

지반 조건을 고려한 최적강관두께의 결정

The Determination of Optimal Steel Pipe Wall Thickness Considering Ground Condition

박재성¹⁾ · 오병동²⁾ · 이호진[†]

Park, Jaesung · Oh, Bungdong · Lee, Hojin

ABSTRACT : By considering manufacture and economic factor, the steel pipes have been employed for water supply pipeline with large diameter. The standard to decide a thickness of pipe was provided by the waterworks standard (Ministry of Construction & Transportation, 1992) in South Korea. However, there was no the systematic standard to confirm a thickness of pipe in it. Thus, it should be able to apply to unsuitable the Stewart formula for the buried pipe to design for an optimum thickness of pipe. In order to meet revised the waterworks standard (The Ministry of Environment, 1997), it has been considered both the ground condition and all of the stresses to compute a thickness of pipe. As a results, a method is suggested to determine thickness of pipe after comparing and validating the obtained results with the established results from the Stewart formula.

Keywords : Steel pipe, Waterworks, Water supply, Stewart formula

요 지 : 대구경 상수도 관로는 제작 및 경제성 요인에 의해 주로 강관을 사용해 오고 있다. 상수도시설기준(건교부, 1992)에 강관 두께를 결정하는 기준을 제시하고 있다. 그러나, 이 기준에는 강관두께를 결정하는 체계적인 기준이 없다. 그래서, 매설관로에는 적용이 부적합한 Stewart 공식을 적용하여 강관두께를 결정해 왔다. 개정된 상수도시설기준(환경부, 1997)에 부합되도록 지반여건과 각종응력을 고려하여 강관두께를 산정하였다. 그 결과를 기존의 방법에 의해 산정된 결과와 비교 검토한 후 최적 강관두께를 결정하는 방법을 제시하였다.

주요어 : 강관, 상수도시설, 상수도, Stewart공식

1. 서 론

사회구조가 산업화되고 도시화됨에 따라서 인구가 집중되고, 이로 인하여 수원의 오염이 증가함으로써 인근 하천을 취수원으로 한 수돗물 생산 및 공급체계가 크게 위협받게 되었다. 따라서 개별적인 수처리 시스템의 건설 및 관리비의 증가 문제 해소와 국민들의 맑은물 선호에 대한 인식변화에 대처하기 위하여 수도시설이 광역화됨에 따라 관로가 대구경, 장거리 추세로 나아가고 있다(박태근, 1987). 또한, 관재질도 콘크리트관 및 주철관 보다 대구경 제작이 가능한 강관이 주로 사용되어 이에 대한 합리적인 관 두께를 산정하여 경제적인 건설과 안전한 시설관리를 도모함으로써 예산, 인력 및 자원 낭비에 대한 예방이 필요하다.

강관은 1850년대 초에 미국에서 수도관으로 사용되기 시작하였으며 1930년 초에 이르러서야 오늘날과 유사한 나선형 용접형태의 강관으로 발전되었다. AWWA(American

Water Works Association)에서는 Steel Pipe - A Guide for Design and Installation(AWWA MANUAL M11)을 통해 강관두께의 결정시 관로에 작용하는 서지와 수충격압을 포함한 내압, 토압과 차분하중을 포함한 외압등에 의한 기타 물리적인 하중 등을 전체적으로 고려하여 강관두께를 결정하는 방법을 제시하고 있다(Hassett et al, 1998). 일본 수도협회에서도 수도시설기준(일본수도강관협회, 1988)등을 통하여 AWWA의 기본이론을 접목하여 내압, 외압, 부등침하 및 지진하중까지 고려한 강관두께의 결정방법을 제시하였다.

국내에서는 강관에 대한 연구실적이 매우 드물며, 1992년 상수도시설기준(건설교통부, 1992)에서 내압, 외압 등을 고려하여 강관두께를 결정하도록 기준이 제시되었으나 구체적인 방법이 제시되지 않아 오히려 과다 및 과소 설계의 원인이 되었다. 1996년에 이르러서야 한국수자원공사의 「관로공사 설계 및 시공지침」에 의해 강관두께의 구체

1) 정회원, 주성대학 토목과 강사·공학박사

2) 비회원, 한국수자원공사 임진강건설단 과장, 공학박사

† 정회원, 강원대학교 소방방재학부 강사·공학박사(E-mail : lhjce@chungbuk.ac.kr)

적인 결정방법이 제시되어 1997년 개정된 상수도 시설기준에 한국수자원공사의 강관두께의 결정방법이 수록되었(한국상하수도협회, 2004).

