

직사각형 맨홀의 구조 변화에 따른 에너지손실 분석

An Analysis of Energy Loss with Variation of Square Manhole Profile

김정수* · 장석진** · 윤영노*** · 윤세의****

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

요 지

관거시설의 맨홀에서 수두손실이 과대해지면 관거의 통수능력이 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. 이러한 점을 고려할 때, 도시지역의 우수관거 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. 그러므로 본 연구에서는 일반적으로 설치되어 있는 직사각형 맨홀의 현장조사와 설계기준을 조사하여 수리 실험 장치를 제작하였다. 선정된 실험조건인 맨홀의 내부형상 변화와 하수도 시설기준상의 맨홀 내의 단차규정에 따른 수리실험을 실시하여 맨홀 내부의 흐름특성의 변화와 에너지 손실에 대하여 분석하였다. 또한 실험조건 변화에 따른 수두 손실계수를 산정하여 직사각형 맨홀 내부의 에너지 손실을 감소시키기 위한 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 직사각형 맨홀, 에너지 손실, 우수관거 시스템

1. 서 론

도시지역에 내린 빗물은 우수관거 시스템에 의하여 배수되므로 우수관거 시스템의 우수 배제 능력 증가는 도심지의 침수를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 우수관거 시설은 관거, 맨홀(manhole), 우수토실, 물받이(우수, 우수 및 집수받이) 및 연결관 등을 포함하는 시설들로 구성되어 있다. 우수관거 시스템의 유지와 관리를 위하여 일정거리마다 맨홀을 설치하고 있다. 맨홀은 관거의 기점, 방향, 경사 및 관경이 등이 변하는 곳, 단차가 발생하는 곳, 관거가 합류하는 곳이나 관거의 유지 관리상 필요한 장소에 반드시 설치한다. 또한 흙 두께가 적은 경우, 관거 중간 지점에서 원형 맨홀이 설치되지 않은 경우나 다른 매설물 등의 관계 등으로 원형맨홀의 설치가 어려운 경우에는 직사각형 맨홀을 설치하고 있다. 그러나 연결관 내부와 맨홀의 내부는 여러 가지 수리학적 조건이 다르므로 수두손실의 발생이 필연적일 수밖에 없다. 현재 계획 또는 설계단계에서 수행되고 있는 관거시설의 수리계산에는 연결관 내에서의 마찰손실만을 감안하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 수두손실은 거의 무시되고 있는 실정이며, 이러한 수두손실의 발생을 감안하여 단지 맨홀에서의 단차와 인버트의 설치 규정이 있으나, 관거시설의 설계 나 시공 시에 이러한 설치 규정이 준수 되지 않는 실정이다(최원석, 송호면, 2002).

* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : hydroguy@naver.com
** 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : forget1771@hanmail.net
*** 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : hero1064@hotmail.com
**** 정회원 · 경기대학교 토목·환경공학부 교수 · E-mail : syoon@kyonggi.ac.kr

국외에서는 맨홀 내부의 손실계수 산정에 관한 연구와 실험이 1950년대부터 꾸준히 진행되어 왔으나 국내에서는 최근에 그 중요성이 인식되어 국외 연구자료 분석 등의 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 최원석, 송호면(2002)이 맨홀 손실에 관한 국외 자료와 국내의 맨홀설계 기준에 대한 자료를 수집하여 원형맨홀에 대한 수리학적 특성에 대하여 조사하였을 뿐, 맨홀 내의 손실계수 산정에 관한 실험적 연구는 매우 미흡한 실정이다. 표 1은 국외의 연구동향을 나타낸 것이다.

표 1. 국외 연구동향

연구자	실험 조건	연구 성과
Lindvall(1984)	Circular b/D=1.7, 2.1, 2.6, 3.1, 3.6, 4.1	0.08 < K < 0.88
Marsalek(1984)	Square b/D=1.0, 1.58, 2.26 Circular b/D=1.33, 1.92	$K_s = 0.215, K_c = 0.157$
Johnston et al(1990)	Square b/D=3.98	K = 0.238
Takashi Sakakibari et al(1997)	Circular water velocity 0.16m/s~1.27m/s	유속에 따른 손실계수 제시
Shiniji Arao et al(1998)	Change of manholes profiles	에너지 손실 감소를 위한 맨홀형상 제시
Johanna Merlein(2000)	Use to cover plate in Circular	부정류 상태에서의 cover plate 효과 제시
B. S. Pani et al(2004)	Square z=1.33D, 1.0D Circular L/D=2.0, 4.0, 6.0	맨홀의 구조에 따른 손실계수 산정

본 연구에서는 일반적으로 설치되어 있는 직사각형 맨홀의 현장조사와 설계기준을 조사하여 수리 실험 장치 제작과 효율적인 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건인 맨홀의 내부형상 변화와 하수도 시설기준상의 맨홀 내의 단차규정에 따른 수리실험을 실시하여 맨홀 내부의 흐름특성의 변화와 에너지 손실에 대하여 분석하였다. 또한 실험조건 변화에 따른 수두 손실계수를 산정하여 직사각형 맨홀 내부의 에너지 손실을 감소시키기 위한 방안을 제시하였다.

