

# 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 재료적 특성

## The Material Characteristics of Steel Fiber Reinforced Polymer Concrete

김 기 략\* · 연 규 석\* · 이 윤 수\*\*  
Kim, Ki Rak · Yeon, Kyu Seok · Lee, Youn Su

### Abstract

The objectives of this study were to investigate the properties and to improve the disadvantages of the polymer concrete such as brittle fracture, large hardening shrinkage.

In this paper, steel fiber reinforced polymer concrete is prepared with various steel fiber aspect ratios ( $l/d$ ), contents (vol.%), and their material characteristics were investigated experimentally.

The aspect ratio ( $l/d$ ) of the steel fiber was reversely proportional to slump value, and slump value tended to decrease as increase of steel fiber content. And harding shrinkage and impact resistance tended to be improved as the steel fiber content and aspect ratio were increased.

### I. 서 론

건설재료로서 널리 사용되고 있는 콘크리트는 경제적으로 유리하고, 압축강도, 내구성, 강성 등이 비교적 우수하나 균열에 대한 구속능력이 작고 인장, 휨 및 충격강도가 낮으며 에너지 흡수능력이 작아 취성파괴가 일어나는 단점을 가지고 있다.

이러한 콘크리트의 단점을 개선하기 위해서 각종 섬유를 콘크리트 속에 혼입시켜 제조한 것을 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete : FRC)라 하며, 이때 사용되는 섬유로서는 강(steel), 유리(glass), 나일론( nylon), 폴리프로필렌(polypropylene) 및 탄소(carbon) 섬유 등이 있다.

이 가운데 강섬유는 재료가 갖는 우수한 물리·

역학적 특성을 토목 및 건축용 콘크리트 구조물에 활용하기 위해 외국에서는 1960년대부터 연구가 시작되었으며, 40여년이 지난 오늘날에도 활발히 계속되고 있다.

그러나 이러한 연구는 시멘트 콘크리트를 중심으로 수행되어 오고 있으며, 최근에 건설 신소재로 부각되고 있는 폴리머 콘크리트에 적용한 연구 결과는 그리 많지 않은 편이다.

일반적으로 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 강도가 높고, 내식성이 우수한 재료로서 건설산업 분야에서 주목을 끌고 있는 신소재이다. 특히, 폴리머를 결합재로 사용하기 때문에 용도에 따라 경화시간 및 가사시간을 제어할 수 있고, 조기에 고강도 발현이 가능하며, 수밀성, 접착성, 내

\* 강원대학교 농업생명과학대학

\*\* 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 전임연구원

키워드 : 폴리머 콘크리트, 강섬유, 경화수축, 혼입률, 중량비

마모성 그리고 동결융해 저항성 등이 시멘트 콘크리트 보다 우수한 장점을 가지고 있다.

그러나 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트보다는 덜하지만 취성적일뿐 아니라 강성이 작고 경화 시 많은 수축이 발생하는 등 몇가지의 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 폴리머 콘크리트의 단점을 개선하기 위해 폴리머 콘크리트에 강섬유를 혼입한 강섬유 보강 폴리머 콘크리트(SFRPC)를 제조하였으며, 강섬유의 혼입률(vol.%)과 중량비( $l/d$ )를 변화시켜 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 재료특성을 실험적으로 구명하였던 바, 그 결과를 여기에 보고한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 결합재

결합재로서 스틸렌모노머가 38% 함유된 불포화 폴리에스터 수지(UP), 촉진제로서 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매로서는 메틸에틸케톤 퍼옥사이드(MEKPO)가 사용되었으며, 불포화 폴리에스터의 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Acid value	Styrene content (%)
1.12±0.02	312	24	38

Table 2. Physical properties of filler and aggregate

	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption (%)	Organic impurities
Filler	$2.5 \times 10^{-3}$	2.75	0.1	Nil
Fine aggregate	≤5	2.60	0.1	Nil
Coarse aggregate	5 - 10	2.62	0.1	Nil

