

섬유망을 이용한 RC슬래브의 균열제어

The Crack Control of Fiber Net Reinforced RC Slab

배 주 성* 김 경 수** 김 남 욱** 김 철 민***
Bae, Ju-Seong Kim, Kyoung-Soo Kim, Nam-Wook Kim, Chul-Min

Abstract

Severe cracks on Reinforced Concrete (RC) structures caused by structural displacement can be often one of the main reasons for the degradation of tensile and flexural rigidities of RC structures and for the deterioration of durability and serviceability of RC structures through accelerated steel corrosion. These combined factors adversely affect the performance of RC concrete, leading to shortened life time of RC structures.

In consideration of these problems, we conducted 3 point bending experiments by employing three different types of concrete specimens: fiber-net reinforced concrete (FNRC), polypropylene-fiber reinforced concrete (PFRC), and plain concrete (PC). FNRC is well known for its strong corrosion resistance, light self-weight, and excellent tensile strength, while PFRC is known to be effective in crack control. FNRC was found to have the best first and final crack resistances followed by PFRC and PC, as evidenced by the highest initial crack load and the smallest final crack width, respectively. The FNRC specimens with various tensile strength of fiber net exhibited greater ultimate strengths than those for PFRC and PC. Furthermore, the crack widths of FNRC specimens were smaller than those calculated by the crack-width estimation equation of the KCI and ACI code. Therefore, we conclude that fiber net reinforcement is effective not only on crack control, but also on loading share.

keywords : Fiber Net, Polypropylene Fiber, First Crack, Reinforced Concrete Slab

* 전북대학교 토목·환경공학부 교수, 정회원

** 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터 연구원, 정회원

*** 전북대학교 토목공학과 석사과정

E-mail : kchm73@hanmail.net 016-605-2125

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근콘크리트는 유지관리 비용이 적게 들며 비교적 수명이 길어 대부분의 구조물에 이용되어진다. 하지만 콘크리트는 인장강도가 압축강도의 1/10 정도로 매우 낮아 철근콘크리트 부재가 휨을 받을 경우, 인장응력이 작용하는 부분에서는 극한하중 아래에서도 쉽게 균열이 관찰되어진다.

철근콘크리트 구조물에 균열이 발생하면 처짐이 크게 발생하고 인장이나 휨강성, 에너지 흡수능력이 저하되는 한편 내부철근의 부식발생이 촉진되어 내구성과 사용성이 저하된다. 이러한 원인들은 부재의 구조적 성능에 심각한 악영향을 끼쳐서 구조물의 수명단축을 유발할 수 있을 뿐만 아니라 중국에는 구조물의 붕괴에까지 이를 수 있다. 현재 국·내외적으로 철근콘크리트 슬래브 구조물에 대한 휨 거동에 관한 실험은 용접철망등을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 휨 균열제어에 대한 연구는 미비한 실정이다.^{1)~3),6),9),10)}

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 고려하여, 철근콘크리트 구조물 중 특히 슬래브에 대하여 부식에 대해 강한 저항력을 가지고 있으며 자중이 적고, 인장강도와 정착성이 우수하며 경제적인 fiber net을 철근

콘크리트 슬래브 하면에 보강한 fiber net보강시험체와 균열 발생 억제능력이 우수하여 일반적으로 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌섬유보강 시험체를 제작하고 무보강시험체와 시험결과를 비교·분석하여 보강재의 종류에 따른 균열제어 효과를 규명하고자한다. 또한, 본 연구 결과를 각 국 시방서에서 규정하고 있는 허용균열폭 산정식과 비교하여 fiber net의 보강효과를 파악하고자 한다.^{4)~5),7)~8)}

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 콘크리트

본 실험에서는 철근콘크리트 슬래브 시험체의 설계 기준강도를 240kgf/cm²으로 배합설계하였으며 이에 대한 배합표는 Table 1과 같고 사용된 시멘트 및 골재의 특성은 Table 2 및 Table 3과 같다.