2. 최적 관두께 결정방법

본 연구에서는 기존에 1992년 상수도시설기준(건설교통부, 1992)에 제시된 기준을 바탕으로 산정한 강관두께 이하 “기존관두께 결정방법(1992)”와 1997년 개정된 상수도 시설기준에 의한 강관두께 산정방법 이하 “최적 강관두께 결정방법”을 통하여 기존관두께 결정방법의 과다 및 과소 설계를 밝히고 최적강관두께를 재산정하고자 한다. 이를 위하여, 밀양댐계통 광역상수도관에 대한 설계검토 예(사례1)와 동화댐계통 광역상수도 설계검토(사례2)를 바탕으로 비교·검토하고 개정된 상수도 시설기준에 의한 최적 강관두께를 결정하고자 한다.

2.1 개정된 관두께 결정방법(1997년)

강관두께를 결정하기 위해서는 강관의 원주방향과 관축 방향에 발생하는 응력에 견딜 수 있는 강관의 강도를 검토하여야 한다.

2.1.1 원주방향에 대한 강도검토

내압에 의해 관에는 원주방향으로 축응력이 발생한다. 또한 토하중 등의 외압으로 관은 편평화 되어 휨응력이 발생된다. 원주방향의 강도검토에서는 내압이 작용함에 따라 외압에 의해 생긴 휨응력이 경감되므로 양자가 동시에 작용하면 보다 큰 외압에 견딜 수 있게 된다. 따라서 특별한 고압관로 외에는 양자를 동시에 고려하는 검토는 필요하지 않으며, 휨응력의 강도 검토는 내압과 외압을 각각 시행하여 관두께를 결정한다.

(1) 내압에 대한 검토

관내수압은 동수압에 수격압을 합한 값과 정수압을 비교하여 큰 값을 내압으로 적용하여 허용응력 범위에 만족하여야 한다.

$$t = \frac{p \cdot d}{2\sigma_{sa}} \quad (1)$$

여기서, t , p , d 및 σ_{sa} 는 관두께, 최대내압, 관직경 및 관의 허용응력을 나타낸다.

(2) 외압에 대한 검토

그림 1은 외압에 대한 검토절차를 나타낸 것으로서, 강관의 규격을 비롯하여 굴착방법, 지반의반력계수등의 매설 조건을 고려한다. 또, 토하중, 재하중을 고려하되 토압, 차륜하중 등에 의해 발생하는 강관의 축방향의 응력에 의한 변형률과 휨응력은 각각 5%의 허용휨응력 범위를 만족하여야 한다.

그림 1에서 W_v , C_d , γ , H 및 B 는 각각 토하중, Marston의 구형계수, 흙의 단위중량, 토피고 및 관상단의 터파기폭을 나타내고 K_x , W_t , R , E 및 I 는 각각 수평방향 변형계수, 차륜하중, 관의 반경, 강 탄성계수 및 관의 단위폭당 단면2차모멘트를 나타내며 E' , σ_b , f , Z 및 K_b 는 지반의 반력계수, 관저부 휨응력, 구형계수, 관 단위폭당 단면계수 및 휨모멘트 계수를 각각 나타낸다.

2.1.2 관축방향에 대한 강도검토

(1) 부등침하에 대한 검토

서로 다른 특성을 나타내는 다종류의 지반에 매설될 때, 관은 부등침하의 영향을 받게 된다. 지반의 침하가 관에 주는 영향을 검토하는 경우, 관로나 지반의 상대변위에 바탕을 두고 지반의 반력이 관로에 작용한다고 생각하여 관로의 변형이나 변위를 구하게 된다. 그림 2는 연약지반에 매설되어 있는 강관을 횡단하는 형태로 성토에 의한 도로