#### 나. 충전재 및 골재

충전재는 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용했으며, 잔골재는 No.4번체를 통과한 하천모래, 조골재는 최대킷수 10mm인 화강암 쇄석을 사용하였다. 충전재 및 골재는  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조시킨 후 냉각하여 사용하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

#### 다. 강섬유

본 실험에 사용된 강섬유는 국내 C사의 제품으로서 강선절단법으로 제조된 양단 Hook형을 사용하였으며, 사용된 강섬유의 종류 및 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of steel fiber

Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio ( $l/d$ )	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity ( $\times 10^5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
30	0.5	60	10,646	2.9
	0.7	43		
	0.9	33		
36	0.5	72	10,646	2.9
	0.7	51		
	0.9	40		

### 2. 시험체 제작

배합비는 수지량과 잔골재율을 변화시키면서 작업성 및 강도특성 등을 고려한 예비배합 시험을 통해 결정하였으며, 결정된 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 배합비는 Table 4와 같고, 시험체는

Table 4. Mix proportions of steel fiber reinforced polymer concrete

Fiber content (vol.%)	Mix proportion (wt.%)				
	Binder	Filler	Coarse aggregate	Fine aggregate	Steel fiber
0	11.5	11.5	30.80	46.20	0
1.0			29.46	44.20	3.34
2.0			28.19	42.29	6.52

KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 의하여 제작하였다.

혼합은 콘크리트용 강제식 믹서를 사용하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 붓다짐 한 후 테이블 바이브레이터(3,000vpm)로 2분간 다짐하였다. 이때 실험실내의 온도는  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도는  $60 \pm 5\%$ 였으며, 제작된 시험체는 실험실내에서 24시간 기건양생하고,  $85^\circ\text{C}$ 의 온도에서 15시간 축진양생시킨 후 상온에서 12시간 냉각 후 시험에 사용하였다.

### 3. 시험방법

#### 가. 작업성

작업성은 KS F 2402(보통 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 규정된 방법에 의하여 측정되었으며, 폴리머 콘크리트의 점성을 고려하여 슬럼프 콘을 제거한 후 60초 경과시에 슬럼프 값을 측정하였다.

#### 나. 가사시간(Working life)

가사시간은 KS F 2484 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용 가능시간 측정 방법)에 제시된 3가지 방법 중 감축법을 이용하여 측정하였으며, 이때 가사시간은 액상수지에 촉매(MEKPO)를 첨가했을 때의 시각부터 측정하였다.

#### 다. 경화수축

경화수축 시험은 Fig. 1과 같이 Ohama-Demura 방법을 이용하였으며, 시험체의 크기는  $7 \times 7 \times 32\text{cm}$ 이고, 온도조건은  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 하였다. 수축량은 시험체 제작 후 각각 1, 2, 3, 6, 12, 24시간에서 측정하였다.

#### 라. 충격저항성

충격저항 시험은 KS F 2221(건축용 보드류의 충격저항시험 방법)에 준하여 Fig. 2와 같이  $30 \times 30 \times 3\text{cm}$ 의 시험체에 중량 2kg인 가지형 추를 이용하여 시험을 실시하였으며, 이 때 초기균열 및

