

ECC 재료보강 두께에 따른 휨 부재의 휨 거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Flexural Behavior in Flexural Members Based on Repair Thickness of ECC

경민수* 김동완** 배병원*** 전경숙*** 임윤묵**** 김장호****
Kyoung, Min Su Kim, Dong Wan Bae, Byung Won Jun, Kyung Suk Lim, Yun Mook Kim, Jang Ho

ABSTRACT

Recently, the development of construction materials is rapidly advancing. Especially, the rate of development of cement based construction materials is much quicker than steel or composite materials. In order to optimize the ductility and strength of cement based materials, Micro-mechanics based fiber concrete called Engineered Cement Composite (ECC) is developed and studied extensively by many researchers in the field. Due to ECC's remarkable flexural strain and strength capacities, many leading nation (i.e., US, Japan, and European countries) are currently using ECC in actual constructions. In this study, ECC with internationally competitive material capacities is manufactured using domestic materials. Then, unreinforced concrete beams are repaired using ECC with 10%, 20%, 30% of concrete specimen height. Using 4 point bending test, the flexural strength of repaired flexural members are determined. The results show that ECC manufactured with domestic materials can be effectively used for repairing materials.

1. 서론

최근 토목·건축 구조물에 사용되는 건설재료의 변화 및 발전은 매우 빠르게 진행되고 있으며, 특히 시멘트를 주 원료로 하는 재료의 변화속도는 강재와 같은 건설재료의 변화 속도보다 빠르게 진전되고 있다. 따라서 시멘트를 원료로 하는 건설재료의 단점인 취성적 파괴거동을 보완하기 위해서 연성이나 강도가 일반 콘크리트보다 월등한 고기능성 시멘트계 복합재료인 ECC (Engineered Cementitious Composite) 재료 연구가 현재 활발히 진행중에 있으나 국내에서는 아직 미비한 수준이다. 따라서, 콘크리트 구조물의 보강에 가장 적합한 재료로서 그 적용성이 확대되고 있다. 본 연구에서는 ECC 재료의 보강효과를 관찰하기 위해서 화이버를 제외한 그 외 배합재료를 국내에서 생산되는 재료들로 사용하여 보강하였으며 보강두께를 전체 높이의 10%, 20%, 30%로 다르게 하여 보강된 휨 부재의 연성과 강성에 대한 거동을 일반 콘크리트 부재와 비교·분석하고자 하였다.

* 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 석사 후 연구원
** 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 석사 후 연구원
*** 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 석사과정

**** 정희원, 연세대학교 토목공학과 부교수
***** 정희원, 세종대학교 토목환경공학과 조교수

2. 실험

2.1. 실험개요

본 실험에서는 사용된 ECC 보강재료는 화이버를 제외한 그 외 배합재료를 국내에서 생산되는 재료들로 사용하였으며, 그 배합재료들을 이용하여 만들어진 ECC 보강재료를 일반 콘크리트 시편 전체 높이에 10%, 20%, 30%로 다르게 하여 보강하였다. 그림 1은 본 실험에 사용된 시편단면들이며, ECC 보강두께를 전체 높이에 0%, 10%, 20%, 30%의 네 가지 경우로 나누어 그림으로 보여주고 있다.

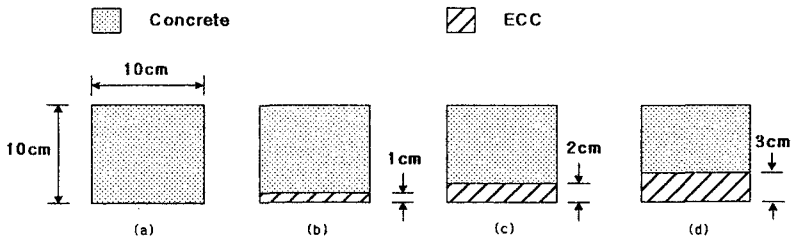


그림 1 시편 높이의 (a)10%, (b)20%, (c)30%, (d)40% 보강두께

2.2. 재료

본 실험에 사용된 콘크리트 시멘트는 국내에서 시판되는 L사 1종 보통 포틀랜드 시멘트이다. Fiber는 일본 K사의 고인성 PVA Fiber를 사용하였으며, Fly Ash는 일반적으로 많이 이용하고 그 특성이 검증된 재료를 사용하였으며, 배합작업을 원활하게 해주는 SP(Super plasticizer)가 쓰였다. 그리고 배합물의 작업성을 증진시키고 재료분리를 막아주는 MC(증점제)는 국산 S사제품을 사용하였다.

