

MMA 개질 폴리머 콘크리트의 인장증강 효과

Tension Stiffening Effects of MMA-Modified Polymer Concrete

연 규 석*
Yeon, Kyu Seok

권 택 정**
Kweon, Taek Jeong

정 중 호***
Jeong, jung Ho

김 성 기****
Jin, Xing Qi

ABSTRACT

Direct tensile tests were carried out for the tensile members of MMA-modified polymer concrete with different steel kinds and steel diameters and steel ratios to figure out the effect of tensile strength of polymer concrete. In the experiments, MMA-modified polymer concrete with 1000 kgf/cm² of compressive strength, steel with 5200 kgf/cm² of tensile strength, and the tensile members with 100 cm of constant length were used.

Experimental results showed that, regardless of steel kinds, diameters and steel content, the strain energy exerted by concrete till the initial crack was 14-15% of the total energy till the point of yield. The energy was much larger than the one of high-strength cement concrete. The behaviors of tensile members of MMA-modified polymer concrete were in relatively good agreement with the model suggested by Gupta-Maestrini (1990), which was idealized by the effective tensile stress-strain relationship of concrete and the load-strain relationship of members, while those showed a big difference from CEB-FIP model and ACI-224 equation suggested for the load-displacement relationship that was defined as the cross sectional stiffness of effective axis.

Modified ACI-224 model code about the load-displacement relationship for the tensile members of MMA-modified polymer concrete and theoretical equation for the polymer concrete tensile stiffness of polymer concrete suggested through the results of this study are expected to be used in an accurate structural analysis and design for the polymer concrete structural members.

1. 서론

최근 국내에서 폴리머 콘크리트는 건설 산업 분야에서 우수한 역학적 특성과 화학적 저항성을 가진 새로운 소재로 주목을 받고 있다. 불포화 폴리에스터 수지(UP)를 사용한 MMA 개질 폴리머 콘크리트는 압축, 휨, 전단강도가 우수할 뿐만 아니라 보수 보강에서도 우수하게 활용될 수 있는 장점이 있다. 그러나 현재까지 폴리머 콘크리트 구조물 설계에 적용할 수 있는 규준은 제정되어 있지 않은 실정이다.

특히, 철근보강 폴리머 콘크리트 휨 부재의 구조적 거동에 대한 연구는 다소 이루어지고 있으나 인장축 폴리머 콘크리트의 인장력은 고려하고 있지 않은 실정이다. 그러나 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트나 고강도 콘크리트에 비해 압축강도에 대한 인장강도 비가 상대적으로 크므로 폴리머 콘크리트의 인장증강에 대한 기여효과를 고려하여야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 폴리머 콘크리트를 박스구조물, 슬래브, 보, 파일 등 구조적 부재로 적용키 위한 구조적 특성에 관한 기초연구의 일환으로 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트의 인장증강특성을 실험적으로 구명하고자 한다.

*정회원, 강원대학교 지역기반공학과 교수

**정회원, 강원대학교 지역기반공학과 석사과정

***정회원, 강원대학교 지역기반공학과 석사과정

****정회원, 강원대학교 지역기반공학과 석사과정

2. 재료 및 방법

2.1. 사용 재료

2.1.1. 결합재

결합재는 MMA개질 불포화 폴리에스터 수지(UP), 촉진제는 옥탄산 코발트 8 % mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매제는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO) 55 %인 DMP 용액을 사용하였다.

2.1.2. 충전재 및 골재

충진재는 입자크기 1~30 μm 정도, 분말도는 2,500~3,000 cm^3/g 의 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용했으며, 잔골재로는 5 mm이하의 규사를, 굵은 골재로는 최대치수가 13 mm인 편마암 세석을 사용하였다. 충전재 및 골재는 110 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였다.

2.2. 시험체 제작

직접인장을 받는 철근보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 부재에서 균열과 균열 사이의 폴리머 콘크리트가 인장증강에 미치는 영향을 고찰하고, 하중에 따른 균열형상을 분석하여 인장증강과 부재의 파괴거동과의 관계를 분석하고자 하였다. 주요 실험변수로는 철근 종류(SD, HD), 철근지름(13, 19, 22mm)과 철근량(0.03, 0.05, 0.1)로 하였다.

표 1 시험체 자원

시험체명	치수	철근비(ρ)	철근 종류
TS-SD-1, TS-HD-1	100×3.64×3.64	0.1	SD13, HD13
TS-SD-2, TS-HD-2	100×5.15×5.15	0.05	
TS-SD-3, TS-HD-3	100×6.63×6.63	0.03	
TS-SD-4, TS-HD-4	100×4.48×4.48	0.1	SD19, HD19
TS-SD-5, TS-HD-5	100×6.34×6.34	0.05	
TS-SD-6, TS-HD-6	100×8.18×8.18	0.03	
TS-SD-7, TS-HD-7	100×7.9×7.9	0.1	SD22, HD22
TS-SD-8, TS-HD-8	100×7×7	0.05	
TS-SD-9, TS-HD-9	100×7.3×7.3	0.03	