2.1.2 폴리프로필렌섬유

본 실험에서 사용한 폴리프로필렌 섬유는 길이가 19mm인 망사형 섬유를 사용하였으며 그 물리적 특성은 Table 4와 같다.

Table 1 Mix proportion of concrete

Max size of Agg.(mm)	slump (cm)	W/C (%)	S/a (%)	proportions by unit volume(kgf/m ³)			
				W	C	F.A	C.A
25	12	48	41	175	364	734	1032

Table 3 Physical characteristics of aggregate

	Gravity	Absorption (%)	F.M	Max. size (mm)
Fine aggregate	2.564	1.78	2.675	-
Coarse aggregate	2.512	1.64	6.659	25

Table 2 Physical characteristics of cement

Setting time (gill-more test)		Compressive strength (kgf/cm ²)			Fineness (cm ² /g)	Soundness (autoclave expansion) (%)
Start setting (min)	Finish setting (hr)	3 days	7 days	28 days		
250	6:40	198	283	376	3270	0.14

Table 4 Physical properties of Polypropylene fiber

length(mm)	Gravity	Type	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elastic modulus (kgf/cm ²)
19	0.9	Fibrillated type	3,500~7,700	35,000

2.1.3 fiber net

일반적으로 fiber net는 일방향 응력 구조와 양방향 응력 구조로 생산되어지고 있으며, 본 실험에서는 고강도사인 폴리에스터를 격자형으로 교차시킨 후 PVC 등으로 코팅하여 제조한 경사의 인장강도가 각각 6tonf, 8tonf, 10tonf 인 P사에서 제작된 일방향 응력 구조 fiber net를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 fiber net은 Fig. 1과 같다.

2.1.4 인장철근

시험체에 사용한 인장철근은 D16($A_s=7-D16=13.9cm^2$)으로 항복강도 $f_y=3875kgf/cm^2$ 이고, 탄성계수 $E_s=2.0 \times 10^6 kgf/cm^2$ 이다.

2.2 시험체의 제작 및 종류

본 실험에 사용된 시험체는 무보강 철근콘크리트 슬래브와 인장강도가 6tonf, 8tonf, 10tonf인 fiber net보강 철근콘크리트 슬래브, 그리고 폴리프로필렌 섬유보강 철근콘크리트 슬래브를 각각 제작하였다. 시험체는 150×700mm의 단면에 순지간 1,600mm의 일방향 단순 철근콘크리트 슬래브 이다. 폴리프로필렌 섬유는 길이 19mm의 망사형을 이용하였으며, 콘크리트 1m²당 0.9kg을 배합하였고, fiber net보강 시험체는 제작시 작업성을 용이하게 하기 위하여 먼저 콘크리트를 1cm 타설 한 후 fiber net을 시공하고 철근 배근 후 다시 타설작업을 하였다.

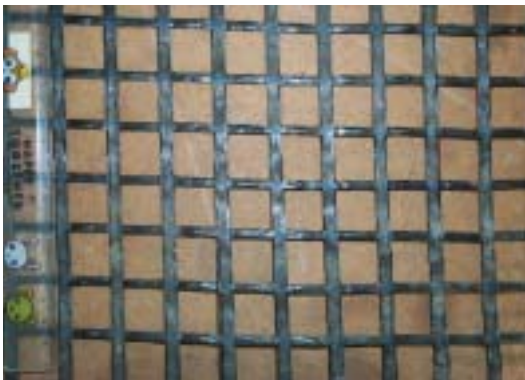


Fig. 1 View of fiber net

시험체의 형상, 시험체의 인장철근에 부착한 처짐량을 측정하기 위한 변위계(LVDT)의 위치는 Fig. 2와 같고 시험체의 형상은 Fig. 3, 그리고 fiber net 및 폴리프로필렌 섬유의 보강에 대한 실험 변수에 대한 설명은 Table 5에 나타내었다.

