韓 國 水 資 源 學 會 論 文 集
第41卷 第3號 · 2008年 3月
pp. 305~314

DOI: 10.3741/JKWRA.2008.41.3.305

과부하 원형맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구

An Experimental Study for Estimation of Head Loss Coefficients at Surcharged Circular Manhole

김 정 수* / 송 주 일** / 장 석 진*** / 윤 세 의****

Kim, Jung Soo / Song, Ju Il / Jang, Suk Jin / 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 which can be changed the invert type(CASE A, B, C) and step height(CASE Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ) was installed for this study. The range of the experimental discharges were from 1.0 ℓ/sec to 5.6 ℓ/sec. As the manhole diameter ratio(D_m/D_{in}) increases, head loss coefficient increases due to strong horizontal swirl motion. 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 1.0 to 1.5. The average head loss coefficients for CASE A, B, and C were 0.45, 0.37, and 0.30, respectively. Accordingly, U-invert is most effective for energy loss reduction at circular manhole. This head loss coefficients could be available to design the urban sewer system with surcharge flow.

keywords : head loss coefficient, surcharge flow, circular manhole, urban sewer system

요 지

도시 우수 배수 시스템에서 우수 관거는 개수로 흐름 상태로 가정하여 설계되었기 때문에 맨홀에서의 에너지 손실은 일반적으로 중요하게 고려되지 않았다. 그러나 과부하흐름에서 에너지 손실은 관거의 배수능력을 저하시켜 도심지역의 침수피해를 가중시키는 요인이 된다. 그러므로 과부하 맨홀 내에서의 수두 손실을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 맨홀에 대한 문헌조사 및 현장조사를 실시하여 실험장치 제작과 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건인 인버트 형상 조건(CASE A, B, C), 단차 조건(CASE Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ) 및 실험 유량(1.0 ~ 5.6 ℓ/sec)을 변화시키면서 실험을 실시하였다. 맨홀 직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 비(D_m/D_{in})가 증가할수록 손실계수가 증가하였으며, 맨홀 수심(h_m)과 유

* 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 박사과정
Ph.D candidate, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon, 443-760, Korea
(e-mail: juilsong@kyonggi.ac.kr)
*** 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정
Graduate Student, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon, 443-760, Korea
(e-mail: forget1771@hanmail.net)
**** 경기대학교 토목·환경공학부 교수
Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Kyonggi Univ., Suwon, 443-760, Korea
(e-mail: syyoon@kyonggi.ac.kr)

입관거 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})가 1.0~1.5일 때 손실계수가 가장 크게 산정되었다. 또한, CASE A, B, C의 평균 손실계수는 각각 0.45, 0.37, 0.3으로 산정되었다. 맨홀에 U자형 인버트를 설치하면, 원형 맨홀에서 에너지 손실을 저감시킬 수 있다. 또한 산정된 맨홀에서의 손실계수는 과부하흐름을 고려한 우수 관거 설계에 활용될 수 있다고 판단된다.

핵심용어 : 수두손실계수, 과부하흐름, 원형맨홀, 도시 우수 배수 시스템

1. 서 론

도시지역에 내린 빗물은 우수 관거 시스템에 의하여 배수되므로 우수 관거 시스템의 우수 배제 능력 증가는 도심지의 침수를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 우수관거 시설은 관거, 맨홀(manhole), 우수토실, 물받이(오수, 우수 및 집수받이) 및 연결관 등을 포함하는 시설들로 구성되어 있다. 우수관거 시스템의 유지와 관리를 위하여 일정거리마다 맨홀을 설치하고 있다. 또한, 맨홀은 관거의 기점, 방향, 경사 및 관경 등이 변하는 곳, 단차가 발생하는 곳, 관거가 합류하는 곳이나 관거의 유지 관리상 필요한 장소에 설치된다. 그러나 연결관과 맨홀의 내부는 여러 가지 수리학적 조건이 서로 다르므로 수두손실의 발생이 필연적일 수밖에 없다.

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 접합부와 하수 유입부 및 다른 부속물에 의해서 발생되는 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(최원석과 송호면, 2002).

