

# 고기능성 시멘트계 복합재료의 인장 특성에 대한 연구

## Tension Properties of Engineered Cementitious Composite(ECC)

김 동 완\*    경 민 수\*\*    배 병 원\*\*    전 경 숙\*\*    임 윤 목\*\*\*    김 장 호\*\*\*\*  
Kim, Dong Wan    Kyoung, Min Su    Bae, Byung Won    Jun, Kyung Suk    Lim, Yun Mook    Kim, Jang Ho

### ABSTRACT

Recently, construction materials have been quickly 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) has been 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) have reached the point of being able to use ECC in actual constructions. But, due to the belated interest in the field, Korea is lagging behind the leading countries. ECC's ability to use its short fibers to bridge micro-cracks (50~80 $\mu$ m in width) allows great ductility and strength. In this study, it is confirmed excellency of ECC through the test of tensile strength.

### 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 속도 보다 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 미국을 선두로 하여 활발히 진행 중에 있다. 그리고 일본, 유럽이 그 뒤를 이어 활발히 연구하고 있으나 국내에서는 아직 미비한 수준이다. ECC 재료는 기존의 재료와 달리 처음 발생한 균열이 파괴로 연결되는 것이 아니라 보강섬유의 bridging effect에 의해 여러 개의 미소 균열(50~80 $\mu$ m)로 확산됨으로서 외부의 하중을 지속적으로 받을 수 있는 가능성을 보유 하고 있다. 이러한 재료의 우수한 성질에도 불구하고, 실질적인 사용성은 현재 매우 제한적으로 비-구조적인 부분에 국한되어있는 실정이다. 본 연구에서는 인장강도 실험을 통하여 인장 파괴거동을 관찰함으로써 ECC 복합재료의 우수성을 확인하고자 한다.

\* 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 ECC 부재의 인장력에 대한 거동을 정확히 평가하는 것이 그 목적이며, 기존 실험결과로 가장 좋은 휨강도와 거동을 보인 물·시멘트비(W/C)가 0.45 배합비를 선택하여 부재를 제작하였다. 변위제어 방식을 이용하여 0.005mm/sec의 속도로 부재가 파괴에 도달하기까지의 거동변화와 파괴양상을 파악하여 부재의 응력-처짐 관계를 실험적으로 도출하였다. 인장강도 실험에는 쪼갬 인장시험과 직접 인장시험을 통하여 선진국에서 실험된 ECC 재료실험 결과와 파괴거동을 비교·관찰하였다.

### 2.2. 거푸집 제작

본 실험에 사용된 거푸집은 직접 인장 실험용으로 가로8cm 세로35cm이며 두께가 2cm인 시편을 동시에 3개씩 제작할 수 있는 일체형으로 2세트를 제작하였고, 타설중 내면을 관찰할 수 있는 아크릴 재질로 제작하였다. 쪼갬 인장 실험은  $\Phi 10 \times 20$  원형 몰드를 사용하였다.

### 2.3. 재료

본 실험에 사용된 콘크리트 시멘트는 국내에서 시판되는 L사 1종 보통 포틀랜드 시멘트이다. Fiber는 일본 K사의 고인성 PVA Fiber를 사용하였다. Fly Ash는 일반적으로 많이 이용하고 그 특성이 검증된 재료를 사용하였다. 그 밖에 물·시멘트비(W/C)를 낮추기 위해 쓰이는 물질로서 물을 적게 넣으면서 배합작업을 원활하게 해주는 SP(Super plasticizer)가 쓰였다. SP는 미국의 W사의 제품을 사용하였다. 그리고 배합물의 작업성을 증진시키고 재료분리를 막아주는 MC(증점제)는 국산 S사제품을 사용하였다.

### 2.4 배합비

본 연구에서 배합비는 전 연구에서 가장 좋은 결과를 보여줬던 0.45(W/C)를 사용하여 배합하였다.

