

하수관의 최소유속 확보를 위한 난형관의 수리적 성능평가

황환국*, 홍석원**

*한국건설기술연구원

** (주)평화PPI

e-mail:hkhwang@kict.re.kr

Performance evaluation of Egg-shaped sewer pipe for minimum velocity

Hwan-Kook Hwang*, Seok-Won Hong**

*Korea Institute of Construction & Building Technology

**PPI Inc.

요약

가정용 하수관의 배수 시설과 공공 하수도의 상류에는 간헐적인 흐름 특성이 있다. 고형물을 올바르게 운반하기 위해 자체 청소 속도를 확보하려면 어느 정도 충분한 경사가 필요하다. 적절한 고형물 운송을 위해서는 관로가 충분한 경사를 갖도록 하는 방법이 있지만 매설 깊이가 깊어짐에 따라 전체 하수도 시스템의 건설 비용을 점진적으로 증가시키는 단점이 있기 때문에 최적의 설계 계획이 될 수 없다. 따라서 본 연구에서는 원형 관을 대체하기 위한 난형관의 적용성을 조사하기 위한 계산 및 실험에 의해 v형관의 수리력을 추정했다. 결과적으로, 수위가 낮을 때 난형관의 유속이 원형관의 유속보다 빠름이 관찰되었다. 모래 입자를 사용한 수송능력 평가에서 난형관은 수위가 낮을 때 원형 파이프보다 수송 능력이 더 컸다. 대체로, 난형관은 하수가 산발적으로 흐르는 공공 하수관로의 상류에 적용 가능하여 고형물 퇴적에 의한 악취 발생 및 파이프 단면적 감소와 같은 문제를 해결할 수 있다고 결론 지을 수 있다.

1. 서론

국내에서 하수도용으로 상용화된 관은 모두 원형단면 형태이나 기술 선진국에서는 하수유량이 적은 경우 원활한 이송속도를 가지는 비원형단면 형태의 관종이 다양하게 활용되고 있다. 비원형관의 재료는 고대 하수도 역사로부터 벽돌관, 도관, 철근 콘크리트관 등을 거쳐, 현재에는 경질염화비닐관이 일본 등 기술 선진국에서 주로 사용되고 있다. 국내에서도 배수설비 및 공공하수도의 말단관에서 비원형관에 대한 필요성이 크게 증대되고 있다. 따라서 공사비 절감효과를 증대시키고 다양한 환경에 적용할 수 있는 비원형관을 국내에 보급하는 것이 필요하다고 판단된다. 특히, 지방오물분쇄기의 도입을 고려하고 있는 현실을 볼 때, 현행 건축기계표준시방서에 옥내배관은 2%의 경사를 확보하도록 되어 있으나 보다 원활한 고형물 수송을 위해 배수설비에 비원형관의 적용은 고려할만 하다.

2. 연구방법

2.1 난형관 단면 특성

본 연구에서는 비원형관 중 난형관의 수리학적 성능을 수치계산과 실제 실험을 통해 평가하여, 최소유속 확보를 위한 비원형관의 원형관 대체 가능성을 검토했다.

1) 단면형상

본 연구에 사용된 난형관은 국내에서 시제품으로 생산한 것을 사용하였으며 단면형상에 대한 상세는 다음과 같다.

원형관은 관의 직경에 맞추어 관의 호칭을 부여한다. 비록 난형관은 직경의 개념이 없지만, 일반적인 하수관과 동일하게 공칭직경을 부여하였으며, 난형관의 만관유량과 동일한 만관유량을 갖는 원형관의 직경을 난형관의 공칭직경으로 명명한다.

난형관의 단면의 형상은 공칭 100을 제외하고 표준난형관이라 하며 R1, R2, R3의 비율이 1 : 0.5 : 3이며, 공칭 100은 고형물의 소류성능 시험결과에 따라 표준난형을 약간 수정한 것으로 특수한 난형단면 형태를 하고 있으며, 각각의 비율은 1 : 0.52 : 2.71로 되어있다.(日本下水道協

會, 1985)

다음 Table1에 관경별 난형관의 공칭 치수를 나타냈다.

