

# 원형패널의 단면크기에 따른 섬유보강콘크리트의 인성변화에 관한 실험 연구

## An Experimental Study of Flexural Behavior for Fiber Reinforced Concrete Round Panel according to the Geometry

오병환\* · 최승원\*\* · 박대균\*\*

Oh, Byung Hwan · Choi, Seung Won · Park, Dae Gyun

---

### ABSTRACT

The cement-based composites have relatively low tensile strength and toughness. The fiber addition is one of the most important ways of increasing the toughness of concrete. The steel fibers have been used conventionally in the shotcrete of tunnel lining. Recently, the structural synthetic fibers were developed and used frequently in some actual tunnel shotcreting in foreign countries. There are so many method to evaluate a toughness; ASTM, JCI, EFNARC, etc. But these methods contain a few defects. So most researchers are studying to develop a new toughness evaluation method. A RTA is one of these methods.

The purpose of this study is to explore the strength and toughness characteristic of the fiber reinforced concrete panel according to the geometry; diameter, thickness. The result were compared with those of steel fiber reinforced concrete.

---

### 1. 서 론

시멘트를 기본으로 한 혼합체(cement-based composite)는 2가지의 큰 결점을 가지고 있다. 즉, 인장강도가 낮고, 에너지소비용량(energy consumption capacity) 즉, 인성(toughness)이 낮다는 점이다. 이러한 결점을 보완하기 위해 고강도의 섬유를 혼합체에 첨가하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 섬유보강콘크리트(fiber reinforced concrete)는 일반콘크리트(plain concrete)에 비하여 총에너지소비량 및 인성이

---

\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수

\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

\*\*\* 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

섬유보강콘크리트의 거동을 평가하는 방법으로 여러 가지가 제시되어 왔다. 기존에는 ASTM C-1018 및 JCI-SF4에서 제시한 인성평가 방법 및 EFNARC에서 제시한 사각패널(square panel)에 의한 평가방법이 주로 사용되었다. 그러나 Bernard et al.의 실험방법간의 결과의 정밀성 및 신뢰성 연구결과, 기존의 이러한 평가방법들은 섬유보강콘크리트의 균열 후 거동을 정확하게 평가하고 있지 못하다는 결론을 내리고 있다. 따라서 이러한 기존의 평가방법들의 단점을 보완한 방법이 제시되고 있는데, RTA에 의해서 제시된 원형패널시험(Round Panel Test)이 현재 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 원형패널의 geometry를 변화시키면서 실험적 분석(experimental analysis) 통하여 원형패널 시험의 기초연구의 토대로 사용하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 배합설계 및 변수

본 실험에서는 합성섬유의 혼입율을 1.0%, 물-시멘트 비를 44%로 고정시켰다. 또한 합성섬유 보강한 경우와의 비교를 위한 실험으로 강섬유를 혼입한 경우에는 현재 실제 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 섬유 혼입량(40kg)을 택하였고, 물-시멘트 비는 44%로 하였다. <표 1>은 실험에 사용한 배합설계표를 나타내고 있다.

본 연구에서는 원형패널의 geometry에 따른 휨거동을 살펴보기 위하여 원형패널의 지름과 두께를 변수로 두었다. 지름은 400mm, 600mm로 변화시켰고, 두께는 40mm~160mm까지 변화시켰다. <표 2>는 실험에 사용된 변수를 나타낸 것이다.

표 1. 배합설계표

섬유종류	w/c[%]	s/a[%]	물[kg]	시멘트[kg]	잔골재[kg]	굵은골재[kg]	유동화제[g]	섬유량[kg]
합성섬유	44	70	197.5	480	1141	478	2.25	9.1
강섬유	44	70	180.5	450.5	1136	548	2.25	40

표 2. 실험변수

지름[mm]	400			600			
두께[mm]	40	80	40	60	80	120	160

### 2.2 실험방법

본 연구에서는 RTA에서 제시하고 있는 실험방법에 따라서 패널의 중심부에 집중하중을 재하하여 중심부에서의 처짐을 구하였다. 실험을 통해 파괴시의 최대하중과 하중-처짐 곡선으로부터 흡수에너지를

구하였다. 하중재하 속도는 10.0mm/min로 하였고, 중심부의 처짐이 40mm에 도달할 때까지 하중을 재하하였다. [그림 1]은 실험전경 및 균열양상을 나타내고 있다.