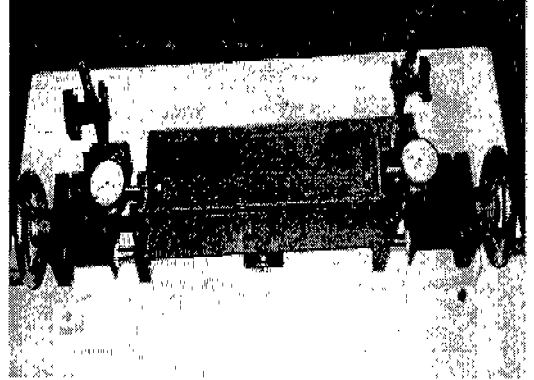


Fig. 1. Device for hardening shrinkage test

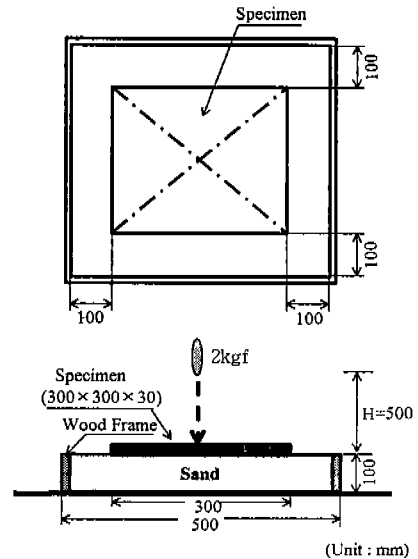


Fig. 2. Illustration of impact resistance test

완전파괴시의 낙하횟수를 측정하고 파괴양상을 조사하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 작업성

슬럼프 시험을 실시한 바 다음의 Table 5와 같은 결과를 얻었으며, Fig. 3은 섬유직경, 길이 및 혼입률에 따른 슬럼프 값의 변화를 그림으로 나타낸 것이다.

Table 5. Results of slump test

Mix no.	Slump (cm)	Mix no.	Slump (cm)
Control	4.6	Control	4.6
30/0.5-1	1.5	36/0.5-1	1.8
30/0.5-2	0.2	36/0.5-2	0.5
30/0.7-1	1.8	36/0.7-1	2.0
30/0.7-2	0.5	36/0.7-2	0.8
30/0.9-1	3.2	36/0.9-1	2.9
30/0.9-2	2.1	36/0.9-2	1.9

Table 6. Test results of working life

Curing temperature (°C)	Working life (min)		
	MEKPO 0.8 phus	MEKPO 1.0 phus	MEKPO 2.0 phus
20	205	141	47
30	72	49	28
40	38	26	15
50	25	17	10
60	16	12	5

\*phus : parts per hundred parts of UP and SR

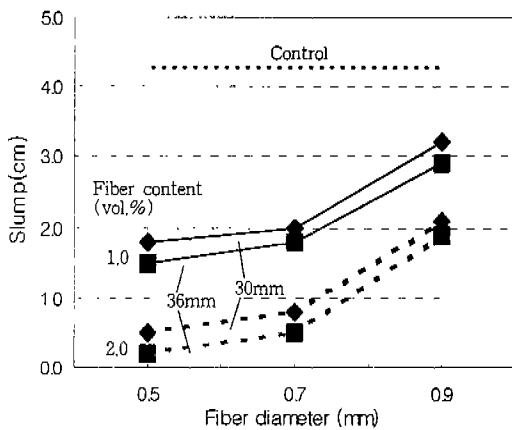


Fig. 3. Effect of steel fiber diameter on slump

이 결과에서 보면, 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 슬럼프 값은 강섬유의 직경이 클수록, 길이가 작을수록 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과로부터 강섬유 보강 콘크리트 제조시 작업성 확보를 위해서는 섬유의 직경을 크게 하고 길이를 줄이는 것, 즉 종횡비를 작게 하는 것이 유리함을 알 수 있다.

