

# GFRP 보강 폴리머 모르터 3중복합관의 구조적 특성

## Structural Evaluation of Glass-fiber Reinforced 3-Layer Polymer Composite Pipe

연 규 석 · 권 윤 환 \* · 유 근 우 · 김 남 길 (강 원 대)

Yeon, Kyu Seok · Kwon, Yoon Hwan · Ryu Keun Woo · Jin, Nan Ji

### Abstract

This study was performed to evaluate the internal and external factors affecting external strength of the 3-layer polymer composite pipes made of polymer mortar and fiber-glass reinforced plastic. Twenty four sandwich type 3-layer polymer composite pipes were made of polymer mortar and fiber-glass reinforced plastic by centrifugal method.

The objective of this study was to evaluate the effects the of polymer mortar thickness for and core fiber-glass contents per unit area on external strength of 3-layer polymer composite pipes. For the more economical and practical design of 3-layer polymer composite pipe, further study should be done for the various polymer mortar, fiber-glass and different ratio of the inside/outside FRP thickness.

### I. 서 론

우리나라에서는 1960년대에 흠관(Hume pipe)이라 불리는 원심력 철근보강 콘크리트관에 대한 제조기술이 확립되어 하수관으로서 널리 이용되고 있다. 그러나 오늘날에는 교통량이 증가하고 하수의 오염도가 높아짐에 따라 고강도이며, 내약품성이 강한 하수관이 절실히 요구되고 있다. 그러나 원심력 철근보강 콘크리트관의 강도는 철근비를 증가시켜 관체의 파괴강도는 높일 수 있으나 균열강도를 증가시키기는 어렵다. 또한 진동 및 전압 철근보강 콘크리트관은 내·외압강도와 내구성이 떨어지고 흡수율이 높으며, 산과 염에도 약하다. 그리고 아연도금 강관은 외압에 약하고 부식에 극히 취약한 문제점이 있다. 이밖에 기존의 하수도관으로 PVC관 등도 많이 이용되고 있는데, PVC관은 변형이 쉽게 일어나는 문제점이 있다. 이런 배경에서 GFRP(glass-fiber reinforced plastic)를 폴리머 모르타르에 적층 보강시킨 유리섬유 강화 플라스틱 복합관(glass-fiber reinforced plastic composite pipes)이 개발되었다. 이 관은 큰 응력이 발생하는 파이프의 내·외층에는 경량이면서 고강도이고 내식성도 뛰어난 FRP를 사용하고, 외압에 대해서는 중간층 폴리머 모르타르의 강성으로 견딜 수 있게 하는 매우 경제적인 샌드위치 구조형식을 갖고 있다.

본 연구는 폴리머 모르타르를 코어로 하고 유리섬유를 폴리머 모르타르의 내·외층에 적층 보강시킨 3중복합관을 제작하고 내·외층의 유리섬유량과 중간층 폴리머 모르타르 두께에 따른 휨특성을 실험적으로 구명함으로써 폴리머 3중복합관의 구조적특성을 파악하는데 기초적인 자료로 제공코자 한다.

## II. 본 론

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 사용재료

결합재로서 스티렌 모노머가 38% 포함된 불포화 폴리에스터 수지(UP), 촉진제로서 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO)를 사용하였다. 충전재로서는 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용했으며, 잔골재로는 8번체를 통과한 하천모래 및 석탄 폐석을 사용하였는데, 충전재 및 골재는  $120 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조시켜 수분함량이 0.5%미만이 되게하였다. 보강재로 사용된 유리섬유는 내열성, 단열성, 내약품성, 전기절연성 등에 뛰어난 특징을 가지고 있어 각종 유기재료와 복합적으로 널리 사용되는 것으로 24mm 길이로 절단한 것을 사용하였다.

#### 2.2 시험체 제작

폴리머 3중복합판 제작은 고속으로 회전하는 원심성형기에 유리섬유와 수지 그리고 폴리머 모르타르를 단계 별로 일정하게 투입함으로써 제작된다. 코어부분을 폴리머 모르타르로 하고 내·외면이 FRP층으로 구성된 샌드위치 구조에서 모르타르층의 두께와 내·외층의 단위면적당 유리섬유량이 복합판의 구조적 거동에 미치는 영향을 구명하기 위하여 모르타르 두께를 각각, 8, 10, 13, 17mm로 하고, 내·외층 단위면적당 유리섬유량을 0.07075, 0.08035, 0.09195, 0.10205, 0.11315, 0.12375g/cm<sup>2</sup> 으로 하는 3중복합판을 제작하였다.

