

## 과부하 합류맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구

### An Experimental Study for Estimation of Head Loss Coefficients at Surcharged Combining Junction Manholes

김 정 수\* / 최 현 수\*\* / 윤 세 의\*\*\*

Kim, Jung Soo / Choi, Hyun Soo / Yoon, Sei Eui

#### Abstract

Energy loss at manholes, often exceeding friction loss of pipes under surcharged flow, is considered as one of the major causes of inundation in urban area. Therefore, it is necessary to analyze head losses at manholes, especially in case of surcharged flow. Hydraulic experimental apparatus which can change the manhole shape (square, circular) were installed for this study. In the experiments, two inflows ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) were varied from 0 to 4 l/sec and 15 combinations were tested in total. The flow ratios  $Q_2/Q_3$  were varied from 0 to 1 for a total flow  $Q_3$  ( $Q_3=Q_1 + Q_2$ ) of 2, 3, and 4 l/sec, respectively. The variation of head losses were strongly influenced by the lateral inflow because the head loss coefficient increases as the flow ratio  $Q_2/Q_3$  increases. There was no significant difference of head loss between square manhole and circular one, and also no large variation of head loss as discharges change. The relation equations between  $K$  and  $Q_2/Q_3$  were suggested in this paper.

**Keywords** : combining junction manhole, head loss coefficient, surcharged flow, urban sewer system

#### 요 지

도시 우수 배수 시스템에서 우수 관거는 개수로 흐름 상태로 가정하여 설계되었기 때문에 합류맨홀에서의 에너지 손실은 일반적으로 중요하게 고려되지 않았다. 그러나 과부하흐름에서 에너지 손실은 관거의 배수능력을 저하시켜 도심지역의 침수피해를 가중시키는 요인이 된다. 그러므로 과부하 합류맨홀 내에서의 수두 손실을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 합류맨홀에 대한 문헌조사 및 현장조사를 실시하여 실험장치를 제작하고 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건인 맨홀 형상 조건 (사각형, 원형), 유출유량 ( $Q_3$ )에 대한 측면유입유량 ( $Q_2$ )의 비 ( $Q_2/Q_3$ ) 및 실험 유량 (2.0, 3.0, 4.0 l/sec)을 변화시키면서 실험을 실시하였다.  $Q_2/Q_3$ 가 증가할수록 손실계수가 증가하므로 과부하 합류맨홀에서의 손실계수는 측면 유입관로의 유입유량의 영향을 크게 받는다고 판단된다. 맨홀의 형상변화 및 유량변화에 따른 손실계수는 거의 동일하게 산정되었다. 또한,  $Q_2/Q_3$ 와 손실계수의 관계식을 제시하였다.

**핵심용어** : 합류맨홀, 손실계수, 과부하흐름, 도시 우수 배수 시스템

\* 교신저자, 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정

Ph.D., Candidate, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 443-760, Korea (e-mail: hydroguy@naver.com)

\*\* 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 443-760, Korea (e-mail: rheoeh@nate.com)

\*\*\* 경기대학교 토목공학과 교수

Professor, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 443-760, Korea (e-mail: syoon@kyonggi.ac.kr)

## 1. 서 론

급속한 도시화의 영향으로 도시지역의 불투수 면적의 증가는 침투유량의 증가와 침투유량의 도달시간 감소 등으로 도시 지역의 침수면적과 침수피해를 증가시키는 요인이 되고 있으며, 도시 지역에서 해마다 반복되는 국지성 집중호우는 하천 연안이나 유출량이 급격히 증가하는 저지대와 하수관거의 불량 및 부족지역을 중심으로 상습적인 침수피해를 발생시키고 있다. 도시 지역에 내린 빗물은 우수 관거 시스템에 의하여 배수되므로 우수 관거 시스템의 우수 배제 능력 증가는 도심지의 침수를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 그러므로 우수 배제 능력을 증가시킬 수 있는 합리적이고 경제적인 우수 배수 시스템의 설계 및 시공은 매우 중요하다. 우수 배수시스템은 관거, 맨홀(manhole), 우수토실, 물받이(우수, 우수 및 집수받이) 및 연결관 등을 포함하는 시설들로 구성되어 있다. 여기서 맨홀은 우수 배수시스템의 유지와 관리를 위하여 일정거리마다 설치되고 있으며, 맨홀은 관거의 기점, 방향, 경사 및 관경 등이 변하는 곳, 단차가 발생하는 곳, 관거가 합류하는 곳에는 반드시 설치된다. 일반적으로 표준 맨홀은 중간맨홀과 합류맨홀로 나눌 수 있다. 중간맨홀은 1개의 유입관과 1개의 유출관이 일직선으로 연결된 것이고, 합류맨홀은 유입관 유출관의 개수가 다르거나 일직선으로 연결되지 않은 것을 말한다(환경부, 2005).

