

연속 맨홀에서의 손실계수 산정

An Estimation of Head Loss Coefficients at Continuous Circular Manhole

윤영노* · 김정수** · 한정석*** · 윤세의****

Yoon, Young Noh · Kim, Jung Soo · Han, Chyung Such · Yoon, Sei Eui

Abstract

Urban sewer systems are designed to operate in open-channel flow regime and energy loss at circular manholes are usually not significant. However, the energy loss at manholes, often exceeding the friction loss of pipes under surcharge flow, is considered as one of the major causes of inundation in urban area. Therefore, it is necessary to analyze the head loss associated with manholes, especially in surcharge flow. Hydraulic experimental apparatus with two circular manholes was installed for this study. The range of the experimental discharges were from 1.0 l/sec to 4.4 l/sec. Head loss coefficient was maximum because of strong oscillation of water surface when the range of manhole depth ratios(h_m/D_{in}) were from 1.2 to 1.25. The average head loss coefficients for upstream manhole and downstream manhole were 0.58 and 0.23 respectively. Head loss at upstream manhole is nearly 2.5 times more than one at downstream manhole.

Key words : Head loss coefficient, Circular manhole, Urban sewer system, Surcharge flow

1. 서 론

우수 관거 시스템에서의 흐름은 중력에 의해서 흐르고 개수로 흐름과 같이 처리된다. 그러나 유입 유량이 관거의 만관 상태를 초과하거나 하류 흐름의 제한 때문에 발생하는 역류의 영향을 받는다면, 우수 관거 시스템은 과부하(surcharge) 상태의 압력흐름이 된다. 개수로 상태에서 맨홀에서의 수두 손실은 일반적으로 무시되지만, 과부하 맨홀에서의 수두 손실은 중요하며, 우수 관거 시스템의 전체 손실에 중요한 부분을 차지하게 된다. 이러한 현상은 여러 개의 맨홀을 가지는 우수 관거 시스템에서 특히 중요한 사항이 된다. 현재 계획 또는 설계단계에서 수행되고 있는 관거시설의 수리계산에는 연결관의 마찰손실만을 감안하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 수두손실은 고려되지 않는 실정이다.

과부하된 우수 관거 시스템에서 집합부와 하수 유입부 및 다른 부속물에 의해서 발생하는 소손실들은 관의 마찰손실을 초과하는 경우가 발생하게 된다. 관거 시설의 맨홀에서 수두손실이 과대해지면 관거의 배수능력이 저하되어 배수구역의 침수피해가 발생되고, 우수의 분출 시 맨홀 뚜껑이 유실되어 인명사고를 유발할 수도 있다. 특히 1990년대부터 국지성 집중호우에 의한 도심지역의 침수피해가 빈번히 발생하고 있는 현실을 감안할 때, 관거시설 내 맨홀에서의 수리적 에너지 손실에 대한 연구와 보다 구체적인 설계 기준의 제시가 요구되고 있는 실정이다. 즉, 도시지역의 우수 관거 시스템의 우수 배제 능력을 증가시켜 도심지의 침수를 방지하기 위한 관거시설의 적정 설계 기준이 필요하며, 합리적인 설계 기준을 제시하기 위하여 맨홀 내에서의 수두 손실을 분석할 필요가 있다(최원석, 송호면 2002).

본 연구에서는 우수 관거의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 연속적으로 설치된 원형 맨홀의 손실계수 산정 및 흐름특성을 분석하기 위하여 문헌조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 실험에 사용된 원형 맨홀은 실험실의 규모 및 유량조건 등을 고려하여 하수도시설기

* 비회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: hydro-ono@hanmail.net

** 비회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 · 박사과정

*** 비회원 · 부천대학 토목과 · 조교수

**** 정회원 · 경기대학교 토목환경공학부 · 교수

준(환경부, 2005)의 원형 1호 맨홀을 1/5로 축소하여 제작하였다. 또한, 유입유량의 증감에 따라서 맨홀 수심(h_m)와 연결 관거 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})를 1.0~4.0으로 변화시키면서 수리실험을 실시하여 연속 설치된 원형 맨홀 내부의 흐름 변화를 분석하고 손실계수를 측정, 분석하였다.