2. 기본이론

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) 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, K는 맨홀내부의 손실계수, v 는 관거 내의 평균유속이다.

3. 수리실험

일반적으로 관거 접합부나 비교적 배수량이 큰 곳에 설치되는 직사각형 맨홀에서의 손실수두 측정을 위한 적정 실험조건을 선정하기 위하여 현장조사 및 문헌조사를 실시하였으며, 조사결과를 이용하여 그림 1과 같은 수리실험 장치를 제작하였다. 그림 2는 실제로 설치된 수리모형의 전경이다.

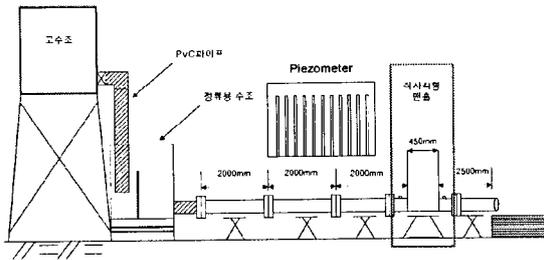


그림 1. 수리모형 설치도

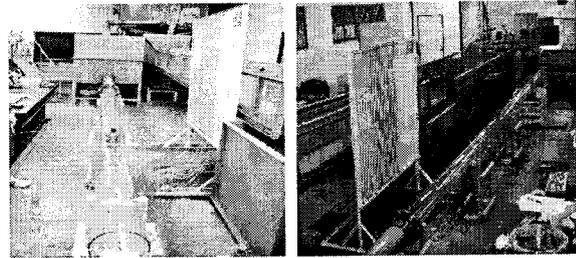


그림 2. 수리모형 전경

실험 장치의 총 길이는 약 12m이며, 고수조, 정류용 수조, Piezometer, PVC관로, 아크릴관로, 직사각형 아크릴 맨홀 및 차집통으로 구성되어 있다. 실험 유량을 원활하게 공급하기 위하여 지하 저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 관내의 흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 정류 수조(폭 1.2m, 길이 1.5m, 높이 1.2m)를 설치하여 아크릴 파이프(내경 0.15m)로 만들어진 연결 관거와 연결하였다.

관거 내의 압력수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관거의 하단부에 0.5m간격으로 Piezometer를 설치하였으며, 직사각형 맨홀 입·출구 부에서의 정확한 압력수두를 측정하기 위하여 직사각형 맨홀 전·후에서는 0.15m간격으로 Piezometer를 설치하였다. 또한 맨홀 입·출구부의 관내 평균유속(v) 산정을 위하여 직사각형 맨홀 전·후로부터 각각 0.3m 떨어진 지점에서 유속계를 설치하여 관내의 유속을 측정하였다.

관로의 말단부에는 실험유량을 측정하기 위하여 폭 0.9m, 길이 0.8m, 높이 0.7m의 차집통을 설치하였으며, 차집통에는 Piezometer를 설치하여 수위 변화를 측정하였다. 맨홀 내부의 손실계수를 산정하기 위한 수리실험 조건은 표 2와 같다.

표 2. 수리실험 조건

직사각형 맨홀의 크기 (cm×cm)	유입관로의 길이 (cm)	실험 유량 (l/s)	접합 상태	흐름 상태
45 × 45	760	16	관저접합	정상류

표 3. 맨홀의 형상변화

맨홀 내부의 형상 단 차	CASE I	CASE II	CASE III	CASE IV
	0 cm			
2.5 cm				
5 cm				

또한 관거 시설 내 맨홀의 연결 구조 변화에 따른 맨홀 내부의 에너지 손실 및 맨홀 내부의 수위변화를 측정하기 위하여 표 3과 같이 맨홀의 구조를 변경하여 수리실험을 실시하였다. 표 3에서 CASE I은 맨홀 내부에 구조물을 설치하지 않은 것이며, CASE II, III, IV는 각각 반지름 5cm, 7.5cm, 10cm의 부채형 기둥을 맨홀 내부의 모서리 지점에 설치하여 맨홀 내부의 형상을 변화시킨 것을 나타내고 있다.

4. 실험 결과

직사각형 맨홀 내부의 형상변화에 따른 흐름특성과 맨홀 내부에서의 에너지 손실을 분석하기 위하여 전절의 수리모형을 이용하여 수리실험을 실시하였다. 그림 3은 수리실험에서 측정된 관거 내의 손실수두를 측정된 값을 나타내고 있다. 측정된 손실수두 값과 식 (1)을 이용하여 맨홀에서의 손실계수를 산정한 결과 CASE I, II, III, IV에서의 손실계수 값이 각각 0.46, 0.38, 0.32, 0.29로 산정되어 CASE I에서의 산정된 손실계수보다 맨홀 내부의 형상 변화가 진행될수록 손실계수 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 직사각형 맨홀 내부의 형상변화로 인하여 맨홀 내에서 발생하는 와류현상이 감소되어 직사각형 맨홀 내의 통수능이 증가되는 것으로 판단된다.

