

MMA 개질 강화 플라스틱 복합관의 휨강성

Flexural Rigidity of MMA-Modified Fiberglass Reinforced Plastic Composite Pipe

연 규 석* 최 종 윤** 백 종 만** 권 택 정** 정 중 호**
Yeon, Kyu Seok Choi, Jong Yun Beck, Jong Man Kweon, Taek Jeong Jeong, Jung Ho

ABSTRACT

MMA-modified fiberglass-reinforced plastic composite pipe was produced by using the binder of MMA-modified unsaturated polyester resin in which low viscosity MMA was added to unsaturated polyester resin. Sixteen specimens were made of polymer mortar and fiberglass-reinforced plastic by the centrifugal method.

For these specimens the external strength tests were carried out by taking the core thickness consisting of polymer mortar and the fiberglass content per unit area as experimental variables to figure out the effect of variations of these variables influencing on flexural rigidity that is an important property for the composite pipe.

Results of this study are believed to provide the basic data for more economical and practical design of MMA-modified fiberglass-reinforced plastic composite pipe.

1. 서론

오늘날에는 교통량이 증가하고 하수의 오염도가 높아짐에 따라 고강도이며, 내약품성이 강한 하수관이 절실히 요구되고 있다. 이런 배경에서 GFRP(glassfiber-reinforced plastic)를 폴리머 모르타르에 적층 보강시킨 유리섬유 강화 플라스틱 복합관(glassfiber-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. 그러나 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스터 수지의 높은 점도로 인해 작업성의 저하가 나타난다

따라서 본 연구는 불포화 폴리에스터 수지에 저점도의 MMA(methyl methacrylate)를 첨가한 MMA 개질 불포화 폴리에스터 수지를 결합재로 사용한 강화 플라스틱 복합관을 중심부 폴리머 모르타르 두께와 단위면적당 유리섬유량을 변수로 하는 16개의 시험체를 원심성형 방법으로 제작하였고, 중심부 폴리머 모르타르 두께와 단위면적당 유리섬유량이 MMA 개질 강화플라스틱 복합관의 중요한 구조적 특성중의 하나인 휨강성 미치는 영향을 구명하여 강화플라스틱 복합관의 단면설계에 기초자료를 제공코저 한다.

* 정회원, 강원대학교 농업공학부 교수

** 정회원, 강원대학교 대학원

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

결합재로서 스틸렌 모노머가 38% 포함된 불포화 폴리에스터 수지(UP)와 저점도의 메틸 메타크레이트(MMA)를 사용하였고, 촉진제로 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매로서는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO)를 사용하였다. 충전재로는 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을 사용했으며, 잔골재로는 5mm 이하의 규사를 사용하였고. 보강재로 사용된 유리섬유는 길이 24mm의 chopped strand를 사용하였다.

2.2 시험체 제작

MMA 개질 강화 플라스틱 복합관의 제작은 고속으로 회전하는 원심성형기에 유리섬유와 수지 그리고 폴리머 모르타르를 단계별로 일정하게 투입함으로써 제작된다. 코어부분을 폴리머 모르타르로 하고 내·외층이 GFRP층으로 구성된 샌드위치 구조에서 모르타르층의 두께와 내·외층의 단위면적당 유리섬유량이 복합관의 구조적 거동에 미치는 영향을 구명하기 위하여 모르타르 두께를 각각 6, 8, 10, 12mm로 하고, 내·외층 단위면적당 유리섬유량을 0.0708, 0.1062, 0.1415, 0.1769g/cm² 으로 하는 강화 플라스틱 복합관을 제작하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 폴리머 모르타르 및 내·외층 GFRP의 강도 시험방법

폴리머 모르타르 및 내·외층 GFRP의 강도특성을 파악하기 위해 폴리머 모르타르의 압축강도 및 탄성계수시험은 KS F 2481, 휨강도 시험은 KS F 2482, 조깅인장강도 시험은 KS F 2480, 내·외층 GFRP의 인장강도 및 인장탄성계수시험은 KS F 2241에 의해 실시하였다.

