

# 수도용 폴리에틸렌관

이 동 근

〈대림산업(주) 프라스틱영업부 기술관리과장〉

## 1. 서론

수도용 폴리에틸렌관은 석유화학제품인 에틸렌 단위체 ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )를 중합하여 만든 고분자 에틸렌 ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )<sub>n</sub>을 주원료로 하여 제조하며, 분자구조에 따라 저밀도, 중밀도, 고밀도 폴리에틸렌으로 구분하며, 현행 KSM3408에는 수도용 폴리에틸렌관은 고밀도 폴리에틸렌으로 제조하게 되어있다.

### 1-1 폴리에틸렌관의 사용

수도용 PE관은 유럽 미주지역에서 1960년대 이후 상수도용으로 사용된 이래 지금까지 사용되는 도관중 가장 범용화 되어가고 있는 자재로서 내식성, 내충격성과 더불어 융착식 이음으로 누수방지에는 최적인 것으로 평가되고 있으며, 가격이 저렴하고 시공이 간편하여 호평을 받고 있다.

### 1-2 폴리에틸렌관의 물성

PE수도관은 KSM3408에 따라 제조하며, 관이음에 사용하는 이음관은 KSM3411에 따라 제조한다. KSM3408에 따른 관자재의 기본 물성은 다음과 같다.

표 1 PE관의 물성(KSM3408)

항 목	요 구 성 능	비 고
파괴수압시험 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	> 25	
열간내압시험 ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}$ )	80 °C ± 1 열수속에 서 내압 8.5 $\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 24 hr	장기사용성 측 정
회분시험 (%)	< 0.07	
용 해 시 험		내 약 품 성 측 정
인 장 강 도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	> 200	

### 1-3 PE관의 특성

수도관으로 사용되는 관자재는 아래와 같은 사항을 충족하여야 하며, PE관이 이 사항을 충족하고 있다.

- 1) 장기사용성
- 2) 가 격
- 3) 시공성
- 4) 용이한 유지관리
- 5) 위 생

#### 1-3-1 장기사용성

지하에 매설되어 있는 PE관은 최소한 50년 이상의 내구성을 가져야 하며, 특히 토압, 차륜

압, 도관의 내부에 흐르는 압력에 충분히 견디어야 하며, 모든 이음부분이 완벽하여야 한다.

가) 50년 사용 내구성 측정

지하에 매설되어 있는 관이 실온에서 어느 정도의 내구연한을 가지는가를 측정하기 위하여 연간 내압시험을 실시하며, 관의 사용압력 한계가 10kg/cm<sup>2</sup>에서 최소한 50년이상 사용할 수 있음이 실험을 통하여 증명되고 있다.

참고 : 시험방법 : KSM3408의 연간 내압시험 : ASTM, JIS, DS, BS 등도 같은 시험을 채택하고 있음.

나) 시공성

폴리에틸렌을 접합하는 방식에는 여러가지 종류가 있으나 대체적으로 사용하는 방식은 아래와 같다.

ㄱ) Mechanical joint { PE×스틸  
PE×PE

ㄴ) Coupler

ㄷ) Fusion Welding { 버트용착  
소켓용착  
새들용착

ㄹ) Transition Fitting - 스틸×PE

4가지의 연결방법이 모두 장·단점이 있으나 이중 용착식이 세계적으로 PE관을 접합하는데 가장 많이 사용되며, 완벽한 이음을 할 수 있다. 또한 시공시간이 스틸관에 비교하여 2/3 정도이며 연구결과 성과에 따라 외국과 같이 매설폭을 적게할 경우 더욱 줄어들 가능성이 있다. PE관 시공시 관의 연결은 원칙적으로 용착에 의하며, 소형관으로서(50φ이하) 주거단지 내의 배관은 청동이음관(Mechanical joint)의 사용도 가능하며 기존 스틸관에서 PE관을 연결할 때는 트랜지션 fitting을 사용한다. 시설관이 타공사 기타원인으로 파손되었을 때에는 긴급을 요할 경우 또는 수중에서의 보수는 주철에폭시코팅 드레서 조인트를 이용한다.

다) 유지관리

폴리에틸렌관은 스틸관에서 오는 전식, 부식에 대하여 안정하기 때문에 일단 정상적인 방법(용착식)에 의거하여 완벽한 시공을 하였을 경우 유지관리는 타종관에 비교하여 월등히 우월하며, 내구연한이 50년 이상이므로 반영구적인 제품이라 할 수 있다.