## 2. 가사시간(Working life)

적절한 가사시간의 구명을 위해 촉매의 첨가량과 온도를 변화시키며 가사시간을 측정하였던 바, 그 결과는 다음의 Table 6과 같으며, Fig. 4는 촉매의 첨가량 및 온도 변화에 따른 가사시간의 관

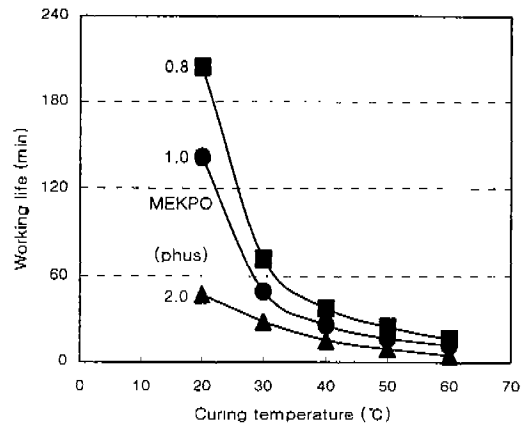


Fig. 4. Effect of curing temperature on working life

계를 나타낸 것이다.

여기서 볼 때 약 30°C 정도까지는 가사시간이 온도의 상승에 따라 급격히 짧아지는 경향을 나타내었으나 그 이후는 비교적 완만한 감소현상을 보였다. 또한, 20°C에서는 각각의 촉매 첨가량에 따라 큰 가사시간의 차이를 보이고 있으나 온도가 상승할수록 그 차이가 점점 줄어들어 60°C에서는 가사시간에 큰 차이가 없었다. 이는 양생온도가 촉매 첨가량보다 가사시간에 더 큰 영향을 끼침을 보여주는 결과라고 분석된다.

## 3. 경화수축

강섬유를 폴리머 콘크리트에 혼입하여, 길이변

화 특성을 구명하여 보았던 바, 그 결과는 다음의 Table 7과 같으며, Fig. 5는 강섬유 직경이 0.5mm, 0.7mm, 0.9mm 일 때, 강섬유 혼입률 및 길이변화에 따른 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 재령과 길이변화의 관계를 나타낸 것이다.

여기서 볼 때, 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 길이변화는 강섬유의 혼입률이 2%일 때가 1%일 때보다 작게 나타나는 경향을 보였으며, 이는 강섬유가 콘크리트 내에서 변형억제 작용에 크게 기여하기 때문이라고 판단된다.

강섬유의 길이가 경화수축에 큰 영향을 주지는 못했지만 36mm인 경우가 30mm인 경우에 비해 약간 유리함을 보여주었다.

Fig. 6은 강섬유의 길이가 각각 30mm, 36mm이고 혼입률 2 vol.%인 경우에 있어 강섬유의 직경에 따른 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 길이변화 특성을 나타낸 것으로 강섬유의 직경이 작을수록 길이변화가 작게 나타났다.

이와 같이 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 길이변화는 강섬유의 길이가 길수록, 직경이 작아질수록 작게 나타난 바, 이것은 강섬유의 종횡비( $l/d$ )가

Table 7. Test results of length change  
(Unit :  $\times 10^{-4}$ )

Mix no.	Elapsed time(h)					
	1	2	3	6	12	24
Control	1.26	13.97	22.65	30.54	31.64	33.22
30/0.5-1	0.20	2.11	9.23	18.21	22.71	23.06
30/0.5-2	0.15	2.05	8.83	15.64	17.81	19.11
30/0.7-1	0.19	2.88	10.98	23.47	25.45	27.06
30/0.7-2	0.16	2.75	8.08	16.75	20.06	21.48
30/0.9-1	0.33	2.95	12.95	25.11	28.02	29.22
30/0.9-2	0.32	2.79	10.85	22.11	24.61	25.62
36/0.5-1	0.17	2.11	7.94	18.93	21.92	22.71
36/0.5-2	0.11	1.72	7.23	15.34	17.67	18.30
36/0.7-1	0.17	2.73	10.2	22.21	23.30	24.23
36/0.7-2	0.13	2.33	8.26	16.10	18.92	19.91
36/0.9-1	0.69	2.71	11.26	24.61	28.12	29.45
36/0.9-2	0.54	2.55	10.03	20.21	24.13	25.11