일반적으로 우수 배수시스템에서의 흐름은 중력의 지배를 받게 되므로 개수로 흐름과 같이 간주된다. 그러나 유입유량이 증가하여 관거가 만관되거나 하류부에서 흐름의 제한 등에 의해 역류의 영향을 받는다면 우수 배수 시스템의 맨홀은 과부하(surcharge) 상태의 압력흐름이 된다. 개수로 흐름 상태에서 맨홀의 에너지 손실은 일반적으로 무시되지만, 과부하 맨홀에서의 에너지 손실은 중요하며, 우수 배수시스템의 전체 에너지 손실의 중요한 부분을 차지하게 된다. 이러한 현상은 여러 개의 맨홀이 포함된 우수 배수시스템에서 특히 중요한 사항이 된다. 현재 계획 또는 설계 단계에서 수행되고 있는 관거 시설의 수리계산은 연결관 내에서의 마찰손실만을 감안하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 에너지 손실은 고려되지 않는 실정이다. 그러나 연결관 내부와 맨홀의 내부는 여러 가지 수리학적 조건이 다르므로 에너지 손실이 발생하게 된다(최원석과 송호면, 2002). 더욱이 직선으로 연결된 중간맨홀보다 합류맨홀은 연결 구조상 유수교란에 의한 에너지 손실이 커질 것으로 예상되에도 불구하고 현재 실무에서 우수 배수시설의 설계 시 직선 연결맨홀과 합류맨홀의 손실을 구별하지 않고 사용하고 있는 실정이다. 또

한 합류맨홀 설치에 관한 사항은 하수도시설기준(환경부, 2005)에 개략적인 표만 제시되어 있을 뿐, 구체적인 설치 기준이 제시되어 있지 않은 실정이다. 그러므로 합류맨홀에서 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.

국외에서 과부하 합류맨홀의 손실계수 산정에 관한 연구는 1950년대부터 꾸준히 진행되어 왔다. Sangster et al. (1959)은 맨홀 상·하류부에서 흐름의 연속성과 운동량 보존식으로 압력손실계수를 산정하는 식을 제안하고 실험을 통해 검증하였으며, 사각형과 원형맨홀에서 2개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 합류맨홀의 실험을 실시하였다. 사각형 맨홀은 맨홀 폭과 길이의 비가 1:2.5인 직사각형 맨홀에 유입관의 연결 관경비, 유입관 및 유출관의 접합부 위치 변화와 맨홀 내부에 벤칭을 설치하여 실험을 실시하였고, 원형맨홀에 대하여 관경비 변화 및 벤칭 설치에 따른 손실계수 산정 실험을 실시하였다. Lindval (1984)은 2개의 유입관과 한 개의 유출관으로 이루어진 합류맨홀의 과부하 상태에서 합류맨홀 내부 형상을 중간 벤칭과 전체 벤칭 형태의 두 가지로 구분하고 관거의 접합 형태를 직선유입과 90° 유입하는 방식과 직선 유입과 90° 유입은 하지만 맨홀 내부에 곡률을 가진 벤칭을 설치하였으며, 관경 변화, 유량변화, 유량비 변화를 주어 합류맨홀에서의 손실계수 산정에 대해 연구하였다. Johnston and Volker (1990)는 일반적인 중간맨홀에서의 손실계수 산정과 맨홀 내 벤칭 설치에 따른 손실저감 효과를 확인하였으며, 연결관경이 서로 다른 두 개의 유입관과 한 개의 유출관이 접합하는 과부하 합류맨홀에서 유입유량 변화에 따른 손실계수를 산정하고 실험식을 제시하였으며, 합류맨홀 내 deflector 설치에 따른 에너지 손실의 저감 효과를 제시하였다. Wang et al. (1998)은 3개의 유입관과 1개의 유출관이 접합하는 원형 합류 맨홀의 손실계수 산정에 대해 연구하였다. 맨홀 내부에 벤칭을 설치하였고 맨홀의 크기와 연결 관경의 크기를 변화시키면서 실험을 실시하여 3개 유입관의 유입유량 비에 따른 손실계수를 제시하였다. 또한 Zhao et al. (2006)은 2개의 유입관과 1개의 유출관으로 구성된 합류맨홀에 관한 연구를 실시하였다. 수리 실험에서는 관거가 경사를 가진 경우, 유입관은 만관상태이지만 유출관이 만관이 되지 않는 경우, 유입관과 유출관이 모두 만관인 세 가지 조건을 선정하였으며, 유입유량 및 유입관과 유출관을 변화시키면서 수리 실험을 실시하여 사각형 합류맨홀에서의 손실계수를 산정하고 합류맨홀에서의 손실계수 산정 실험식을 제시하였다.

Table 1. Experiment Researches of Head Loss Coefficient

Researcher	Experiment Condition				Head Loss Coefficient
	Manhole Shape	Manhole Size (b×b, D)(mm)	Pipe Diameter (D <sub>in</sub> =D <sub>out</sub> , mm)	Manhole Width Ratio (b/D)	
Sanster et al. (1959)	Square	152, 159, 178, 254	76, 95, 121, 145	1.05~2.53	0.2 < K < 2.3
Sanster et al. (1959)	Circular	175, 251	76, 95, 121, 145	1.05~2.53	0.3 < K < 2.1
Lindval (1984)	Square	144	85, 53, 55, 47, 40, 35	1.7, 2.1, 2.6, 3.1, 3.6, 4.1	0.08 < K < 1.18
Wang et al. (1998)	Circular	203	20, 76, 101	2.00, 2.67, 4.00	0.05 < K < 0.9
Zaho et al. (2006)	Rectangular	304 × 456	152	2.0	0.2 < K < 3.0
This Study	Square Circular	180	60	3.0	0.2 < K < 1.5

Table 1은 과부하 합류맨홀에 손실계수 산정에 관한 국외의 연구동향을 나타낸 것으로서 합류맨홀의 손실계수 산정에 관한 많은 실험적 연구가 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 최원석과 송호면 (2002)이 맨홀의 에너지 손실에 관한 국외 자료와 국내의 맨홀설계 기준에 대한 자료를 수집하여 맨홀에 대한 수리학적 특성에 대해 조사한 문헌 연구가 수행되었으며, 맨홀의 손실계수 산정에 관한 실험적 연구로는 최근에 윤세의 등 (2008a; 2008b; 2009)이 직선 연결 맨홀과 90° 접합 맨홀에 대하여 연구하였을 뿐, 합류 맨홀에 대한 실험적 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 우수 배수시스템의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 합류맨홀의 손실계수를 산정하기 위해 문헌 조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 과부하 합류맨홀에서 손실계수의 산정을 위하여 하수도시설기준 (환경부, 2005)의 사각형 맨홀은 특 1호 맨홀, 원형 맨홀은 표준 1호 맨홀을 선정하여 1/5 축소모형으로 맨홀을 제작하였다. 선정된 실험조

건에 따라 유입 유량을 변화시키며 수리실험을 실시하여 합류맨홀에서의 손실계수를 산정하였다.