표 1 ECC 시편의 배합비

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

### 2.5 배합순서 및 타설

재료의 배합은 20리터 용량의 회전형 믹서에 분말 형태로된 시멘트, 플라이 애쉬, 잔골재를 마른 형태로 고르게 1분 정도 배합하고, 여기에 물을 조금씩 첨가하여준다. 이때 일부의 물은 증점제와 함께 섞어 5분 동안 배합한다. 물과 증점제 투입 후 유동제를 넣는데 이 유동제는 전체적으로 반죽이 매우 묽어진 상태를 유지하면서 약 10분 정도 균일하게 혼합을 유지한다. 여기에 fiber를 손으로 여러 등분

하여 투입하고 투입한 시간으로부터 5분 동안 계속 배합을 실행한다. 이 반죽의 배합물을 제작된 거푸집에 집어넣고 적당히 고르게 넓게 편 후 진동테이블 위에 올려놓고 약 20초 정도 진동을 가한다. 이 진동은 성형 과정에서 생길 수 있는 기포 등을 없애주는 역할을 한다.

## 2.6 양생 및 시편수

시편의 타설 이후 표면을 잘 마무리 한 다음 젖은 종이타월을 이용하여 표면의 빠른 건조를 막아주고 성형된 시편을 성형틀과 함께 수분이 증가하지 않도록 비닐로 밀폐시켜 24 시간 후 시편을 탈형하였다. 양생은 28일 동안 수중양생을 하였다. 직접 인장 실험과 조깅 인장 실험 각각 6개의 시편을 제작하였다.

## 2.7 인장 강도 실험

인장강도측정은 직접 인장실험과 조깅 인장실험을 실시하였다. 직접 인장실험 기계는 25t 용량의 UTM을 사용하였으며, 다음과 같은 장치를 이용 시편에 연결하여 인장실험을 실시하였다. 강봉 설치를 위해서 시편에 강판을 epoxy로 붙여 부재중간 지점에 직경 2cm의 원 구멍을 뚫어 볼트로 고정시켰다. 그리고 실험 시 부재의 비틀림을 방지하기 위해 힌지 역할의 고리로 강봉과 시편을 연결하였다. 또한, 양끝 10cm부터 2cm지점을 1:1 경사로 깎아 부재의 인장파괴가 중간부위에서 일어나도록 부재의 너비를 4cm로 하였으며, 변위는 LVDT를 사용하여 측정하였다. 하중재하속도는 0.005mm/sec이고 부재가 인장파괴를 일으킬 때까지 하중을 가하였다. 그림 1은 직접 인장실험을 위한 부재 설치와 치수를 보여주고 있다. 그림 2은 직접 인장실험 재하 장면을 보여주고 있으며, 그림 3은 하중 재하 시 시편에 균열 모습을 보여준다.