2.3 실험항목 및 측정항목

본 실험에서는 유압식 30tonf 용량의 가력기를 사용하여 3점 하중 가력법에 의해 시험체의 파괴시까지 변위제어로 휨시험을 실시하였다. 측정된 하중 및 변형률의 데이터는 정·동적 데이터 취득장치와 컴퓨터를 이용하여 취득, 정리하였다.



Fig. 2 Set-up of test

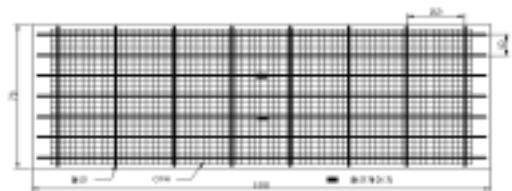


Fig. 3 Detail of test specimen

Table 5 Description of specimen

specimen	description
sc	C : 무보강
sp19	P19 : PP섬유 보강(19mm)
sn06	N06 : fiber net보강 (인장강도6tonf)
sn08	N08 : fiber net보강 (인장강도8tonf)
sn10	N10 : fiber net보강 (인장강도10tonf)

시험체의 초기균열측정은 균열의 발생부위를 추정할 수 없기 때문에 주균열이 발생한 직후 바로 20배 균열경으로 초기균열을 측정하였으며, 측정된 주균열에 균열개구 변위(CMOD)게이지를 부착하여 균열폭을 지속적으로 측정해 데이터를 취득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 하중-균열 관계

Fig. 4에는 각 시험체의 하중과 균열폭의 시험곡선을 나타냈으며, 이를 정리한 각 하중단계에서의 균열폭은 Table 6 및 Fig. 5와 같다. 이상은 초기균열 발생 후에 CMOD 게이지를 부착하여 데이터를 취득함으로써 얻어진 결과이다.

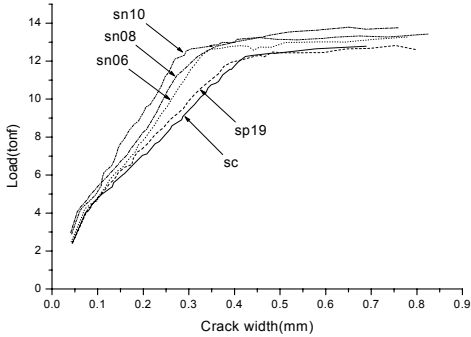


Fig. 4 load-crack width curve

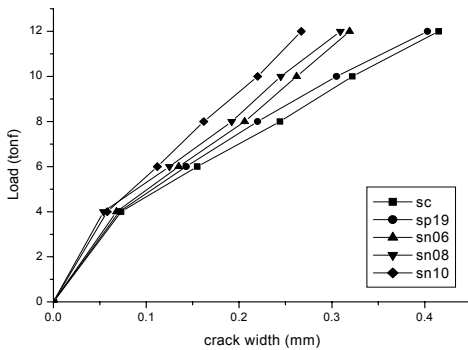


Fig. 5 Relationship of load-crack width

그리고, Table 7은 초기균열하중과 초기균열폭을 나타낸 것이다. 또한 sc, sn06 및 sn08시험체의 하면의 균열 양상은 각각 Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8과 같다.

Table 6 Load-crack width Table (mm)

specimen	4tonf	6tonf	8tonf	10tonf	12tonf
sc	0.073	0.155	0.244	0.322	0.415
sp19	0.071	0.143	0.220	0.305	0.403
sn06	0.068	0.135	0.206	0.262	0.319
sn08	0.054	0.125	0.192	0.245	0.309
sn10	0.058	0.112	0.162	0.220	0.267

Table 7 First crack load and first crack width

specimen	first crack load (tonf)	first crack (mm)
sc	2.40	0.044
sp19	2.43	0.045
sn06	2.48	0.042
sn08	2.97	0.041
sn10	2.90	0.043