## 2. 기본이론

두 개의 유입관과 한 개의 유출관에 접합하는 과부하 합류맨홀의 손실계수를 산정하기 위하여 Zhao et al. (2006)은 Fig. 1의 맨홀 입구부와 출구부에 Eq. (1)과 같은 에너지 방정식을 적용하였다.

$$\rho g(Q_1 H_1 + Q_2 H_2 - Q_3 H_3) = \rho g Q_3 H_L \quad (1)$$

여기서  $H_L$ 은 맨홀 입구부와 출구부에서의 총 에너지 수두 차,  $Q_i$ 는 각 관거의 유량,  $H_i$ 는 각 지점의 총에너지 수두로 Eq. (2)와 같다. 여기서 첨자  $i$ 는 각 관거를 나타내며, 각 유입관에 대한 손실계수는 Eq. (3)과 같이 나타낸다.

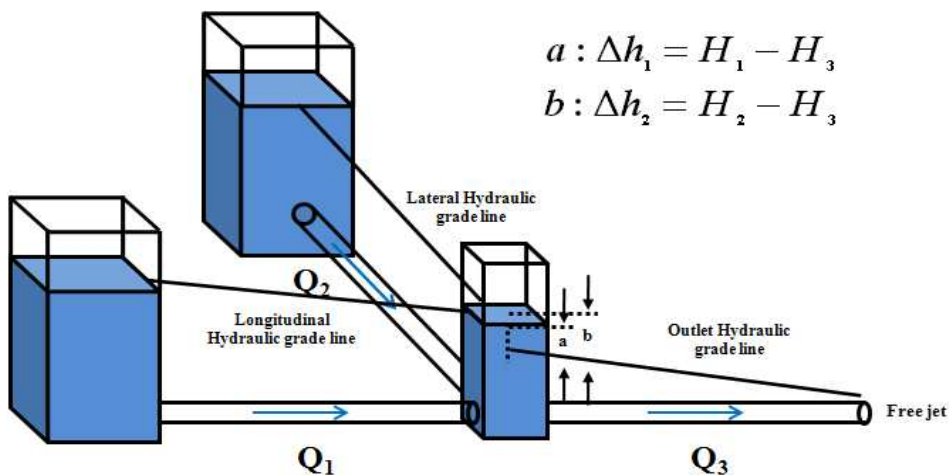


Fig. 1. Head Loss at Combining Junction Manhole

$$H_i = \frac{V_i^2}{2g} + \frac{p_i}{\rho g} + z_i \quad (2)$$

$$K_{13} = \frac{H_1 - H_3}{V_3^2/2g}; \quad K_{23} = \frac{H_2 - H_3}{V_3^2/2g}; \quad K = \frac{H_L}{V_3^2/2g} \quad (3)$$

여기서  $K_{13}$ 는 직선 유입관과 유출관에서의 손실계수,  $K_{23}$ 는 측면 유입관과 유출관에서의 손실계수이며,  $K$ 는 과부하 합류맨홀에서의 총 손실계수이다. 연속방정식과 Eqs. (1)~(3)의 관계를 이용하여 과부하합류맨홀에서 발행하는 총 손실계수  $K$ 를 Eq. (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$K = \frac{Q_1}{Q_3} K_{13} + \frac{Q_2}{Q_3} K_{23} \quad (4)$$

### 3. 수리실험

#### 3.1 수리실험 장치

본 연구에서는 관거의 방향이 변하는 곳, 단차부의 접합, 관거가 합류하는 부분에 설치되는 합류맨홀에서의 손실수두 측정을 위한 실험조건을 선정하기 위하여 현장조사 및 문헌조사를 실시하였으며, 그 결과를 이용하여 Fig. 2와 같은 실험 장치를 제작하였다. 수리모형의 총 길이는 약 20m이며, 고수조, 정류용 수조(A, B), 아크릴관로, 아크릴 맨홀, 차집통 및 액주계로 구성되어 있다. 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(2005) 상의 특 1호 맨홀(0.9×0.9 m)과 표준 1호 맨홀(내경 0.9m)의 기성품과 직경 0.3m의 유입 및 유출관을 1/5로 축소하여 제작하였고, 관내의 흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 유입관로 및 유출관로의 길이를 각각 650 cm와 400 cm로 제작하였다(Fig. 3).

