



강성관 (Rigid Pipe)의 해석 방법에 대해서 알고 싶습니다.



반 호 기

한양대학교 건설환경공학과 연구교수

### 서론

지하 매설관은 우리의 일상생활과 매우 밀접하지만 일반적으로 붕괴로 인한 피해가 발생하기 전에는 그 중요성에 둔감한 편이다. 이러한 지하 매설관은 강성정도에 따라 크게 강성관 (rigid pipe)과 연성관 (flexible pipe)로 구분된다. 강성관은 주로 상하수도관에 사용되며, 연성관은 가스 및 통신의 운반에 사용된다.

본 논고에서는 상하수도에 주로 사용되고 있는 강성관의 설계 및 해석방법에 대하여 간단한 설명과 더불어 예제를 통하여 히 설명하고자 한다.

### 본론

강성관에 작용하는 하중은 Marston (1913)의 하중공식을 사용한다. 그는 매설관에 작용하는 하중은 트레

치의 뒤채움 토하중에서 트렌치 벽면에 작용하는 마찰력을 뺀 값으로 정의 하였다. 또한 매설관에 작용하는 점착력과 수평토압은 무시하였다. 트렌치 벽면에 작용하는 전단력은 전단면에 작용하는 수평토압계수( $K_a$ )와 마찰계수( $u$ )의 함수로 나타 낼 수 있다. 따라서 매설관의 선단에 작용하는 수직 하중( $W_d$ )은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$W_d = C_d \gamma B_d^2 \quad (\text{식 1})$$

여기서  $C_d$ = 하중상수,  $C_d = \frac{1}{2K_a \mu} \left[ 1 - e^{-2K_a \mu \frac{h}{B_d}} \right]$ 로 표시된다.

$$K_a = \tan^2(45 - \phi / 2)$$

$\phi$  = 뒤채움 흙의 마찰각

$\mu$  = 뒤채움 흙과 트렌치 벽면의 사이의 마찰계수

$h$  = 매설관 천단 위 뒤채움 높이

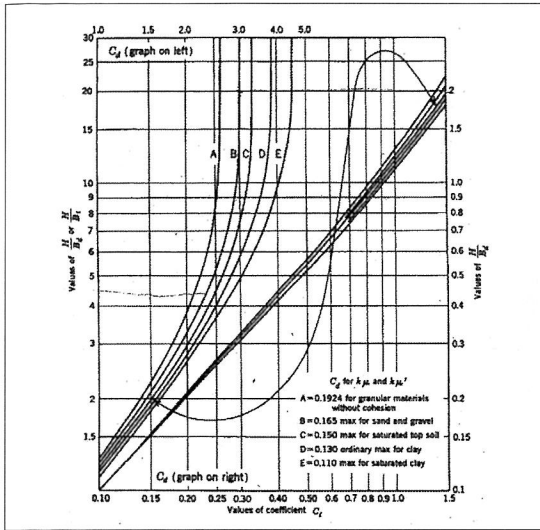


그림 1. 매설관의 깊이와 트렌치 폭의 비에 따른 하중계수

$B_d$  = 트렌치 폭

$\gamma$  = 뒤채움 흙의 단위중량

하중상수  $C_d$ 는 그림 1과 같이 흙의 종류에 따라  $h/B_d$ 의 함수로 나타낼 수 있다.

매설관의 설계시 매설관의 강도 또한 중요한 요소이다. 강성관의 강도( $W_{3-edge}$ ) 실험은 그림 2와 같이 삼점지지 힘 실험을 통해서 구해지며, 매설관의 강도는 매설관의 종류에 따라 ASTM 시방서에 기록되어있다.

즉, 석면시멘트 (Asbestos-cement)관의 경우는 ASTM C428, Vitriified clay관은 ASTM C 700, 무근 콘크리트관과 철근 콘크리트 관은 각각 ASTM C 14 와 ASTM C 76에 나와있다.

앞에서 언급된 식 1의 의해 구해진 토하중과 매설관의 강도의 비를 베딩(bedding) 계수 또는 하중계수로 정의 하였다. 베딩 계수에 따라 다섯 종류의 베딩을 그림 3에 나타내었으며, 이에 해당하는 베딩계수 값을 표 1에 나타 내었다.

