

## 하수도용 유리섬유복합관의 거동( I )

### A Behaviors of Sewerage Glass Fiber Reinforced Plastic Pipes ( I )



김영진(Young-Jin Kim) 정회원 | 한국토지주택공사 수석연구원 | 공학박사 | yjkim@lh.or.kr

#### 1. 들어가기

복합재료란 두 종류 이상 소재가 복합되어 각각의 상을 유지하면서 원래의 소재보다 우수한 성능을 갖도록 한 재료를 말한다. 또한 복합된 소재는 원래의 소재와 구별 가능해야 한다. 복합재료가 사용된 것은 오래되었으나 신소재가 복합재료라 의식하고 사용된 것은 최근의 일이다.

복합소재를 이용한 유리섬유복합관의 개발은 1948년 스위스에서 최초로 이루어졌다. 초기에는 염색용 천을 감기 위하여 나무로 제작된 실린더를 사용하였다. 나무의 특성상 시간이 지남에 따라 나무의 표면이 쪼개지고 변색이 되어 염색천을 장기간 감을 수 없게 되자 대안으로 나온 것이 유리섬유를 이용한 복합소재였다. 당시 이것은 획기적인 것으로써 외면이 매끄러웠고 내부식성 및 내화학성 등이 우수했으며 응용되어진 초기 제품이 유리섬유 복합재 실린더로 현재의 유리섬유 복합관 및 필라멘트 와인딩 공법의 시초가 되었다. 그 후 유리섬유 복합재를 이용하여 필라멘트 와인딩 공법으로

제작한 실린더 및 관이 우수하다는 것이 알려짐에 따라 유럽의 선진국에서 사용하기 시작하여 미국, 아시아 등 전 세계로 보급되었다.

초창기 유리섬유복합관은 원유를 이송하기 위한 용도로 사용되었으나, 유리섬유복합관의 비용 효율이 높으며, 내부식성이 높아서 강철, 스테인레스, 스틸 및 기타 금속의 대체 관으로 적용되었다. 이후 유리섬유복합관은 점점 높은 압력에 적용되기 시작하였고 지중매설 배관에 적용되면서 그 범위가 매우 넓어졌다. 1950년 후반에, 대구경에 유리섬유복합관이 적용되었고, 유리섬유복합관은 관의 고유한 내부식 특성 때문에 화학 공정 산업에 점점 그 수요가 증가되었다.

1960년대부터 1990년대를 걸쳐서, 유리섬유복합관은 도시의 상수 및 하수 시장에도 사용되었다. 유리섬유복합관의 특징은 내구성, 강도, 내부식성의 이점을 모두 가지고 있다. 그래서 금속관에서 흔히 볼 수 있는 관 내부에 라이닝, 외부 코팅 등의 부식방지를 하지 않아도 된다는 이점이 있다. 유리섬유복합관은 수요자의 요구에 따라 주문 제작이 용

이할 뿐 아니라 생산되는 관경 및 연결구, 이음관의 범위가 넓어 생산 및 설계의 다양성이 있으므로 그 적용범위가 지속적으로 넓어지고 있는 추세이다.

우리나라의 경우, (주)한국화이버가 1990년대 후반 필라멘트 와인딩 공법에 의한 유리섬유복합관을 최초로 독자적 기술을 이용하여 제작하였다. 최초로 제작된 관은 2000년도에 하수도관에 국내 최초 적용되어 매립되었으며(용산구청), 상수도관은 2002년 입찰에 최초로 적용되었다. 이후 많은 시공현장에서 점차적으로 그 수요가 증가하다가 최근 2년간 급격히 증가되고 있는 추세이다. 2007년 시공 결과, 상수도관 약 450km, 하수도관 약 2,000km 정도 국내에 시공되었으며, 후에도 지속적으로 증가 추세를 보일 것으로 예상된다.

## 2. 유리섬유복합관의 특성

### 2.1 재료적 특성

열경화성 수지(불포화 폴리에스테르)에 유리섬유를 조합한 유리섬유강화플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastics)으로 제작된 복합소재의 관으로, 유리섬유를 이용하여 플라스틱의 단점인 강성을 보강하면서 플라스틱의 장점인 경량성, 내구성, 복원성능 등을 극대화한 관이다. 유리섬유복합관은 강화 유리섬유, 열경화성 플라스틱 수지 및 규사질 모래를 사용하여 제작된 복합 구조를 가진 관이다.