국외에서 맨홀 내부의 손실계수 산정에 관한 연구는 1950년대부터 꾸준히 진행되어 왔다. Sangster *et al.* (1958)은 맨홀 입·출구부에서의 흐름의 연속식과 운동량 보존식으로 압력손실계수를 산정하는 식을 제안하고 실험을 통해 검증하고, 직선관로에 설치된 사각형 및 원형 맨홀에서 맨홀 지름과 하류관경의 비(맨홀지름/하류관경)를 변화시키며 실험을 실시하여 맨홀에서의 에너지 손실계수를 산정하였으며, Archer *et al.* (1978)은 동일한 관경의 직선관로에 직사각형 및 원형 맨홀에 대하여 관로경사(i)를 0.002~0.01로 변화시키면서 실험을 실시하여 맨홀에서의 손실계수를 제시하였다. Howarth and Saul (1984)과 Lindvall (1984)은 직선관로에 설치된 원형 맨홀 내부의 손실을 지배하는 인자로 유량과 더불어 맨홀 지름과 하류관 지름의 비(맨홀지름/하류관지름)로 가정하여 맨홀의 직경을 고정하고 연결 관로의 관경을 변화시키며 수리실험을 실시하여 손실계수를 제시하였다. Marsalek (1984)은 직선관으로 연결된 정사각형 및 원형 맨홀의 기본형태와 반원형 인버트 및 U형 인버트를 설치한 형태에 대하여 실험을 실시하여 사각형 맨홀과 원형 맨홀에서의 손실계수를 제시하였다. Bo Perdersen and Mark (1990)은 직선관로에 원형 맨홀을 설치하고 맨홀 지름과 하류관 지름의 비를 변화시키면서 수리 실험을 실시하여 원형 맨홀에서의 에너지 손실계수를 제시하였다. Shinji and Tetsuya (1998)은 하류부 침수시 원형맨홀에 대한 단차 및 인버트 형상변화 실험을 실시하여 맨홀의 손실계수를 맨홀의 수심에 따라 정리하여 제시하였다. Merlein (2000)은 직선관로로 연결된 3개의 원형 맨홀 내부에 U형 인버트를 설치하고 인버트 상부에 cover plate(천공판)를 설치한 실험을 통하여 과부하 상태에서 유입유량 변화에 따른 원형 맨홀의 손실계수를 산정하였다. Hager (2005)는 맨홀에서의 직선 연결흐름, 만곡 연결흐름, 접합흐름에 대한 수리 실험을 실시하여 맨홀 내 사류흐름의 특성에 대하여 연구하였으며, FHWA (2007)에서는 맨홀의

Table 1. Experiment Researches of Head Loss Coefficient

Researcher	Experiment Condition			Head Loss Coefficient
	Manhole Diameter (D_m, mm)	Pipe Diameter (D_{in}=D_{out} mm)	Manhole Diameter Ratio (D_m/D_{in})	
Sangster *et al* (1958)	-	76, 95, 121, 145	-	0.0 < K < 0.3
Archer *et al* (1978)	-	102	-	0.07 < K < 0.19
Lindvall (1984)	245, 302, 374 446, 518, 590	144	1.7, 2.1, 2.6 3.1, 3.6, 4.1	0.08 < K < 0.88
Howarth and Saul (1984)	145, 230, 350	88	1.67, 2.61, 3.98	0.0 < K < 0.5
Marsalek (1984)	203, 293	152	1.33, 1.92	K = 0.16, 0.21
Bo Pedersen and Mark (1990)	110, 190 288, 445	90	1.22, 2.11 3.20, 4.94	0.34 < K < 0.86
Shiniji and Tetsuya (1998)	90	50	1.8	0.05 < K < 0.3
Merlein (2000)	1000	242	4.13	K = 0.25

plunging flow에서의 에너지 손실을 계산할 수 있는 간략식을 제안하고, 수리실험 결과와 비교하였다. Table 1은 맨홀의 손실계수 산정에 관한 국외의 연구동향을 나타낸 것으로서 맨홀의 손실계수 산정에 관한 많은 실험적 연구가 진행되고 있지만, 국내에서 이에 관한 실험적 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 우수 관거의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 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 하수도시설기준(환경부, 2005)의 원형 1호 맨홀을 1/5로 축소하여 제작하였다. 또한, 원형 맨홀에 인버트가 설치되지 않은 조건(CASE A)과 반원형 인버트(CASE B), U형 인버트(CASE C)가 설치된 조건인 인버트 형상변화 조건과 유입관거와 맨홀 저부의 차이인 단차가 없는 조건(CASE Ⅰ)과 단차 1 cm (CASE Ⅱ), 2 cm (CASE Ⅲ)로 연결된 조건을 각각 선정하였다. 또한, 유입유량의 증감에 따라서 맨홀 수심(h_m)과 연결 관거 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})를 1.0~6.0으로 변화시키면서 수리실험을 실시하여 원형 맨홀 내부의 흐름 변화를 분석하고, 인버트 형상 및 단차 변화에 따른 손실계수를 측정, 분석하였다.

2. 손실계수 산정 이론

원형 맨홀에서의 손실계수를 산정하기 위하여 Sangster *et al.* (1958)은 맨홀 입·출구부에서의 흐름의 연속방정식과 운동량 방정식으로부터 손실수두계수를 산정하는 Eq. (1)을 제안하였으며, 이 식은 이후 Marsalek (1984), Bo Pederson and Mark (1990), Shinji and Tetsuya (1998) 등에 의하여 맨홀 내부의 손실계수 산정에 사용되었다.

$$\triangle h = K \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

여기서, △h는 맨홀 입·출구부의 수두차, K는 맨홀내부의 손실계수, V는 관거 평균유속이다(Fig. 1).

