

직사각형 맨홀의 내부형상변화에 따른 흐름특성 분석

An Analysis of Flow Characteristics with Changing the Inside Shapes in Square Manhole

장석진^{*} · 윤영노^{**} · 김정수^{***} · 윤세의^{****}

Jang, Suk Jin · Yoon, Young Noh · Kim, Jung Soo · Yoon, Sei Eui

Abstract

In storm sewer networks a lot of manholes are installed to maintain and connect a sewer of urban area. There are some shapes of manhole such as circular type, square type, and so on. Square shape manholes are installed to connect the large diameter drainage pipes in general and have lager head losses than circular one. Consequently, it is important to analyze the head losses in square manhole because the head losses in square manhole are much bigger than the friction losses in pipes. Hydraulic experimental apparatus which can be changed the inside shape in square manhole was installed for this study. The experimental discharge was 16 ℓ/sec. The head loss coefficients in the manhole were calculated by the experimental results. The range of head loss coefficients in the general square manhole were from 0.33 to 0.48 and the range of head loss coefficients in the square manhole changed inside shape were from 0.23 to 0.28.

key words : Square manhole, Head loss coefficient, Storm sewer networks

1. 서 론

최근 급격한 도시화와 더불어 기후변화로 인한 집중호우로 도시 지역의 침수피해가 급격히 증가하고 있다. 도시지역에 내린 강우는 대부분 지하에 매설되어있는 우수배수 시스템에 의하여 배수되기 때문에 우수배수 시스템의 배수능력 증가는 도심지의 침수를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 우수배수 시스템 내에서는 관의 연결, 단차부의 접합, 관거의 유지관리상의 목적 등으로 인하여 원형 또는 직사각형 등의 많은 형태의 맨홀을 설치하고 있다. 현재 계획 또는 설계단계에서 수행되고 있는 하수관거 수리계산은 관거내에서의 마찰손실만을 감안하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 수두손실은 전혀 고려되고 있지 않고 단지 하수 도시설기준상의 단차 및 인버트 규정만이 있을 뿐 이마저 실제 시공에서는 시공상의 번거로움 등으로 준수되지 않는 경우가 많다(최원석, 송호면 2002). 그러나 관거와 맨홀의 내부는 여러 가지 수리학적 조건이 다르기 때문에 맨홀에서의 손실은 관거내에서 발생하는 손실과는 다른 형태의 손실이 발생하게 된다. 실제로 관거내의 마찰손실에 비해 맨홀에서의 에너지 손실은 매우 크다. 그러므로 우수배수 시스템 설계시 맨홀내부에서의 손실은 반드시 고려되어야 한다.

국외에서는 1950년대부터 맨홀 내부의 손실계수 산정에 관한 연구와 실험이 지속적으로 진행되어왔다. Sangster(1958), Lindvall(1984), Marsalek(1984) 등은 정류 상태에서 유입·유출관경 및 관로경사의 변화, 단차의 유무 및 단차의 규모에 따른 1개의 독립적인 원형맨홀에 대한 실험을 실시하여 원형맨홀의 손실을 산정하였으며, Johnston(1990) 등은 정류 상태에서 1개의 독립적인 직사각형 맨홀에 대한 내부손실계수를 산정하였다. 또한, Merlein, J.(2000)은 인버트 형상을 변화시켜가면서 실험을 실시하여 연속적으로 설치된 맨홀에서의 에너지 손실 감소방안에 대하여 연구하였다. 그러나 국내에서는 최원석, 송호면(2002)이 맨홀 손실에 관

* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정 E-mail: forget1771@hanmail.net
** 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정
*** 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정
**** 정회원 · 경기대학교 토목·환경공학부 교수

한국의 자료와 국내의 맨홀설계 기준에 대한 자료를 수집하여 원형맨홀에 대한 수리학적 특성에 대하여 조사하였을 뿐, 직사각형 맨홀에 대한 실험적 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 일반적으로 관거접합부나 비교적 배수량이 큰 곳에 설치되어 있는 직사각형 맨홀에 대하여 현장조사 및 문헌조사를 실시하였으며, 조사결과를 이용하여 수리실험 장치를 제작하였다. 일반적인 직사각형 맨홀과 직사각형 맨홀의 내부형상을 변화시킨 내부형상변화 맨홀의 두 가지 맨홀에 대하여 실험을 실시하여, 맨홀내부의 흐름특성을 분석하고, 손실계수를 산정하여 직사각형 맨홀의 내부손실 감소방안을 제시하였다.

2. 기본 이론

직사각형 맨홀 내부의 손실계수를 산정하기 위하여 Sangste등(1958)은 맨홀 입·출구부에서의 흐름의 연속식과 운동량 보존식에서 압력손실계수를 산정하는 식(1)을 제안하였다. 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 유입부의 유속이다.