[표 1] 난형관 단면

공칭직경 100mm	공칭직경 125~300mm
R1 : R2 : R3 = 1 : 2.71 : 0.52	R1 : R2 : R3 = 1 : 3 : 0.5

2) 단면계산

난형관의 수리학적 해석을 위해 비원형관저 설계식의 단면계산 방법을 적용하여 난형관의 단면을 계산하였으며, 난형관의 특성상 연직높이에 대해 R1, R2, R3 구역 3구역으로 나누어 단면계산을 진행했다.

(1) 공칭 100mm 단면계산

연직높이에 대해 R1, R2, R3 구역을 다음과 같이 수심비로 구분했다.

[표 2] 구역별 단면의 윤변 및 단면적

R3구역 : $0 \leq \eta \leq 0.068$	
단면적	$F_A(\eta) = 2 \times \int_0^\eta \sqrt{0.1799^2 - (\eta - 0.1799)^2} d\eta$
윤변	$F_P(\eta) = 2 \times 0.1799 \times \alpha,$ $\alpha = A \cos \times \left(\frac{0.1799 - \eta}{0.1799} \right)$
R2구역 : $0.068 \leq \eta \leq 0.654$	
단면적	$F_A(\eta) = A_1 + 2 \times \left(\int_{0.068}^\eta \sqrt{0.9377^2 - (\eta - 0.6540)^2} d\eta - 0.5917(\eta - 0.0675) \right)$
윤변	$F_P(\eta) = P_1 + 2 \times 0.9377 \times \beta,$ $\beta = A \cos \times \left(\frac{0.654 - \eta}{0.9377} \right) - A \cos \left(\frac{0.654 - 0.0675}{0.9377} \right)$
R1구역 : $0.654 \leq \eta \leq 1$	
단면적	$F_A(\eta) = A_2 + 2 \times \int_{0.654}^\eta \sqrt{0.3460^2 - (\eta - 0.654)^2} d\eta$
윤변	$F_P(\eta) = P_2 + 2 \times 0.346 \times \gamma,$ $\gamma = A \sin \times \left(\frac{\eta - 0.654}{0.346} \right)$

(2) 공칭 125~300mm 단면계산

연직높이에 대해 R1, R2, R3 구역을 다음과 같이 수심비로 구분했다.

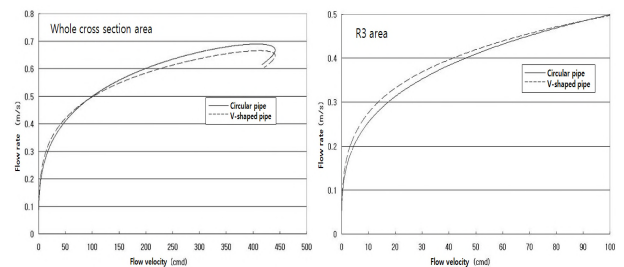
[표 3] 구역별 단면의 윤변 및 단면적

R3구역 : $0 \leq \eta \leq 0.067$	
단면적	$F_A(\eta) = 2 \times \int_0^\eta \sqrt{0.1667^2 - (\eta - 0.1667)^2} d\eta$
윤변	$F_P(\eta) = 2 \times 0.1667 \times \alpha,$ $\alpha = A \cos \times \left(\frac{0.1667 - \eta}{0.1667} \right)$
R2구역 : $0.067 \leq \eta \leq 0.667$	
단면적	$F_A(\eta) = A_1 + 2 \times \left(\int_{0.067}^\eta \sqrt{1^2 - (\eta - 0.6667)^2} d\eta - 0.6667 \right)$
윤변	$F_P(\eta) = P_1 + 2 \times 1 \times \beta,$ $\beta = A \cos \times \left(\frac{0.6667 - \eta}{1} \right) - A \cos \left(\frac{0.6667 - 0.0667}{1} \right)$
R1구역 : $0.667 \leq \eta \leq 1$	
단면적	$F_A(\eta) = A_2 + 2 \times \int_{0.667}^\eta \sqrt{0.3333^2 - (\eta - 0.6667)^2} d\eta$
윤변	$F_P(\eta) = P_2 + 2 \times 0.346 \times \gamma,$ $\gamma = A \sin \times \left(\frac{\eta - 0.654}{0.346} \right)$

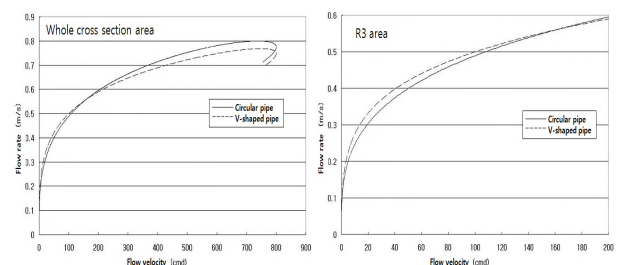
2.2 난형관의 수송능력 평가

1) 유속비교

위 결과를 이용하여 특정 조건일 때 난형관의 유속을 계산할 수 있다. 설정한 조건은 경사 5%, 조도계수 0.010(경질염화비닐 계관형관, 한국상하수도협회, 2005), 유량은 관의 최대유량까지 동일한 유량을 적용했다.