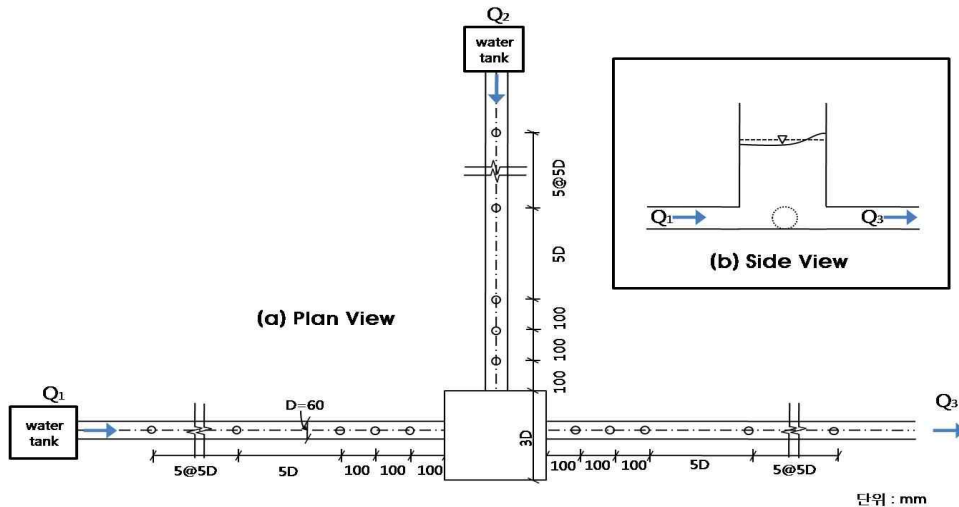


Fig. 2. Experimental System

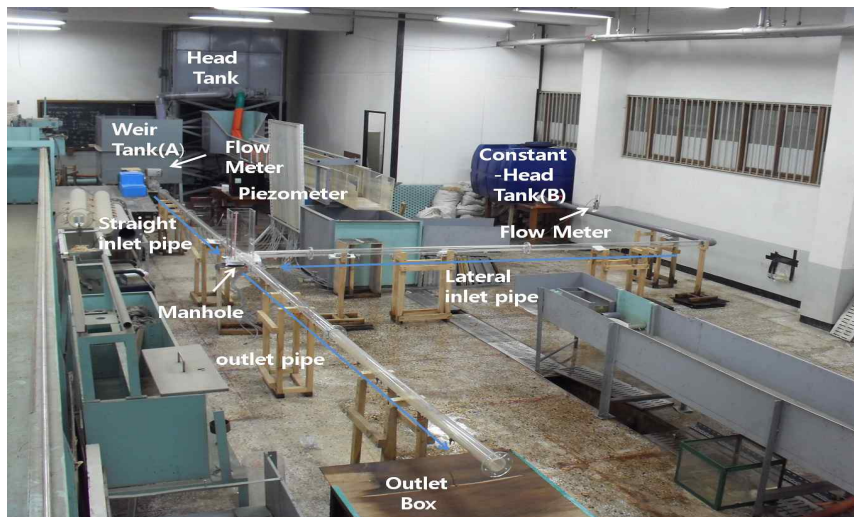


Fig. 3. View of Experimental Apparatus

### 3.2 수리실험 조건

관거 내의 압력수두의 변화를 측정하기 위하여 각각의 아크릴관로 하단부에 피에조미터를 30 cm 간격으로 설치하였으며, 맨홀 전·후에서의 압력수두의 변화양상을 좀 더 면밀히 살펴보기 위하여 10 cm 간격으로 설치하였다. 또한, 유입유량을 측정하기 위하여 직선 유입관과 측면 유입관에 유량계(WTM-1000, 310-SS)를 각각 설치하여 유량을 측정하였으며, 유출관의 끝부분에는 폭 90 cm, 길이 80 cm, 높이 70 cm의 차집통을 설치하여 유량을 검정하였다. 실험 유량을 일정하게 공급하기 위하여 지하저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 관내의 흐름을 정류로 유지하기 위하여 정류수조 A(폭 120 cm, 길이 150 cm, 높이 120 cm)와 정류수조 B(폭 120 cm, 길이 100 cm, 높이 100 cm)를 설치하였다. 유입 및 유출 관로의 연결부는 관정 접합으로 연결하였으며, 유량의 변화에 따른 손실계수의 변화를 산정하기 위하여 실험 유량은 2 ~ 4 l/s로 변화시켰다. 실험 유량의 선정 기준은 하수도시설기준(2005)에 제시된 우수관거에서의 이상 유속(1.0 m/s)일 때의 유량을 최소유량으로 선정하고, 맨홀의 상판 높이인 1.0 m를 월류하지 않는 유량을 최대유량으로 선정하였으며, 선정된 유량에 Froude 상사법칙을 적용하여 1/5 축소 수리 모형에서의 최소유량과 최대유량으로 계산하였다(Table 2).

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 사각형 합류맨홀에서의 손실계수 산정

유입유량의 변화에 따른 과부하 사각형 합류맨홀 내부의 손실계수를 산정하기 위하여 3.1절의 수리모형을 이용하여 수리 실험을 실시하였다. Fig. 4는 유량변화에 따른 과부하 사각형 맨홀의 압력수두손실을 산정하기 위하여 실험수로의 직선유입관과 유출관에서의 압력수두변화를 측정한 결과이다. Fig. 4와 같이 실험 유량이 3 l/s인 경우 압력수두 값은 유량이 증가함에 따라 전반적으로 크게 측정되고 있었으며, 실험유량 2 l/s와 4 l/s의 경우와 비교하면 맨홀구간에서의 수두손실( $\Delta h$ )의 크기는 거의 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 사각형 합류맨홀에서 발생하는 수두손실은 유입유량의 변화에 거의 영