2.3. 배합비

본 연구에서 ECC 부재의 배합비(W/C)는 0.45이며, 표 1과 같다. 또한, ECC 보강 휨 부재의 연성거동을 비교·관찰하기 위해서 일반 Concrete 시편을 제작하였다. Concrete 시편의 설계기준 강도는 300kgf/cm²이며, 최대치수 19mm의 굵은 골재를 사용하였다. Concrete 배합비율은 표 2에 나타나 있다.

표 1 ECC 보강재 배합비

ECC (W/C=0.45)	
Material	(%)
Cement	1
Water	0.45
Fly ash	0.15
Sand	0.7
SP	0.01
MC	0.0018
Fiber (Volume %)	2
Aggregates	-

표 2 Concrete 배합비

Concrete (W/C=0.54)	
Material	(kg/m ³)
Cement	342
Water	185
Fly ash	-
Sand	597
SP	-
MC	-
Fiber (Volume %)	-
Aggregates	727



그림 2 부재 옆면에서의 균열분포

2.4. 부재 설치 및 휨 실험

부재의 휨 실험에는 MTS-810 25ton 용량의 시험기를 사용하였고 4 point 휨 실험을 실시하였다.

지점은 시편 양끝에서 5cm 떨어진 지점에 위치하고 가력시험을 하였으며, 측정 시스템의 데이터를 관측하고 관측 하중이 최대하중의 30% 선으로 떨어지면 시편의 파괴로 판단하여 하중 재하를 중단하였다. 그림 2는 시편의 하중 재하시 균열이 전파, 분산되는 모습을 보여준다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 무보강된 Concrete부재 휨 실험결과 및 분석

그림 3은 무보강된 Concrete 부재의 휨 실험결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 6개의 Concrete시편은 3.5MPa~4MPa의 강도에서 갑작스럽게 파괴되는 양상을 보였으며 변위는 0.3mm~0.4mm 정도에서 모든 부재가 취성적인 파괴거동이 발생함을 확인하였다.

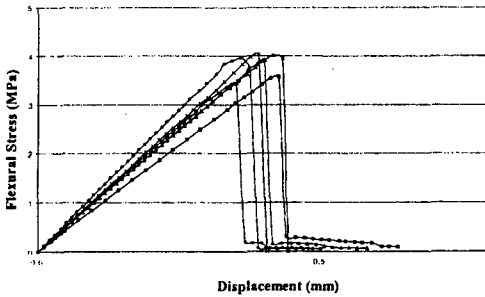


그림 3 무보강 시편의 휨 실험결과

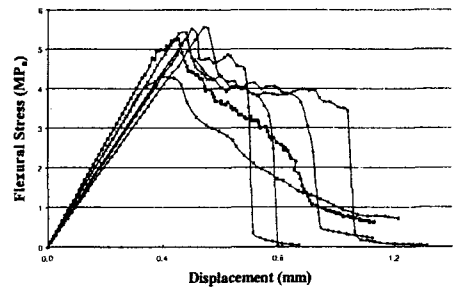


그림 4 10% 보강된 시편의 휨 실험결과

3.2. ECC 10%, 20%, 30% 보강 휨 부재의 실험결과 비교

그림 4는 ECC 재료를 10%보강한 휨 부재의 실험결과를 보여주고 있다. 파괴 거동을 살펴보면 처음 균열이 Concrete에서 발생되었으며, 그 균열이 보강된 ECC로 전달되어 여러개의 미소균열로 확산되는 것을 볼 수 있었다. 연성적인 거동이 Concrete 부재보다는 안정적으로 파괴가 진행되었지만 보강두께가 얇았기 때문에 그다지 큰 추가하중을 받지는 못하였다. 그림 4에서 보듯이 파괴가 진행된 평