2.3.2 강화 플라스틱 복합관의 외압강도

강화 플라스틱 복합관에 대한 외압강도시험은 KS M 3333(1995)(강화 플라스틱 복합관)에 규정된 방법에 의해 그림 1과 같이 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폴리머 모르타르 및 내·외층 GFRP의 강도

폴리머 모르타르의 압축강도는 1025kgf/cm², 휨강도는 325kgf/cm², 조깅인장강도는 134kgf/cm², 탄성계수는 2.29×10⁵kgf/cm²로 나타났고, 내·외층 GFRP의 인장강도는 1029kgf/cm², 인장탄성계수는 5.9×10⁴kgf/cm²로 나타났다.

3.2 강화플라스틱 복합관의 휨강성

휨강성은 부재를 구성하고 있는 각 재료의 역학적 성질과 부재의 외형 및 치수에 의해 결정되는 단면2차 모멘트의 크기에 정비례한다. 특히 물리·역학적 성질이 서로 다른 재료로 구성된 복합체인 강화 플라스틱 복합관의 중심부 폴리머 모르타르에 균열이 발생하기 전까지 탄성범위에서 각 재료의 탄성계수나 단면2차 모멘트에 의해 결정되는 휨강성을 정량적으로 산출하였다¹⁾.

휨강성($\sum E_i I_i$) (E :탄성계수, I :단면2차모멘트)는 그림 2와 같은 보에서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다. 내·외측 GFRP의 휨강성($E_f I_f$)은 식(1)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_f I_f = \frac{E_f b}{12} \cdot (t^3 - t_c^3) \quad (1)$$

또한 중심부 폴리머 모르타르의 휨강성($E_c I_c$)은 식 (2)과 같다.

$$E_c I_c = E_c \frac{b t_c^3}{12} \quad (2)$$

따라서 식 (1)와 (2)로부터 탄성범위 내에서의 강화 플라스틱 복합관의 휨강성($\sum E_i I_i$)는 식 (3)와 같다.

$$\sum E_i I_i = \frac{b}{12} \cdot \{E_f(t^3 - t_c^3) + E_c \cdot t_c^3\} \quad (3)$$

E_f : 유리섬유의 인장 탄성계수

t : 관 벽두께(Thickness of Pipe Wall)

E_c : 중심부 폴리머 모르타르의 탄성계수

t_c : 중심부 폴리머 모르타르의 두께

표 1 초기 균열모멘트 및 휨강성

Pipe No.	Cracking moment (kg · cm/cm)	Measured value EI(kgf · cm ² /cm)	Predicted value EI(kgf · cm ² /cm)
T6-200	128	9,937	9,161
T6-300	231	17,293	16,151
T6-400	338	24,447	23,922
T6-500	429	37,373	34,423
T8-200	169	23,387	23,668
T8-300	266	34,740	35,900
T8-400	381	46,197	44,473
T8-500	441	64,513	62,226
T10-200	225	43,283	44,258
T10-300	307	59,857	56,858
T10-400	417	77,213	80,522
T10-500	504	98,450	100,929
T12-200	240	70,800	73,328
T12-300	338	85,480	91,116
T12-400	448	109,820	132,704
T12-500	627	132,072	149,200

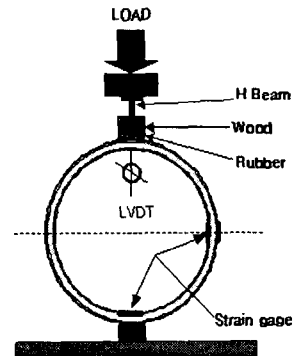


그림 1 외압강도 시험광경

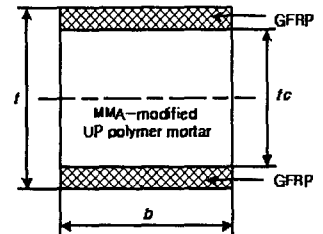


그림 2 곡선보의 단면도

또한, 직선보가 휨모멘트 작용에 의해 변형을 일으킬 때 휨강성($\sum E_i I_i$)은 휨모멘트와 곡률의 비

($\sum E_i I_i = \frac{M}{\phi}$)로 나타낼 수 있다^{2,3}. 관체처럼 굽은보의 휨강성을 곡률의 변화 비율로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\sum E_i I_i = \frac{M}{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}} \quad (4)$$

여기서, ρ : 관체 변형후의 곡률반경, r : 관체의 변형전 반경 이다.