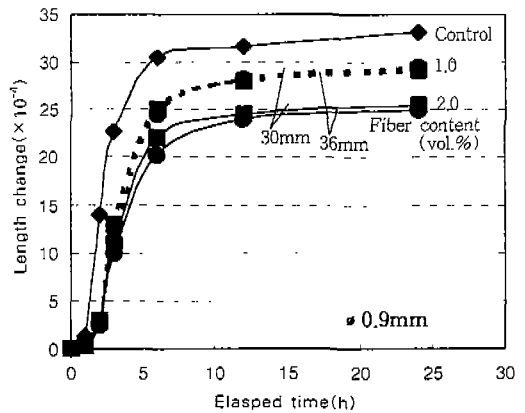
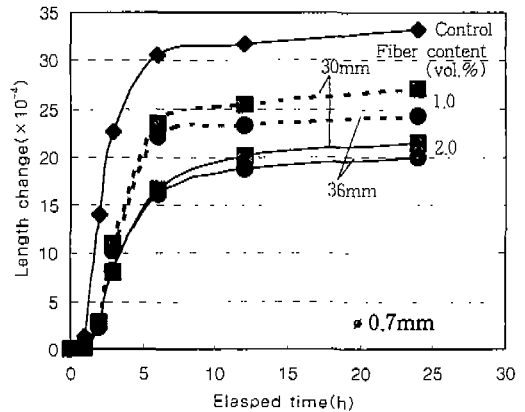
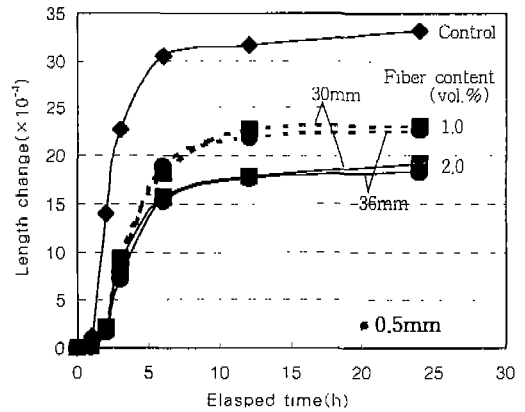


Fig. 5. Effect of fiber content and length on length change of SFRPC with 0.5mm, 0.7mm, 0.9mm steel fiber, respectively

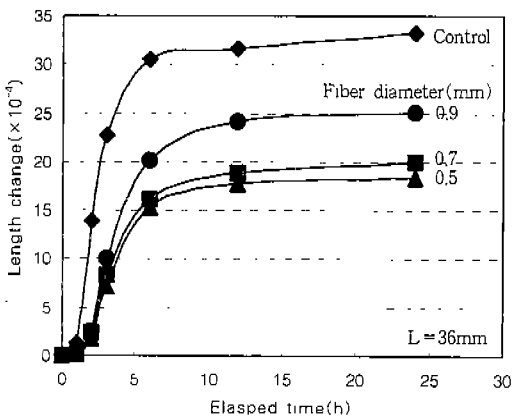
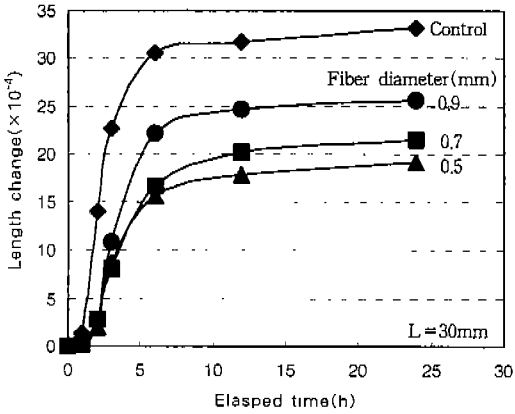