2.3. 시험 방법

본 실험에서는 200 tf 용량의 만능시험기를 사용하였고, 축방향 인장력을 측정하기 위해 50 tf 용량의 로드셀을 시험체의 철근 고정장치와 함께 주문 제작하였다. 하중단계별 철근 및 폴리머 콘크리트의 변형율을 측정하기 위해 철근의 중앙부(길이방향)와 폴리머 콘크리트 중앙부 및 1/4지점에 스트레인 게이지를 부착하였다. 또한, 시험체 양단 폴리머 콘크리트 단면에 에폭시로 철관을 부착하고 여기에 변위계(LVDT)를 설치하여 시험체의 상대변위를 측정하였다. 아울러, 하중단계별 파괴거동을 고찰하기 위해 균열발생 하중을 찾고 균열진전양상을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 철근보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 부재의 인장증강 효과

MMA 개질 폴리머 콘크리트는 보통시멘트 콘크리트 및 고강도 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도가 큰 반면에 탄성계수가 작고 압축강도에 대한 인장강도 비가 상대적으로 높으며, 부착특성이 매우 우수한 특징이 있다. 따라서 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 직접인장 부재에서 초기 횡 방향 균열 발생은 보통시멘트 콘크리트에 비해 더 높은 하중단계에서 발생할뿐더러 횡 방향 균열이 발생한 후에도 철근과 MMA 개질 폴리머 콘크리트 부착면에서 슬립이 발생할 우려가 적다.

그림 1은 철근종류, 철근지름 및 철근량에 따른 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 인장부재의 축방향 하중-변위 관계를 나타낸 것이다. 철근종류, 철근지름 및 철근량에 관계없이, 초기균열 발생시

점까지 콘크리트가 부담한 변형에너지는 철근 항복 시 까지 콘크리트가 부담하는 전체 에너지의 약 14~15% 정도의 일정한 값을 나타냈는데 이는 고강도 시멘트 콘크리트에 비해 상당히 높은 값이다. 이러한 결과는 MMA 개질 폴리머 콘크리트의 압축강도에 대한 인장강도(부착강도)의 비율이 고강도 시멘트 콘크리트에 비해 매우 높기 때문인 것으로 사료된다.

한편, 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 인장부재가 부담하는 전체 변형에너지에 대한 폴리머 콘크리트 변형에너지 비는 철근의 종류와 지름에 관계없이 철근량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 철근의 지름에 관계없이 전체 변형에너지에 대한 폴리머 콘크리트 변형에너지 비는 철근량이 0.1인 경우에는 약 17~18%, 철근량이 0.05인 경우에는 30~31%, 철근량이 0.03인 경우에는 40~42% 정도로 나타났다.

3.2 인장증강에 대한 ACI수정식

그림 1은 철근보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 인장부재의 하중-변위 관계에 대한 실험값과 ACI-224모델(수정모델), CEB-FIP Model Code를 나타냈다. 그림에서 볼 수 있듯이 실험값은 ACI-224 모델식에 수정계수 α 를 사용한 수정식에 매우 근접한 것으로 나타났다.

여기서 수정계수 α 는 철근량에 따라 변화하는 값으로 본 실험의 결과로부터 그림 2와 같이 회귀분석 하면 다음과 같은 상관관계가 존재함을 알 수 있다.

$$m = \left[1 - \alpha \cdot k \left(\frac{f_{sx}}{f_s} \right)^2 \right], \quad \alpha = 0.1475 \cdot \ln(\rho) + 1.23 \quad (1)$$