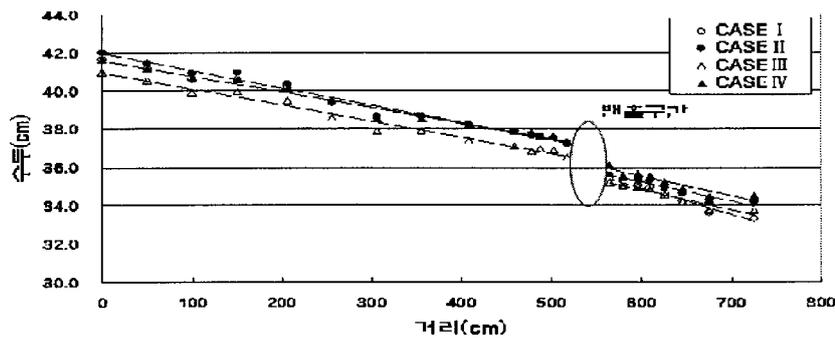


그림 3. 맨홀의 내부형상에 따른 에너지손실

관거 시설 내 직사각형 맨홀의 연결 구조변화에 따른 맨홀 내부의 흐름특성과 맨홀 내부의 에너지 손실을 분석하기 위하여 맨홀 유입관부에 단차를 주어 실험을 실시하였다. 맨홀의 형상은 위의 실험에서와 같이 CASE I, II, III, IV로 변화시켰으며, 맨홀 유입관부의 단차는 하수도 시설기준상에 제시되어 있는 기준을 이용하여 각각 0cm, 2.5cm, 5cm를 사용하였다.

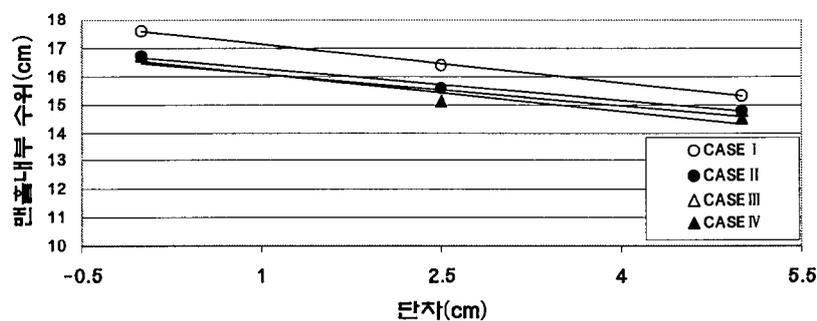


그림 4. 맨홀의 구조변화에 따른 맨홀 내부의 수위변화

그림 4는 맨홀 내부의 수위 변화를 측정하여 직사각형 맨홀의 연결 구조변화에 따른 통수능의 변화와 흐름특성을 분석한 결과이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 단차가 증가 할수록 맨홀 내부의 수위가 감소하고 맨홀 내부의 통수능이 증가되는 것을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 우수관거 시스템의 효율적인 설계 및 설치방안을 제시하기 위하여 일반적으로 설치되어 있는 직사각형 맨홀의 현장조사와 설계기준을 조사하여 수리 실험 장치 제작과 효율적인 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건인 맨홀의 내부형상 변화(CASE I, II, III, IV)와 하수도 시설기준상의 맨홀 내의 단차규정을 이용한 맨홀 유입부의 단차(0cm, 2.5cm, 5cm)를 변화시키면서 수리 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직사각형 맨홀 내부의 형상을 변화시킨 CASE II, III, IV에서 산정된 손실계수는 내부형상을 변화시키지 않은 CASE I에서 산정된 손실계수보다 각각 17.5%, 29.6%, 35.7%의 에너지 손실 감소효과를 나타내었다. 이는 시공상 인버트의 설치가 번거롭거나 어려운 지역에서 내부형상이 변화된 직사각형 맨홀을 설치하면 직사각형 맨홀의 통수능을 증가시킬 수 있다고 판단된다.

2. 직사각형 맨홀 유입부의 단차(0cm, 2.5cm, 5cm)를 변화시키면서 실험을 실시한 결과 단차가 증가 할수록 맨홀 내부의 수위가 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다. 그러므로 맨홀의 유입부에 적절한 단차를 두었을 경우 맨홀 내부의 통수능을 증가시킬 수 있다고 판단된다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

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. Pani, B.S. and Mudgal B.V. (2004). "Head Loss in Manholes : Free Jet Model", Urban Storm Drainage, vol 29, No. 1-2, pp. 134-139.
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. 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, vol. 36, No. 8/9, pp. 65-70.
10. Arao, S. and Kusuda, T. (1998). "Manhole Profiles for Energy Loss Reduction", Hydra Storm 1998, pp. 235-240.