

強化플라스틱 複合管 暗渠의 設計

柳 基 松

(農漁村振興公社 材料土質試驗室長)

1. 序 言

강화플라스틱 복합관은 폴리에스터 수지와 양질의 모래를 섞은 플라스틱 모르터를 유리 섬유로 보강한 관을 말하며, 약칭으로 FRPM 관(fiberglass reinforced plastic mortar pipes) 이라 부른다.

이 관의 단면구조는 플라스틱 모르터층과 FRP층의 조합에 따라 여러가지가 있으나 일반적으로 그림. 1과 같이 중간에 플라스틱 모르터층을 배치하고 그 양쪽 표면을 FRP층으로 보강한 구조가 많다.

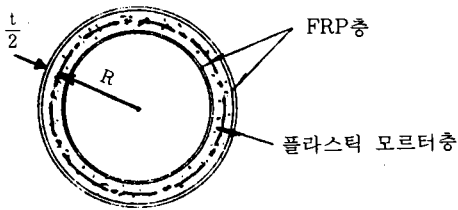


그림. 1. 강화플라스틱 복합관 단면⁴⁾

여기서 FRP(fiberglass reinforced plastics)는 일반적으로 열경화성 수지를 유리섬유로 강화한 것을 말하는데 이것은 미국에서 1942년 항공기용 유류탱크로 사용되었고 그후 항공기, 미사일, 로켓, 자동차 및 보트 등에 이용되기 시작하였다.

FRP로 만든 강화플라스틱 복합관의 특성은 경량으로서 강도가 매우 크고, 표면이 매끈하

며, 내식성 및 내마모성이 좋고, 절단가공이 용이하며, 열팽창계수가 적을 뿐만 아니라 전기절연성도 양호하여 미국에서는 1965년부터 주로 농업용 및 상하수도용 관으로 사용하기 시작하여 매년 그 생산량이 신장되어 왔다.

한편 우리나라에는 1960년대 초에 FRP제조기술이 도입되어 욕조, 자동차부품, 어선, 의자 및 문비등 제조에 이용되고 있으며, 1989년에는 건축분야에서 섬유강화플라스틱(GFRP)소재의 인장, 휨 및 압축 등에 대한 시험방법이 한국공업(산업)규격¹⁾으로 제정된 바 있다.

따라서 본고에서는 FRPM관과 연관된 참고 문헌³⁾을 중심으로 암거의 수리 및 구조설계에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

2. 管의 種類와 規格

가. 管의 種類

관의 종류는 형상, 성형방법 및 내외압강도 등에 따라 구분되며, 외압관의 종류 및 형상과 치수는 표-1, 표-2 및 표-3과 같다.

표-1. 외압관의 종류²⁾

| 형 상 | 호칭지름 (mm) | 외압강도 | 비 고 |
|-----|--------------|--------|-------|
| B 형 | 200-3,000 | 1종, 2종 | 소켓이음형 |
| D 형 | 400-2,400 | | 칼라이음형 |

표-2. B형 외압관(소켓이음형)의 치수²⁾

| 호칭지름 (mm) | 두께 t(mm) | 직관부 | | 소켓부 | | 유효길이 L(mm) |
|--------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------|---------------|
| | | 안지름 D ₁ (mm) | 삽입부 걸지름 D ₂ (mm) | 안지름 D ₃ (mm) | 직선부 P(mm) | |
| 200 | 7 | 200 | 229 | 230.5 | 140 | 4000 |
| 250 | 7.5 | 250 | 280 | 281.5 | 140 | |
| 300 | 8 | 300 | 331 | 332.5 | 150 | |
| 350 | 8.5 | 350 | 382 | 383.5 | 150 | |
| 400 | 9 | 400 | 434 | 435.5 | 160 | |
| 450 | 9.5 | 450 | 485 | 486.5 | 160 | |
| 500 | 10 | 500 | 541 | 542.5 | 200 | |
| 600 | 12 | 600 | 645 | 646.5 | 200 | |
| 700 | 14 | 700 | 749 | 750.5 | 200 | |
| 800 | 16 | 800 | 856 | 857.5 | 220 | |
| 900 | 18 | 900 | 960 | 961.5 | 220 | |
| 1,000 | 20 | 1,000 | 1,068 | 1,069.5 | 220 | |
| 1,100 | 22 | 1,100 | 1,172 | 1,173.5 | 220 | |
| 1,200 | 24 | 1,200 | 1,276 | 1,277.5 | 220 | |
| 1,350 | 27 | 1,350 | 1,432 | 1,433.5 | 220 | |
| 1,500 | 30 | 1,500 | 1,588 | 1,589.5 | 250 | |
| 1,650 | 33 | 1,650 | 1,748 | 1,749.5 | 300 | |
| 1,800 | 36 | 1,800 | 1,904 | 1,905.5 | 300 | |
| 2,000 | 40 | 2,000 | 2,112 | 2,113.5 | 330 | |
| 2,200 | 44 | 2,200 | 2,320 | 2,321.5 | 330 | |
| 2,400 | 48 | 2,400 | 2,532 | 2,533.5 | 400 | |
| 2,600 | 52 | 2,600 | 2,740 | 2,741.5 | 400 | |
| 2,800 | 56 | 2,800 | 2,948 | 2,949.5 | 430 | |
| 3,000 | 60 | 3,000 | 3,156 | 3,157.5 | 430 | |