유리섬유복합관의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- 1) 내부식성 : 유리섬유복합관은 유체가 관 내면 및 외면에 흐를 때 강한 내부식성(폴리에스테르 수지층)을 가지고 있으므로, 내부식성을 향상시키기 위한 추가적인 라이닝과 외부 코팅이 필요 없다.

- 2) 무게 비율에 대한 강도 : 유리섬유복합관 우수한 강도를 가진다. 단위무게 당 강도의 비율을 고려할 때 유리섬유복합관은 철, 탄소, 스테인리스 스틸보다 뛰어나다.
- 3) 경량 : 유리섬유복합관은 동일하거나 비슷한 철제품의 1/3의 무게를 가지며 유사한 콘크리트 제품의 약 20%의 무게를 갖는다.
- 4) 전기적인 특성 : 유리섬유복합관의 주원료는 모두 비전도성(전기절연체) 재질이므로 관 역시 비전도성의 특징을 갖고 있다.
- 5) 치수 안정성 : 유리섬유복합관은 규격화된 제품으로써 정해진 치수 및 허용차에 의해 제작되며, 구매자가 요구한 구조 및 적용에 필요한 치수로도 제작 가능하다.
- 6) 낮은 유지비용 : 유리섬유복합관은 장기수명이 뛰어나며, 녹 발생이 없기 때문에 유지 관리가 용이하며, 관리 비용 또한 매우 낮다.

### 2.2 화학적 특성

#### 1) 내화학성

모든 유리섬유복합관은 물과 자연 토양 조건에 대한 저항성이 우수하다. 금속성 관에 손상을 줄 수 있는 화학 반응으로 전위차부식(galvanic), 산소에 의한 부식, 흑연 부식 등 일반적인 부식에 강하다. 유리섬유복합관은 일부분의 유리섬유 설계 순서의 결정 및 환경적인 응력, 노화 영향 등을 받기 쉽다. 유리섬유복합관의 내화학성은 사용된 특정한 수지 재료에 따라 결정된다. 라이너 구조, 경화, 제조 성형 방법처럼 다른 요소가 유리섬유복합관의 내화학성에 영향을 줄 수 있지만 가장 주요한 요인은 수지이다. 수지는 재료의 넓은 범위에 대한 내화학성을 가질 수 있도록 선택하여 사용될 수 있고 유리섬유복합관의 제조 시에 이를 근거로 하여 선택된 수지를 사용하게 된다.

2) 내마모성

유리섬유복합관은 일반적으로 우수한 내마모성을 가지며 모래, 실리카, 세라믹 등이 관 내부보호층에 침투하더라도 폴리에탄처럼 복원성 라이너 재료에 의해서 극단적으로 마모를 일으키는 환경에 적용할 수 있도록 만들어 진다. 내부보호층 재료는 수지와 부직포로 이루어져 있으며 관을 통하여 수송되는 내용물의 마찰을 초과하지 않는 강인함과 탄력을 가진 수지를 사용함으로써 내마모성을 향상시킬 수 있다.

3) 온도저항

유리섬유복합관의 온도 저항성 역시 수지에 의존한다. 최대 사용 온도는 화학 환경 및 배관 시스템의 응력 조건에 의해서 영향을 받을 수 있다. 일반적으로, 화학물질의 영향은 농도가 높을수록 최대 사용온도도 높아진다.

그러나 일반적인 사용온도는 물 공급용 시스템에서 (33°F~90°F[1°C~32°C])이다. 유리섬유복합관은 사용온도에 의해서 영향을 받지 않을 뿐 아니라 냉각 온도에도 사실상 영향을 받지 않는다.

