에 의한 최대변위는 그림 4와 같이 재하판 바로 아래의 중심축에서 발생하였다. 그리고 중심축에서 벗어날수록 변위량이 작아지는데 이는 재하판아래에서 콘크리트의 썩기형 파괴를 뒷받침한다. 그림 5는 공시체 중심축에서의 X방향 응력의 변화를 나타낸 것이다. 재하판면적이 작을수록 급격하게 변하는 압축응력과 인장응력의 분포를 보인데 반해, 재하판면적이 증가할수록 곡선이 완만하게 변하였다. 따라서 교량의 교좌장치와 같은 실제 구조물 설계에 있어서 재하판면적에 따른 응력의 변화를 파악하여 적절한 재하면적을 결정함으로써 지압응력을 감소시키는데 기여할 수 있다.

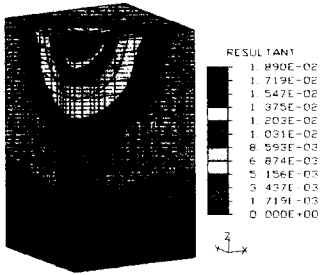


그림 4 변위분포도

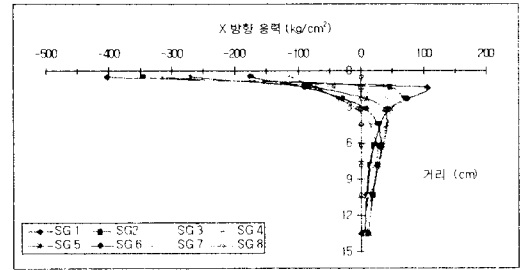


그림 5 공시체중심축에서의 X방향 응력

4. 결론

- (1) 파괴시 공시체 깊이방향으로 활열균열이 발생하였지만, 강섬유의 교량역활(bridging Action)로 인해 균열폭이 감소하였으며 모든 공시체들은 연성파괴되었다.
- (2) 본 연구에서 유도된 허용지압강도식은 $f_{bp}(\text{변속가압}) = 0.43R^{0.5}f_{ck}$ 과 $f_{bp}(\text{양속가압}) = 0.30R^{0.6}f_{ck}$ 이다.
- (3) 강도설계법과 허용응력설계법에 의한 안전율은 각각 2배와 4배 이상으로 나타났고 최대 9배와 5배의 안전율을 보였다. 따라서 공시체의 면적에 비해 재하판이 작은 경우에는 국내 시방서에 제시된 콘크리트 지압강도식을 SFRC에 적용시키는 것은 바람직하지 못하다고 판단된다.
- (4) 수치해석결과 모든 공시체들이 재하판 아래에서 높은 압축응력이 발생하였고 하단으로 갈수록 인장응력의 분포를 보였다. 그리고 최대변위는 재하판 바로 아래의 중심축에서 발생하며 중심축에서 벗어날수록 변위량이 작아지는데 이는 재하판 아래에서 썩기 형태의 파괴와 일관성을 가진다.

참고문헌

- 1) Bauschinger, J., "Versuche Mit Quadern aus Natustein", Mechanischen und Technischen Labatoium der Kgl. Techischen Hochule, Munich, Germany, Vol.6, p.13, 1876.
- 2) Hawkins, N.M., "The Bearing Strength of Concrete of Loaded Through Rigid Plates", Magazine of Concrete Research, Vol.20, pp.31-40, 1968.
- 3) Chen W. and Carson J. "Bearing Capacity of Fiber Reinforced Concrete", American Concrete Institute, ACI Publication SP-44, pp.209-220, 1973.
- 4) P.Soroushian and Bayasi, "Strength and Ductility of Steel Fiber Reinforced Concrete under Bearing Pressure", Magazine of Concrete Research, Vol.43, pp.243-245, 1991.