향을 받지 않는 것이라 판단된다. 또한, 측면유입관과 유출관에서 측정된 압력수두 값의 변화는 직선유입관과 유출관에서의 측정된 결과인 Fig. 4와 동일하게 나타나고 있었다. Fig. 5는 측면유입유량과 유출유량 비의 변화에 따른 맨홀에서의 수심변화를 나타내고 있다. Fig. 5와 같이 측면유입유량의 증가에 따라 맨홀 내 수심이 증가함을 알 수 있다. 이는 동일크기 두 개의 유입관과 유출관이 접합되는 사각형 합류맨홀에서의 배수능력은 측면유입관의 유입유량 증가에 따라 감소된다. 측정된 손실수두 값과 유입유량 및 유출유량으로부터 계산된 관 평균유속은 Eqs. (3) and (4)에 적용하여 유출관의 유출유량( $Q_3$ )과 측면유입유량( $Q_2$ )의 비( $Q_2/Q_3$ )의 변화에 따른 손실계수를 산정하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6은  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따른 사각형 합류맨홀에서의 손실계수 변화추이를 나타내고 있다. Fig. 6과 같이  $Q_2/Q_3$ 가 증가함에 따라 직선유입관로의 손실계수( $K_{13}$ )의 변화는 미미하였고, 측면유입관로의 손실계수( $K_{23}$ )는  $Q_2/Q_3$ 가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 또한 합류맨홀의 손실계수( $K$ )는  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이상이 되면 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이하일 경우에는 직선유입관로의 영향을 받다가  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이상이 되면 측면 유입관로의 영향을 받아 손실계수가 크게 증가하는 것이라 판단된다. 따라서 합류맨홀에서의 손실계수는 측면 유입관로 유입유량의 영향을 크게 받는다고 판단된다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 유입유량변화에 따른 과부하 사각형 맨홀에서의 손실계수는 거의 동일하게 산정됨을

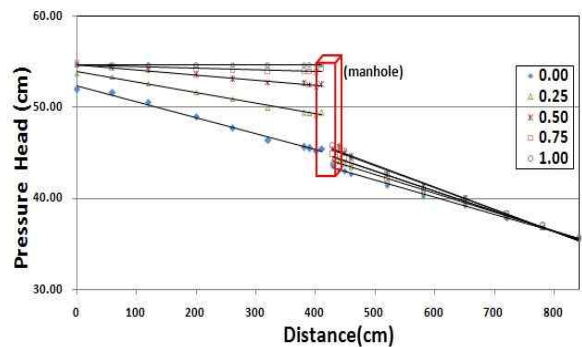


Fig. 4. Pressure Head at Straight Inflow Pipe and Outlet Pipe at Square Manhole (3 l/s)

Table 2. Experimental Conditions

Manhole Shape	Manhole Size (mm)	Pipe Diameter (mm)	Up/Downstream Length (cm)	Discharge (l/sec)	Flow ratio $Q_2/Q_3$	Flow
Square	180 × 180	60	650/400	2, 3, 4	0.00, 0.25	Steady
Circular	180				0.50, 0.75, 1.00	



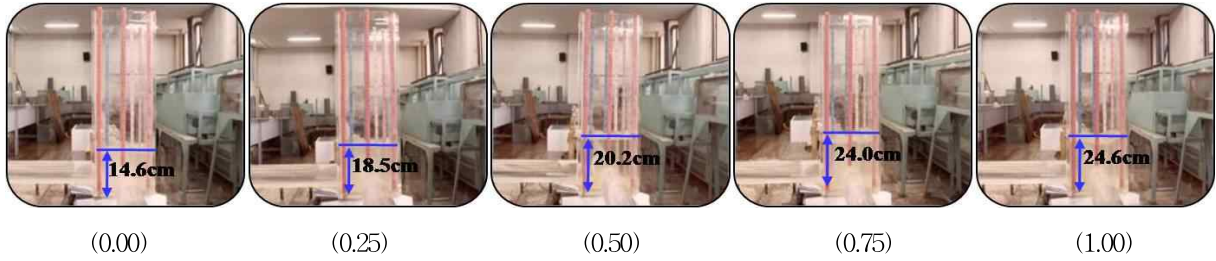


Fig. 5. Water Depth at Square Manhole with  $Q_2/Q_3$  (3 l/s)

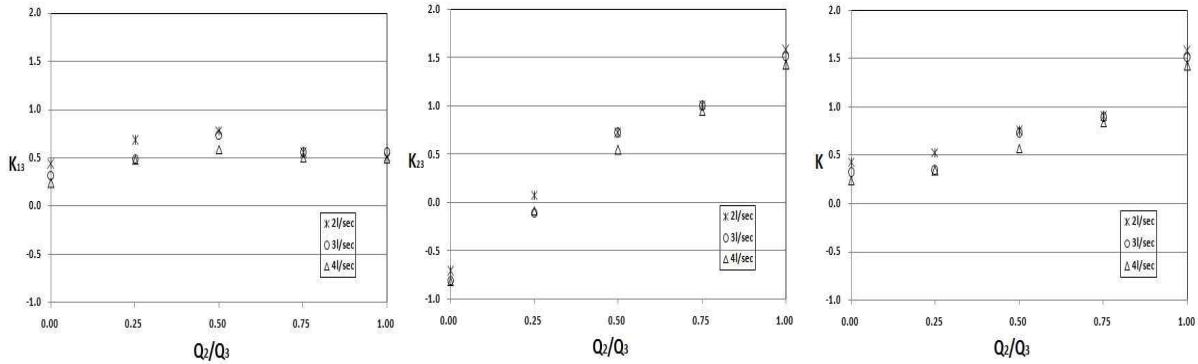


Fig. 6. Head Loss Coefficient at Square Manhole with  $Q_2/Q_3$  and Inlet Discharge

