

과부하 사각형 맨홀의 배수능력 증대에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for Drainage Capacity Increment at Surcharged Square Manholes

김정수* · 송주일 · 윤세의

Kim, Jung Soo* · Song, Ju Il · Yoon, Sei Eui

경기대학교 대학원 토목공학과

(2008년 8월 28일 접수; 2008년 11월 5일 수정; 2008년 11월 17일 채택)

Abstract

Urban sewer systems are designed to operate in open-channel flow regime and energy loss at square manholes is usually not significant. However, the energy loss at surcharged manholes 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 surcharged flow. Hydraulic experimental apparatus which can change the manhole inner profile(CASE I, II, III, and IV) and the invert types(CASE A, B, C) were installed for this study. The experimental discharge was 16ℓ/sec. As the ratio of b/D(manhole width/inflow pipe diameter) increases, head loss coefficient increases due to strong horizontal swirl motion. The head loss coefficients for CASE I, II, III, and IV were 0.46, 0.38, 0.28 and 0.37, respectively. Side covers increase considerably drainage capacity at surcharged square manhole when the ratio of d/D(side cover diameter/inflow pipe diameter) was 1.0. The head loss coefficients for CASE A, B, and C were 0.45, 0.37, and 0.30, respectively. Accordingly, U-invert is the most effective for energy loss reduction at surcharged square manhole. This head loss coefficients could be available to evaluate the urban sewer system with surcharged flow.

Key words : head loss coefficient, surcharged flow, square manhole, urban sewer system

주제어 : 손실계수, 과부하 흐름, 사각형 맨홀, 도시 배수 시스템

1. 서론

급속한 도시화의 영향으로 인한 도시지역의 불투수 면적의 증가는 침투유량의 증가와 침투유량의 도달시간 감소를 유발하여 도시 지역의 침수면적과 침수피해를 증가시키는 요인이 되고 있으며, 도시 지역에서 해마다 반복되는 국지성 집중호우는 하천 연안이나 유출량이 급격히 증가하는

저지대와 하수관거의 불량 및 용량 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. 우수 관거 시설은 관거, 맨홀, 우수 토실, 물받이 및 연결관 등을 포함하는 시설들로 구성되어 있으며, 관의 연결, 단차부의 접합, 관거의 유지관리상

의 목적 등으로 인하여 원형 또는 직사각형 등의 맨홀을 설치하고 있다. 일반적으로 우수 관거 시스템에서 흙 두께가 적은 경우, 관거 중간지점에서 원형 맨홀이 설치되지 않는 경우나 연결되는 관거의 수가 많을 경우 등 다른 매설물과의 관계로 인하여 원형 맨홀의 설치가 어려울 경우에는 사각형 맨홀을 설치하고 있다.

우수 관거 시스템에서의 흐름은 중력에 의해서 흐르므로 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. 과부하된 우수 관거 시스템에서 접합부와 하수 유입부 및 다른 부속물에 의해서 발생하는 소손실들은 관의 마찰손실을 초과하는 경우를 발생시킨다. 관거 시설의 맨홀에서 수두손실이 과대해지면 관거의 배수능력이 저하되어 배수구역의 침수피해가 발생되고, 우수의 분출 시 맨홀 뚜껑이 유실되어 인명사고를 유발할 수도 있다. 최근 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. 특히 기존 하수관거에 설치된 맨홀이 과부하가 되고 하수관거가 압력관 상태가 될 경우에는 맨홀의 손실계수가 관거 흐름에 중요한 인자가 된다. 따라서 기존 하수관거의 배수 능력을 평가할 경우에는 맨홀의 손실계수가 필수적인 요소이다(윤세의 등, 2008).

국외에서 사각형 맨홀에서의 손실계수 산정에 관한 연구는 1950년대부터 꾸준히 진행되어 왔다. Sangster et al.(1958)은 맨홀 입·출구부에서 흐름의 연속성과 운동량 보존식으로 압력손실계수를 산정하는 식을 제안하고 실험을 통해 검증하고, 직선관로에 설치된 사각형 및 원형 맨홀에서 맨홀 지름과 하류관경의 비(맨홀지름/하류관경)를 변화시키