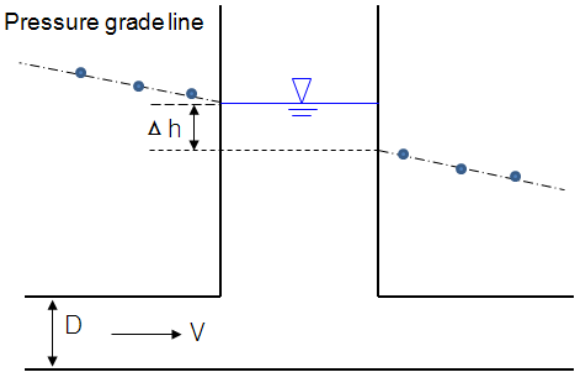


Fig. 1. Head Loss at Manhole

3. 수리실험

3.1 수리실험 장치

이 연구에서는 우수 관거의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 원형 맨홀의 손실계수 산정 및 흐름특성을 분석하기 위하여 Fig. 2와 같이 수리실험 장치를 제

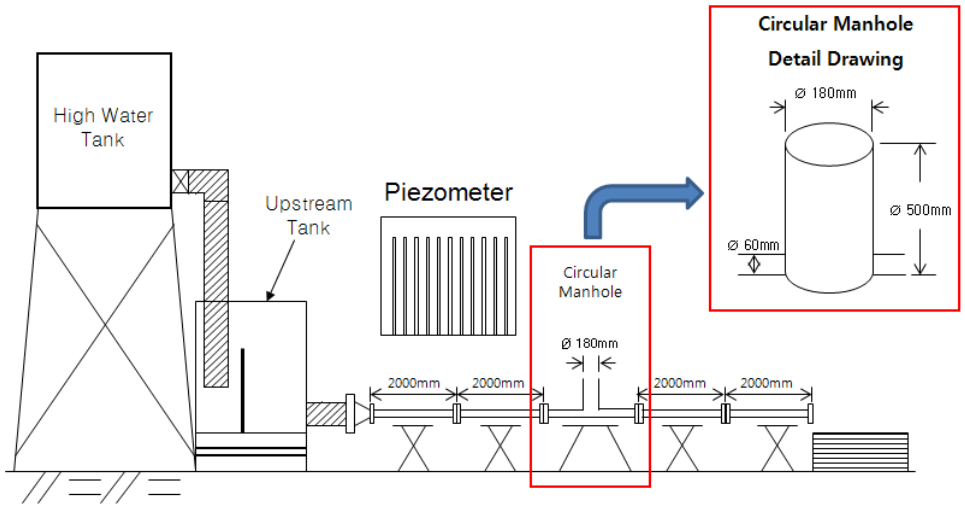


Fig. 2. Experimental System

Fig. 3. View of Experimental Apparatus

작하였다. 실험 모형의 총 길이는 약 13 m 이며, 고수조, 정류용 수조, 액주계, 아크릴관로, 원형 아크릴 맨홀 및 차집통으로 구성되어있다. 원형 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(환경부, 2005) 상의 표준 1호 맨홀(내경 900 mm)과 직경 300 mm의 유입 및 유출관을 1/5로 축소하여 제작하였다. 또한, 유입관로 및 유출관로의 길이를 각각 450 cm로 하였으며, 정류 흐름을 유지하도록 하였다(Fig. 3).

3.2 수리실험 조건

관거 내 에너지 수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관거의 하단부에 30 cm 간격으로 액주계를 설치하였으며, 원형 맨홀의 입·출구 부에서 정확한 압력수두를 측정하기 위하여 원형 맨홀의 전·후에 3 cm 간격으로 액주계를 설치하였다. 또한, 관거의 끝부분에는 실험유량을 측정하기 위하여 폭 90 cm, 길이 80 cm, 높이 70 cm의 차집통을 설치하였으며, 액주계를 설치하여 차집통 내의 수위 변화를 측정하였다. 실험 유량을 일정하게 공급하기 위하여 지하저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 관내의 흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 정류 수조(폭 120 cm, 길이 150 cm, 높이 120 cm)를 설치하였다. 실험유량을 1.0 ℓ/sec ~ 5.6 ℓ/sec로 변화시켜 맨홀 내부의 수심을 변화시킬 수 있도록 하였다(Table 2).

Table 2. Experimental Conditions

Manhole Diameter (mm)	Pipe Diameter (mm)	Upstream and Downstream Length (cm)	Discharge (ℓ/sec)	Connection Type	Flow
180	60	450	1.0 ~ 5.6	Pipe Bottom Connection	Steady

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, 4.0, 6.0으로 고정하고 수리실험 모형 내에 정류 상태가 유지되면, 하류부의 차집통을 이용하여 유량을 측정하였으며, 관거에 설치된 액주계를 이용하여 관로의 수두 변화량 및 원형 맨홀 내부에서의 에너지 손실 수두를 측정하였다.

3.3 인버트 형상변화 조건

일반적으로 맨홀의 저부는 하수의 원활한 유하를 도모하기 위해 관거의 접합이나 합류의 상황에 따라 인버트를 설치하도록 한다(환경부, 2005). 그러나 실제 시공현장에서 인버트의 중요성에 대한 인식이 낮고 시공의 번거로움 등의 이유로 설치율이 매우 낮은 실정이며, 인버트의 설치 목적에 대해서도 수리학적인 필요성보다는 맨홀내 고형물의 침전 문제와 관련되어 있는 바 우수 맨홀에는 인버트의 설치 필요성이 없는 것으로도 인식되고 있다(최원석과 송호면 , 2002).