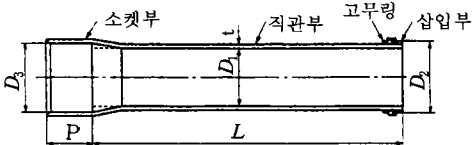
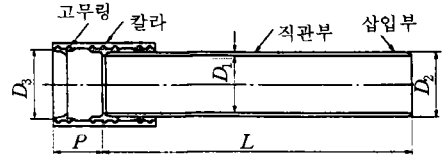


표-3. D형 외압관(칼라이음형)의 치수²⁾

| 호칭지름 (mm) | 두께 t(mm) | 삽입부 | | P (mm) | 유효길이 L(mm) | (참고) 직관부 안지름 D ₁ (mm) |
|--------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------|---|
| | | 칼라 안지름 D ₂ (mm) | 칼라 안지름 D ₃ (mm) | | | |
| 400 | 11 | 426 | 428 | 125 | 4,000 | 404 |
| 450 | 11.5 | 477 | 479 | 125 | | 454 |
| 500 | 12 | 528 | 530 | 125 | | 504 |
| 600 | 14 | 631 | 633 | 125 | | 603 |
| 700 | 16 | 733 | 735 | 125 | | 701 |
| 800 | 18 | 836 | 838 | 145 | | 800 |
| 900 | 20.5 | 939 | 941 | 145 | | 898 |
| 1000 | 23 | 1,041 | 1,043 | 145 | | 995 |
| 1100 | 25.5 | 1,144 | 1,146 | 145 | | 1,093 |
| 1200 | 28 | 1,246 | 1,248 | 145 | | 1,190 |
| 1350 | 31 | 1,400 | 1,402 | 145 | 1,338 | |
| 1500 | 34 | 1,554 | 1,556 | 145 | 1,486 | |
| 1650 | 37 | 1,701 | 1,703 | 145 | 1,627 | |
| 1800 | 41 | 1,848 | 1,850 | 145 | 1,766 | |
| 2000 | 45 | 2,061 | 2,063 | 145 | 1,971 | |
| 2200 | 49 | 2,280 | 2,282 | 145 | 2,182 | |
| 2400 | 54 | 2,458 | 2,460 | 145 | 2,350 | |



을 조성하고 그 위에 플라스틱모르터층을, 겹에는 FRP층을 만들어 관체를 성형하는 방법을 말한다.

2) 遠心力 成形方法

이 방법은 고속으로 회전하는 거꾸집 안에 유리섬유, 플라스틱 및 모래 등을 공급하여 원심력으로 관의 내외면에 FRP층을, 중간에는 플라스틱모르터층을 적층하여 관체를 성형하는 방법을 말한다.

나. 製造方法

1) 필라멘트 와인딩(filament winding) 成形方法

이 방법은 원주방향으로 관의 강도를 강화하기 위하여 플라스틱 수지를 함침시킨 유리장섬유를 원주방향으로 인장하면서 맨드릴(mandril) 위에 감아 붙이는 동시에 축방향으로도 유리장섬유를 배치하여 안쪽에 FRP층

3. 水理計算

강화플라스틱 복합관 암거의 수리계산은 매닝공식으로 다음과 같이 계산한다.