며 실험을 실시하여 맨홀에서의 에너지 손실계수를 산정하였으며, Archer et al.(1978)은 동일한 관경의 직선관로에 직사각형 및 원형 맨홀에 대하여 관로경사를 0.002~0.01로 변화시키면서 실험을 실시하여 맨홀에서의 손실계수를 제시하였다. Howarth and Saul(1984)은 직선관로에 설치된 원형 맨홀 내부의 손실을 지배하는 인자를 유량과 더불어 맨홀 폭과 하류관 지름의 비(맨홀 폭/하류관 지름)로 가정하여 맨홀의 폭을 고정하고 연결 관로의 관경을 변화시키며 수리실험을 실시하여 손실계수를 제시하였다. Marsalek(1984)은 직선관로로 연결된 정사각형 및 원형 맨홀의 기본형태와 반원형 인버트 및 U형 인버트를 설치한 형태에 대하여 실험을 실시하여 사각형 맨홀과 원형 맨홀에서의 손실계수를 제시하였다. Johnston(1990)은 사각형 맨홀의 기본형태와 인버트 설치 형태 변화에 따른 손실계수를 산정하고 사각형 맨홀 내 손실의 저감 방안으로 인버트 설치에 대하여 제시하였다. Takashi, Shuji, and Toshihiro(1997)는 네 개의 직사각형 맨홀을 연속적으로 설치한 수리 실험을 실시하여 유속 증가에 따른 손실계수를 산정하였다. Pani and Mudgal(2004)은 직선 연결흐름 조건에서 사각형 맨홀의 손실계수를 측정하고 Free jet model 적용한 계산값과 비교하였다. Table 1은 사각형 맨홀의 손실계수 산정에 관한 국외의 연구동향을 나타낸 것으로서 사각형 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 사각형 맨홀의 손실계수 산정 및 흐름특성을 분석하기 위하여 문헌조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 실험에 사용된 사각형 맨홀은 실험실의 규모 및 유량조건 등을 고려하여 하수도시설기준(환경부, 2005)의 특 1호 맨홀을 1/2로 축소하여 제작하였다. 또한, 사각형 맨홀 내부 구조변화(CASE I, II, III, IV)와 사각형 맨홀의 인버트 형상변화(CASE A, B, C)를 실험조건으로 선정하였다. 선정된 실험조건에 대하여 수리실험을 실시하여 사각형 맨홀에서의 흐름 특성을 분석

Table 1. Experiment Researches of Head Loss Coefficient

Researcher	Experiment Condition			Head Loss Coefficient
	Manhole Size (b×b, mm)	Pipe Diameter (Din=Dout mm)	Manhole Width Ratio (b/D)	
Sangster et al(1958)	-	76, 95, 121, 145	-	0.0 < K < 0.3
Archer et al(1978)	-	102	-	0.07 < K < 0.19
Howarth and Saul(1984)	145, 230, 350	88	1.67, 2.61, 3.98	0.0 < K < 0.5
Marsalek(1984)	154, 241, 344	152	1.00, 1.58, 2.26	K=0.120, 0.179, 0.323
Johnston(1990)	350	88	3.98	K = 0.238
Takashi, Shuji, and Toshihiro(1997)	120 × 260	200	0.6	0.02 < K < 0.12
Pani and Mudgal(2004)	-	-	2.6, 5.2	0.17, 0.45

하고, 맨홀 구조변화와 인버트 형상 변화에 따른 손실계수를 산정하였으며, 사각형 맨홀에서의 배수능력을 증대시키기 위한 방안을 제시하였다.

2. 기본이론

2.1. 손실계수 산정

사각형 맨홀에서의 손실계수를 산정하기 위하여 Sangster et al.(1958)은 맨홀 입·출구부에서 흐름의 연속 방정식과 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.

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

여기서, Δh 는 맨홀 입·출구부의 압력 수두차, K 는 맨홀 내부의 손실계수, V 는 관저 평균유속이다(Fig. 1).

3. 수리실험

3.1. 수리실험 장치

본 연구에서는 일반적으로 관저 접합부나 비교적 배수량이 큰 곳에 설치되는 직사각형 맨홀에서의 손실수두의 측정을 위한 실험조건을 선정하기 위하여 현장조사 및 문헌조사의 결과를 이용하여 Fig. 2와 같이 수리실험 장치를 제작하였다. 수리실험 모형의 총 길이는 약 15m 이며, 고수조, 정류용 수조, 액주계, PVC관로, 아크릴관로, 사각형 아크릴 맨홀 및 차집통으로 구성되어있다. 사각형 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(환경부, 2005) 상의 특 1호 맨홀(내부치수 900×900mm)과 직경 300mm의 유입 및 유출관을 1/2로 축소하여 제작하였다. 또한, 유입관로와 유출관로의 길이를 각각 650cm, 250cm로 하였으며, 정류 흐름을 유지하도록 하였다(Fig. 3).