이 연구에서는 원형 맨홀 내부의 인버트 설치에 따른 흐름특성과 에너지 손실의 변화를 측정하기 위하여 인버트의 형상 변화 조건을 선정하였다. 인버트의 형상은 국내의 설계기준 및 국외의 문헌조사를 기초로 Table 3과 같이 반원형(CASE B)과 U자형(CASE C)으로 제작하였고, 아크릴 맨홀의 바닥과 재질이 같도록 아크릴로 제작하여 표면조도를 맞추었다(Table 3).

3.4 단차 조건

하수도시설기준 2.7.2의 맨홀부속물에서 '상류관거의 저부와 인버트 저부에는 일정한 낙차를 두어 인버트 재질 변화에 따른 조도계수의 증가와 하수의 수위가 인버트 높이 위로 흐를 때 발생하는 수두손실을 감안하여 중간맨홀에서는 3 cm 정도, 합류맨홀에서는 3 ~ 10 cm 정도로 한다.' 로 규정하고 있다. 따라서 이 연구에서는 상류관거와 원형 맨홀의 연결조건에 따른 원형 맨홀 내부의 흐름 특성과 에너지 손실의 변화를 측정하기 위하여 단차(상류관거와 맨홀 바닥의 높이차)의 변화조건을 선정하였다. 단차의 크기는 하수도시설기준을 고려하여 5 cm, 10 cm 선택하였다. 수리 실험 모형은 1/5축소 모형이므로 단차 기준도 동일하게 적용하여 Table 4와 같이 1 cm, 2 cm로 제작하였다. 실험 유량조건은 1.5 ℓ/s ~ 2.6 ℓ/s로 변화시켰으며, 유량조건을 제외한 조건은 Table 2와 동일하게 적용하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 인버트 형상에 따른 손실계수 산정

원형 맨홀 내부에 설치된 인버트 형상에 따른 에너지 손실의 변화를 측정하였다. Fig. 4는 인버트의 설치에 따른 과부하 상태 원형 맨홀의 수두 손실을 산정하기 위하여 실험 수로 전 구간에서의 수두변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 인버트를 설치하지 않은 CASE A의 수두보다 인버트를 설치한 CASE B, C에서 수두가 작아지고 있으며, 반원형 인버트를 설치한 CASE B의 수두보다 U자형 인버트를 설치한 CASE C의 수두가 더 작아지는 경향을 나타내고 있다. 이는 우수 관거 시스템에서 원형 맨홀 내부에서 인버트의 설치는 배수능력을 향상시키는 데에 효과적이라고 판단된다.

Table 3. Conditions of Invert Type

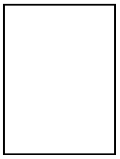
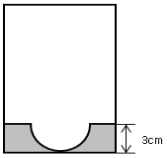
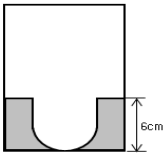
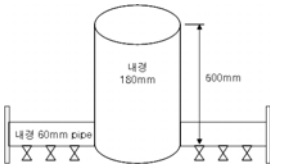
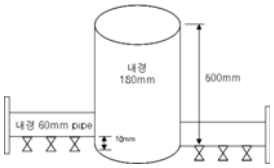
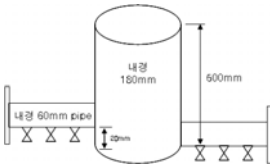
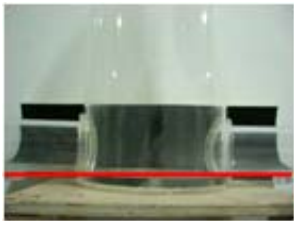
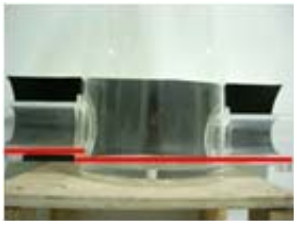
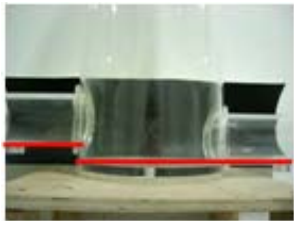
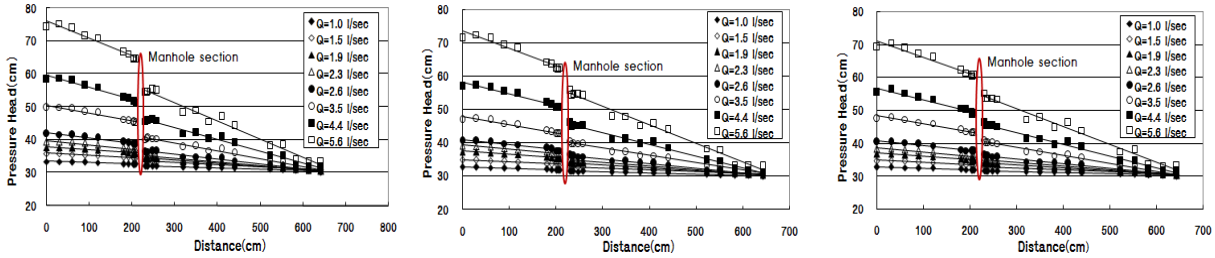
CASE A (No Invert)	CASE B (Half Circular-Invert)	CASE C (U type-Invert)
		