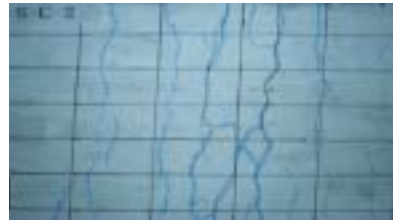


Fig. 6 crack type of sc specimen

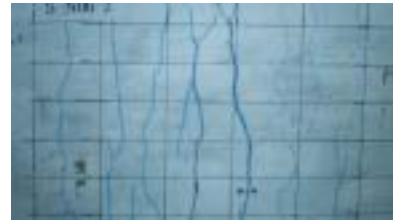


Fig. 7 crack type of sn06 specimen



Fig. 8 crack type of sn08 specimen

먼저 균열발생에 대하여 저항력이 있다고 판단되는 폴리프로필렌 섬유보강 시험체 sp19는 무보강 시험체에 비하여 약간의 균열에 대한 저항력을 가지고 있는 것으로 나타났지만 확연한 특성을 나타내지는 못하였으나, sn06, sn08, sn10 시험체는 fiber net의 인장강도가 클수록 동일하중에서 무보강시험체에 비해 상당히 큰 균열 저항능력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 특히 항복하중이라고 판단되는 12tonf에서는 sc 시험체에 비하여 sn06은 균열폭이 0.77, sn08은 0.74, sn10은 0.64로 나타나 상당한 균열저항능력을 가지고 있다고 판단된다.

3.2 하중-인장철근 변형률 관계

Fig. 9는 각 시험의 하중의 증가에 따른 인장철근의 변형률 곡선을 나타낸 것이다. 변형률 곡선에서 초기균열이 발생한 부분을 보면, fiber net가 초기 균열 발생을 제어하는데 효과적임을 볼 수 있다.

Table 8 과 Table 9는 각 시험체의 철근의 항복하중과 항복변형률 그리고 초기균열하중과 항복하중의 관계를 나타낸 것이다. 본 실험에서 관찰된 전반적인 파괴양상을 고찰해 보면 fiber net보강 시험체의 경우는 인장철근 변형률의 기울기가 크게 나타났으며 이는 시험체 자체의 강성이 증가됨을 나타내는 것으로써 철근과 함께 fiber net가 하중을 지탱함으로써 시험체의 강성이 증가한 것이라고 판단된다.

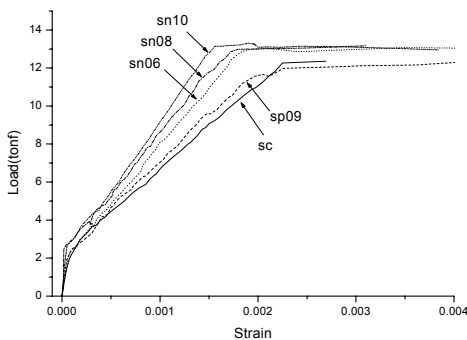


Fig. 9 Load-strain curve

Table 8 yielding load and yielding strain of steel

	yielding load (tonf)	yielding strain ($\times 10^{-6}$)
sc	12.26	2250
sp19	11.57	2104
sn06	12.95	1890
sn08	12.99	1796
sn10	13.15	1559

Table 9 First crack load and yielding load

	first crack load (tonf)	yielding load (tonf)
sc	2.40	12.26
sp19	2.43	11.57
sn06	2.48	12.95
sn08	2.97	12.99
sn10	2.90	13.15