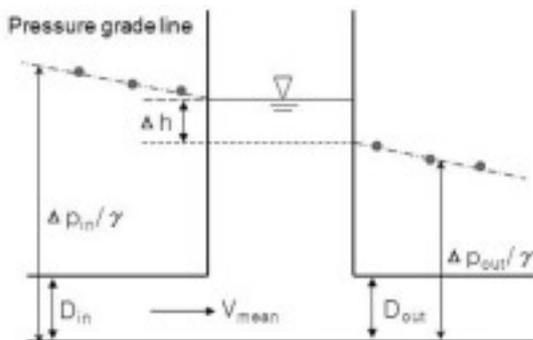


Fig. 1. Head Loss at Manhole.

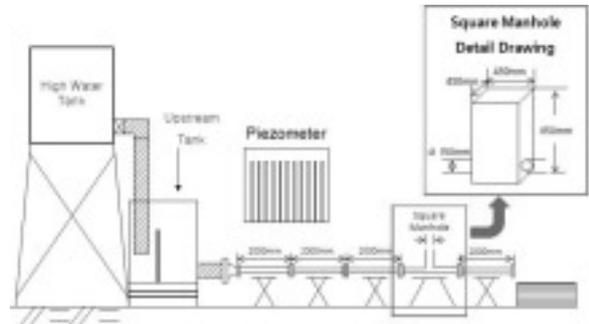


Fig. 2. Experimental System.

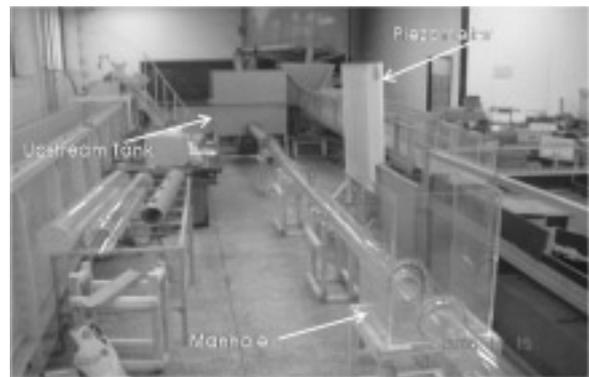


Fig. 3. View of Experimental Apparatus.

3.2. 수리실험 조건

관저 내 압력 수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관저의 하단부에 50cm 간격으로 액주계를 설치하였으며, 사각형 맨홀의 입·출구 부에서 정확한 압력수두를 측정하기 위하여 사각형 맨홀의 전·후에 15cm 간격으로 액주계를 설치하였다. 또한, 관저의 끝부분에는 실험유량을 측정하기 위하여 폭 90cm, 길이 80cm, 높이 70cm의 차집통을 설치하였으며, 액주계를 설치하여 차집통 내의 수위 변화를 측정하였다. 실험 유량을 일정하게 공급하기 위하여 지하저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 관내의

Table 2. Experimental conditions of batch reactor operation

Manhole Size (mm×mm)	Pipe Diameter (mm)	Upstream/Downstream Length (cm)	Discharge (ℓ /sec)	Connection Type	Flow
450×450	150	650 / 250	16	Pipe Top Connection	Steady

흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 정류 수조(폭 120cm, 길이 150cm, 높이 120cm)를 설치하였다. 유입 및 유출 관로의 연결부는 관경 접합을 사용하였으며, 실험유량은 16 ℓ/sec이다 (Table 2).

3.3. 맨홀 내부 구조변화 조건

사각형 맨홀의 내부 구조변화에 따른 흐름특성 변화 및 맨홀에서의 에너지 손실을 분석하기 위하여 사각형 맨홀 내부의 구조 변화 조건을 Table 3과 같이 선정하였다. Table 3에서 CASE I 은 사각형 맨홀 내부 구조의 변화를 시키지 않은 평면도이며, CASE II, III, IV는 관경 10cm, 15cm, 20cm의 PVC 파이프를 1/4로 나눈 부채형 기둥(Side Cover)을 사각형 맨홀 내부의 모서리 지점에 설치하여 사각형 맨홀 내부의 구조를 변화시킨 평면도이다. 이와 같이 연결관의 직경(D)과 사각형 맨홀 모서리에 설치된 부채꼴 기둥의 지름(d)으로 나

타내어지는 사각형 맨홀 내부 구조 변화비(d/D)가 각각 0.67, 1.0, 1.33이다.