Table 4. Conditions of Step Height

CASE Ⅰ Step Height(0cm)	CASE Ⅱ Step Height(1cm)	CASE Ⅲ Step Height(2cm)
		
		



(a) CASE A (b) CASE B (c) CASE C

Fig. 4. Pressure Head with Invert Type

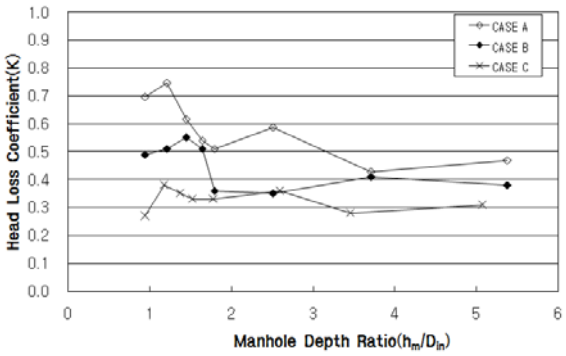


Fig. 5. Relationship between Head Loss Coefficient(K) and Manhole Depth Ratio(h_m/D_{in})

원형 맨홀에서의 손실수두 값(Δh)과 유입유량으로부터 계산된 관평균 유속을 Eq. (1)에 적용하여 맨홀 수심(h_m)과 유입관경(D_{in})의 비(h_m/D_{in}) 변화에 따른 맨홀에서의 손실계수를 산정하였으며, 유입량의 변화에 따라 산정된 손실계수의 변화는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서와 같이, 인버트를 설치한 CASE B, C의 경우에 산정된 손실계수는 인버트가 설치되지 않은 CASE A에서 산정된 손실계수보다 전체적으로 작게 산정되어 에너지 손실의 저감효과를 확인할 수 있었다. 또한 원형 맨홀 내부의 인버트 설치 유·무에 관계없이, h_m/D_{in}가 증가되면 원형 맨홀 내부의 손실계수가 증가하다가 h_m/D_{in}가 1.3~1.5이상이 되면 감소하고, h_m/D_{in}가 2.0부터는 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 이는 원형 맨홀 내부에 인버트가 설치되어 있어도 원형 맨홀 내부의 수심이 과도하게 증가되면 원형 맨홀 내 상측의 흐름이 맨홀 내 하측의 흐름에 영향을 주지 못함을 의미한다. 따라서 인버트 설치 시에도 원형 맨홀에서의 원활한 배수를 위하여 h_m/D_{in}가 1.0~1.5일 때의 손실계수를 사용하는 것이 합리적이라고 판단된다.

원형 맨홀에서 인버트 형상에 따른 평균 손실계수를 산정하기 위하여 실측된 손실수두(Δh)와 속도수두($V^2/2g$)의 관계를 분석하였다. Fig. 6에서 인버트 형상 변화에 따른 평균 손실계수는 각 회귀선의 경사로 산정된다. 따라서 CASE A, B, C에서의 손실계수 값이 각각 0.45, 0.37, 0.30으로 산정되어 인버트를 설치한 CASE B, C의 경우에 산정된 손실계수는 인버트가 설치되지 않은 CASE A에서 산정된 손실계수보다 각각 17.8%, 33.3%의 에너지 손실 저감효과를 확인 할 수 있었다. 위의 실험 결과는 U자형 인버트가 반원형 인버트

보다 20%정도의 손실계수 저감효과를 나타내고 있다는 Marsalek(1984)의 연구 결과와 유사함을 알 수 있었다.

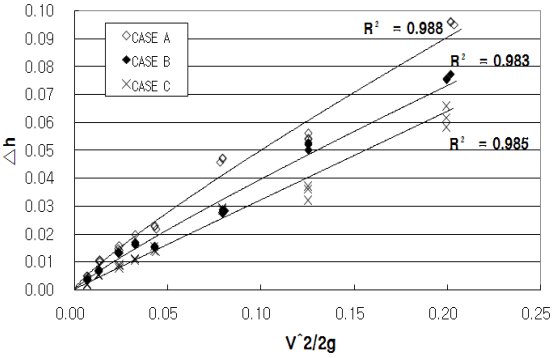


Fig. 6. Relationship between Head Loss(Δh) and Velocity Head($V^2/2g$)