2.3 물리적 특성

항 목	유리섬유 복합관	비고	시험 방법
비 중	1.93	20℃	KS M 3305
Mohs 경도	6.5	20℃	KS M 3305
길이방향 인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) - 700 mm 상수2중 기준	310	20℃	KS F 2240
인장탄성률 (kgf/cm <sup>2</sup> )	210,000	20℃	KS F 2240
프와송 비	0.12	20℃	KS F 2240
충격강도 (Izod impact str.)(J/cm)	20.5	20℃	ASTM D256
열팽창계수 (×10 <sup>-5</sup> (m/m/℃))	0.5	20℃	-
연 화 점 (℃)	841	-	-
조 도 계 수	0.010	-	-
유 속 계 수	150	-	-

2.4 생물학적 특성

수도용 배관은 박테리아나 다른 미생물로부터 생물막이 형성되고, 이러한 생물막은 배관에 흐르는 유체의 수질을 오염시킨다. 유리섬유복합관은 생물막 형성을 방지하기 위한 별도의 보호 장치가 필요하지 않다.

3. 유리섬유복합관의 제조공법

유리섬유복합관의 구조는 내부보호층(수지층+부직포), 내면강화층(원주방향 유리장섬유강화층+길이방향 유리장섬유강화층+원주방향 유리장섬유강화층), 수지 몰타르층(수지 몰타르+부직포), 외면강화층(원주방향 유리장섬유강화층+길이방향 유리장섬유강화층+원주방향 유리장섬유강화층), 외부보호층(부직포+수지층)으로 구성된다.

전 세계적으로 사용되고 있는 GRP관은 제작방식에 따라 크게 4가지 형태로 구분되며, 제작방식(섬유투입방식)에 따라 상이한 특성을 가진다.

3.1 원심력 주조방법(Centrifugal Casting Method)

1) 생산방식

- 절단한 유리섬유(Chopped Glass Fiber), 열경화성 불포화 폴리에스테르(Thermosetting Unsaturated Polyester Resin) 및 규사모래(Silica Sand)를 고속으로 회전하는 몰드(Rotated Mold) 내부에 투입
- 몰드의 회전 원심력을 이용하여 원형으로 성형
- 열을 점차적으로 가열하여 경화(Cure)시켜 관을 생산

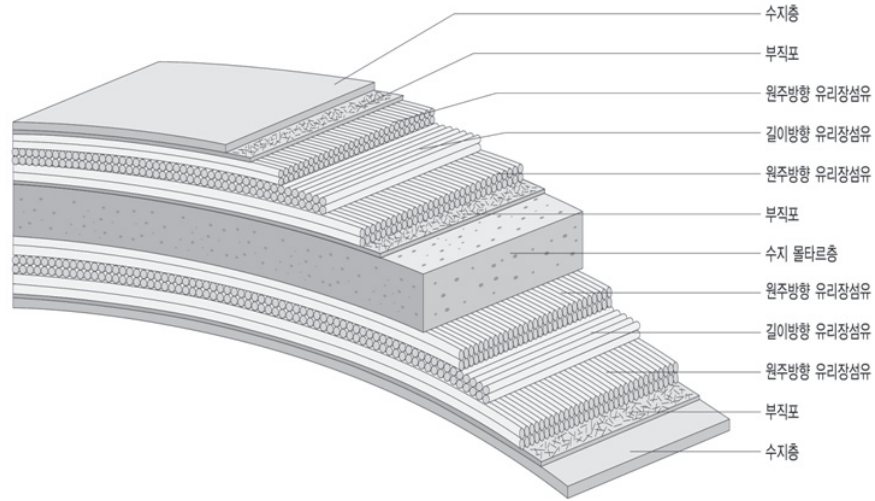
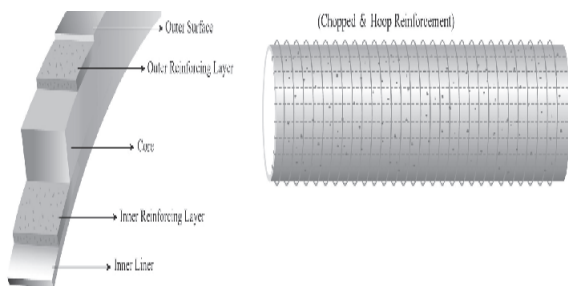