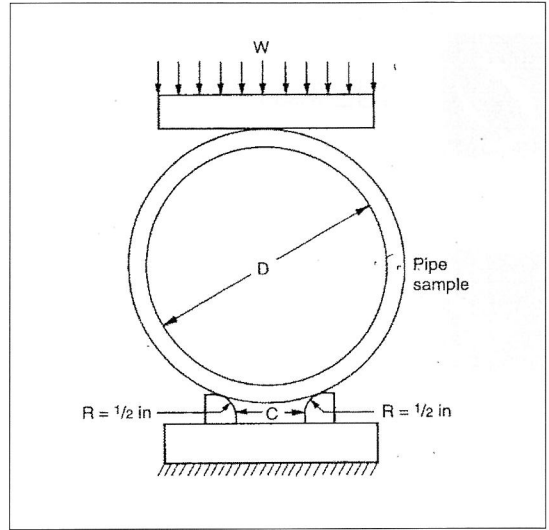


그림 2. 삼점지지 휨 (Three-edge bending) 실험 개요도

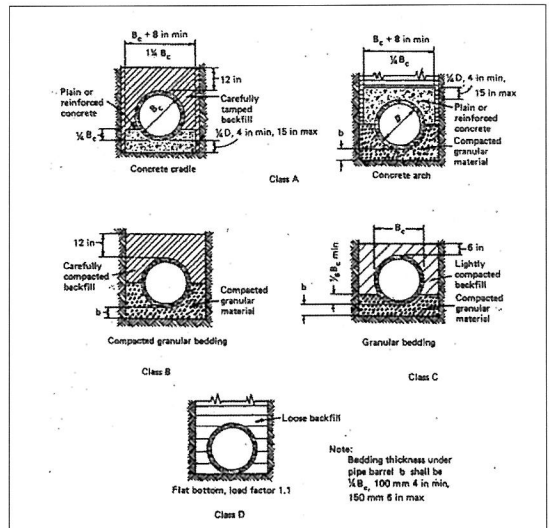


그림 3. 베딩 (bedding) 종류

표 1. 베딩 (bedding) 계수

베딩종류	베딩계수 (BF)
A	2.8-3.4
B	1.9
C	1.5
D	1.1

따라서, 매설관의 강도는 적절한 안전율(SF)을 고려하여 아래 식 2와 같이 구해진다.

$$W_{3-edge} = W_d \times \frac{SF}{BF} \quad (\text{식 2})$$

이러한 과정을 정리하면 다음과 같다.

1. 토하중을 계산 ( $W_d$ ).
2. 베딩 조건 및 종류 선택 (그림 3)
3. 베딩계수 결정 (표 1).
4. 안전율 적용.
5. 매설관 강도 결정.

예제) 지름이 15 in 인 하수도관을 14ft 깊이의 모래지반에 매설하려고 한다. 트렌치의 폭이 3ft, 뒤채움 흙의 단위중량은 120lb/ft<sup>3</sup> 일때, 어떤 종류의 매설관과 베딩 종류가 적당한지 선택하시오.

1. 토하중 계산

$$\frac{H}{B_d} = \frac{14}{3} = 4.67$$

그림 1에서,  $K_{a\mu} = 0.165$  모래지반 그리고  $C_d = 2.4$  따라서,  $W_d = C_d \gamma B_d^2 = 2.4 \times 120 \times 3^2 = 2592 \text{ lb/ft}$

2. 베딩 조건 및 종류선택.

베딩 종류 B, C, 그리고 D를 비교해 보자.

3. 베딩 계수 결정

표 1에 나타난 베딩 종류별 베딩 계수는 각각 Class B=1.9, Class C=1.5, 그리고 Class D=1.1 이다.

4. 안전율 적용

매설관 별 추천 안전율은 다음 표 2와 같다.

표 2. 매설관별 추천 안전율

매설관 종류	안전율
콘크리트 (ACPA)	1.25-1.5
철근 콘크리트 (ACPA)	1.0 based on 0.01-in crack
Clay (NCPI)	1.0-1.5
Asbestos cement (ACPPA)	1.0

참고 : ACPA (American Concrete Pipe Association), CPI (National Clay Pipe Institute), ACPPA (American Concrete Pressure Pipe Association).

5. 매설관의 강도 결정

$$W_{3-edge} = W_d \times \frac{SF}{BF} = 2592 \times \frac{SF}{BF}$$

최소 안전율 1.5를 적용했을때, 각 베딩 종류별 매설관의 강도는 아래와 같다.

표 3. 베딩 종류별 매설관 강도

베딩 종류	매설관의 강도( $W_{3-edge}$ ), lb/ft
B	2046
C	2592
D	3534

이들 중 최종 선택은 매설관과 베딩 비용의 경제성을 고려하여 결정한다.

## 결론

실제 강성 매설관의 설계에는 매설관의 거동에 영향을 미치는 환경적인 요소들, 대표적으로 매설관과 뒤채움 흙의 상호작용을 고려해야한다. 이를 위해 일반적으로 수치 해석적인 방법이 사용된다. 하지만, 본 논고에서 설명된 방법을 이용하여 강성 매설관의 설계 시 간편하게 사용하는데 도움이 되었으면 한다.



**[참고문헌]**

1. ACPA (2000), "Concrete Pipe Design Manual", American Concrete Pipe Association, Irving, TX.  
ASCE (1970), "Manual of Practice No. 37-Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers (also Water Pollution Control Federal Manual of Practice No. 9- Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers), American Society of Civil Engineers, New York, NY.
2. ASCE (1982), "Manual of Practice No. 60- Gravity Sanitary Sewer Design and Construction Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers (also Water Pollution Control Federal Manual of Practice), American Society of Civil Engineers, New York, NY.
3. Marston, A. and Anderson, A. O. (1913), "The Theory of Loads on Pipes in Ditches and Tests of Cement and Clay Drain Tile and Sewer Pipe", Bulletin 31, Iowa State College.
4. Marston, A. (1930), "The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments", Bulletin 96, Ames: Iowa Engineering Experiment Station.
5. Moser A.P. (2001), "Buried Pipe Design", 2nd edition, McGraw-Hill.
6. Watkins, R. K. and L. R. Anderson (2000), "Structural Mechanics of Buried Pipes", CRC press, Boca Raton, London, New York, Washington, D. C.