3. 수리모형

본 연구에서는 직사각형 맨홀 내부 형상변화에 따른 에너지 손실계수를 산정하기 위하여 그림 1과 같은 실험 장치를 제작하였다. 실험 장치의 총 길이는 약 12m이며, 고수탱크, Piezometer, PVC관로, 아크릴관로, 직사각형 아크릴 맨홀 및 차집통으로 구성되어있다. 관내의 흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 고수탱크(폭 1.2m, 길이 1.5m, 높이 1.2m)와 아크릴 파이프(내경 0.15m)를 연결하였고, 유량 조절을 위하여 고수탱크 내부에 사각위어를 설치하였다. 또한 압력수두측정을 위하여 아크릴 파이프 하단부에 0.5m간격으로 Piezometer를 설치하였으며, 직사각형 맨홀 입·출구 부위의 정확한 수두측정을 위하여 직사각형 맨홀 전후에는 0.3m간격으로 Piezometer를 설치하였다. 유입 및 유출 유속을 측정하기 위하여 직사각형 맨홀의 상·하류지점에서 각각 0.3m 떨어진 지점에 1차원 유속계를 설치하였다. 실험유량을 측정하기 위하여 폭 0.9m, 길이 0.8m, 높이 0.7m의 차집통을 제작하였으며, 차집통에 Piezometer를 설치하여 수위 변화를 쉽게 측정할 수 있도록 하였다. 전체적인 관로의 직경 및 직사각형 맨홀의 크기는 하수도 시설기준에 따른 각형1호 맨홀의 1/2 축소모형이며, 그림 2와 같이 (a)직사각형 맨홀은 내부 폭 0.45m×0.45m으로 제작하였고, (b)내부형상변화 맨홀은 내부 폭 0.45m×0.45m의 직사각형 맨홀 내부에 직경 0.15m인 원형 파이프를 1/4등분하여 직사각형 맨홀 내부 모서리에 부착하여 제작하였다. 이때, 맨홀 내부에 단차는 없으며, 실험유량은 16 l/sec이다.

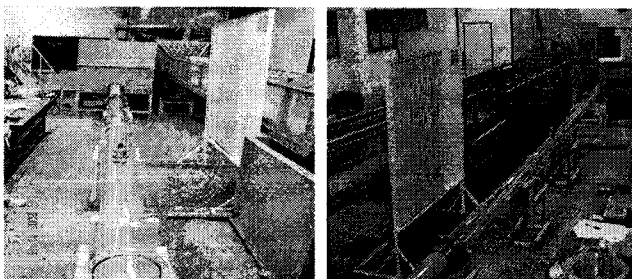


그림 1. 수리모형 전경

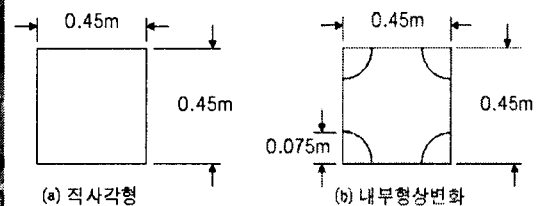
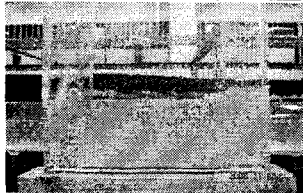
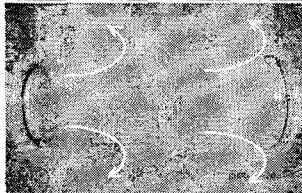
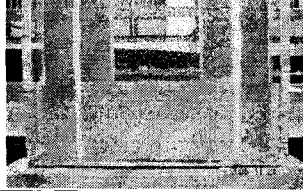
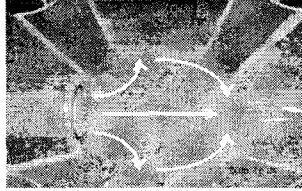


그림 2. 맨홀의 형상

4. 실험 결과

직사각형 맨홀의 내부 형상변화에 따른 흐름특성 변화 및 에너지 손실을 분석하기 위하여 전절의 수리모형을 이용하여 수리실험을 실시하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 (a)직사각형 맨홀에서는 유입부에서의 단면 급확대와 유출부에서의 단면 급축소로 인하여 (a)직사각형 맨홀 내부의 모서리 부분에 와류와 사수역이 크게 발생하는 것을 관찰 할 수 있으며, 화살표는 흐름의 방향을 나타내고 있다. 그러나 (b)내부형상을 변화시킨 맨홀 내부에서는 와류와 사수역이 현저히 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이러한 와류와 사수역의 발생은 에너지 손실을 크게 증가시켜 직사각형 맨홀내부의 통수능을 감소시키는 주요한 원인이 된다. 그러므로 직사각형 맨홀의 내부형상을 변화시키면 표 1과 같이 직사각형 맨홀의 손실계수를 감소시켜 통수능을 증대시킬 수 있다고 판단된다.