Fig. 1 유리섬유복합관의 구조

2) 제품특성

- 유리섬유를 절단하여 제작하기 때문에 인장강도가 부족하여 두께를 두껍게 생산하여 원재료 투입량이 많고 가격이 비쌘
- 두께가 두껍기 때문에 다른 방식에 비해 외압강도가 우수
- 몰드에 의해 제품의 길이가 제한됨(최대6m)
- 1개의 몰드에 1개의 제품을 생산하기 때문에 생산성이 낮고, 초기 투자비가 고가임

3) 제품형상



4) 주요생산업체 : HOBAS社

3.2 필라멘트 와인딩(Filament Winding)

1) 생산방식

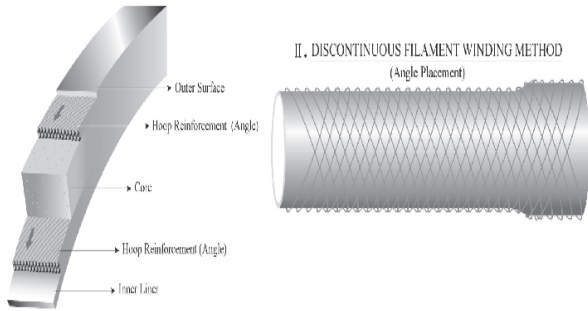
- 유리장섬유(Continuous Glass Fiber)를 열경화성 에폭시 수지(Thermosetting Epoxy Resin)에 함침시킴
- 제작하고자 하는 형상의 몰드 위에 함침(Pregnant)시킨 유리섬유를 일정한 각도(Ply Angle)로 감고, 열을 가하여 관을 제작하는 방식(비연속식 필라멘트 와인딩 ; Discontinuous Filament Winding)
- 일부에서 모래를 투입한 코어층을 형성하여 생산(가격을 낮춘 방식)

2) 제품특성

- 유리장섬유를 몰드위에 여러 번 반복적으로 감아야 되기 때문에 다른 방식에 비해 생산에 소요되는 시간이 매우 길어 생산성이 적음
- 상대적으로 고가인 에폭시 수지를 사용하기 때문에 제품의 단가가 매우 고가임
- 두께를 마음대로 조절이 가능하나, 몰드의 한계로 인해 관의 길이가 제한됨(최대 6m)
- 1개의 몰드에 1개의 제품을 생산하기 때문에

생산성이 낮고, 초기 투자비가 고가임

3) 제품형상



4) 주요생산업체 : Ameron社, Vetroresina社, Zhongyi社(모래투입)

3.3 연속 필라멘트 와인딩(Continuous Filament Winding)

1) 생산방식

- 생산할 관경에 따라 부속품(Range)을 조립
- 조립된 부속품 위에 스틸밴드(Steel Band)를 감아서 몰드를 조립
- 몰드위에 유리장섬유(Continuous Glass Fiber : Roving)를 와인딩
- 절단한 유리섬유(Chopped Glass Fiber)와 열경화성 불포화 폴리에스테르(Thermosetting Unsaturated Polyester Resin) 및 규사모래(Silica Sand)를 함께 투입하여 코어(Core)를 형성
- 코어 성형후 유리장섬유를 다시 감는 연속식 필라멘트 와인딩방법

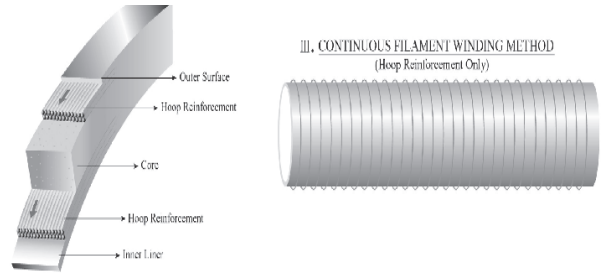
2) 제품특성

- 여러 관종을 생산하기 위해 현대의 장비만 갖추면 되므로, 초기 투자비가 적음
- 연속적으로 가동되는 몰드위에 제품을 성형하

므로, 생산에 소요되는 시간이 매우 짧아 높은 생산성을 가짐

- 절단된 유리섬유를 사용하여 코어(Core)를 생산하기 때문에 길이방향의 강도가 취약
- 코어(Core) 성형방법의 한계로 일정두께 이상 성형이 불가능하여 대형관 제작 시 추가적인 강도 보강을 위한 작업이 필요
- 연속식 생산방식이기 때문에 관의 길이에 제한이 없음.