#### 2.3 시험방법

##### 2.3.1 폴리머 모르타르의 강도 시험방법

폴리머 모르타르의 강도특성을 파악하기 위해 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도 시험을 하였다. 압축강도 및 탄성계수시험은 KS F 2481, 휨강도 시험은 KS F 2482, 할렬인장강도 시험은 KS F 2480 에 의해 실시하였다.

##### 2.3.2 폴리머 3중복합판 외압강도 시험방법

폴리머 3중복합판에 대한 외압강도시험은 JIS A 5350 (1991)(강화플라스틱복합판)에 규정된 방법에 따라 수행하였다. 하중은 변위 제어방식을 취하여 최대용량 25ton인 Instron사의 만능시험기를 이용하여 0.5mm/min의 속도로 가력하였고 하중단계별 관체의 수직처짐과 관내·외벽의 변형율을 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 변위측정기(LVDT) 및 스트레인게이지를 부착하였다. 이들 데이터는 10초에 한번씩 기록하였다. Fig. 1에 3중복합판의 외압강도 시험방법을 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 폴리머 모르타르의 강도특성

폴리머 모르타르의 강도는 시멘트 모르타르와 같이 재료의 품질, 배합방법, 타설방법, 양생조건, 실험방법 등의 영향을 받는다. 특히, 결합재인 폴리에스터 수지량은 폴리머 모르타르의 강도발현에서 가장 중요한 변수로 작용한다. 폴리머 모르타르의 압축강도는 860kgf/cm<sup>2</sup>, 휨강도는 250kg/fcm<sup>2</sup>, 탄성계수는  $2.4 \times 10^5$ kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

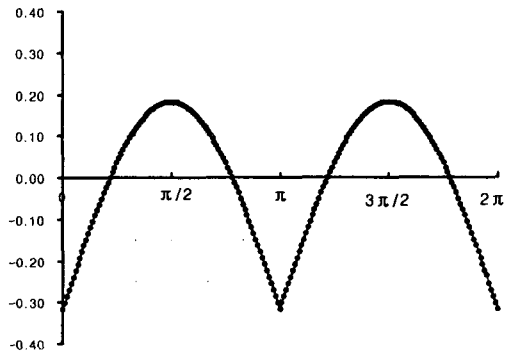
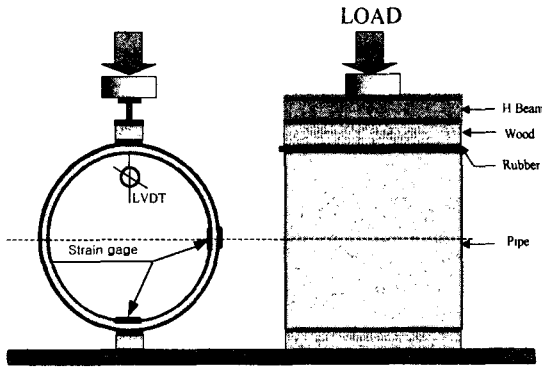


Fig. 1 Loading arrangement for external strength test Fig. 2 Change of bending moment due to angle  $\psi$

### 3.2 폴리머 3중복합관의 휨모멘트 분포 특성

지름/두께 비가 큰 관체에 대한 구조해석은 탄성이론에 의한 곡선보의 해석으로 설명할 수 있다. 관체에 연직하중 P가 작용할 때 관체의 대칭성에 의해 양단이 롤러지지형식의 단부 구속조건을 갖는 곡선보로 볼 수 있다. 이때 관체의 각부분에 걸리는 휨모멘트  $M_d$ 는 곡선보의 엄밀해로 구하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_d = \left( -\frac{\sin \psi}{2} - \frac{1}{\pi} \right) P r \quad \text{-----} \quad (1)$$