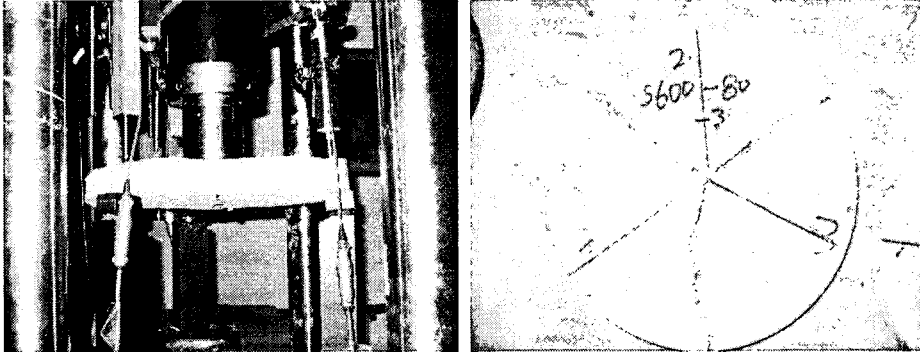


그림 1. 실험전경 및 균열양상

### 3. 실험결과

3장에서는 지름과 두께에 따른 최대하중과 흡수에너지를 구하여 그 결과를 제시하였다.

#### 3.1 지름 400mm

지름이 400mm일 때, 두께에 따른 최대하중과 흡수에너지는 두께가 증가함에 따라 모두 증가하였다. 최대하중은 두께가 40mm에서 80mm로 2배 증가함에 따라 약 4배 증가하였다. 또한, 강섬유를 사용했을 경우에 합성섬유를 사용한 경우에 비해 최대하중은 다소 크게 측정되었지만 거의 차이가 없었다. 흡수에너지는 두께가 2배 증가함에 따라 약 4배 증가하였다. 그러나 합성섬유를 사용한 경우 강섬유를 사용한 경우에 비해 약 30%정도까지 증가하였다. <표 3>는 지름 400mm일 경우의 최대하중과 흡수에너지의 결과를 나타낸 것이다.

표 3. 두께에 따른 최대하중 및 흡수에너지

Fiber Type	합성섬유		강섬유	
Diameter [mm]	400			
Thickness [mm]	40	80	40	80
최대하중(tonf)	0.7	3.3	0.7	3.5
흡수에너지(J)	84.9	330.9	79.3	241.5

#### 3.2 지름 600mm

지름이 600mm일 때, 두께에 따른 최대하중과 흡수에너지는 두께가 증가함에 따라 모두 증가하였다.

최대하중과 흡수에너지는 모두 두께가 40mm에서 80mm, 120mm, 160mm로 2, 3, 4배 증가함에 따라 각각 약 3, 7, 10배 증가하였다. 또한, 강섬유를 사용했을 경우에 합성섬유를 사용한 경우에 비해 최대하중은 다소 크게 측정되었지만 거의 차이가 없었다. 그러나 흡수에너지는 합성섬유를 사용한 경우 강섬유를 사용한 경우에 비해 약 10~20%정도까지 증가하였다. <표 4>는 지름 600mm일 경우의 최대하중과 흡수에너지의 결과를 나타낸 것이다.

### 3.3 회귀분석

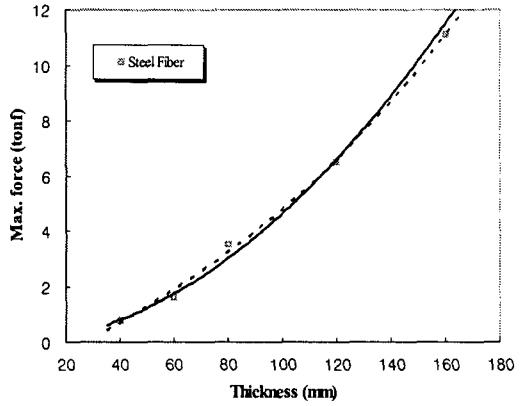
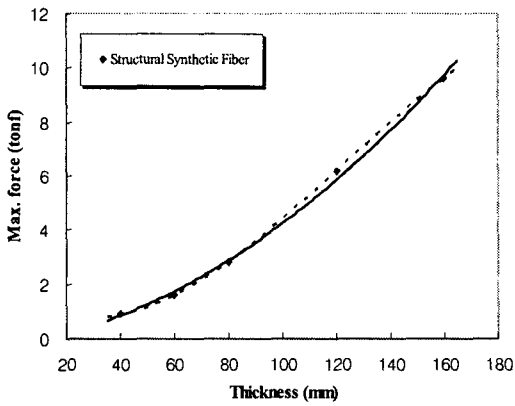
이상의 실험을 통하여 지름 600mm 대한 두께의 변화에 따른 회귀분석한 식을 <표 5>에 나타내었다. [그림 2]는 최대하중과 흡수에너지의 실험결과와 그 회귀분석 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있