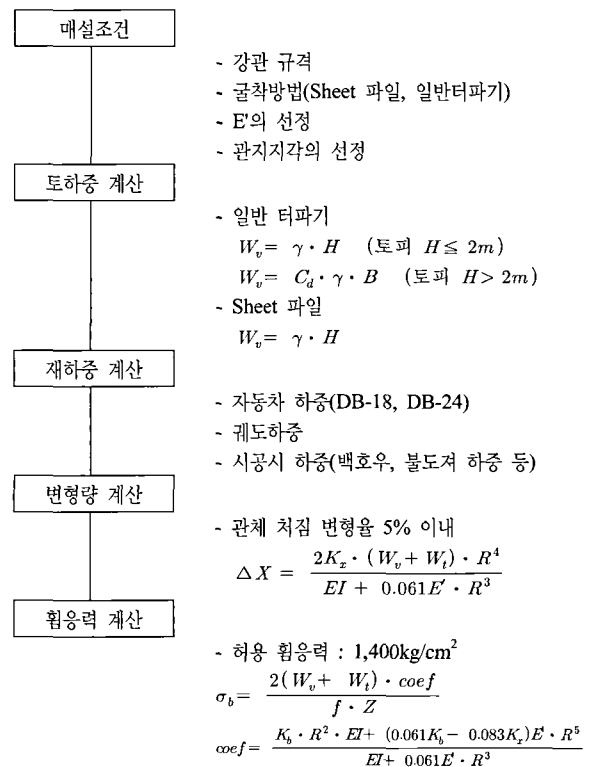


그림 1. 외압에 대한 검토 절차(환경부, 1997)

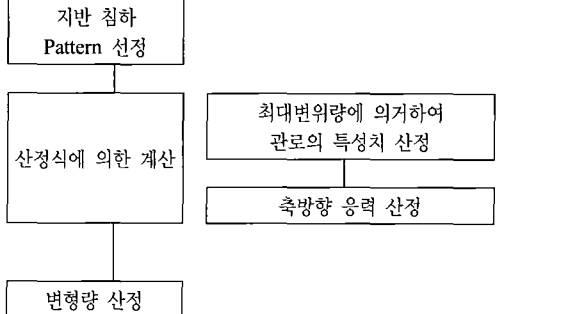
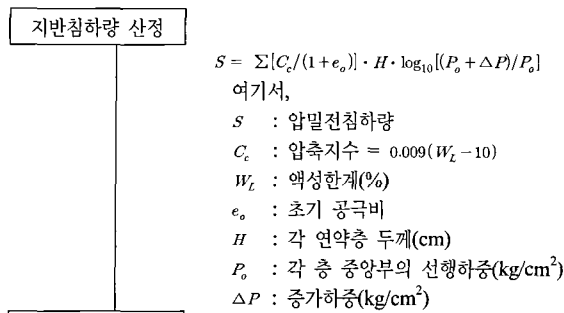


그림 2. 부등침하에 대한 검토 절차(환경부, 1997)

등이 계획될 경우의 부등침하, 구릉지 연약층이 퇴적된 계곡에서 매설된 관로 위에 도로등이 계획 될 경우의 부등침하(장대한 지반의 연속 부등침하)로 부등침하의 형태중 대표적인 2가지 부등침하의 형태에 대하여 계산을 수행하는 검토절차를 나타낸 것이다.

(2) 지진에 의한 안전

내진설계에 대하여 매설관관의 경우에는 지상 구조물로 사용되는 진도법의 적용은 적당하지 않고 후술하는 지진동에 의한 지반변형이 관에 전달되는 것으로 한다. 지진설계는 지진동에 의한 지반변형으로부터 산출되는 지반변형이 관에 전달되는 개념(응답변위법)에 입각하고 있으므로 설계 허용범위를 일반 설계처럼 탄성역내에는 둘 필요는 없고 강재의 큰 장점의 하나인 소성역의 큰 변형특성을 고려하여 이미 정해진 허용변형에 대한 검토를 하였다.

2.1.3 강도 종합 검토

2.1.1과 2.1.2절의 모든 조건들을 만족하는 강관두께를 결정하는 흐름도는 다음과 같으나, 지중구조물은 일반적으로 지진에 대해서 안전하며, 부등침하는 지반조건에 의해 여러 형태로 발생하므로 강관두께의 결정시

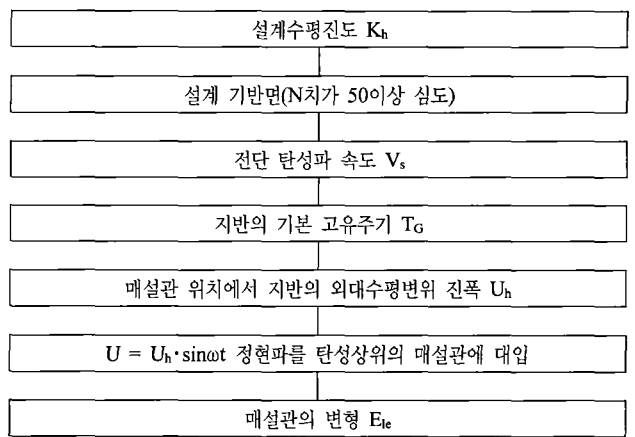


그림 3. 지진에 의한 안전 검토 절차(환경부, 1997)