3.4. 인버트 형상변화 조건

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

본 연구에서는 사각형 맨홀 내부의 인버트 설치에 따른 흐름특성과 에너지 손실의 변화를 측정하기 위하여 인버트의 형상 변화 조건을 선정하였다. 인버트의 형상은 국내의 설계

Table 3. Conditions of Variation of Square Manhole Inner Profile

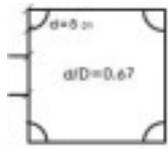
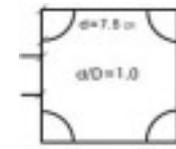
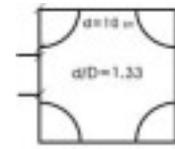
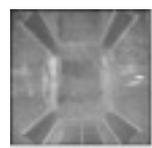
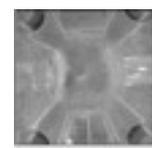
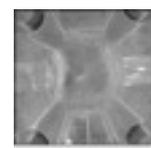
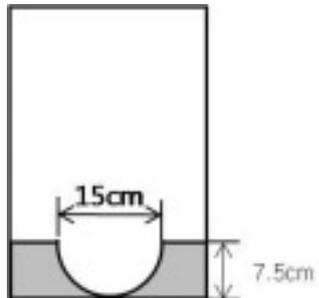
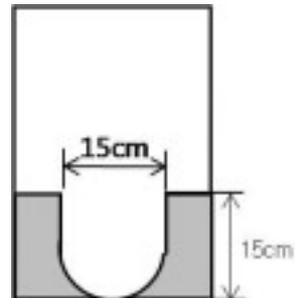
CASE I	CASE II	CASE III	CASE IV
			
			

Table 4. Conditions of Invert Type

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

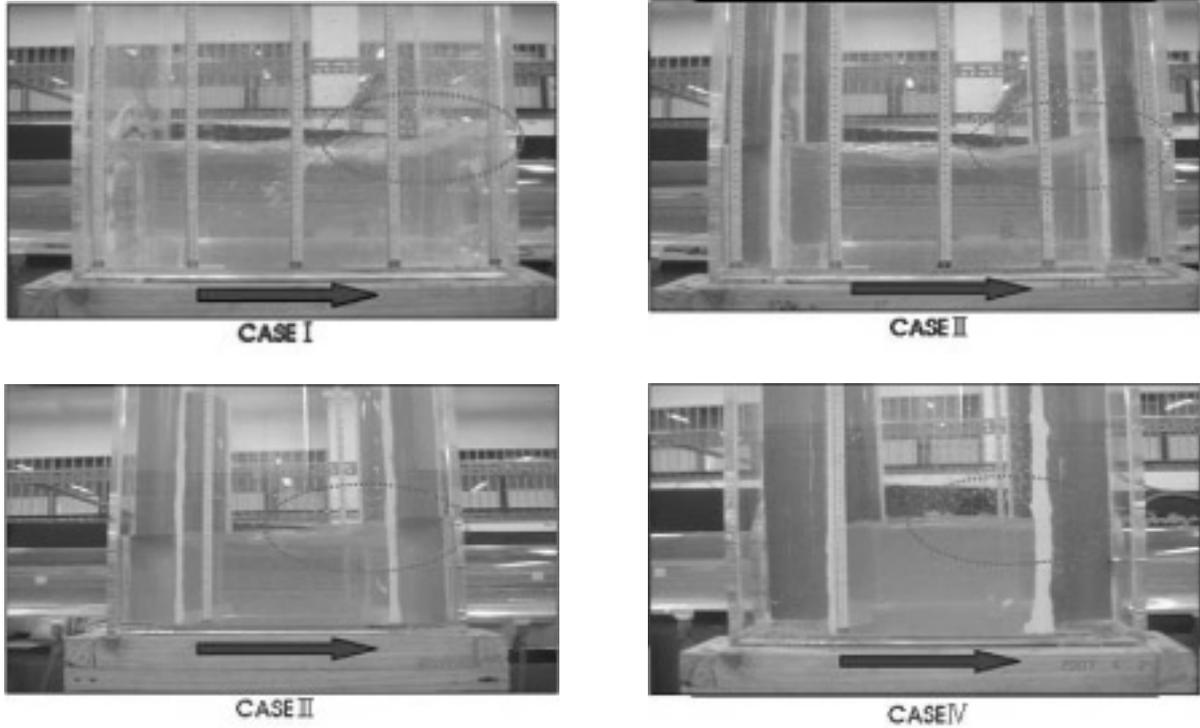


Fig. 4. Flow Change with Variation of Manhole Profile.