또 $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r}$ 는 관체의 압축 및 인장축에 부착한 스트레인이지의 변형률에 의해 구해지며 이는 식 (5)와 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{r} = \frac{|\epsilon_1| + |\epsilon_2|}{T} \quad (5)$$

이 식에서, ϵ_1, ϵ_2 는 각각 압축 및 인장축 FRP의 변형률이고 T는 관체의 두께이다.

본 실험에서는 관체가 탄성거동 할 때 상·하단면에서의 휨모멘트-곡률변화 곡선의 기울기로부터 휨강성을 구하였다.

표 1은 코어층 폴리머 모르타르 두께와 단위 면적당 유리섬유량에 따른 관의 휨강성의 크기를 나타낸 것으로 강화 플라스틱 복합관의 휨강성은 중심부 폴리머 모르타르의 두께가 6mm에서 12mm로 증가할 때, 유리섬유량이 0.0708g/cm²인 경우에는 9,937kg·cm²/cm에서 70,800kg·cm²/cm로 약 612% 증가하였고, 0.106g/cm²인 경우에는 17,293kg·cm²/cm에서 85,480kg·cm²/cm로 약 394% 증가하였다. 또한 유리섬유량이 0.1415g/cm²인 경우에는 24,447kg·cm²/cm에서 109,820kg·cm²/cm로 약 349% 증가하였고, 0.1769g/cm²인 경우에는 37,373kg·cm²/cm에서 132,072kg·cm²/cm로 약 253% 증가하였다.

또한 휨모멘트-곡률변화 곡선의 기울기로부터 구한 휨강성과 식 (3)으로 얻어진 휨강성의 상관성을 분석한 결과 높은 상관계수를 얻을 수 있었으며, 식 (3)에 의해 코어층 폴리머 모르타르 두께와 단위 면적당 유리섬유량이 관의 휨강성에 미치는 영향을 비교적 정확한 예측이 가능함을 알 수 있었다.

4. 결론

- (1) 폴리머 모르타르의 압축강도는 1025kgf/cm², 휨강도는 325kgf/cm², 조깅인장강도는 134kgf/cm², 탄성계수는 2.29×10⁵kgf/cm²로 나타났고 내·외층 GFRP의 인장강도는 1029kgf/cm², 인장탄성계수는 5.9×10⁴kgf/cm²로 나타났다.
- (2) 강화 플라스틱 복합관의 휨강성은 단위면적당 유리섬유량을 고정하고 코어층 폴리머 모르타르 두께를 6mm에서 12mm로 증가할 때 휨강성은 증가하였는데 단위면적당 유리섬유량을 0.0708g/cm²에서 0.1769g/cm²로 증가함에 따라 휨강성의 증가율은 감소하는 경향을 나타냈다.
- (3) 휨모멘트-곡률변화 곡선의 기울기로부터 구한 휨강성과 탄성이론식으로 얻어진 휨강성의 상관성을 분석한 결과 높은 상관계수를 얻을 수 있었으며, 탄성이론식에 의해 코어층 폴리머 모르타르 두께와 단위 면적당 유리섬유량이 관의 휨강성에 미치는 영향을 비교적 정확한 예측이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김문경 역, “응용탄성학”, 대한교과서주식회사, pp.202~219, 1990.
2. 유근우, “GFRP-폴리머 모르타르 복합 패널의 휨거동”, 강원대학교 석사학위 논문, 2003.
3. 김남길, “유리纖維補強 폴리머 모르타르 三重複合管의 構造의 特性”, 강원대학교 석사학위 논문, 1998.