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

여기서, Q : 유량(m³/s)

A : 유수단면적(m²)

V : 유속(m/s)

n : 조도계수(=0.01)³⁾

R : 경심(m)(=A/P)

P : 율변장(m)

I : 수면기울기

4. 構造設計

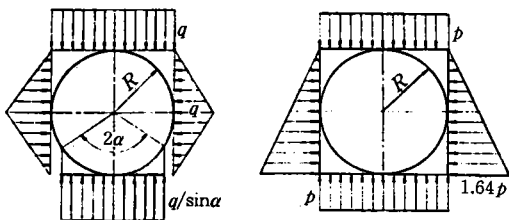
지중에 매설되는 강화플라스틱 복합관은 관 자체에 발생하는 처짐을 및 최대 휨모멘트가 허용범위 내로 되도록 설계를 한다.

가. 作用荷重

매설관에 작용하는 하중은 되메움 흙에 의한 연직토압과 차량에 의한 활하중을 고려한다.

1) 土壓分布

관체의 원주방향 구조계산에 사용되는 연직 토압과 수평토압의 분포는 그림. 2³⁾와 같다. 즉, 되메움흙에 의한 토압분포는 그림. 2(a)와 같이 관체정부의 토압과 저부의 반력이 등분포의 연직토압으로 상하에서 작용하는 것으로 보고 관체의 처짐에 의하여 생기는 반력이 2등변삼각형의 수평토압으로 관체 좌우에서 작용하는 것으로 가정한다.



(a) 되메움흙에 의한 토압분포 (b) 활하중에 의한 토압분포
그림. 2. 토압의 분포³⁾

활하중에 의한 토압분포는 그림. 2(b)와 같이 관정부의 토압과 관저부의 반력이 같은 등분포로 작용하는 것으로 하며, 관체의 처짐에 의하여 생기는 반력은 직각삼각형의 수평토압이 관체 좌우에서 작용하는 것으로 가정한다.

2) 鉛直土壓

휨성관은 상부토압에 의하여 관측면의 되메움흙과 관이 함께 변형되므로 관체에 작용하는 연직토압은 관체 상부의 흙만이 작용하는 것으로 보아 다음 식³⁾으로 계산한다.

$$q = \gamma \cdot H$$

여기서, q : 되메움 흙에 의한 연직토압 (tf/m²)

γ : 되메움흙의 단위중량(tf/m³)

H : 관체 상부 되메움흙의 두께(m)

3) 活荷重

활하중은 지중용력이 그림. 3과 같이 분포되는 것으로 보아 다음 식³⁾으로 계산한다.

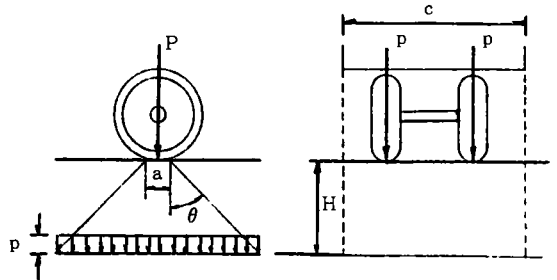


그림. 3. 활하중의 응력분포³⁾

$$p = \frac{2P(1+i)}{C(a+2H\tan\theta)}$$

여기서, p : 활하중(tf/m²)

P : 차량 후륜하중(tf)

i : 충격계수(표-4 참조)

a : 차륜접지폭(0.2m)

C : 차체 점유폭(2.75m)

H : 되메움흙의 두께(m)

θ : 하중분산각(45°)

표-4. 충격계수³⁾

| | | | |
|-------------|-------|------------|-------|
| 되메움두께, H(m) | H≤1.5 | 1.5<H<6.5 | H≥6.5 |
| 충격계수, i | 0.5 | 0.65-0.1 H | 0 |

나. 처짐률

관체에 작용하는 하중에 의하여 발생하는 관체의 처짐량과 처짐율은 다음 식³⁾으로 구한다.

$$\delta = (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p) \frac{R^4}{EI}$$

$$e = \frac{\delta}{2R} \cdot 100 \leq e_a$$

- 여기서, δ : 관체의 처짐량(cm)
 K_1, K_2 : 되메움흙 및 활하중에 의한 연직방향 처짐계수 (표-5 참조)
 q : 연직토압(kgf/cm²)
 p : 활하중(kgf/cm²)
 R : 관두께 중심반경(cm), 그림 1 참조
 EI : 관체의 휨강성(kgf·cm²/cm), 표-6, 7 참조

e : 처짐율(%)

e_a : 허용처짐율(%), 표-8 참조

다. 휨應力

관체에 작용하는 하중에 의하여 발생하는 관체의 휨응력은 다음 식³⁾으로 구한다.