기준 및 국외의 문헌조사를 기초로 Table 4와 같이 반원형(CASE B)과 U자형(CASE C)으로 제작하였다. 인버트는 합판과 고무판으로 제작하였으며, 표면에 접착용 아스테이지를 부착하여 아크릴 맨홀의 바닥과 재질이 비슷하도록 표면조도를 맞추었다.

4. 실험결과 및 분석

4.1. 맨홀 내부 구조변화에 따른 손실계수 산정

본 연구에서는 사각형 맨홀 내부 구조 변화에 따른 에너지 손실의 변화를 측정하였다. Fig. 4은 사각형 맨홀 내부 구조 변화에 따른 사각형 맨홀 내부에서의 흐름 변화를 나타내고 있다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 사각형 맨홀의 내부 구조가 CASE I ~ CASE III로 변화할수록 맨홀 출구부의 와류 현상은 점점 감소되었으나 과도한 형상 변화($d/D=1.33$)에 대해서는 다시 출구부의 와류 현상이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 맨홀 내부의 형상변화가 과도해지면 맨홀의 배수능력이 저감되고, 맨홀 내부의 손실계수가 증가되는 것이라 판단된다.

Fig. 5는 사각형 맨홀 내부 구조변화에 따른 과부하 사각형 맨홀의 수두 손실을 산정하기 위하여 실험 수로 전 구간에서의 수두변화를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 Side Cover를 설치하지 않은 CASE I의

수두보다 Side Cover를 설치한 CASE II, III의 수두가 작아지고 있으며, CASE IV의 경우에는 다시 상승하는 것을 나타내고 있다.

사각형 맨홀에서의 손실수두 값(Δh)과 유입유량으로부터 계산된 관평균 유속을 Eq. (1)에 적용하여 사각형 맨홀 내부 구조변화에 따른 손실계수를 산정한 결과 CASE I, II, III, IV에서의 손실계수 값이 각각 0.46, 0.38, 0.28, 0.37로 산정되었다. 사각형 맨홀 내부의 구조를 변화시킨 CASE II, III, IV에서 산정된 손실계수는 내부구조를 변화시키지 않은 CASE I에서 산정된 손실계수보다 각각 17%, 35%, 20%의 에너지 손실 감소효과를 나타내었다. 산정된 손실계수의 결과에 따라서 사각형 맨홀 내부의 구조변화로 인한 손실계수 값이 사각형 맨홀 구조 변화비(d/D)가 1.0인 CASE III까지는

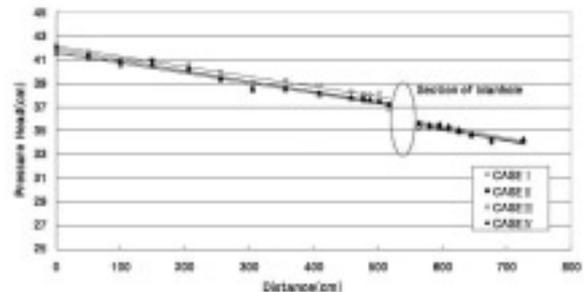


Fig. 5. Pressure Head with Variation of Manhole Inner Profile.

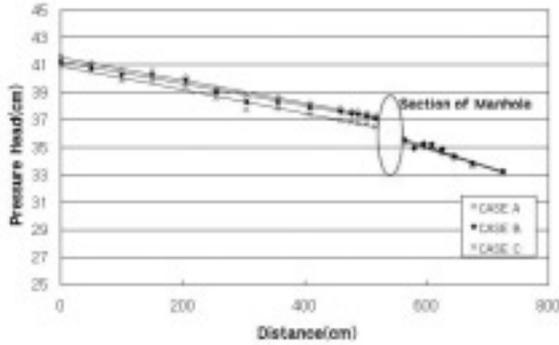


Fig. 6. Pressure Head with Invert Types.