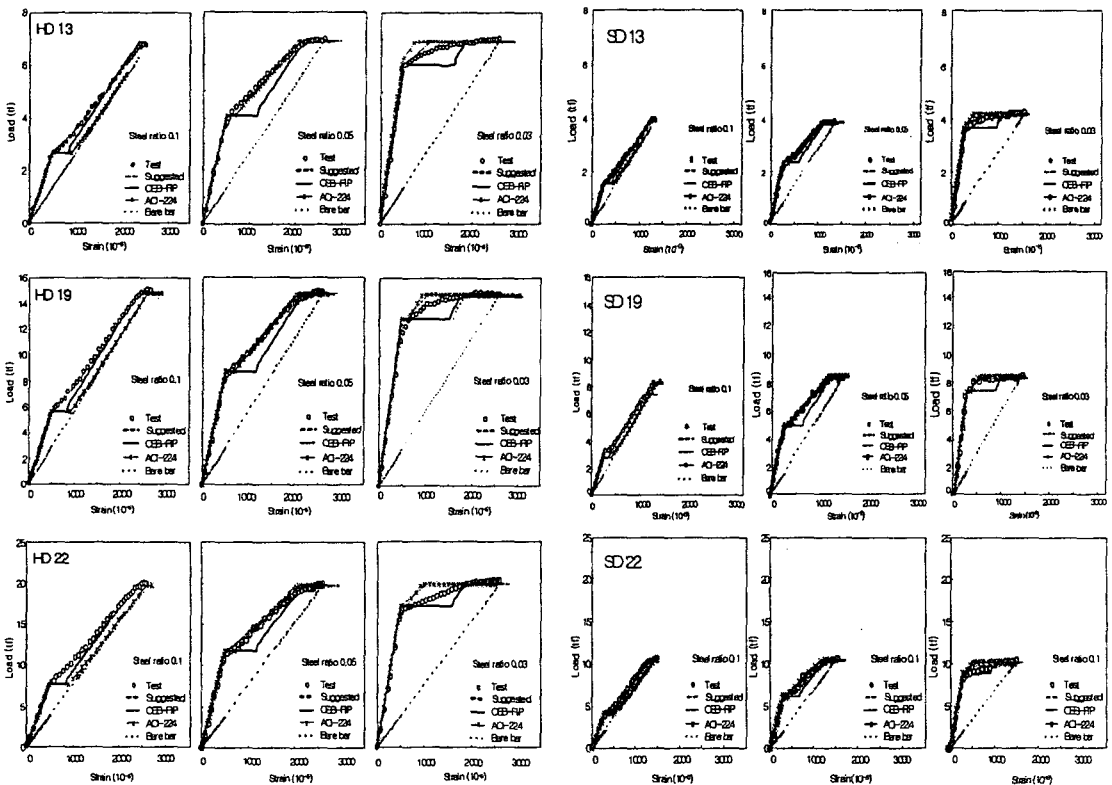


그림 1 철근 종류, 철근지름 및 철근량에 따른 하중-변형률 관계

3.3. MMA 개질 폴리머 콘크리트의 인장증강모델 제안식

철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 휨 및 인장부재에서 균열발생후의 폴리머 콘크리트 인장증강은 구조물 변형(처짐)을 예측하는데 매우 중요한 요인이다. 특히 압축강도에 대한 인장강도비가 큰 폴리머 콘크리트의 인장효과는 구조물의 거동에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 폴리머 콘크리트 부재의 정확한 구조해석을 위해서는 폴리머 콘크리트 인장응력-변형을 재료 모델링이 제시되어야 한다.

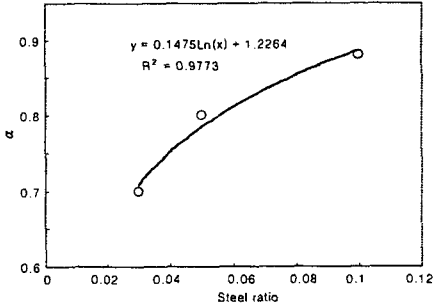


그림 2 철근비에 따른 수정계수

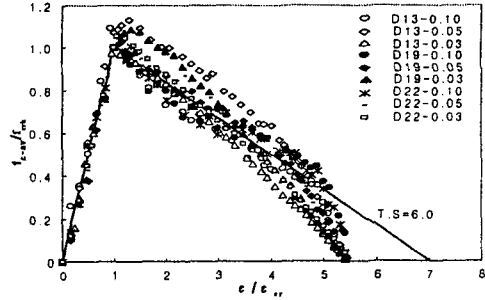


그림 3 폴리머 콘크리트 인장강성

그림 3은 콘크리트 변형을 비에 따른 응력비를 나타낸 것이다. x축은 폴리머 콘크리트의 균열변형률에 대한 폴리머 콘크리트의 변형률의 비이며, y축은 균열응력에 대한 콘크리트의 응력의 비이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 철근종류, 지름 및 철근량에 관계없이 인장응력 비 - 변형률 비 관계는 유사한 경향을 나타냈는데 이는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 이때, 인장강성 계수의 기울기는 콘크리트의 균열변형율을 1로 나타냈을 때 감소기울기를 의미한다.

$$T.S = 6\beta \quad (2)$$

여기서, β 는 MMA 개질 폴리머 콘크리트 강도에 의해 결정되는 상수로 본 연구범위 ($f_{ck}=1000 \text{ kgf/cm}^2$)에서는 $\beta=1.0$ 를 취한다.

4. 결 론

본 연구는 철근종류, 철근지름 및 철근량에 따른 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트의 인장증강에 대한 실험적 연구로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 철근종류, 철근지름 및 철근량에 관계없이, 초기균열 발생시점까지 콘크리트가 부담한 변형에너지는 철근 항복 시 까지 콘크리트가 부담하는 전체 에너지의 약 14~15% 정도의 일정한 값으로 고강도 시멘트 콘크리트에 비해 상당히 높게 나타났다.
2. 철근 보강 MMA 개질 폴리머 콘크리트 인장부재가 부담하는 전체 변형에너지에 대한 폴리머 콘크리트 변형에너지 비는 철근의 종류와 지름에 관계없이 철근량의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.
3. 철근보강 폴리머 콘크리트의 인장증강에 대한 ACI-224모델을 수정한 다음과 같은 제안식은 실험결과와 잘 일치하였다.

$$m = \left[1 - \alpha \cdot \left(\frac{f_{sx}}{f_s} \right)^2 \right], \quad \alpha = 0.1475 \cdot \ln(\rho) + 1.23$$

4. 폴리머 콘크리트 인장증강 모델식을 제안할 수 있었는데 이는 철근종류, 지름 및 철근량에 관계없는 무차원의 식으로 폴리머 콘크리트 구조해석 시 재료모델링에 유용하게 사용될 것이다.