$$M = (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)R^2$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} \leq \sigma_a$$

여기서, M : 관체에 생기는 휨모멘트(kgf·cm)

k_1, k_2 : 되메움흙 및 활하중에 의한 연직방향 휨모멘트계수 (표-5 참조)

q : 연직토압(kgf/cm²)

p : 활하중(kgf/cm²)

R : 관두께 중심반경(cm)

σ : 관체의 휨응력(kgf/cm²)

Z : 관체 1cm당의 단면계수 (cm³/cm)

σ_a : 허용휨응력(kgf/cm²) (표-9 참조)

표-5. 기초조건과 계수의 관계³⁾

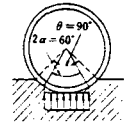
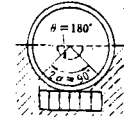
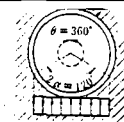
| 기 초 조 건 | | 처 짐 계 수 | | 관 의 위치 | 휨 모 멘 트 계 수 | | 기 초 시 공 상 태 | 기 초 재 료 |
|------------------------------|-------------------------------|---------|-------|--------|-------------|-------|---|---------|
| 시 공 지 승 각 $\theta(^{\circ})$ | 유 효 지 승 각 $2\alpha(^{\circ})$ | K_1 | K_2 | | K_1 | K_2 | | |
| 90 | 60 | 0.102 | 0.030 | 관정 | 0.132 | 0.079 |  | 모 래 |
| | | | | 관저 | 0.223 | 0.011 | | |
| 180 | 90 | 0.085 | 0.030 | 관정 | 0.120 | 0.079 |  | 모 래 쇠 석 |
| | | | | 관저 | 0.160 | 0.011 | | |
| 360 | 120 | 0.070 | 0.030 | 관정 | 0.107 | 0.079 |  | 모 래 쇠 석 |
| | | | | 관저 | 0.121 | 0.011 | | |

표-6. B형 외압관(소켓이음형)의 휨강성³⁾

| 호칭지름 (mm) | 관두계중심 반지름, R(cm) | 휨강성, EI (kgf/cm ² /cm) | | 단면계수 Z(cm ³ /cm) |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------|
| | | 1 종 | 2 종 | |
| 200 | 10.350 | 5,000 | 3,290 | 0.0817 |
| 250 | 12.875 | 6,150 | 4,040 | 0.0938 |
| 300 | 15.400 | 8,110 | 5,330 | 0.1067 |
| 350 | 17.925 | 9,720 | 6,340 | 0.1204 |
| 400 | 20.450 | 12,150 | 8,200 | 0.1350 |
| 450 | 22.975 | 14,290 | 9,650 | 0.1504 |
| 500 | 25.500 | 18,750 | 12,500 | 0.1667 |
| 600 | 30.600 | 32,400 | 21,600 | 0.2400 |
| 700 | 35.700 | 51,450 | 34,300 | 0.3267 |
| 800 | 40.800 | 76,800 | 51,200 | 0.4267 |
| 900 | 45.900 | 109,350 | 72,900 | 0.5400 |
| 1,000 | 51.000 | 150,000 | 10,000 | 0.6667 |
| 1,100 | 56.100 | 199,650 | 133,100 | 0.8067 |
| 1,200 | 61.200 | 259,200 | 172,800 | 0.9600 |
| 1,350 | 68.850 | 369,060 | 246,040 | 1.2150 |
| 1,500 | 76.500 | 506,250 | 337,500 | 1.5000 |
| 1,650 | 84.150 | 673,820 | 449,210 | 1.8150 |
| 1,800 | 91.800 | 874,800 | 583,200 | 2.1600 |
| 2,000 | 102.200 | 1,200,000 | 800,000 | 2.6667 |
| 2,200 | 112.200 | 1,597,200 | 1,064,800 | 3.2267 |
| 2,400 | 122.400 | 2,073,600 | 1,382,400 | 3.8400 |
| 2,600 | 132.600 | 2,636,400 | 1,757,600 | 4.5067 |
| 2,800 | 142.800 | 3,292,800 | 2,195,200 | 5.2267 |
| 3,000 | 153.000 | 4,050,000 | 2,700,000 | 6.0000 |