감소하다가 구조 변화비(d/D)가 1.0을 초과하는 CASE IV에서는 다시 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 시공상 인버트의 설치가 번거롭거나 어려운 지역에서는 구조 변화비(d/D) 1.0의 Side Cover를 설치하면 과부하 사각형 맨홀의 배수능력을 증가시킬 수 있다고 판단된다.

4.2. 인버트 형상변화에 따른 손실계수 산정

사각형 맨홀 내부에 설치된 인버트 형상변화에 따른 에너지 손실의 변화를 측정하였다. Fig. 6은 인버트의 설치에 따른 과부하 상태에서의 사각형 맨홀의 수두 손실을 산정하기 위하여 실험 수로 전 구간에서의 수두변화를 측정된 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 시스템의 사각형 맨홀 내부에서 인버트의 설치는 배수능력을 향상시키는 데에 효과적이라고 판단된다.

사각형 맨홀에서의 손실수두 값(Δh)과 유입유량으로부터 계산된 관평균 유속을 Eq. (1)에 적용하여 인버트 형상 변화에 따른 맨홀에서의 손실계수를 산정하였다. 손실계수를 산정한 결과 CASE A, B, C에서의 손실계수는 각각 0.46, 0.36, 0.31로 산정되어 인버트를 설치한 CASE B, C의 경우에 산정된 손실계수는 인버트가 설치되지 않은 CASE A에서 산정된 손실계수보다 각각 22%, 54%의 에너지 손실 저감효과를 확인 할 수 있었다. 따라서 사각형 맨홀이 과부하 상태 일 때, 인버트를 설치하면 사각형 맨홀의 배수능력을 향상시킬 수 있다고 판단된다. 위의 실험 결과는 U자형 인버트가 반원형 인버트보다 20%정도의 손실계수 저감효과를 나타내고 있다는 Marsalek(1984)의 연구 결과와 유사함을 알 수 있었다.

4.3. 실험결과의 비교

Fig. 7은 맨홀의 내부 구조를 변화시키지 않고 인버트도

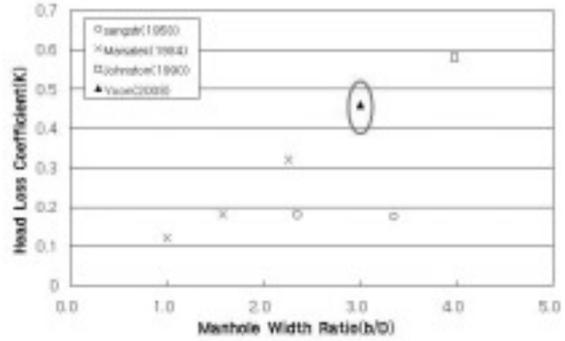


Fig. 7. Relationship between Head Loss Coefficient(K) and Manhole Width Ratio(b/D).

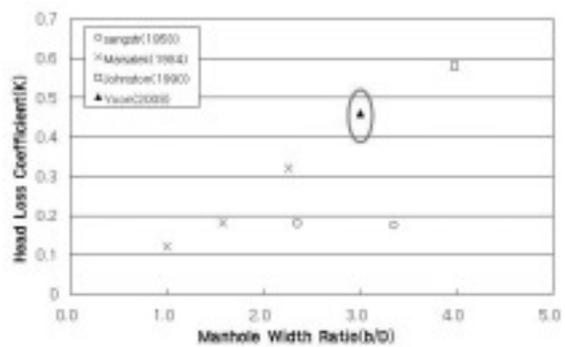


Fig. 8. Comparison this Results(K) with as Marsalek(1984).

설치되지 않은 일반적인 사각형 맨홀에서 산정된 손실계수와 수리실험 조건이 유사한 국외의 연구 결과를 맨홀 폭(b)과 유입관경(D)의 변화 비(b/D)의 관계로 비교하여 나타낸 결과이다. b/D 가 3.0인 본 연구의 실험결과가 다른 연구자의 결과와 비슷한 경향을 보이고 있으므로 본 연구의 실험결과가 적절함을 알 수 있다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 맨홀 폭(b)과 유입관경(D)의 비(b/D)가 증가할수록 손실계수가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 사각형 맨홀의 폭이 증가됨에 따라 사각형 맨홀 내부의 사수역이 증가하고 와류에 의한 손실이 증대하여 배수능력이 감소되기 때문이라 판단된다. 그러므로 사각형 맨홀의 설계 시 사각형 맨홀 내부 형상 및 유입 관거와의 접합상태 뿐만 아니라 적절한 맨홀 폭(b)과 유입관경(D)의 비(b/D)에 대한 고려가 중요하다고 판단된다.