2. 기본이론

원형 맨홀의 손실계수를 산정하기 위하여 Sangster등(1958)은 맨홀 입·출구부에서의 흐름의 연속식과 운동량 보존식에서 압력손실계수를 산정하는 식 (1)을 제안하였으며, 이 식은 이후 Marselek(1984), Arao S. and Kusuda T.(1998), Pederson, F.B. and Mark O.(1990)등에 의하여 맨홀 내부의 손실계수 산정에 사용되었다.

$$\Delta h = K \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (1)$$

여기서, Δh 는 맨홀 입·출구부의 압력수두차, K 는 맨홀내부의 손실계수, v 는 관거 평균유속이다.

3. 수리실험

본 연구에서는 연속 설치된 원형 맨홀의 손실계수 산정 및 흐름 특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같은 수리 모형을 제작하였다. 수리실험 모형의 총 길이는 약 16m이며, 고수조, 정류용 수조, Piezometer, 아크릴 관로, 원형아크릴 맨홀, 차집통으로 구성되어 있다. 원형 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(2005)상의 표준 1호 맨홀(내경 900mm)과 직경 300mm의 유입 및 유출관을 1/5로 축소하여 제작하였다. 유입관로 및 유출관로의 길이는 450cm, 연결된 맨홀 사이의 길이를 300cm로 하여 정류 흐름을 유지하도록 하였다. 그림 1은 수리 실험 모형의 개략도이며, 그림 2는 실험실에 실제 설치된 모형의 전경이다.

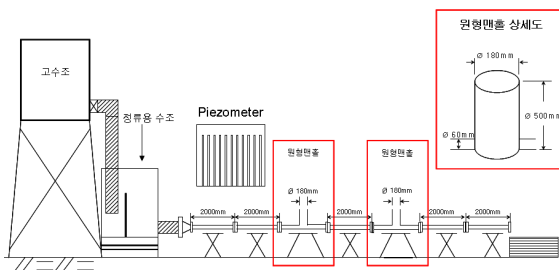


그림 1. 연속 설치된 원형 맨홀의 수리모형 설치도

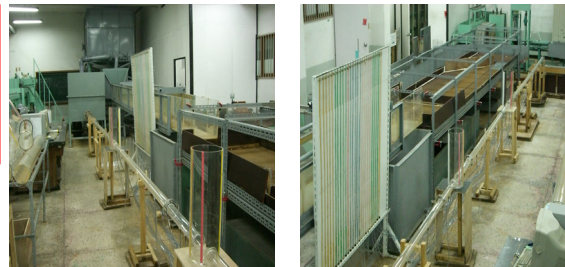


그림 2. 연속 설치된 원형맨홀 전경

관거 내의 압력수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관거의 하단부에 60cm간격으로 Piezometer를 설치하였으며, 원형 맨홀 입·출구부에서의 정확한 수두를 측정하기 위해 맨홀 전·후에 10cm간격으로 Piezometer를 설치하였다. 또한, 관거의 끝부분에는 실험유량을 측정하기 위하여 폭 90cm, 길이 80cm, 높이 70cm의 차집통을 설치하였으며, Piezometer를 설치하여 차집통 내의 수위 변화를 측정하였다. 실험 유량을 일정하게 공급하기 위하여 지하저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 관내의 흐름을 정류 상태로 유지하기 위하여 정류 수조(폭 120cm, 길이 150cm, 높이 120cm)를 설치하였다. 실험유량을 $1.0 \text{ l/sec} \sim 4.4 \text{ l/sec}$ 로 변화시켜 맨홀 내부의 수심을 변화시킬 수 있도록 하였다(표 2).

유입유량을 조절하여 원형 맨홀 내부의 수심(h_m)과 유입관거 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})를 각각 1.0, 1.3, 1.5, 1.7, 2.0, 3.0, 4.0으로 고정하고 수리실험 모형 내에 정류 상태가 유지되면, 하류부의 차집통을 이용하여 유량을 측정하였으며, 관거에 설치된 Piezometer를 이용하여 관로의 수두 변화량 및 원형 맨홀 내부에서의 에너지 손실 수두를 측정하였다.