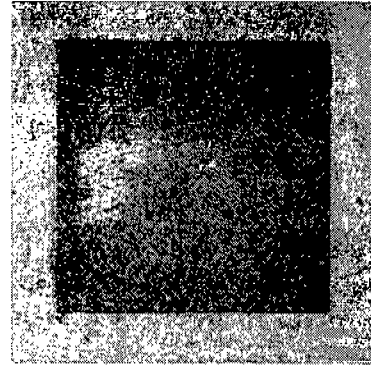
Fig. 6. Effect of fiber diameter on length change of SFRPC with 30mm, 36mm steel fiber, respectively

물수록 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 경화수축 억제 측면에서 유리함을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

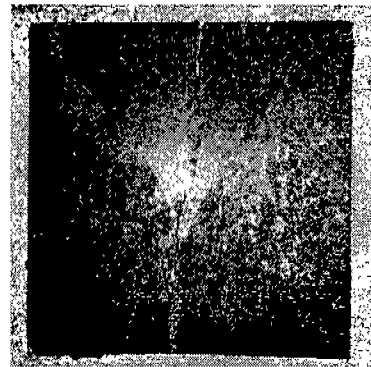
#### 4. 충격저항성

Table. 8은 충격시험 결과를 나타낸 것이며, Fig. 7은 무보강 폴리머 콘크리트 및 강섬유가 각각 1 vol.% 및 2 vol.%씩 혼합된 충격저항 시험체의 파괴양상을 보인 것이다.

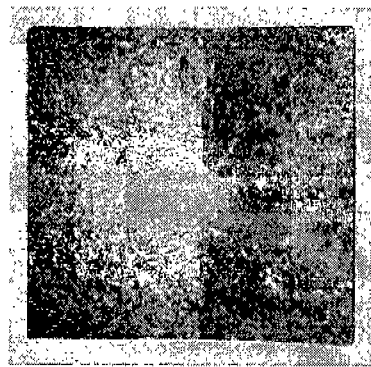
여기서 볼 때, 무보강 폴리머 콘크리트는 초기 균열과 동시에 파괴가 일어나는 취성적 파괴를 보였으나, 강섬유 보강 폴리머 콘크리트에 있어서



(a) Without steel fiber



(b) Steel fiber 1 vol.%



(c) Steel fiber 2 vol.%

Fig. 7. Failure mode of impact test specimen

는 초기균열 이후에도 외부충격에 대해 서서히 균열이 진전된 후 파괴가 일어나는 연성적 파괴 양상을 보였다.

Fig. 8은 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 충격

Table 8. Test result of impact resistance

Mix no.	Impact resistance (Number of drops)	
	First crack	Failure
Control	-	3
30/0.5-1	45	89
30/0.5-2	93	322
30/0.7-1	40	75
30/0.7-2	91	303
30/0.9-1	35	70
30/0.9-2	85	275
36/0.5-1	47	90
36/0.5-2	98	334
36/0.7-1	40	85
36/0.7-2	93	311
36/0.9-1	33	71
36/0.9-2	88	284

저항 시험 결과를 나타낸 것으로서, 각각 강섬유 길이 30mm 및 36mm의 경우 혼입률(vol.%)과 시험체의 초기균열 발생 및 파괴시 추의 낙하횟수와와 관계를 보인 것이다.

한편, 초기균열 이후 파괴시까지의 충격에 대한 거동을 살펴보면, 혼입률 증가에 따라 강섬유 보강 폴리머 콘크리트의 초기균열 이후 충격에 대한 저항성이 현저히 개선됨을 보여주었는데, 이는 갑작스런 충격하중이 가해져 콘크리트에 변형이 오더라도 잔류내력이 커서 계속적으로 구조물의 안전성을 유지할 수 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다.