초기균열 하중과 항복하중을 파악하면 초기균열하중의 경우 sc시험체를 기준으로 했을 때 sp시험체는 1.25%의 증가에 지나지 않지만 sn06, sn08, sn10 시험체는 각각 3.33%, 23.75%, 20.83%의 증가를 나타냈으며, 항복하중의 경우 sc시험체를 기준으로 sp 시험체는 오히려 5.63%의 감소를 나타냈고 sn06, sn08, sn10시험체는 각각 5.63%, 5.96%, 7.26%의 증가를 나타냈다. 이렇듯 sc 시험체에 비하여 sp 시험체는 초기균열하중이나 항복하중의 증가가 뚜렷하게 나타나지 않거나 오히려 감소함으로써 폴리프로필렌 섬유가 하중을 지지하지 못한다는 것을 알 수 있으나 sn06, sn08, sn10 시험체의 경우를 살펴보면 sc 시험체에 비하여 확연한 증가경향을 보여 fiber net가 콘크리트 내부에서 상당한 하중지지효과를 내고 있다고 판단되며 특히 sn08시험편과 sn10시험편에 보강된 fiber net는 그 하중저항능력이 상당히 탁월하다고 판단된다. 이는 큰 초기균열 발생 저항능력이 필요로 하는 구조물일 경우 폴리프로필렌 섬유보다 오히려 fiber net의 보강이 더욱 효과적이라는 것을 나타낸다.

3.3 시방서에서 규정하고 있는 균열폭 평가

국내에서는 철근콘크리트보의 휨균열폭 산정식으로 콘크리트표준시방서(건교부,1999)에서 다음의 식 (1)

에 의해 균열폭을 산정하도록 하고 있다. 한편, ACI에서는 철근의 응력수준, 콘크리트 덮개두께, 각 철근을 둘러싸고 있는 콘크리트의 인장면적, 철근직경과 단면에서의 변형을 경사등을 고려하여 다음의 식 (2)를 이용하여 균열폭을 산정하고 있다.

· 국내 콘크리트시방서(KCI) 식

$$W = 1.06Rf_s \sqrt[3]{d_c A} \times 10^{-5} \quad (1)$$

· 미국콘크리트학회(ACI 224(1984))

$$W = 1.3 \beta (f_s - 350) \cdot \sqrt[3]{t_b A} \times 10^{-5} \quad (2)$$

여기서,

W : 보의 저면에서의 균열폭 (mm)

R, β : 중립축에서 철근중심까지의 거리에 대한 인장연단까지 거리의 비

d_c, t_b : 철근 중심에서 인장연단까지의 거리(cm)

A : 인장철근 1개에 대한 콘크리트의 유효인장 단면적(cm^2)

f_s : 사용하중에서의 계산된 철근의 응력 (kgf/ cm^2)

Table 10 은 각 응력 단계별 균열폭의 값이며, Fig. 10은 응력단계별 균열폭을 국내시방서와 미국콘크리트학회 ACI식과 비교하여 나타낸 것이다.

무보강 시험체인 sc는 각 시방서에서 제시하고 있는 이론값과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, sn06, sn08 그리고 sn10시험체는 fiber net의 균열 발생 억제와 하중 분담 영향에 의해 국내 시방서나 ACI의 식과 차이를 나타내고 있다. 이렇듯 이론식보다 fiber net를 보강한 시험체의 실험결과를 비교할

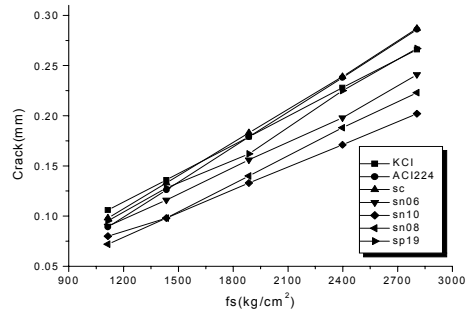


Fig. 10 Comparison of data obtained equations and experimental results

때 그 수치가 작게 나타나는 것을 보더라도 보강한 fiber net가 작용하는 하중의 일정부분을 부담하는 것으로 나타나 그 보강효과가 우수하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

fiber net를 보강한 시험체의 균열제어 효과를 인장 강도 6tonf, 8tonf, 10tonf인 fiber net와 폴리프로필렌섬유를 보강한 시험체에 대해 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발생한 균열폭을 파악한 결과 무보강시험체인 sc에 비하여 sp19는 약간의 균열에 대한 저항력을 가지고 있는 것으로 나타났지만 확연한 특성을 나타내지는 못하였으나, sn06, sn08, sn10 시험체는 fiber net의 인장강도가 클수록 동일하중에서 무보강시험체에 비해 상당히 큰 균열 저항능력을 가지고 있는 것으로 나타났다