관거 내의 압력수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관거의 하단부에 60cm간격으로 Piezometer를 설치하였으며, 원형 맨홀 입·출구부에서의 정확한 수두를 측정하기 위해 맨홀 전·후에 10cm간격으로 Piezometer를 설치하였다. 연속 설치된 원형 맨홀 내부의 에너지 손실을 측정하기 위하여 그림 1의 수리모형을 사용하여 수리실험을 실시하였다(표 1).

표 1. 수리실험 조건

원형 맨홀 내경 (mm)	연결 관거 직경 (mm)	유입 및 유출 관로길이 (cm)	맨홀 설치 간격 (cm)	실험 유량 (ℓ/s)	접합 상태	흐름 상태
180	60	450	300	1.0 ~ 4.4	관저접합	정상류

4. 실험결과

본 연구에서는 유입 유량변화에 따른 연속 설치된 두 개의 원형 맨홀 내에서의 수심변화 분석 및 손실계수를 산정하였다. 그림 3은 연속 설치된 원형 맨홀에서의 수두 손실을 산정하기 위하여 Piezometer로 전체 관로의 수두 변화량을 측정할 결과를 나타낸 것이다. 그림 3의 측정된 수두에서 계산되어진 원형 맨홀에서의 손실수두 값(Δh)과 유입유량으로부터 계산된 관평균 유속을 이용하여 식(1)에서 손실계수를 산정하였다. 여기서 유량변화에 대하여 산정된 손실계수의 변화를 그림 4에 나타내었다.

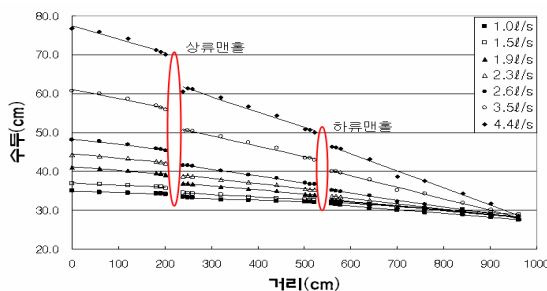


그림 3. 유입 유량변화에 따른 수두 변화

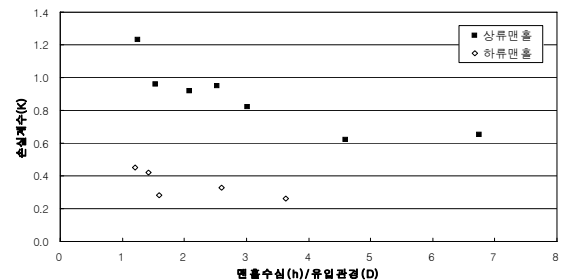


그림 4. 연속 설치된 원형 맨홀수심(h)와 유입관거 직경(D)의 비(h/D)에 변화에 따른 손실계수

그림 4에서와 같이 연속 설치된 원형 맨홀 내에서 손실계수는 상류부 맨홀에서 손실계수는 h/D가 1.25일 때 1.23으로 가장 크게 산정되었고, h/D가 증가할수록 손실계수는 감소하였다. 또한 하류부 맨홀에서도 h/D가 1.20일 때 손실계수가 0.45로 가장 크게 산정되었고, h/D가 증가할수록 감소하여 상류부 맨홀의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 상류부 맨홀에서 산정된 손실계수는 하류부 맨홀에서 산정된 손실계수보다 약 2.5배 정도 크게 산정되었다. 이는 하류부에 설치된 맨홀에서 발생한 수두 손실이 상류부 맨홀에 전달되어 상류부 맨홀에서의 수두 손실에 영향을 미치는 것이라 판단된다.

그림 5는 유입 유량의 변화에 따른 맨홀 내부의 수심변화를 나타내고 있다. 유입 유량이 증가할수록 하류부 맨홀의 영향으로 상류부 맨홀 내부에서의 수심이 약 88%정도 까지 상승하는 것을 알 수 있다. 연속 설치된 원형 맨홀에서의 평균 손실계수를 산정하기 위하여 실측된 손실수두(Δh)와 속도수두($V^2/2g$)의 관계를 분석하였다. 그림 6에서 연속 설치된 원형 맨홀 각각의 평균 손실계수는 각 회귀선의 경사로 산정된다. 따라서 상류부 맨홀에서의 평균손실계수는 0.58이고, 하류부 맨홀에서의 손실계수는 0.23으로 산정되었다. 그러므로 맨홀의 설치에 따라 맨홀에서 발생하는 손실의 영향이 하류부에서 상류부로 전달되어 상류부 맨홀에서의 손실이 증대하므로, 과부하(surcharge) 상태의 관거 시스템 설계 시, 설치된 각각의 맨홀에서 발생하는 손실을 고려하여야 한다고 판단된다.