유지관리를 용이하게 하기 위하여 시공시 철저한 안전수칙에 따라 시공하고 매설 후 관 또는 관위 20cm 지점에 Locating Wire을 설치하여 보수시 매설관의 위치 파악을 용이하게 하여야 하며, 각 구청등 단위 관공서에 매설위치 및 깊이의 기록을 유지하는 것이 좋다.

라) 위생성

고분자 재료중 가장 분자구조가 안정된 것중에 하나가 PE이며, 내약품성이 우수하고 특히 무독성 재료이므로 물의 맛의 변화가 없고 독성이 없는 것이 이 PE관의 특징이며, 스틸관과는 달리 부식이 없어 적수등이 발생하지 않는다. 유럽지역에서는 물의 맛이 변화하지 않기 때문에 독일 등지에서는 교체관, 신설관에는 거의 90%의 PE관을 사용하고 있다.

2. 설계 및 시공방법

2-1 설 계

2-1-1 재 료

외경은 KS에 규정된 숫치로 하며, 평균밀도 0.95kg/cm<sup>3</sup>으로하여 산출한다. 허용능력은 균열 파괴응력으로부터 얻어지며, (50년 이상 사용할 수 있는 응력) 많은 시험을 거쳐 얻어진다.

안전율을 포함한 허용응력은 DIN8075에 따라 유도되며, 사용재료의 응력은 50kg/cm<sup>2</sup>이다.  
\*참고 : 허용응력은 ASTM2239에 주어진 아래의 공식으로 계산한다.

$$\sigma_v = \frac{p(D-t)}{2t} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 p : 내압  
D : 파이프 외경  
t : 두께

(1)식으로부터

$$\sigma_v = \frac{P(SDR-1)}{2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 SDR :  $\frac{\text{외경}}{\text{두께}}$

허용응력은 50kg/cm<sup>2</sup>의 내압은 (2)식으로부터 쉽게 구할 수 있다.

$$50 = \frac{P(10)}{2}$$

$$= 10kg/cm^2$$

이 허용응력은 80℃에서 아래와 같아야 하며, 사용재료는 이 허용응력에서 이상이 없어야 한다.

$$\sigma_v, 50kg/cm^2 : 60 \text{ 시간}$$

$$\sigma_v, 40kg/cm^2 : 170 \text{ 시간}$$

즉 수도용 PE관을 제조하였을때 관의 재료는 위와 이상이 없어야 한다.

단, KSM 3408의 규정은 24시간으로 짧다.

2-1-2 관 두께 산출

파이프의 외경이 ISO/TC 5/SC 6의 규정에 적합하고 재료가 50kg/cm<sup>2</sup> 이상의 허용응력을 가질때 두께산출은 아래와 같다.

$$t = \frac{P}{10} \cdot \frac{D}{2\sigma_v + \frac{P}{10}}$$

여기서  $\sigma_v$ 는 허용응력을 안전율로 나누어진 값으로 수도관에는 안전율이 2.5배 적용되어 있다.

KSM 3408 100호 관의 두께

$$t = \frac{4}{10} \cdot \frac{114}{2 \times \frac{5}{2.5} + \frac{4}{10}}$$

$$= 10.36 \text{ mm}$$

표 3 3408 수도용 폴리에틸렌관의 치수

	외 경	두께
계 산 치	114	10.36
K S 숫 치	114	10.4

2-1-3의압하중에 대한 구조설계

가) 관로의 역학이론

지하에 매설되는 매물관은 매설깊이, 매설방법에 따라 관이 받는 압력은 상이하게 된다. 지하에 매설된 파이프가 받는 압력은 매설시 흙에 의한 토압과 매설 후 그위를 통과하는 차량에 의한 차륜압으로 구분된다.

1) 토 압

토압을 산출하는 방식은 여러가지가 있으나 주로 Marston공식을 사용하며, 그 값은 아래의 식으로 주어진다.

$$W = rt \cdot H$$

여기서  $rt$  : 흙의 단위중량 1.8g/cm<sup>3</sup>

$H$  : 매설깊이

2) 차륜압

도로위를 통과하는 하중에는 자동차, 특정화물 운송차등에 따라서 차이가 있으나 통상 설계에서는 자동차 하중만을 사용한다. 우리나라의 도로법에 의하면 도로는 고속국도, 일반국도, 특별시도, 지방도, 시도 및 군도로 구분되며 자동차의 하중은 표 4와 같다.