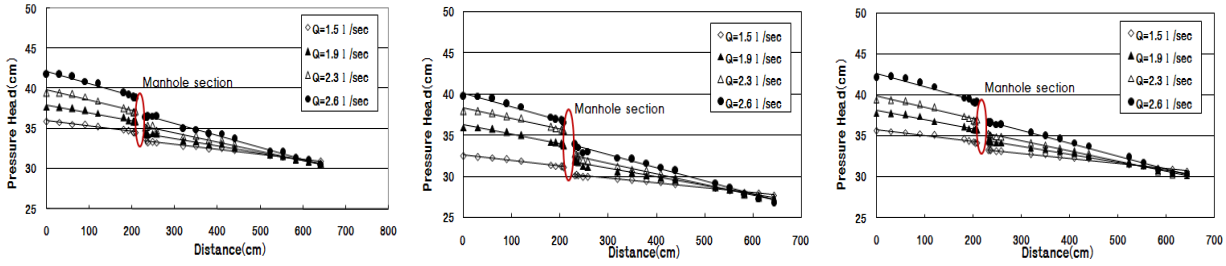
4.2 단차에 의한 손실계수 산정

이 연구에서는 유입 관거와 원형 맨홀의 연결조건에 따른 에너지 손실을 측정하였다. 단차에 의한 손실계수 산정에서는 인버트의 조건을 고려하지 않았다. Fig. 7은 단차 변화에 따른 과부하(surcharge) 상태 원형 맨홀의 수두 손실을 산정하기 위하여 실험 수로 전 구간에서의 수두변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 7에서와 같이, 단차가 없는 CASE Ⅰ에서의 에너지 수두보다 단차가 존재하는 CASE Ⅱ, Ⅲ에서의 에너지 수두가 낮아지고 있으나, CASE Ⅲ의 경우 맨홀 구간에서의 수두 차의 변화폭이 CASE Ⅰ, Ⅱ의 수두 변화 폭보다 더 큰 것을 알 수 있다. 이는 단차의 증가에 따라 유입류가 맨홀의 벽면과의 충돌 시 큰 흐름교란을 발생되어 맨홀에서 흐름 소통 능력을 저하시키기 때문이라고 판단된다(Fig. 8).

Fig. 7의 측정된 원형 맨홀에서의 손실수두 값(Δh)과 유입유량으로부터 계산된 관평균 유속을 Eq. (1)에 적용하여 유량 변화에 따른 원형 맨홀에서의 손실계수를 산정하였으며, 산정된 손실계수의 변화를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 원형 맨홀의 유입부에 1cm의 단차를 설치한 CASE Ⅱ의 손실계수는 단차가 설치되지 않은 CASE Ⅰ의 경우보다 동일 유량에 대한 손실계수가 비교적 낮게 산정되었다. 그러나 2 cm의 단차를 설치한 CASE Ⅲ의 손실계수는 CASE Ⅰ의 손실계수보다 크게 산정되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 CASE Ⅲ의 경우가 CASE Ⅰ, Ⅱ의 경우보다 맨홀 내 유입류 충돌 현상의 영향을 더 받는 것이라 판단된다. 이 연구에서는 두 가지 단차 조건 만을 고려하여 실험을 수행하였으므로 본 연구의 실험결과를 이용하여 단차의 한계 범위를 정하는 것은 어렵다고 판단된다. 그러므로 원형 맨홀에서 유입류가 맨홀의 벽면과의 충돌(jet impact) 시의 영향에 따른 단차의 한계를 규정하기 위해서는 지속적인 연구가 필요하다.



(a) CASE Ⅰ (b) CASE Ⅱ (c) CASE Ⅲ

Fig. 7. Pressure Head with Step Height

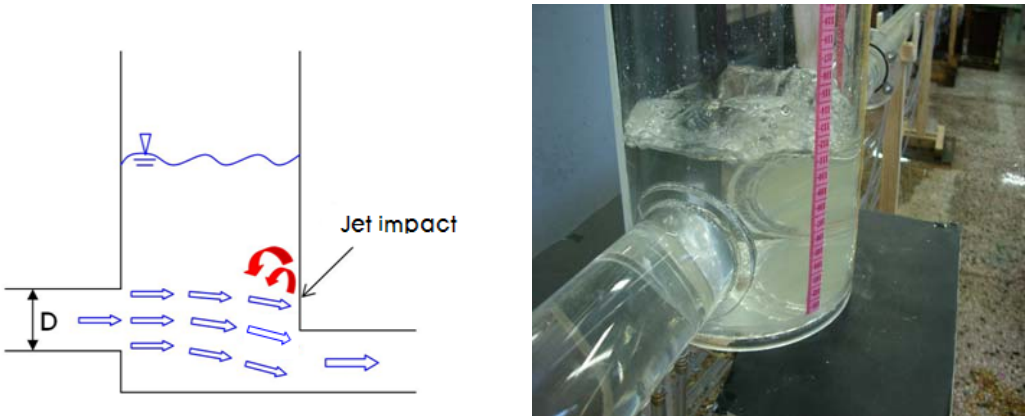


Fig. 8. Jet impact Phenomena by step height

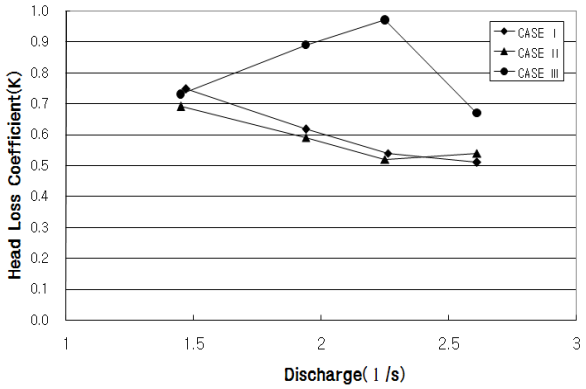


Fig. 9. Relationship between Head Loss Coefficient(K) and Discharge(l/sec)