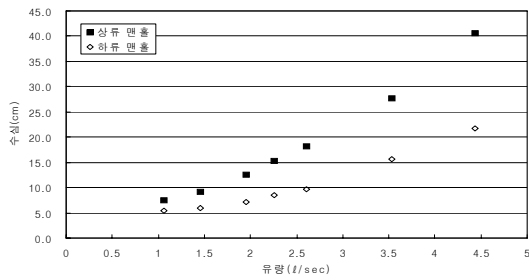


그림 5. 유량변화에 따른 맨홀에서의 수심변화

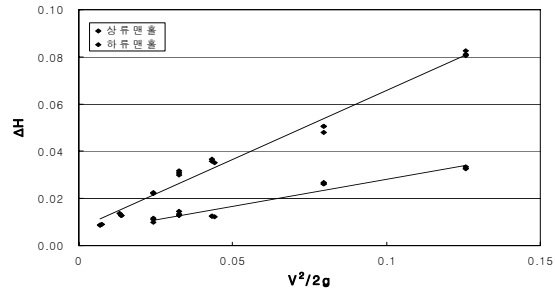


그림 6. 유속 변화에 따른 연속된 원형 맨홀의 에너지 손실량

5. 결론

본 연구에서는 관거 설계 중 맨홀에서의 에너지 손실의 저감시키기 위한 효율적인 설계 및 관리방안을 제시하기 위하여 국내에 설계되고 시공되는 맨홀의 문헌조사와 현장조사를 실시하였다. 맨홀 내에서의 손실계수를 산정하고 에너지 손실의 저감 효과를 분석하기 위하여 원형 맨홀을 연속으로 설치하여 유량을 변화시키면서 실험을 실시하였다. 본 연구 조건에서의 수리 실험을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 맨홀의 설치에 따라 맨홀에서 발생하는 손실의 영향이 상류부로 전달되어 상류부 맨홀에서의 손실이 증대하므로, 과부하(surcharge) 상태의 관거 시스템 설계 시, 맨홀에서 발생하는 손실을 고려하여야 한다고 판단된다.
2. 유입유량이 증가할수록 하류부 맨홀의 영향으로 상류부 맨홀의 수심이 증가하는 것을 보인다. 이는 많은 맨홀이 설치된 우수 관거 시스템에서 국지성 집중호우 등에 의하여 우수 관거로의 유입 유량이 증가할 경우, 하류부 맨홀에서 발생하는 손실에 영향으로 인하여 상류부 맨홀이 월류되는 원인이라 판단된다.
3. 연속 설치된 상류부 맨홀에서의 평균손실계수는 하류부 맨홀에서의 손실계수보다 크게 산정되었다. 그러므로 맨홀의 설치 간격에 따라 맨홀에서 발생하는 손실의 영향이 상류부로 전달되어 상류부 맨홀에서의 손실이 증대할 경우도 발생하므로 과부하(surcharge) 상태를 가정한 적정 맨홀의 간격에 관하여 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연CO1-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구 성과입니다.

참고문헌

1. 환경부 (2005). 하수도시설기준.
2. 최원석, 송호면 (2002) 하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 13-16.
3. Arao, S. and Kusuda, T. (1998) Manhole Profiles for Energy Loss Reduction, HydraStorm 1998, pp. 235-240.
4. Marsalek, J. (1984) Head Losses at Sewer Junction Manholes, Journal of hydraulic engineering, Vol. 110, No. 8, pp. 1150-1154.
5. Pederson, F.B. and Mark O. (1990) Head Loss in Storm Sewer Manholes, Journal of hydraulic engineering, Vol. 116, No. 11, pp. 1317-1328.
6. Sangster, W.M., Wood, H.W., Smerden, E.T. and Bossy, H.G. (1958) Pressure Changes at Storm Drain Junctions, Engineering Experiment Station, No. 41.