3) 제품형상



4) 주요생산업체 : Flowtite社, Subor社

3.4 ARG 연속필라멘트와인딩 몰탈공법 (Axial Reinforced Glass Continuous Filament Winding)

1) 생산방식

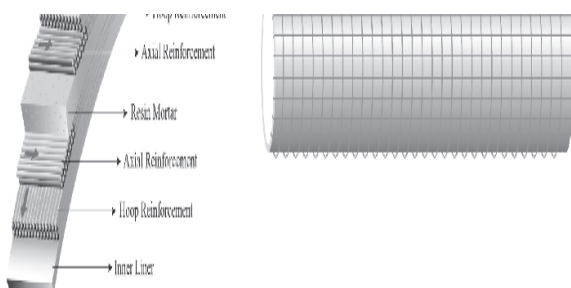
- 생산할 관경에 따라 부속품(Range)을 조립
- 조립된 부속품 위에 스틸밴드(Steel Band)를 감아서 몰드를 조립
- 몰드위에 유리장섬유(Continuous Glass Fiber : Roving), 길이방향 보강용 직조된 유리섬유 천(Axial Reinforce Glass Fabric Cloth), 유리장섬유 순서로 와인딩(원주방향+축방향+원주방향 유리섬유 보강층)

- 열경화성 불포화 폴리에스텔(Thermosetting Unsaturated Polyester Resin) 및 규사모래(Silica Sand)의 혼합물(Resin Mortar)을 투입하여 코어(Core) 형성
- 코어층 위에 유리장섬유(Continuous Glass Fiber : Roving), 길이방향 보강용 직조된 유리섬유 천(Axial Reinforce Glass Fabric Cloth), 유리장섬유 순서로 와인딩(원주방향+축방향+원주방향 유리섬유 보강층)

2) 제품특성

- 여러 관종을 생산하기 위해 현대의 장비만 갖추면 되므로, 초기 투자비가 적음
- 연속적으로 가동되는 몰드위에 제품을 성형하므로, 생산에 소요되는 시간이 매우 짧아 높은 생산성을 가짐
- 유리장섬유로 직조된 ARG를 사용하기 때문에 길이방향 강도보강
- Resin Mortar로 코어(Core)층을 형성하기 때문에 대형관 생산 시 추가적인 공정 불필요
- 연속식 생산방식이기 때문에 관의 길이에 제한이 없음

3) 제품형상



4) 주요생산업체 : Sekisui社, Hankuk Fiber Glass Co., ltd

4. 나오기

국내에서 시작된 하수도용 유리섬유복합관의 거동에 대한 분석은 여전히 논란의 여지가 있다. 외국의 기술력을 통하여 수입을 하는 업체와 자체기술력으로 승화시킨 기업들이 많이 있으나 2000년 초반만 해도 유리섬유복합관을 설계 및 시공하는데 있어서 “그 비싼 관을 사용해야 되나?, 기술적으로 접합상세도 어렵고, 시공도 어려운데 굳이 이런관을 사용해야 되나?, 변형이 발생하고 있는데 강성관으로 규정된 것에 대한 연성관으로의 거동메카니즘에 대한 이해관계, 수밀도 안되고 검증이 안된 관을 사용해야 되나?”등의 여러 가지 문제점 제기도 많았으나 현재는 많이 사용되고 있는 관 중의 하나로 대두되고 있다.

참고문헌

1. Demitz, J.R. (1999) Limit States Design Methodology for Composite Material Bridge Structures, CCM Report 99-3, University of Delaware Center for Composite Materials.
2. 한국화이바 (2004) 상하수도용 유리섬유복합관의 최적 설계기술개발.
3. Hobas (2000), 홍보용 책자.
4. flowtite(2002), 홍보용 책자.
5. AWWA M 45(2005), GRP Pipe Design.
6. Sekisui(2000), 홍보용 책자.