표 4. 두께에 따른 최대하중 및 흡수에너지

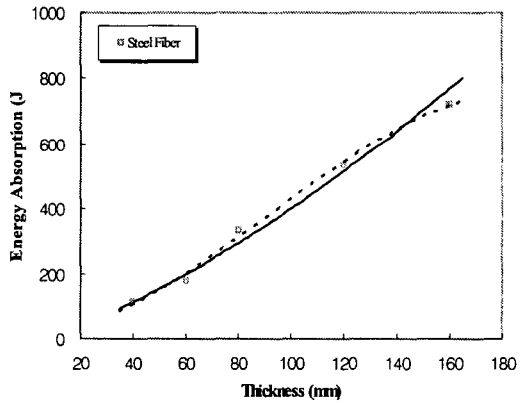
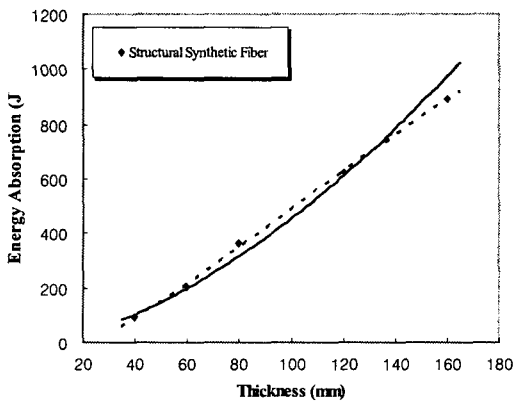
Fiber Type	합성섬유					강섬유				
	600					600				
Diameter [mm]	600					600				
Thickness [mm]	40	60	80	120	160	40	60	80	120	160
최대하중(tonf)	0.9	1.6	2.8	6.2	9.6	0.8	1.6	3.5	6.5	11.1
흡수에너지(J)	94.2	201.3	363.1	622.9	890.9	113.4	175.7	334.5	536.8	718.6

듯이 실험결과는 회귀분석 곡선에 매우 근접해 있음을 알 수 있고 따라서 본 회귀식은 상당한 정확도를 가진다고 볼 수 있다. 회귀분석한 식은 지수형식과 3차 다항식의 형식으로 나타내었는데 두 식간의 차이가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 식은 두께가 증가할수록 계속 값이 증가하는 형식이 되므로 실제의 값과는 차이가 발생할 수 있다.

두께 40mm~200mm일 경우의 지수식과 다항식과의 값의 오차는 약 10%이하인 것으로 나타났지만 그 이상의 두께에서는 10%이상의 오차가 발생하였다. 따라서 다음의 회귀식은 두께가 40mm~200mm일 경우에만 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. [그림 2]에서 점선은 다항식으로 회귀분석한 식을 나타내고 실선은 지수식으로 회귀분석한 곡선을 나타낸다.



[그림 2 (a) 최대하중의 회귀분석]



[그림 2 (b) 흡수에너지의 회귀분석]

표 5. 두께에 따른 최대하중과 흡수에너지의 회귀분석식

		최대하중 (tonf)	흡수에너지 (J)
합성섬유	지수식	$F = 0.0013T^{1.76}$	$E = 0.26T^{1.62}$
	다항식	$F = -10^{-6}T^3 + 0.0006T^2 - 0.004T$	$E = -8 \times 10^{-7}T^3 + 0.0006T^2 - 0.009T$
강섬유	지수식	$F = 0.0006T^{1.93}$	$E = 0.07T^{1.38}$
	다항식	$F = 10^{-6}T^3 + 2 \times 10^{-5}T^2 + 0.05T$	$E = -0.0002T^3 + 0.057T^2 + 0.65T$

#### 4. 결 론

- (1) 지름이 일정할 경우 두께가 증가함에 따라서 파괴에 이르는 최대하중과 흡수에너지는 증가한다.
- (2) 두께가 일정할 경우 지름이 증가함에 따라서 최대하중 및 흡수에너지는 증가한다.
- (3) 합성섬유보강 콘크리트의 경우 강섬유보강 콘크리트에 비해 최대하중은 감소하지만 흡수에너지는 증가한다. 이는 강섬유의 탄성계수가 크기 때문에 최대하중은 다소 증가하지만 균열이후의 인성은 합성섬유를 사용했을 경우에 더 유리함을 알 수 있다.
- (4) 이후에 RTA에서 제시하고 있는 기본적인 원형패널 지름 800mm, 두께 75mm인 경우의 패널실험을 통해 본 실험결과와의 상관관계를 유추하면 원형패널의 size결정에 기초를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Stephen P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plates and Shells", second edition, McGraw Hill International Editions.
2. E.S. Bernard and M. Pitcher, "Influence of Geometry on Performance of Round Determinate Panels made With Fibre Reinforced Concrete" Engineering Report No. CE10, Jan., 2000.
3. E. Stefan Bernard, "Measurement of Post-cracking Performance in Fibre Reinforced Shotcrete."