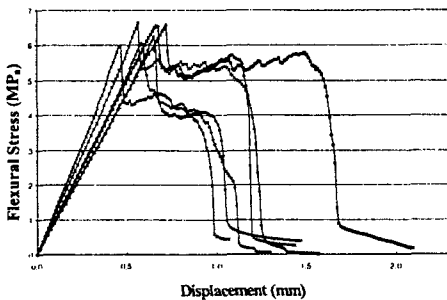


그림 5 20% 보강된 시편의 휨 실험결과

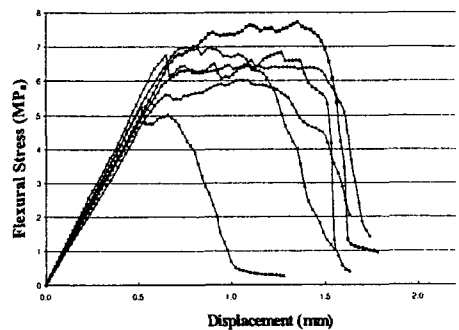


그림 6 30% 보강된 시편의 휨 실험결과

균변위는 0.7mm~1.0mm사이였다. 그림 5는 ECC 재료를 20%보강한 휨 부재의 실험결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 20% 보강된 ECC휨 부재는 10% 보강한 휨 부재 보다 1MPa정도 높은

강도에서 파괴가 일어났음을 알 수 있으며 평균강도가 6MPa~6.5MPa정도로 나타났다. 이는 ECC 재료를 10%보강한 휨 부재의 실험결과와 비교 하였을때 강도는 1MPa정도, 변위는 0.5mm정도 더 높게 나타났음을 확인할 수 있었다. 그림 6은 ECC 재료를 30%보강한 휨 부재의 실험결과를 보여주고 있다. 30% 보강한 휨 부재는 처음 균열이 Concrete와 ECC에서 거의 동시에 발생되었으며 미소균열은 ECC보강 재료에 전체적으로 전달되면서 여러개의 미소균열로 확산되는 것을 볼 수 있었다. 미소균열의 확산정도가 10%, 20% 보강한 휨 부재 보다 더 많이 퍼져있는 것을 볼 수 있었으며 연성적인 거동 또한 20% 보강 휨 부재보다는 안정적으로 파괴가 진행되었다. 그림에서 보듯이 파괴가 진행된 변위는 평균 1.6mm정도였으며, 이는 ECC 20% 보강 휨 부재의 실험결과와 비교 하였을때 강도면에서는 1MPa정도 높게 나타났지만, 연성적인 거동을 비교하였을때 30%보강 휨 부재가 훨씬 안정적으로 파괴되었다.

4. 결 론

고기능성 시멘트계 복합재료 보강부재의 휨 실험 및 해석을 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 무보강된 휨 부재와 ECC 보강 휨 부재의 실험을 통해 연성적인 거동과 강도차이를 비교한 결과 ECC 보강 휨 부재가 안정적인 연성 파괴거동을 하였으며, 추가하중을 지속적으로 받을 수 있는 강도를 확보하였다.
- 2) ECC 보강 휨 부재의 파괴거동을 살펴보면 Concrete에서 먼저 파괴가 진행되었고, Concrete파괴 후 ECC재료로 파괴가 진행되는 것을 알 수 있었으며, 극한변위의 증가현상이 극한하중의 증가보다 두드러짐을 파악할 수 있었다.
- 3) ECC 보강재료가 30% 보강된 휨 부재는 20% 보강된 휨 부재보다 평균 강도면에서는 1MPa정도 높게 나타났으며, 연성적인 거동 또한 30% 보강 휨 부재가 훨씬 안정적으로 파괴되었다.

감사의 글

본 연구는 건교부 산·학 협동기술개발연구과제로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. H. Stang, T. Aarre., "Evaluation of crack width in FRC with conventional reinforcement," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 14, No. 2, 1992. pp. 143-154.
2. V.C. Li, T. Kanda., "Engineering cementitious composites for structural applications," *ASCE Journal Materials in civil engineering*, Vol. 10, No. 2, 1998, pp. 66-69.
3. Proceedings of the *JCI International Workshop* on ductile fiber reinforced cementitious composites(DFRCC), Takayama, 2002, Japan, 21-22, October.