Fig. 8은 인버트 형상 변화에 따른 사각형 맨홀 내부 손실계수를 Marsalek(1984)의 연구결과와 비교한 것으로서 인버트 형상이 CASE A에서 CASE C로 변화됨에 따라 사각형 맨홀 내부의 손실계수가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 상하류 환경이 동일하고 단차가 없으며, 와류 발생이 심한 수면변동에 의한 손실계수의 증대가 없을 경우에는 인버트 형태 변화가 에너지 손실계수 저감에 영향을 미친다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 우수 관거의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 사각형 맨홀의 손실계수 산정 및 배수능력 증대 방안을 제시하기 위하여 문헌조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 또한, 사각형 맨홀 내부 구조변화(CASE I, II, III, IV)와 사각형 맨홀의 인버트 형상변화(CASE A, B, C)를 실험조건으로 선정하였으며, 선정된 실험조건에 대하여 수리 실험을 실시하였다. 본 연구의 제한된 조건에서 실시한 기초적인 실험의 결과는 다음과 같다. 그러나 맨홀의 일반적인 손실계수 값을 산정하기 위해서는 연결 관경, 맨홀의 크기, 하류단의 조건, 연결관의 접합각 및 상류관과 인버트 저부의 단차 조건 변화 등의 구조적인 변화를 고려한 실험과 유입 유량의 다양한 변화를 고려한 실험에 관한 연구가 추후 필요하다고 판단된다.

- (1) 사각형 맨홀의 내부 구조를 변화시킨 사각형 맨홀에서의 산정된 손실계수 값은 CASE I, II, III, IV에서 각각 0.46, 0.38, 0.28, 0.37로 산정되었다. 사각형 맨홀 내부의 구조를 변화시킨 CASE II, III, IV에서 산정된 손실계수는 내부구조를 변화시키지 않은 CASE I에서 산정된 손실계수보다 각각 17%, 35%, 20%의 에너지 손실 감소효과를 나타내었다. 이는 시공상 인버트의 설치가 번거롭거나 어려운 지역에서는 구조 변화비(d/D)1.0의 Side Cover를 설치하면 과부하 사각형 맨홀의 배수능력을 증가시킬 수 있다고 판단된다.
- (2) 사각형 맨홀에서 인버트 형상변화에 따른 손실계수를 산정한 결과 CASE A, B, C에서의 손실계수 값이 각각 0.46, 0.36, 0.21로 산정되어 인버트를 설치한 CASE B, C의 경우에 산정된 손실계수는 인버트가 설치되지 않은 CASE A에서 산정된 손실계수보다 각각 22%, 54%의 에너지 손실 저감효과를 확인 할 수 있었다. 따라서 U자형 인버트를 설치하면, 사각형 맨홀에서 배수능력을 증대시킬 수 있다고 판단된다.



감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연 CO1-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구 성과입니다.

참고문헌

1. 윤세의, 김정수, 송주일, 장석진 (2008) "과부하 원형맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구." *한국수자원학회 논문집*, 41(3), pp.305-314.
2. 최원석, 송호면 (2002) "하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구." *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집*, 대한상하수도학회, pp. 13-16.
3. 환경부 (2005) *하수도시설기준*.
4. 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.
5. Bo Pedersen, F., and Mark, O. (1990) "Head losses in storm sewer manholes : submerged jet theory.", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116(11), pp. 1317-1328.
6. Howarth, D. A., and Saul, A. J. (1984) "Energy loss coefficients at manholes.", *Proceeding 3rd International Conference on Urban Storm Drainage*, 1, 127-136.
7. Johnston, A.J. and Volker, R.E. (1990) "Head Losses at Junction Boxes", *Journal of hydraulic engineering*, 116(3), pp. 326-341.
8. Marsalek, J. (1984) "Head losses at sewer junction manholes.", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110(8), pp. 1150-1154.
9. Pani, B.S. and Mudgal B.V. (2004) "Head Loss in Manholes : Free Jet Model", *Urban Storm Drainage*, 29(1-2), pp. 134-139.
10. 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.
11. 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.
12. Takashi Sakakibari, Shuji Tanaka and Toshihiro Imaaida, (1997) "Energy Loss at Surcharged Manholes-Model Experiment", *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 36(8/9), pp. 65-70.