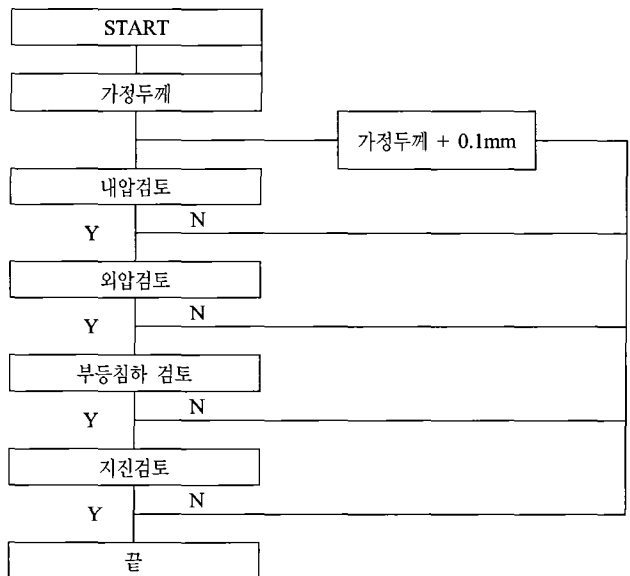


그림 4. 최적 관두께 결정 순서도

에는 현장여건에 따라 지진이나 부등침하에 대한 검토가 필요하다.

2.2 기존 관두께 결정방법(1992년)

내압에 의한 강관두께를 계산하고, 토압과 차륜하중을 합한 총 외압하중을 Stewart 공식에 적용하여 강관두께를 계산한 후 계산된 관두께를 Spangler 공식에 적용하여 계산된 치짐량이 허용치짐에 만족하면 최종 관두께로서 결정한다. 그러나 Stewart 경험공식은 대기 중 또는 유체속에 강관이 설치될 때 적용할 수 있는 공식이므로 매설관로에 적용하는 것은 부적합하다.

2.2.1 내압에 대한 계산

관내수압은 동수압에 수직압을 합한 값과 정수압을 비교하여 큰 값을 내압으로 적용하고 허용응력 및 관의 직경

을 대입하여 내압에 의한 관두께를 식 (1)로 계산한다.

2.2.2 외압에 대한 계산

토하중 및 차륜하중을 2.1.1 (2)와 동일한 방법으로 계산되며, 계산된 값을 Stewart 공식에 적용하여 외압에 의한 관두께를 계산한다.

2.3 관두께 산정조건

최적 관두께 결정방법과 기존 관두께 결정방법에 의해 관두께를 구하고 비교·검토하기 위하여 표 1, 2와 같이 동일한 실제 설계에 적용된 조건을 이용하였다.

표 1. 관두께 결정을 위한 일반조건

구 분		사례1	사례2	비 고
내압	강관의 허용응력 σ_{sa}	1400kg/cm ²	1400kg/cm ²	
	최대내압 P	13.5kg/cm ²	16.5kg/cm ²	
	관의 직경	1,500mm	1,500mm	
토피 하중	토피 H	4m	3.9m	
	관상단의 터파기폭 B	300cm	400cm	
	흙의 단위중량 γ	1,800kg/m ³	1,800kg/m ³	
	흙의 내부마찰각	30°	30°	
차륜 하중	DB하중	24	24	
	지반의 반력계수 E'	28kg/cm ²	28kg/cm ²	
	분산각 θ	45°	30°	
	충격계수	0.25		
	트럭대수 n	2대	2대	
부등 침하	성토높이	2m	2m	최적 강관두께 산정방법만 필요
	성토재료의 단위중량	1,800kg/m ³	1,800kg/m ³	
지진 하중	설계수평진도 Kh	0.12	0.12	

표 2. 부등침하 및 지진하중 검토를 위한 토질조사

심도 (m)	재료	토립자 비중 G _s	공극비 e _o	단위중량 $\gamma(t_f/m^3)$	수중단위 중량 $\gamma'(t_f/m^3)$	압축 지수 C _c	평균N 치
1.8	점성토	2.53	1.52	1.61	0.61	0.55	1.8
	혼입						
3.5	사질혼입	2.63	1.53	1.72	0.72	0.57	3.5
	실트						
4.5	사질혼입	2.67	0.95	1.85	0.85	0.22	4.5
	실트						
7.5	사질혼입	2.66	1.37	1.70	0.70	0.60	7.5
	실트						
15.6	사질혼입	2.62	2.25	1.50	0.50	0.75	8.1
	실트						
18.8	실트혼입	2.66	0.93	1.86	0.86	0.20	3.2
	모래						

3. 결과 및 고찰

3.1 개정 방법에 의한 최적 관두께

초기 관두께 5mm를 적용하여 이 관두께가 내압, 외압에 의한 휨응력 및 처짐, 부등침하, 지진하중에 안전한지를 검토하고 하나의 조건이라도 불만족하면 초기 관두께에 0.1mm씩을 추가하여 모든 응력에 안전한 관두께를 결정하였다. 이 방법에 의하여 결정된 사례1과 사례2의 관두께 값은 표 3과 같다.