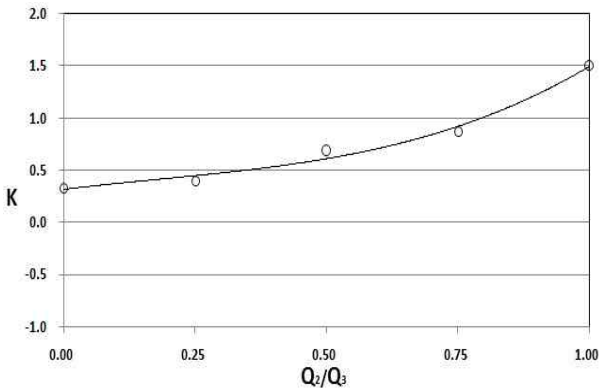


Fig. 7. Relationship between Head Loss Coefficient (K) and  $Q_2/Q_3$  (Square Manhole)

알 수 있다. 따라서  $Q_2/Q_3$ 에 따른 평균손실계수의 관계를 Fig. 7에 나타내었으며, Fig. 7의 관계를 이용하여 과부하 사각형 합류맨홀에서의 손실계수 산정 실험식을 Eq. (5)와 같이 제시하였다.

$$K = 1.244(Q_2/Q_3)^3 - 0.685(Q_2/Q_3)^2 + 0.621(Q_2/Q_3) + 0.318 \quad (5)$$

사각형 합류맨홀에서의 손실계수는  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따라 0.4~1.5로 산정되었다. 직선연결 사각형 맨홀의 손실계수가 평균 0.5, 90° 접합 사각형맨홀의 손실계수는 약 1.6~1.7로 제시한 윤세의 등 (2008a; 2008b; 2009)의 연구

결과와 비교하여 보면, 과부하 합류맨홀에서 산정된 손실계수는 직선연결 맨홀에서 산정된 손실계수보다 크고, 90° 접합 맨홀에서 산정된 손실계수보다 약간 작게 나타났다. 이는  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따라 직선연결 맨홀과 90° 접합 맨홀에서 발생하는 수두손실의 특성이 합류맨홀에서 동시에 나타나기 때문이라 판단된다.

#### 4.2 원형 합류맨홀에서의 손실계수 산정

사각형 합류맨홀의 손실계수 산정에서와 마찬가지로 유입유량의 변화에 따른 과부하 원형맨홀의 손실계수를 산정하기 위하여 3.1절의 수리모형에서 사각형 맨홀을 원형 맨홀로 교체하여 수리실험을 실시하였다. 사각형 맨홀의 결과에서 유입유량에 따른 손실계수의 변화 ( $K_{13}$ )가 미미하였으므로, 유출유량 ( $Q_3$ )에 대한 측면유입유량 ( $Q_2$ )의 비 ( $Q_2/Q_3$ )가 0.5인 경우의 조건을 채택하여 2, 3, 4 l/s의 유량변화에 따른 손실계수를 산정하여 비교하였다. Fig. 10과 같이 손실계수가 거의 동일하게 산정되었으므로, 원형맨홀의 경우에는 유량조건을 3 l/s로 고정하고,  $Q_2/Q_3$ 의 변화조건에 대해서만 실험을 실시하였다. Fig. 8은 유출유량 3 l/s인 과부하 원형맨홀의 압력수두손실을 산정하기 위하여 실험수로의 직선유입관과 유출관에서의 압력수두 변화를 측정된 결과이다. Fig. 9는  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따른 맨홀에서의 수심변화를 나타내고 있다. Fig. 8과 같이 측면유입유량 증가에 따라 맨홀의 수심이 증가하는

경향은 사각형 맨홀에서의 결과와 동일하게 나타났으나 사각형 맨홀의 수심보다 약 16% 정도 작게 측정되어 사각형 맨홀보다 원형맨홀의 배수능력이 약간 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 사각형 맨홀의 모서리 부분에서 발생하는 흐름의 와 현상이 맨홀에서의 배수능력을 감소시키는 것이라 판단된다. 측정된 손실수두 값과 유입유량 및 유출유량으로부터 계산된 관 평균유속을 Eqs. (3) and (4)에 적용하여 유량 3 l/s의  $Q_2/Q_3$  변화에 따른 손실계수를 산정하여 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10은 유출유량 ( $Q_3$ )에 대한 측면유입유량 ( $Q_2$ )의 비 ( $Q_2/Q_3$ )에 따른 원형 합류 맨홀에서의 손실계수 변화 추이를 나타내고 있다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 산정된 직선유입관로의 손실계수 ( $K_{13}$ ), 측면유입관로 손실계수

( $K_{23}$ ) 및 합류맨홀에서의 손실계수 ( $K$ )의 변화 경향은 사각형 맨홀과 거의 유사하게 나타났으나, 손실계수 값이 0.1~0.4 정도 작게 산정되었다. 이는 사각형과 원형 합류 맨홀의 맨홀 내 수심변화에서와 마찬가지로 사각형 맨홀의 모서리 부분에서 발생하는 흐름의 와 현상에 따른 맨홀에서의 손실이 약간 크게 발생하는 것이라 판단된다. 또한 측면유입유량과 유출유량의 비에 따른 손실계수의 관계를 Fig. 11에 나타내었으며, Fig. 11의 관계를 이용하여 과부하 원형합류맨홀에서의 손실계수 산정 경험식을 Eq. (6)과 같이 나타내었다.

$$K = 0.480(Q_2/Q_3)^3 - 1.165(Q_2/Q_3)^2 + 0.375(Q_2/Q_3) + 0.154 \quad (6)$$

### 4.3 비교 및 고찰

우수 배수 시스템에서 맨홀의 합리적인 설계 및 설치방안을 위한 과부하 합류맨홀의 손실계수를 제시하기 위하여 원형 및 사각형 맨홀의 유입 유량 변화에 따라 산정된 손실계수의 변화를 비교하여 Fig. 12에 나타내었다.