표 1. 흐름 형태

실험조건	측 면	평 면
(a) 직사각형 맨홀		
(b) 내부형상변화 맨홀		

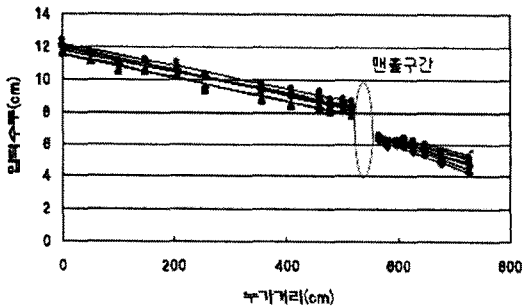


그림 3. (a)직사각형 맨홀 실험결과

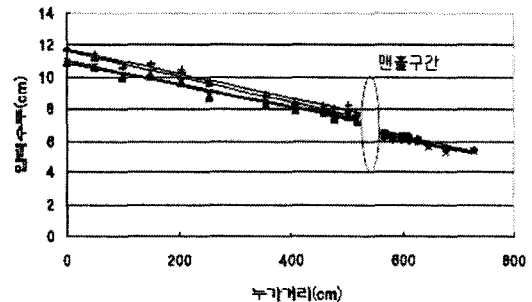


그림 4. (b)내부형상변화 맨홀 실험결과

그림 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 (a)직사각형 맨홀 실험을 실시한 결과 맨홀 내부의 손실계수는 0.33~0.48로 산정되었으며, (b)내부형상변화 맨홀 실험을 실시한 결과 맨홀 내부의 손실계수는 0.23~0.28로 산정되어, (a)직사각형 맨홀에서의 손실계수보다 (b)내부형상변화 맨홀에서의 손실계수 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 직사각형 맨홀내부의 형상변화로 인하여 내부의 와류현상이 감소하기 때문에 직사각형 맨홀의 통수능이 증가된 것으로 판단된다. 또한 (b)내부형상변화 맨홀 실험과 (a)직사각형 맨홀 실험을 비교하면, (b)내부형상변화 맨홀에서 관로 전체의 유속은 빠르고 압력수두는 낮게 측정되었는데 이는 내부형상변화로 인한 맨홀내부의 통수능 증가효과 때문이라 판단된다.

본 연구에서는 기본적인 직사각형 맨홀과 직경 0.15m인 원형 파이프를 1/4등분하여 직사각형 맨홀 내부 모서리에 부착한 내부형상변화 맨홀에 대한 에너지손실 산정 실험을 실시하였다. 위의 실험결과에서 알 수

있듯이, 직사각형 맨홀의 내부 에너지 손실은 내부형상에 따라 달라지기 때문에 추후 맨홀 내부의 다른 형상 및 크기변화에 대한 추가적인 실험이 요구되며, 추가적인 실험결과를 고려한 구체적인 직사각형 맨홀의 설계 기준제시 및 설계기법 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 우수배수 시스템의 효율적인 설계 및 설치방안을 제시하기 위하여 현재 국내의 설계실태를 조사하고 현장조사를 실시하여 보편적으로 많이 사용되는 형태를 선택하였고, 실험 장치의 제작과 효율적인 실험조건을 선정하기 위하여, 일반적으로 많이 사용되는 각형 1호 맨홀을 선택하였다.

직사각형 맨홀의 내부에서의 에너지손실을 측정하기 위하여 유량(16 l/sec), 직사각형 맨홀내부의 형태(a, b)를 변화시키면서 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 직사각형의 맨홀 내부 손실계수는 0.33~0.48로 산정되어 일반적으로 설계에 고려되는 손실계수 값인 1 보다는 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

2. 직사각형 맨홀의 내부형상을 변화 시켜 실험을 실시한 결과 손실계수 값이 0.23~0.28로 산정되어 일반적인 직사각형 맨홀의 손실보다 약 37.2%의 에너지 손실 감소효과를 나타내었다. 이는 시공상 인버트의 설치가 번거롭거나 어려운 지역에서 내부형상이 변화된 직사각형 맨홀을 설치하면 직사각형 맨홀의 통수능을 증가시킬 수 있다고 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 환경부 (2006). 하수도시설기준.
2. 최원석, 송호면 (2002). "하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구", 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp. 13-16.
3. Merlein, J. (2000). "Flow in Submerged Sewers with Manholes", Urban water, vol. 2, No. 3, pp. 251-255.
4. Johnston, A.J. and Volker, R.E. (1990). "Head Losses at Junction Boxes", Journal of hydraulic engineering, vol. 116, No. 3, pp. 326-341.
5. Lindvall, G. (1984). "Head Losses at Surcharged Manholes with a Main Pipe and a 90° Lateral", Proc. 3rd Int. Conf. Storm Drainage, pp.137-146.
6. Marsalek, J. (1984). "Head Losses at Sewer Junction Manholes", Journal of hydraulic engineering, vol. 110, No. 8, pp. 1150-1154.
7. Pederson, F.B. and Mark O. (1990). "Head Loss in Storm Sewer Manholes", Journal of hydraulic engineering, vol. 116, No. 11, pp. 1317-1328.
8. Sangster, W.M., Wood, H.W., Smerden, E.T. and Bossy, H.G. (1958). "Pressure Changes at Storm Drain Junctions", Engineering Experiment Station, Univ. of Missouri, Columbia, Bull. No. 41.
9. Arao, S. and Kusuda, T. (1988). "Manhole Profiles for Energy Loss Reduction", HydraStorm 1998, pp. 235-240.