표 4 화물자동차 하중

하 중	전 륜 하 중	후 륜 하 중
D - 18	3,600 kg	14,400 kg
D - 13.5	2,700 kg	10,800 kg
D - 9	1,800 kg	7,200 kg

표 5 표준 화물자동차 하중

하 중	전 륜 하 중	중 륜 하 중	후 륜 하 중
D - 13.9	2,700 kg	10,800 kg	10,400 kg
D - 18	3,600 kg	14,400 kg	14,400 kg

\*참고 : 차륜압을 계산하는 것은 Kögler 공식을 주로 사용하며, 식은 아래와 같다.

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

여기서  $a$  : 타이어 접지장

$b$  : 타이어 접지폭

$i$  : 충격계수

$P$  : 후륜하중

3) 관에 작용하는 외하중

$$WE = W + P$$

여기서  $W$  : 토압

$P$  : 륜압

그러나 독일에서는 차륜압에 충격계수를 넣어 주는데 차량의 속도가 빠르면 파이프에 전달되는 응력은 충격과 같게 되므로 감안하여 준다.

즉, 위의 공식은

$$WE = W + \Psi P$$

가 된다.

여기서 충격계수  $\Psi$ 의 값은 다음의 값을 추천

한다.

SLW 60 : 1.2

SLW 30 : 1.4

트 렉 : 1.5

차륜압에 대한 최소 깊이는 0.8m 이상이어야 하며, 외경이 0.8m 이상의 관에 대해서 깊이는 최소 파이프의 깊이와 같아야 한다. 철로 밑이나 공항에 있어서의 최소 깊이는 외경의 1.5배 깊이 혹은 1.2m보다 깊게 하여야 한다.

단 매설깊이가 1.0~1.2m 깊이 이상에서 충격계수는 무시해도 좋다.

표 6 매설깊이별 토압과 윤압

매설깊이	압력 토 압	윤 압		토압 + 윤압	
		8 ton	10 ton	8 ton	10 ton
60	0.108	0.403	0.504	0.511	0.612
80	0.144	0.233	0.291	0.377	0.435
100	0.180	0.146	0.182	0.326	0.362
120	0.216	0.106	0.133	0.322	0.349
140	0.252	0.081	0.101	0.333	0.353
160	0.288	0.064	0.079	0.352	0.367
180	0.324	0.051	0.064	0.375	0.388
200	0.360	0.042	0.053	0.402	0.413
220	0.396	0.035	0.044	0.431	0.440
240	0.432	0.030	0.038	0.462	0.470

### 3. 관에 발생하는 기타현상

#### 3-1. 수충격압

관 내부를 흐르는 유체가 외부의 영향을 받아 흐름이 정지하거나, 제지될 경우 내부를 흐르는 유체의 에너지가 흐름의 역방향으로 순간적인 압력상승을 가져오며, 어느 자재의 관을 사용하던 간에 이음이 불완전하거나 파이프보다 응력이 약한 경우 파단의 위험성이 있다.

스틸관이나 PVC 관을 사용할 경우 공기완충기(air buffer 또는 air ressel)를 사용하거나 Fly coneels 을 가지고 있는 펌프를 사용하여 공기등을 제거하여 주어야 한다.

#### 3-2. 수충격압 산출

수충격압은 Joukovsky 공식을 사용하여 계산하며, 계산식은 아래와 같다.

$$PW = \frac{a \cdot \Delta v}{g}$$

여기서 a : 충격레벨

$\Delta v$  : 유속변화

g : 중력 가속도

#### 3-3. PE 관의 수충격압에 대한 영향

수충격압에 의한 관의 파단은 내부압력에 의하여 발생하는 원추 응력이 관의 응력보다 클때 파이프에 파단이 일어나게 되나 PE 관에 있어서는 자체의 탄성계수가 낮아 일차충격을 흡수하고 신율이 작용하므로 타관에 비교하여 수충격압에 대하여 이음매가 완벽할 때는 영향을 크게 받지 않는다.

### 4. 유량계산

관의 내부를 흐르는 유량은 50mm 이하관과 이상관으로 구분하여 T.W 공식, 헤젠·윌리암스 공식으로 나누어 산출한다.