Fig. 12와 같이  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따른 사각형 합류맨홀에서의 손실계수가 전반적으로 0.1~0.4 정도 크게 산정되었다. 특히,  $Q_2/Q_3$ 가 0.5인 경우의 차이는 0.4로 다른 경우보다 크게 나타났다. 이는 동일유량이 유입되는 경우 사각형맨홀에서 발생하는 흐름의 와 현상에 따른 손실이 더 커지는 것이라 판단된다. 그러나  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 따른 손실계수의 변화는 거의 유사한 형태로 나타났으므로, 과부하 합류 맨홀에서의 손실계수는 맨홀의 형태에 따른 영

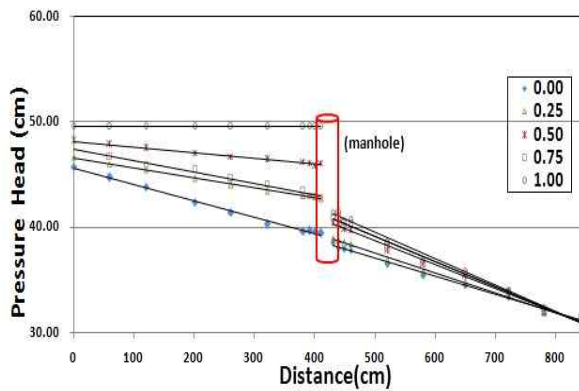


Fig. 8. Pressure Head at Straight Inflow Pipe and Outlet Pipe at Circular Manhole (3 l/s)



Fig. 9. Water Depth at Circular Manhole with  $Q_2/Q_3$  (3 l/s)

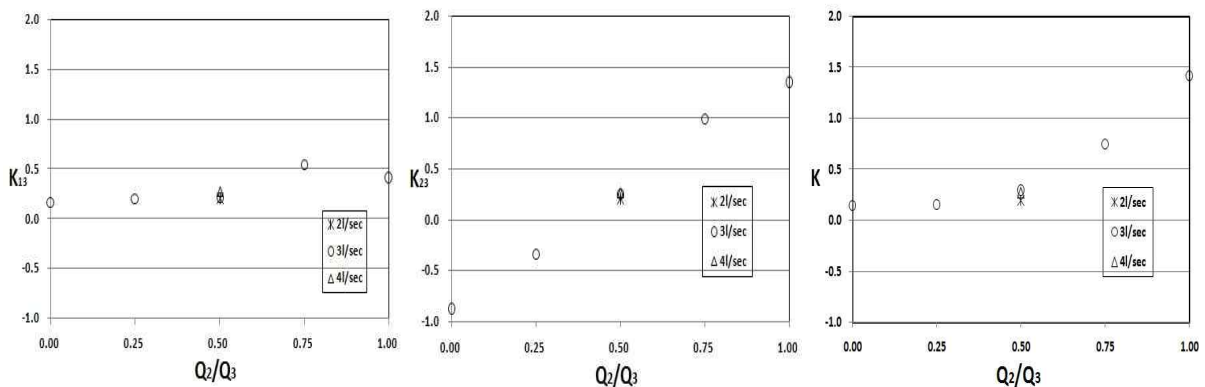


Fig. 10. Head Loss Coefficient at Circular Manhole with  $Q_2/Q_3$  and Inlet Discharge

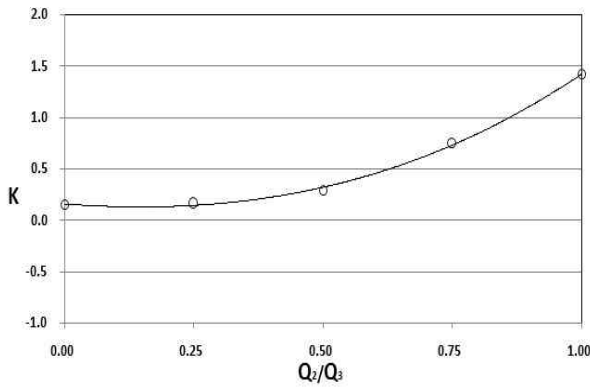


Fig. 11. Relationship between Head Loss Coefficient (K) and  $Q_2/Q_3$  (Circular Manhole)

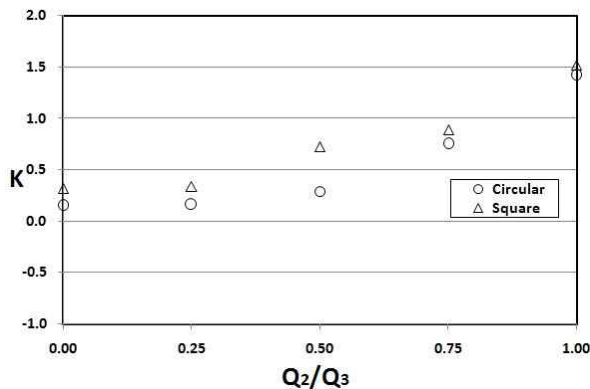


Fig. 12. Comparison the Head Loss Coefficients of Square with Circular Manhole (3 l/s)