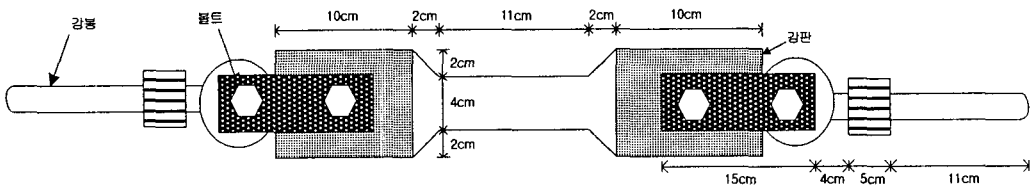


그림 1 직접 인장실험을 위한 부재 설치와 치수

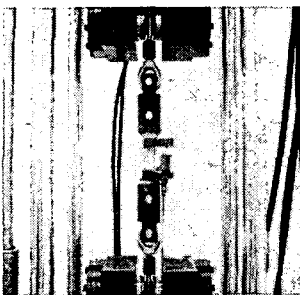


그림 2 직접 인장실험 재하 장면

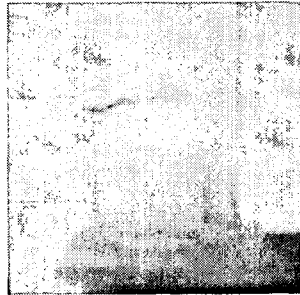


그림 3 직접 인장실험 균열

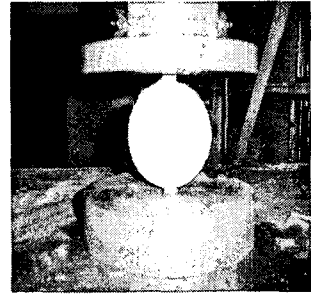
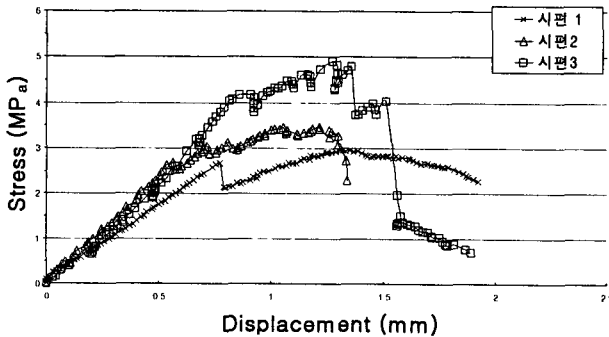


그림 4 조깅 인장실험 장면

조깅 인장실험은 KS 한국 산업 규격 F 2423의 시험방법을 실시하였으며,  $\Phi 10 \times 5$ 원주형 공시체 6개를 실험하였다. 하중재하속도는 0.005mm/sec이고, 하중이 가해지는 부위에 나무판을 길이에 맞추어 공시체에 부착하여 공시체가 인장파괴를 일으킬 때까지 하중을 가하였다.

### 3. 실험결과 및 분석



그림에서 보듯이 3개 시편의 실험결과와 응력이 일관성 있게 나타나 있지는 않지만, 시편 3의 경우 최고 응력이 5MPa까지 증가하는 현상을 보였다. 하중 재하 시 최고 응력값에서 시편에 균열이 가는 현상을 보였으며, 휨 실험 시 미소균열의 분포와는 달리 직접 인장 실험에서는 처음 미소 균열이 부재의 파괴 균열까지 이어지는 현상을 보였다. 이 결과를 선진국에서 실험한 결과와 비교해 볼 때 시편 1과 시편 2는 기존의 최대 응력값에 미치지 못하는 것만,

시편 3의 경우 선진국에서 실험한 결과와 거의 비슷한 실험결과를 보였다.

표 2는 6개 시편의 조깅 인장실험(splitting tensile test) 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 조깅 인장강도는 5MPa~7MPa 사이에서 파괴가 일어남을 알 수 있으며, 시편 3 공시체의 인장강도는 최고 7.02MPa에서 인장파괴가 일어났다. 이 결과는 보통 콘크리트 조깅 인장강도 2.7MPa~3.6MPa보다 2배 정도의 조깅 인장강도를 보여주는 결과라고 판단된다.

표 2 조깅 인장실험 결과

	1	2	3	4	5	6
최대하중(kgf)	398.4	487.8	561.6	465.0	507.0	444.0
인장강도(MPa)	4.98	6.09	7.02	5.81	6.33	5.55

### 4. 결론

1. 직접인장 실험결과 최고 응력이 5MPa까지 증가하는 현상을 보였으며, 조깅 인장강도는 보통 콘크리트 보다 2배 이상의 강도를 나타내었다.
2. 직접인장 실험결과는 외국의 경우와 비교하여 최고 응력값은 비슷하게 도출되었으나 거동면에서는 초기균열에서 파괴까지의 거동이 더 빨리 진행되는 것으로 나타났다.

### 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. Y.M. Lim, V.C. Li., "Durable repair of aged infrastructures using trapping mechanism of engineered cementitious composites," *C.*