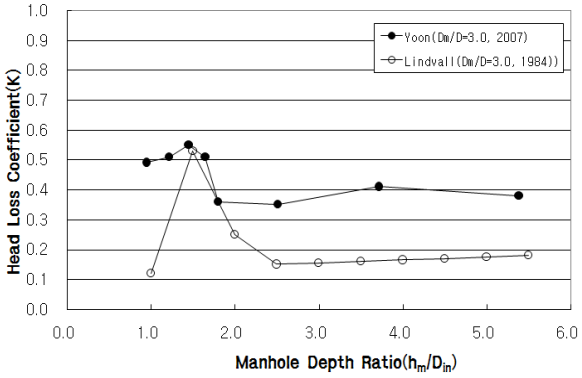


Fig. 10. Comparison with Head Loss Coefficient(K) as Measured by Lindvall(1984)

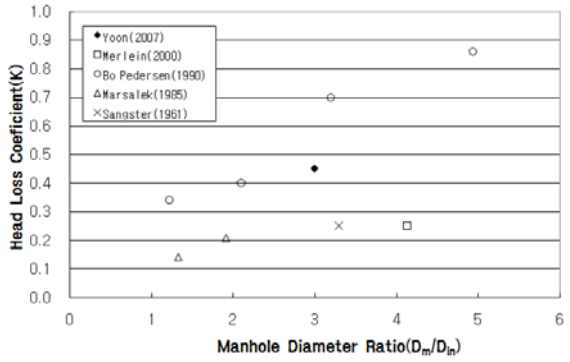
5. 비교 및 고찰

반원형 인버트가 설치된 원형 맨홀에서의 맨홀 수심(h_m)와 유입관거의 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})에 따른 손실계수의 변화를 이 연구와 수리실험 조건이 유사한 Lindvall (1984)의 실험 결과와 비교하였다(Fig. 10). Fig. 10에서 알 수 있듯이 h_m/D_{in}가 1.5정도 되면 손실계수가 최대로 증가되고, 그 이상이 되면 감소하며, h_m/D_{in}가 2.0이상이 되면 일정해지는 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있으나, 본 연구에서 산정된 손실계수가 전반적으로 크게 산정되었다. 이는 실험 유량, 맨홀 및 연결관경의 크기 등의 실험조건 차이에 의한 영향으로 추정된다.

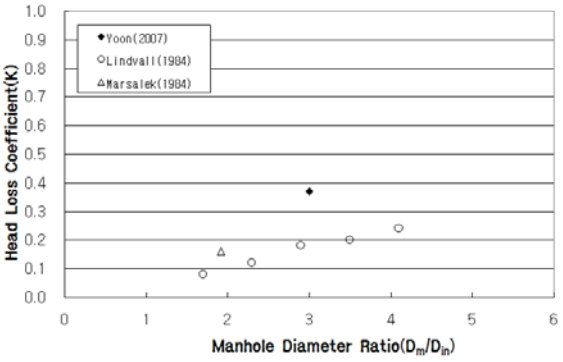
인버트가 설치되지 않은 CASE A와 반원형 인버트가 설치된 CASE B의 경우에서 원형 맨홀의 맨홀 직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 변화 비(D_m/D_{in})에 따른 원형 맨홀 내부의 손실계수를 수리실험 조건이 유사한 국외의 연구 결과들과 비교하여 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11에서 알 수 있듯이, 원형 맨홀 직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 비(D_m/D_{in})가 증가할수록 손실계수가 증가함을 확인 할 수 있었다. 이는 원형 맨홀의 직경이 증가됨에 따라 원형 맨홀 내부의 와류에 의한 손실이 증대하여 배수능력이 감소되기 때문으로 판단된다. 그러므로 원형 맨홀의 설계 시 원형 맨홀 내부형상 및 유입 관거와의 접합상태 뿐만 아니라 적정한 맨홀직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 비(D_m/D_{in})의 고려가 중요하다고 판단된다.

Fig. 12는 인버트 형상변화에 따른 원형 맨홀 내부의 손실계수를 Marsalek(1984)의 연구결과와 비교한 것으로서 인버트의 형상이 CASE A에서 CASE C로 변화됨에 따라 원형 맨홀 내부의 손실계수가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 상하류 관경이 동일하고 단차가 없으며, 와류 발생이 심한 수면변동에 의한 손실계수의 증대가 없을 경우에는 인버트의 형태 변화가 에너지 손실계수 저감에 영향을 미친다고 판단된다.



(a) CASE A



(b) CASE B

Fig. 11 Relationship between Head Loss Coefficient(K) and Manhole Diameter Ratio(D_m/D_{in})

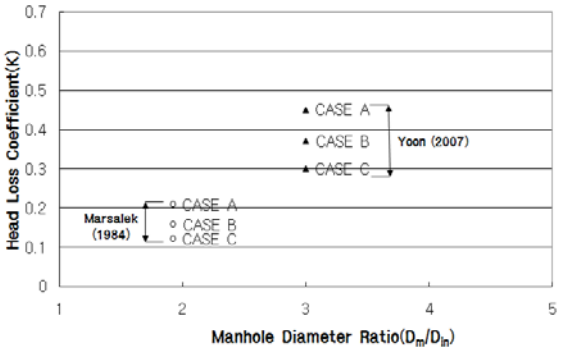


Fig. 12. Comparison with Head Loss Coefficient(K) as Measured by Marsalek(1984)