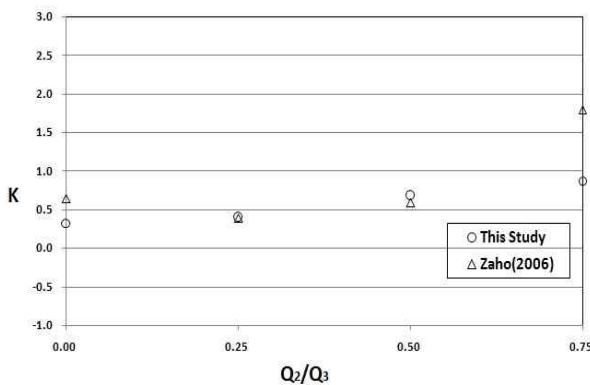


Fig. 13. Comparison the Head Loss Coefficients of This Study with Zaho (2006)

항보다는  $Q_2/Q_3$ 의 변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

Fig. 13은 본 연구의 과부하 사각형 합류맨홀에서 산정된 손실계수와 수리실험 조건이 비교적 유사한 Zaho et al. (2006)의 연구결과를  $Q_2/Q_3$ 의 관계로 비교하여 나타낸 결과이다. Fig. 13에서  $Q_2/Q_3$ 의 증가에 따른 손실계수가 증가하는 본 연구의 실험결과가 Zaho et al. (2006)의 연구결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수

있으나,  $Q_2/Q_3$ 의 비가 0.5 이상이 되면서 손실계수가 2배 정도 차이를 보였다. 이는 Zaho et al. (2006)의 실험에서는 본 연구의 실험조건과 달리 단차조건 및 맨홀 크기 조건 등의 차이에 따라 손실이 급격히 증가한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 우수 배수 시스템의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 과부하 합류맨홀의 손실계수를 산정하고 에너지 손실의 저감방안을 제시하기 위하여 문헌 조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 과부하 합류맨홀에서의 손실계수의 산정을 위하여 하수도시설기준 (환경부, 2005)의 사각형 맨홀은 특 1호 맨홀, 원형 맨홀은 표준 1호 맨홀을 선정하여 1/5 축소모형으로 맨홀을 제작하였다. 선정된 실험조건에 따라 유입 유량을 변화시키며 수리실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유출유량( $Q_3$ )에 대한 측면유입유량( $Q_2$ )의 비( $Q_2/Q_3$ )의 변화에 따른 과부하 합류맨홀의 손실계수는 0.4~1.5로 산정되었으며,  $Q_2/Q_3$ 가 증가함에 따라 직선유입관로의 손실계수( $K_{13}$ )의 변화는 미미하였으나, 측면유입관로의 손실계수( $K_{23}$ )는  $Q_2/Q_3$ 가 증가함에 따라 크게 증가하였다.
2. 과부하 합류맨홀의 손실계수(K)는  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이상이 되면 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이하일 경우에는 직선유입관로의 영향을 받다가  $Q_2/Q_3$ 가 0.5 이상이 되면 측면 유입관로의 영향을 받아 손실계수가 크게 증가하는 것이라 판단된다.
3. 과부하 합류맨홀의 형상과 유입유량의 변화에 따라 합류맨홀에서의 손실계수(K)는 거의 동일한 값을 나타내고 있으므로, 과부하 합류맨홀에서 발생하는 수두손실은 맨홀의 형태와 유입유량의 변화에 영향을 받지 않는다고 판단된다.
4. 유출유량( $Q_3$ )에 대한 측면유입유량( $Q_2$ )의 비( $Q_2/Q_3$ ) 변화에 따른 과부하 합류맨홀에서의 손실계수 산정 실험식을 Eqs. (5) and (6)과 같이 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업 (08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.



## 참 고 문 헌

윤세의, 김정수, 송주일 (2008a). “과부하 원형맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제3호, pp. 305-314.

윤세의, 김정수, 송주일 (2008b). “과부하 사각형 맨홀의 배수능력 증대에 관한 실험적 연구.” **대한상하수도학회지**, 대한상하수도학회, 제22권, 제6호, pp. 619-625.

윤세의, 김정수, 송주일 (2009). “과부하 90° 접합맨홀의 배수능력 증대에 관한 실험적 연구.” **대한상하수도학회지**, 대한상하수도학회, 제23권, 제4호, pp. 447-458.

최원석, 송호면 (2002) “하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구.” **대한상하수도학회·한국물 환경학회 공동 추계학술발표회논문집**, 대한상하수도학회, pp. 13-16.

환경부 (2005). **하수도시설기준**.

Johnston, A.J., and Volker, R.E. (1990). “Head loss at junction boxes.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 116, No. 3, pp. 326-341.

Lindval, G. (1984). “Head loss at surcharged manholes

with a main pipe and a 90° lateral.” *Proceeding of 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, pp. 137-146.

Sangster, W.M., Wood, H.W., Smerden, E.T., and Bossy, H.G. (1959). “Pressure changes at open junction in conduits.”, *Bulletin No. 41*, Engineering Experiment Station, Univ. of Missouri, Columbia.

Wang, K.H., Cleveland, T.G., Towsley, C., and Umrigar, D. (1998). “Head loss at manholes in surcharged sewer systems.” *Journal of the American Water Resource Association*, AWRA, Vol. 34, No. 6, pp. 1391-1400.

Zhao, C.H., Zhu, D.Z., and Rajaratnam, N. (2006). “Experimental Study of Surcharged Flow at Combining Sewer Junction.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 132, No. 12, pp. 1259-1271.

논문번호: 10-005	접수: 2010.01.12
수정일자: 2010.03.19/04.02	심사완료: 2010.04.02