이 결과에서 보면, 충격저항은 강섬유의 직경 및 길이변화에 대해서는 큰 영향을 받지 않으나, 혼입률의 변화에 대해서는 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 폴리머 콘크리트에 강섬유를 혼입하여 강섬유 보강 폴리머 콘크리트를 제조하고 이에 대한 재료특성을 실험적으로 구명한 것으로서 얻

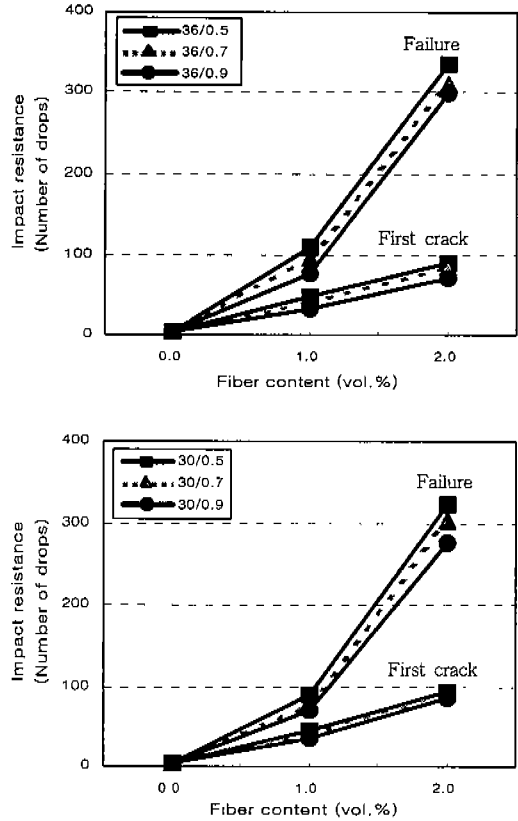


Fig. 8. Effect of steel fiber content on impact resistance with 30mm, 36mm steel fiber, respectively

어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 슬럼프 값은 강섬유의 종횡비( $l/d$ )가 작을수록 증가하였으며, 강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.
2. 가사시간은 온도의 상승 및 촉매 첨가량의 증가에 따라 짧아지는 경향을 나타냈으며, 촉매 첨가량의 변화 보다는 온도변화가 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.
3. 경화수축은 재령 6시간 이내에서 급격한 증가를 보였으며, 강섬유의 종횡비( $l/d$ )가 클수록, 강섬유의 혼입률이 증가할수록 작게 나타났다.
4. 충격저항성은 강섬유의 종횡비( $l/d$ )가 클수록, 강섬유의 혼입률이 증가할수록 높게 나타났으

며, 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 초기균열 이후의 충격에 대한 저항성도 현저히 개선됨을 보였다.

본 연구는 “강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터”의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

### 참 고 문 헌

1. Johnston, C. D., “Deflection measurement considerations in evaluating FRC performance using ASTM C 1018”, Testing of Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal, SP-155, pp. 1-22, 1995.
2. Ohama, Y., and Nishimura, N., “Properties of steel fiber reinforced polyester resin concrete”, Proceedings of the Twenty-Second Japan Congress on Materials Research, The Society of Materials Science, Japan, Kyoto, Mar. pp. 364-367, 1979.
3. Mangat, P. S., and Swamy, R. N., “Properties of polymer modified plain and fiber reinforced concrete”, Proceedings of the First International Congress on Polymer Concrete, The Concrete Society, May, pp. 296-299, 1975.
4. “ASTM C 1018-89, Standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber reinforced concrete (using beams with third-point loading)”, ASTM Standards, Part 04.02, Concrete and Aggregate, 1990.
5. Paul, L., “Concrete design using steel fibers” 한국콘크리트학회지, Vol. 8 No. 4, pp. 56-63, 1996.
6. Chandra, S., and Ohama, Y., “Polymers in concrete”, CRC Press, Inc. pp. 135-143, 1994.
7. Okada K., and Tokunaga M., “Fundamental studies on structural use of resin concrete”, Proceedings of the Third ICPIIC, pp. 538-552, 1981.
8. Antoine, E. N., “New fiber technology”, ACI Journal, Vol. 20 No. 7, pp. 57-62, July 1998.