6. 결 론

이 연구에서는 우수 관거의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 원형 맨홀의 손실계수 산정 및 흐름특성을 분석하기 위하여 원형 맨홀의 현장조사 결과와 설계기준을 고려하여 원형 맨홀의 인버트 형상변화(CASE A, B, C)조건과 단차 변화(CASE Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ) 조건에 대하여 수리 실험을 실시하였다. 또한, 맨홀 수심(h_m)와 유입 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})를 1.0~6.0으로 변화시키면서 다양한 유량 조건에 대하여 수리 실험을 실시하였다. 맨홀의 일반적인 손실계수 값을 산정하기 위해서는 연결 관경, 맨홀의 크기, 하류단의 조건, 연결관의 접합각 등의 변화를 고려한 실험이 수행되어야 하지만, 이 연구에서는 제한된 조건에서 실시한 기초적인 실험으로 그 결과는 다음과 같다.

1) 원형 맨홀 직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 비(D_m/D_{in})가 증가할수록 손실계수가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 원형 맨홀의 직경이 증가됨에 따라 원형 맨홀 내부의 수면 진동을 동반하고 와류에 의한 손실의 증대로 에너지가 감소되기 때문이라 판단된다. 그러므로 원형 맨홀의 설계 시 원형 맨홀 내부형상 및 유입 관거와의 접합상태 뿐만 아니라 적정한 맨홀직경(D_m)과 유입관경(D_{in})의 비(D_m/D_{in})를 고려하는 것이 중요하다고 판단된다.

2) 맨홀에서의 손실계수는 h_m/D_{in}가 1.3일 때, 가장 크게 산정되었으며, h_m/D_{in}가 2.0일 때까지 감소하다가 h_m/D_{in}가 2.0이상이 되면 손실계수의 변화가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 맨홀에서 h_m/D_{in}가 2.0 이상이 되면 맨홀의 상측에 발생되는 와류와 수면변동이 하측의 흐름에 영향을 주지 못하기 때문이라 판단된다. 따라서 맨홀의 손실계수 산정 시 맨홀 수심(h_m)과 유입관거 직경(D_{in})의 비(h_m/D_{in})가 1.0~1.5일 때의 손실계수를 사용하는 것이 안정적이라고 판단된다.

3) 원형 맨홀에서 인버트 형상변화에 따른 평균 손실계수를 산정한 결과 CASE A, B, C에서의 손실계수 값이 각각 0.45, 0.37, 0.3으로 산정되어 인버트를 설치한 CASE B, C의 경우에 산정된 손실계수는 인버트가 설치되지 않은 CASE A에서 산정된 손실계수보다 각각 17.8%, 33.3%의 에너지 손실 저감효과를 확인 할 수 있었다. 따라서 U자형 인버트를 설치하면, 원형 맨홀에서 배수능력을 증대시킬 수 있다고 판단된다.

4) 원형 맨홀의 유입부에 설치한 단차의 높이에 비례하여 맨홀에서의 손실계수는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 맨홀 내 유입류 충돌 현상의 영향에 따라 손실계수의 변곡점이 있는 것으로 판단되므로 이에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

최원석, 송호면 (2002). "하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구." **대한상하수도학회・한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집**, 대한상하수도학회, pp. 13-16.

환경부 (2005). **하수도시설기준**.

Archer, B., Bettess, F., and Cloyer, P. J. (1978). "Head loss and air entrainment at sewer manhole." *Report IT 185*, Hydraulics Research Station, Wallingford, England.

Bo Pedersen, F., and Mark, O. (1990). "Head losses in storm sewer manholes : submerged jet theory." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, vol. 116, No. 11, pp. 1317-1328.

FHWA (2007). *Junction Loss Experiments: Laboratory Report*, FHWA-HRT-07-036.

Hager, H. W. (2005). "Supercritical flow in sewer manholes." *Journal of Hydraulic Research*, IAHR,

vol. 43 No. 6, pp. 660-667.

Howarth, D. A., and Saul, A. J. (1984). "Energy loss coefficients at manholes." *Proceeding 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, 1, 127-136.

Lindvall, G. (1984). "Head losses at surcharged manholes with a main pipe and a 90° lateral." *Proceeding 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, 1, pp. 137-146.

Marsalek, J. (1984). "Head losses at sewer junction manholes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. 8, pp. 1150-1154.

Merlein, J. (2000). "Flow in submerged sewers with manholes." *Urban Water*, Vol. 2, No. 3, pp. 251-255.

Sangster, W. M., Wood, H. W., Smerden, E. T. and Bossy, H. G. (1958). "Pressure changes at storm drain junctions." *Bulletin. No. 41*, Engineering Experiment Station, Univ. of Missouri, Columbia.

Shinji, A., and Tetsuya, K. (1998). "Manhole profiles for energy loss reduction." *Proceedings of HydraStorm 98*, Third International Conference on Stormwater Management, Adelaide, pp. 235-240.

(논문번호:07-146/접수:2007.12.11/심사완료:2008.02.04)