식 (1)로 부터 알 수 있듯이 관체에 수직하중이 작용했을 경우 임의의 점에 걸리는 휨모멘트의 크기는 d점과하중재하점이 이루는 각도의 싸인값과 1차 함수적인 관계를 가진다. 즉  $\psi=0(\pi), \frac{\pi}{2}(\frac{3\pi}{2})$ 인 위치에서 각각 최대 정모멘트와 최대 부모멘트가 생긴다. 연직하중이 작용하는 A-B단면에서 약 0.318Pr 크기의 최대 정모멘트가 작용 하는데, C-D단면에서의 부 모멘트 -0.182Pr 크기의 약 1.75배 정도이다. 관체의 휨모멘트 분포도를 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 또한 폴리머 모르타르와 FRP로 구성된 아치형보의 단면해석은 곡선보가 균열이 발생하기전까지는 등가단면으로 환산하여 탄성해석 할 수 있다. 휨을 받는 부재에 있어서 휨강성은 부재가 외력을 받을 때 일으키는 변형이 얼마나 큰가를 나타내는 계수로서 부재를 구성하고 있는 각 재료의 역학적 특성(각 재료의 탄성계수  $E_i$ )과 부재의 형상, 치수 등 기하학적 특성에 의해 결정되는 단면 2차 모멘트( $I$ )의 크기에 정비례한다. 이 단면의 이론 전체 휨강성( $\sum E_i I_i$ )은 곡선보 단면을 Fig. 3와 같이 등가변환하여 쉽게 산출할 수 있다.

### 3.3 곡선보의 단면해석

최대모멘트가 발생하는 관정 단면에서 초기균열이 발생하기 전까지 관체는 탄성거동을 하므로 단면의 깊이별 응력분포는 내·외층 FRP를 폴리머 모르타르로 등가변환한 등가단면으로 해석할 수 있다. 식(2)와 식(3)는 탄성거동시 3중구조의 일반화된 중립축길이 C와 단면2차 모멘트를 나타낸 것이다.

$$C = \frac{\frac{1}{2} \frac{E_1}{E} (t-x)^2 + h_1 \left( \frac{h_1}{2} + t-x \right) + \frac{E_2}{E} x \left( h_1 + t - \frac{x}{2} \right)}{\frac{E_1}{E} (t-x) h_1 + \frac{E_2}{E} x} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{12} \frac{E_1}{E} (t-x)^3 + \frac{E_1}{E} (t-x) \left[ C - \frac{(t-x)}{2} \right]^2 + \frac{1}{12} h_1^3 + h_1 \left( C - t + x - \frac{h_1}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \frac{E_2}{E} x^3 + \frac{E_2}{E} x \left( h_1 + t - \frac{x}{2} - C \right)^2 \quad \text{----} \quad (3)$$

여기서,  $C$ : 중립축 길이,  $x$ : 관 내측 FRP층 두께, (단위면적당 유리섬유량  $m$ 와 FRP층 두께 상관관계  $x: 4.68m-0.23$  E,  $E_1, E_2$ : 폴리머 모르타르, 외, 내 FRP층 탄성계수  $t$ : 내외 FRP층 두께의 합  $h_1$ : 폴리머 모르타르 두께

모멘트  $M$ 가 작용하는 관체의 폴리머 모르타르의 인장축응력  $\sigma$ 는 식(4)으로 표시할 수 있다.

$$\sigma = \frac{M}{I} (h_1 + t - C - x) \quad \text{----- (4)}$$

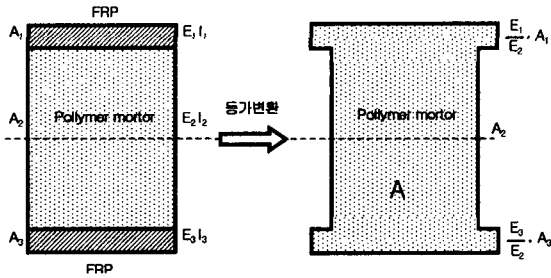


Fig. 3 Equivalent transformation of variable

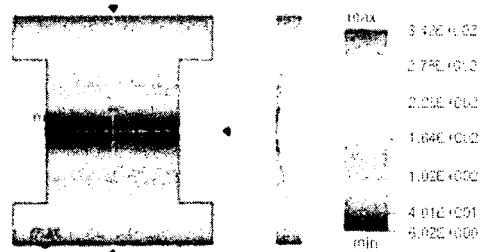


Fig. 4 Stress distribution

### 3.4 3중복합관 균열하중 산정을 위한 제안식

식 (1)과 식(4)으로부터 관체의 균열하중  $P$ 는 식(5)로 표시할 수 있다.