Table 10 Crack width relationship from experimental results(mm)

stress (kgf/ cm^2)	KCI	ACI224	sc	sn06	sn08	sn10	sp19
1114	0.106	0.089	0.098	0.09	0.072	0.08	0.095
1434	0.136	0.126	0.133	0.116	0.098	0.098	0.128
1886	0.179	0.179	0.183	0.156	0.14	0.133	0.162
2398	0.228	0.238	0.239	0.198	0.188	0.171	0.225
2806	0.266	0.286	0.287	0.241	0.223	0.202	0.267

- 2) 초기균열 하중을 파악한 결과 sc시험체를 기준으로 했을 때 sp시험체는 1.25%의 증가에 지나지 않지만 sn06, sn08, sn10시험체는 각각 3.33%, 23.75%, 20.83%의 증가해 특히 sn08과 sn10 시험체가 상당한 초기균열제어 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 3) 시험체의 항복하중을 파악한 결과 sc시험체를 기준으로 sp시험체는 오히려 5.63%의 감소해 폴리프로필렌섬유의 하중분담능력이 없다는 것을 알 수 있었으며, sn06, sn08, sn10시험체는 sc시험체에 비하여 각각 5.63%, 5.96%, 7.26%의 증가를 나타내 fiber net의 보강이 균열제어 뿐만 아니라 하중분담 능력이 있다는 것이 파악되었다.
- 4) 국내 시방서 및 ACI의 균열폭 산정식에 대하여 비교한 결과 무보강 시험체인 sc시험체는 산정식과 거의 일치하는 것으로 나타났으나 sn06, sn08, sn10시험체는 그 수치가 추정식보다 작게 나타났는데 이는 fiber net의 균열발생 억제 능력과 하중분담 능력이 우수하기 때문이라고 판단된다.

이상과 같은 결과를 종합해볼 때 fiber net의 균열 발생 억제 능력과 하중 분담 능력이 어느 정도 확인되었다고 생각되며, 추후 좀 더 세밀한 실험 및 이론적 분석이 수행된다면 유용한 구조재료로서의 fiber net의 사용이 가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강영진, 오병환, “철근콘크리트 휨부재의 균열폭 및 균열간격의 결정”, 대한토목학회논문집, 제5권 제4호, 1985, pp.103~111.
2. 백상현, “폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도특성 및 건조수축균열제어 특성 연구”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 1996.
3. 이성노, “철근 콘크리트 휨부재의 균열간격과 균열폭에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 1987.
4. 건설교통부, “철근콘크리트 구조물의 균열평가 및 제어 대책에 관한 연구”, 1996.
5. 건설교통부, “콘크리트 표준시방서”, 1996.
6. 한범성, “격자형 탄소섬유 보강재를 이용한 깊은보의 전단보강에 관한 실험적 연구”, 석사학위논문, 한양대학교 산업대학원, 1998.
7. 이균환, “철근콘크리트보의 균열 및 보수판단기준에 관한 연구”, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원,
8. ACI Committee 224, “Crack control in concrete structures”, American Concrete Institute, Detroit, 1984.
9. Bazant, Z. P, & Oh, B. H, “Spacing of Cracks in Reinforced Concrete”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 9, 1983, pp.2066~2085.
10. ACI 318, “Building code Requirements for reinforced concrete”, American Concrete Institute.

(접수일자 : 2001년 12월 7일)