표-7. D형 외압관(칼라이음형)의 휨강성³⁾

| 호칭지름 (mm) | 관두계중심 반지름, R(cm) | 휨강성, EI (kgf/cm ² /cm) | | 단면계수 Z(cm ³ /cm) |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------|
| | | 1 종 | 2 종 | |
| 400 | 20,750 | 12710 | 8,590 | 0.2017 |
| 450 | 23,275 | 14870 | 10,050 | 0.2204 |
| 500 | 25,800 | 19390 | 12,990 | 0.2400 |
| 600 | 30,850 | 33160 | 22,160 | 0.3247 |
| 700 | 35,850 | 52060 | 34,710 | 0.4267 |
| 800 | 40,900 | 77330 | 51,470 | 0.5400 |
| 900 | 45,925 | 109500 | 73,100 | 0.7004 |
| 1,000 | 50,900 | 149100 | 99,400 | 0.8817 |
| 1,100 | 55,925 | 197800 | 131,700 | 1.0838 |
| 1,200 | 60,900 | 255400 | 170,500 | 1.3067 |
| 1,350 | 68,450 | 362900 | 241,700 | 1.6017 |
| 1,500 | 76,000 | 496100 | 331,300 | 1.9276 |
| 1,650 | 83,200 | 650800 | 434,100 | 2.2817 |
| 1,800 | 90,350 | 833800 | 556,600 | 2.8017 |
| 2,000 | 100,800 | 1,158000 | 772,000 | 3.3750 |
| 2,200 | 111,550 | 1,570000 | 1,047,000 | 4.0017 |
| 2,400 | 120,200 | 1,964000 | 1,309,000 | 4.8600 |

표-8. 허용 처짐율³⁾

| 호칭지름 (mm) | 기 초 재 료 | |
|--------------|---------|-----|
| | 모 래 | 쇄 석 |
| 200 - 350 | 4% | - |
| 400-3,000 | | 5% |

표-9. 허용휨응력³⁾

| 호칭지름 (mm) | 허용휨응력, σ_s (kgf/cm ²) | | | |
|--------------|--|-----|--------|-----|
| | B형 외압관 | | D형 외압관 | |
| | 1 종 | 2 종 | 1 종 | 2 종 |
| 200-250 | 860 | 560 | - | - |
| 300-350 | 910 | 610 | - | - |
| 400-450 | 960 | 660 | 650 | 450 |
| 500-900 | 1,060 | 730 | 740 | 510 |
| 1,000-1,500 | | | 780 | 530 |
| 1,650-3,000 | | | 810 | 550 |

5. 結 言

이상으로 강화플라스틱 복합관의 개요, 관의 종류와 규격, 이를 이용한 암거의 수리계산 및 구조설계에 대하여 간단히 참고문헌을 중심으로 기술하였다.

우리나라의 FRP관련업체에서는 토목용 FRPM관의 수요가 불확실하여 관망하고 있는 상태로서 제품은 생산치 않고 있으며, 또한 강화플라스틱 복합관에 대한 한국산업규격도 아직 제정되어 있지 않은 실정이다.

따라서 이 제품이 본격적으로 보급되자면 제품생산방법 및 품질검사방법을 규정한 한국산업규정의 제정과 흙관, 파형관 등과의 가격경쟁을 할 수 있는 FRPM관의 생산이 이루어져야 할 것으로 본다.

參 考 文 獻

1. 한국표준협회 편 : KS F 2241, KS F 2242, KS F 2243.
2. 日本工業規格 編(1991) : 強化プラスチック複合管(JIS A 5350).

3. (社)日本下水道協會 編(1987) : 下水道用強化プラスチック複合管, (社)日本下水道協會, 東京.
4. (社)農業土木學會 編(1987) : パイプラインの設計資料(設計基準の解説), (社)農業土木學會, 東京, pp. 246-262.
5. 農業水産省 編(1988) : 土地改良事業計劃設計基準, 設計, 水路工(その2), パイプライン, pp. 21-105.
6. ASTM 편(1988) : "Standard Specification for Fiberglass (Glass-Fiber Reinforced Thermosetting-Resin) Sewer Pipe, ASTM D 3262-88.
7. ASTM 편(1989) : "Standard Practice of Fiberglass(Glass-Fiber Reinforced Thermosetting-Resin) Pipe, ASTM D 3839-89.