#### 4-1. 50mm 이하관의 유량

$$Q = KD_1^{2.72} \times I^{0.54} \text{ (T.W 공식)}$$

여기서 Q: 유량( $\ell$ /sec)

K: 계수(0.189)

$D_1$ : 관내경(cm)

I: 동수경사

#### 4-2. 50mm 이하관의 유량

$$Q = 0.2785 KD^{2.63} I^{0.54} = \frac{J}{4} D^2 J \text{ (헤젠·윌리암스 공식)}$$

여기서 V: 유속

#### 4-3. 관경산출

유량이 주어졌을 때 앞의 공식으로 부터 유량을 계산할 수 있다.

$$D = \left( \frac{Q}{0.279KD^{2.63} I^{0.54}} \right)^{1/2.63}$$

### 5. 배 관

#### 5-1. 연 결

PE 수도관의 기본연결은 용착에 의하여 하여야 하며, PE관과 스틸관은 연결할때는 T/F (트렌지션 휘팅)을 사용하고 관 보수시에는 메카니칼 죠인트를 사용한다.

### 5-2. 용 착

용착의 종류는 아래와 같다.

- 1) 버트용착 (BUTT 용착)
- 2) 소켓용착 (SOCKET 용착)
- 3) 새들용착 (SADDLE 용착)

용착은 전기를 열원으로 일정온도까지 히터를 가열시켜 관과 관을 맞대는 이음을 버트용착이라 하며, 소켓용착은 소켓을 이용하여 소켓의 외면과 관의 외면을 녹여 연결하는 방법이며, 새들용착은 본관에서 지관측은 가정관으로 분기를 용이하게 하기 위하여 일정 면적의 관을 용융시키고 새들이음관의 안정부위를 용융시켜 접합시키는 방법이다(용착에 관한 기술적인 사항은 용착설명서 참조)

## 6. 수도용 폴리에틸렌관의 장점

### 6-1. 물성상의 장점

#### 6-1-1. 지진과 부등침하에 대한 강도

수도용 폴리에틸렌 관은 동관, 스텔레스 스틸관에 비교하여 강도는 낮으나 파단까지의 신장율이 크고 유연성이 우수하다.

또한 PE관의 특성으로서 일정한 변형(응력)을 가할 때 초기에 발생했던 응력은 시간이 흐름에 따라 감소하여 부등침하 등에 의해 발생된 응력은 영구히 PE관에 부하되는 것이 아니고 시간의 경과와 동시에 감소된다.

따라서 PE관은 지진이나 지반침하 등에 따른 지반변동에 대하여 지반 추종성이 우수하며, 이음관 접합부가 약점이 될 수 없다.

#### 6-1-2. 내식성

동관이나 기타 스틸강관은 토양이나 기타 종류에 의한 부식이 있다. 이러한 부식을 방지하기 위하여 금속관에는 내식성이 좋은 도료나 페인팅제, 혹은 플라스틱 재료의 코팅이 사용되고 있다. 그러나 PE관은 플라스틱 재료이므로 이러한 공정이 필요없다.

#### 6-1-3. 내약품성

PVC관은 Aromatic hydrocarbon을 함유하고 있는 용제 등에 매우 약하므로 용제에 의한 신뢰성이 적으나 PE관은 용착에 의하여 접합하므로 이러한 문제점이 없으므로 매우 유용하고 안전하다.

#### 6-1-4. 경제성

- 가격이 저렴하다.
- 작업성 : 가볍고 유연성이 뛰어나 운반 및 시공이 간편하며, 직선거리에는 필요한 길이로 감아서 이음부분을 최소한으로 할 수 있어 시공비가 절감된다.
- 수명이 길고 환경 응력에 대한 적응이 좋아 보수비가 타관에 비하여 저렴하다.

## 7. 결 론

앞서와 같이 수도용 폴리에틸렌 관은 타종관에 비교하여 마찰계수가 적어 유량의 흐름이 많아 관경의 축소가 가능하며, 안전율 2.5배와 재료에 대한 안전율 1.3배 통상적인 안전율 4배가 유지되며(단기 파괴수압강도  $45kg/cm^2$  이상) 차륜압 등 외압하중에 전혀 이상이 없으며, 연결이 완벽하게 용착식으로 이루어졌을 경우 부식, 전식 등에 영향을 받지 않고 관내에 스케일이 끼지 않기 때문에 수명이 길어 반영구적인 제품이라 할 수 있다.

단, 선진외국과 같이 고품질, 고유지 관리를 위해 생산업체에서 일괄성과 사용에 대한 엄격한 관리체계를 유지하는 것이 좋다. 또한 손쉬운 작업과 즉각보수를 위한 황동 혹은 청동으로 제작된 메카니칼 죠인트에 관한 규정을 제정하는 것이 시급하다. 이는 업체와 협의하에 쉽게 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

\*