(a) 공칭직경 100mm



(b) 공칭직경 125mm

[그림 1] 유량, 유속 비교

2) 난형관의 소류사 수송 능력 비교

난형관과 원형관의 소류사 수송 능력을 비교했

다. 소류사 수송에 대한 최소설계유속 공식은 황 (2006)이 비원형관의 소류사 수송설계식에 사용한 May(1993) 식을 사용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$C_v = 3.03 \times 10^{-2} \left(\frac{D^2}{A} \right) \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0.6} \left(1 - \frac{V_t}{V_m} \right)^4 \left(\frac{V_m^2}{g(s-1)D} \right)^{1.5}$$

$$V_t = 0.125 \sqrt{g(s-1)} d_{50} \left(\frac{y}{d_{50}} \right)^{0.47}$$

여기서,

C_v	:	침전물 체적 농도
D	:	하수관의 관경과 저부와의 거리, 원형관은 직경
y	:	수심
A	:	흐름면적
d_{50}	:	중양입경
V_t	:	침전물 이송 한계시의 유속
V_m	:	최소유속
g	:	중력가속도
s	:	입자의비중

소류사 수송 능력 비교를 위한 나머지 조건들은 다음 Table 5와 같다.

[표 4] 소류사 수송능력 비교 조건

Item	Value
관경사	2‰
입경	375 μ m
비중	2.66
온도	20℃

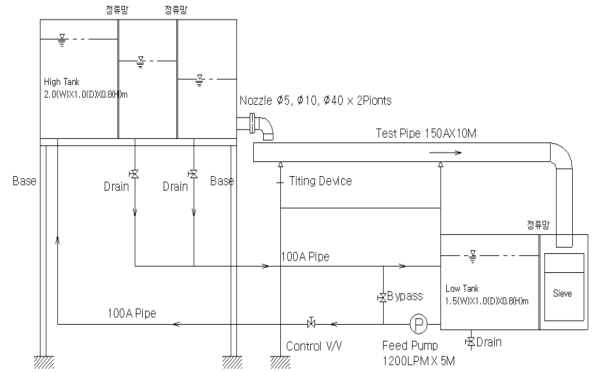
난형관과 원형관의 소류사 수송 능력을 비교한 결과를 다음 [표 5]에 나타내었다.

[표 5] 소류사 수송능력 실험 결과

Type	원형관 100	난형관 100	원형관 150	난형관 150
흐름단면 (mm ²)	753	714	1,694	1,605
λ_o	0.01013	0.00997	0.00945	0.00929
동점성계수	1.02×10^{-6}			
W_s (m/s)	0.054661			
$\frac{u_*}{W_s}$	0.248	0.260	0.304	0.320
V_t (m/s)	0.056	0.064	0.067	0.078
소류사 농도 (mg/L)	588	678	528	624

3) 수송능력 비교 실험

앞서 난형관과 원형관에 대하여 유속과 소류력을 수리계산을 통하여 비교했다. 이번 실험은 이론적으로 비교한 결과를 바탕으로, 실제 실험장치를 제작하여 난형관과 원형관의 수송능력을 비교했다.



[그림 2] 수리실험 장치

실험장치는 상부유입수조, 하부수조, 펌프, 난형관, 원형관과 경사조절장치로 구성되어있다. 난형관과 원형관은 각 10m씩 설치되었으며, 유입수조에 형질류웨어를 설치하여 수위조절을 통해 유량을 조절했으며, 난형관과 원형관의 경사는 2.5‰로 설정했다.

유량은 총 3가지 조건으로 설정하고 이 유량에 따른 실제 유속을 확인했다. 확인된 유속은 이론적 계산결과와 다르며, 이는 이론적인 계산에 사용하는 일반적인 플라스틱관의 조도계수와 실제 하수관의 조도계수가 상이하기 때문이다.