$$P = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot I}{(h_1 + t - C - x) \cdot r} \quad \text{----- (5)}$$

또한 Fig. 4에서 알수 있다 싶이 폴리머 모르타르에서 초기균열이 발생할시 휨응력은 약 340kgf/cm<sup>2</sup>으로 자체의 휨강도(250kg/cm<sup>2</sup>)를 훨씬 상회하는 수준이다. 이는 내·외층 고인장 FRP 보강층의 중심부 폴리머 모르타르에 대한 횡구속 효과에 기인된 것이라 판단되며, 또한 2축 응력상태에서 폴리머 모르타르의 휨 파괴 항복기준은 단순한 강도 개념으로 판정하기에는 다소 무리가 있음을 나타내는 결과이기도 하다.

따라서 식(5)에 의한 외압하중 산정은 응력  $\sigma$ 에 대해 이러한 영향을 고려하여 수정된 식(6)을 사용하는 것이 바람직하다.

$$P = \frac{\pi \cdot k \sigma \cdot I}{(h_1 + t - C - x) \cdot r} \quad \text{----- (6)}$$

여기서,  $k$ : 1.3~1.4

(횡구속에 의한 휨응력의 확대계수)

휨응력의 확대계수  $k$ 는 균열발생시 폴리머 모르타르 인장축 응력/휨응력의 값으로 산출하였다.

## III. 결 론

본 연구는 폴리머 모르타르와 유리섬유를 불포화 폴리에스터 수지로 침적시킨 FRP를 이용하여 샌드위치 형식의 3중복합관을 제조하고 이에 대한 구조적 실험을 수행하여 폴리머 3중복합관의 구조특성과 단면특성을 이론적, 실험적으로 구명하여 보았던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리머 3중복합관 제작에 사용된 코어층 폴리머 모르타르의 압축강도는 860kg/cm<sup>2</sup>, 휨강도는 250kg/cm<sup>2</sup>, 탄성계수는 2.4×10<sup>9</sup>kg/cm<sup>2</sup> 로 나타났다.
- (2) 연직 집중하중을 재하한 관체의 파괴시험에서, 1, 2차 파괴는 하중방향과 일치하는 관의 상단 혹은 하단

에서 내면 FRP층의 인장파괴에 의해 발생되었고, 3, 4차 파괴는 1, 2차 파괴단면과 90° 를 이루는 수평단면에서 외면 FRP층의 인장파괴에 의해 발생되었다.

(3) 초기균열 발생시 관정 단면의 폴리머 모르타르 인장축에 생기는 응력은 휨강도보다 약 20%정도 높은 값을 나타내 내·외 FRP 보강층이 폴리머 모르타르에 상당한 구속효과가 있음을 확인할 수 있었다.

(4) 폴리머 3중복합관의 단면해석에 의해 균열하중에 대한 제안식을 다음과 같이 제안할 수 있었다.

$$P = \frac{\pi \cdot k \sigma \cdot I}{(h_1 + t - C - x) \cdot r} \quad (k=1.2)$$

(4) 내·외 FRP 보강층이 폴리머 모르타르에 대한 구속효과와 효율적인 내·외 FRP 보강두께 비율에 대한 정량적인 분석을 위해서는 FRP의 강도특성에 관한 연구와 내·외 FRP 층 두께, 폴리머 모르타르 압축강도 및 두께를 변수로 하는 다양한 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### IV. 참고 문헌

1. Chandra, S., and Ohama, Y., "Polymers in Concrete", CRC Press, Inc. pp. 135-143, 1994.
2. Paul, L., "Concrete Design Using Steel Fibers", 한국콘크리트학회지, Vol. 8 No. 4, pp. 56-63, 1996.
3. "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.
4. 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.