3.2 기존 방법에 의한 최적 관두께

내압에 의한 관두께를 계산하고 Stewart 공식으로 외압에 의한 관두께를 결정한 후 두 개의 계산된 관두께 중 큰 값을 취하여 Spangler(1973)의 처짐공식에 대입하여 허용 처짐율(5%)에 만족하는지를 검토하여 관두께를 결정하였다. 이 방법에 의하여 결정된 사례1과 사례2의 관두께 값은 표 4와 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 수중(정수압) 또는 노출되어 있는 관로에 적용하는 기존 방법(Stewart식)이 과다 및 과소설계 하는 사례와 원인을 밝히고, 개정된 강관두께 산정방법에 의하여 최적강관두께를 산정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 사례 1에서는 기존에 의한 강관두께 산정 방법과 개정

표 3. 개정 방법에 의한 최적 관두께 산정 결과

구 분	사례1		사례2	
	허용값	계산값	허용값	계산값
내압(kg/cm ²)	1,400	989.76	1,400	941.36
외압에 의한 처짐율(%)	5	2.712	5	2.729
외압에 의한 휨모멘트(kg/cm ²)	1,400	1,394	1,400	1,394
침하율	0.001	0.0007	0.001	0.00069
지진하중	0.003	0.000752	0.003	0.000721
결정 관두께		10.3mm		13.0mm

표 4. 기존 방법에 의한 최적 관두께 산정 결과

구 분	사례1	사례2
내압에 의한 관두께	6.85mm	10.78mm
외압에 의한 관두께	10.90mm	11.87mm
처짐율	2.76%	2.45%
결정 관두께	10.90mm	11.87mm

참고 문헌

- 된 강관두께 산정 방법에 의해 각각 10.9mm와 10.3mm로 계산되어 개정된 강관두께 산정 방법이 0.6mm가 작게 산정되었으나, 사례2에서는 개정된 강관두께 산정 방법이 1.13mm가 크게 산정되었는데 이는 기존에 의한 강관두께 산정 방법이 매설관로에는 부적합한 대기 중 또는 유체 속에 강관이 설치될 때 적용하는 Stewart 경험공식을 적용하는 결과에서 기인한 것으로 판단된다.
- (2) 기존에 의한 강관두께 산정 방법과 마찬가지로 개정된 강관두께 산정 방법도 대부분 정상적인 조건하에서는 토압과 차륜하중이 합쳐진 외압에 의해 강관두께가 결정되었다.
- (3) 관로 매설지역의 지반조건과 토질조건이 매우 불량하지 않다면 부등침하 및 지진하중에 의해 강관두께가 증가하지 않고 외압에 의해 결정된 관두께가 부등침하 및 지진하중에 안전함을 보였다.

1. 건설교통부(1992), 상수도 시설기준, pp. 173~183.
2. 박태곤(1987), 도시가스배관의 특수구근 통과시공과 안전관리, 한국가스안전공사 가스안전 47권3호, pp. 134~140.
3. 일본수도강관협회(1988), 수도용매설강관의 관두께 계산기준, WSP 030-99, pp. 1~38.
4. 한국상하수도협회(2004), 상수도시설기준 2004, pp. 1~1066.
5. 한국수자원공사(1991), 관두께 산정 프로그램 연구보고서, pp. 200~222.
6. 환경부(1997), 상수도 시설기준, pp. 1~500.
7. Heaths, W.A.(1961), *Water and sewage works*, Vol. 108 No. 4, p. 363.
8. Spangler, M.G. and Handy, R.L.(1973), *Soil engineering*, Intext, Harper and Row, New York, pp. 576~592.
9. T. Hassett, S. LeBlanc, and J. Koch(1998), *Underwater Pipeline Repair*, Public Works, Vol. 129 No. 6, pp. 48~50.

(접수일: 2007. 11. 14 심사일: 2007. 11. 19 심사완료일: 2008. 2. 13)