실측한 유량과 그에 따른 유속은 다음과 같다.

[표 6] 실험 유속 및 유량

Type	유량	유속	
		난형관	원형관
유량 I	44.1cmd	0.439m/s	0.365m/s
유량 II	37.5cmd	0.400m/s	0.335m/s
유량 III	32.8cmd	0.372m/s	0.317m/s

난형관과 원형관의 수송능력을 비교하기 위하여 모래를 투입하였으며, 모래는 입경별로 4가지를 준비하였고 각 10g씩 총 40g을 원형관과 난형관에 투입했다.

실험에 사용한 모래는 다음 [표 7]과 같다.

[표 7] 투입된 모래 입경 및 투입량

모래 입경	투입량
1.00mm ~ 0.85mm	10g
0.85mm ~ 0.6mm	10g
0.6mm ~ 0.3mm	10g
0.3mm ~ 0.125mm	10g

모래수송능력을 비교하는 실험의 지속시간은 모래를 투입하고 1시간동안 지속했으며, 1시간이 경과한 후 유출부의 체(Sieve)에 걸린 모래를 수송되어진 모래로 판단하고 모래를 건조 후 입경별로 무게를 측정했다.

4. 결과 및 고찰

수리계산에 의하면 각 공칭별 난형관과 원형관의 유속을 비교한 결과 수위가 낮은 저부에서는 난형관의 유속이 더 빠르게 검토되었으나, 관내 수위가 높은 부분에서는 원형관의 유속이 더 빠르게 검토됐다.

하수관 설계시에 적용하는 설계유량은 여유율이 있으며, 현재 검토중인 공칭관경의 경우 100%의 여유율이 적용된다. 또한 계획시간최대 오수량을 적용하기 때문에 실제 하수관에서는 저부에서 하수가 유하되게 된다. 그리고 유량증가에 따라 수위가 상승하여 만관에 가까워질수록 유속이 증가하게 되며, 이 때의 유속은 시설기준에서 제시하는 오수관의 최소유속 0.6 m/s를 초과하므로 고려의 대상이 되지 않는다. 또한 수송능력 실험의 경우, 실험 결과 유량 I & II 조건의 난형관에서는 투입된 모래가 전량 배출된 반면, 원형관에서는 일부만 배출되었다. 유량 III 조건에서는 난형관에서도 모래가 전량 배출되지 못하고 일부만 배출되었으나 동일 조건의 원형관보다는 많은 양이 배출됐다.

이는 동일한 조건일 경우, 관내의 유속과 소류력 측면에서 난형관이 원형관보다 물질수송능력이 우수하다는 것을 보여주는 결과이다.

5. 결 론

원형관과 비원형관인 난형관의 수리적 특성 및

수리모형 실험을 수행했다. 이론적 수리계산에서는 수위가 낮은 R3구역에서 난형관이 원형관에 비해 유속이 빠르게 검토됐다. 따라서 난형관과 원형관의 유속비교 검토구간은 유량이 적고 유속이 느린 저부에서 이루어져야 한다. R3구역에서는 난형관이 원형관보다 유속이 더 빠른 것으로 검토되었으며, 관 말단부에 난형관 설치시 유속향상에 따른 악취 발생의 원인이었던 고형물이송에 유리한 이점이 발생할 것으로 예측된다.

참고문헌

- [1] 국토해양부 (2011) 건축기계설비공사표준시방서
- [2] 한국표준협회 (1995) KS M 3333 강화 플라스틱 복합관.
- [3] 한국토지공사 (2004) 상하수도용 유리섬유복합관의 최적 설계기술 개발.
- [4] 한국상하수도협회 (2005) 하수도시설기준.
- [5] 황환국 (2006) 현장경화공법으로 변형한 복합단면 하수관의 침전물 수송능력 평가, 홍익대학교 박사학위논문,
- [6] 日本下水道協會 (1984) JSWAS K-3 하수도용 경질염화비닐난형관.
- [7] ASTM F 894, (2007) Standard Specification for Polyethylene (PE) Large Diameter Profile Wall Sewer and Drain Pipe.
- [1] Jey K. Jeyapalan, M. ASCE, and B. A. Boldon, (1986) Performance and Selection of Rigid and Flexible Pipes, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 5, Paper No. 20900.