

# 맨홀의 손실을 고려한 SWMM 모형의 적용

## Application of SWMM Model Considering Head Loss at Manhole

최현수\*, 김정수\*\*, 임창수\*\*\*, 윤세의\*\*\*\*

Hyun Soo Chio, Jung Soo Kim, Chang Soo Rim, Sei Eui Yoon

### 요 지

과부하 맨홀의 손실계수에 대한 연구는 국내외에서 지속적으로 수행되어 왔다. 그러나 실제 하수관거 설계 및 평가에 이러한 손실계수의 적용여부에 따른 맨홀의 흐름변화에 대한 연구는 이루어진바 없다. 따라서 본 연구에서는 실무에서 하수관거 설계 및 평가 시 가장 많이 사용되는 상용프로그램 SWMM 모형을 활용하여 손실계수 적용 여부에 따른 맨홀의 수두변화를 비교 하였다. 손실계수의 영향을 확인하기 위해 가상유역을 설정하였으며, 이때 가상유역 내에는 4개의 합류맨홀을 포함하고 있고, 그 외 맨홀은 중간 맨홀 및 90° 집합맨홀로 이루어져 있다. 손실계수는 윤세의 등(2008, 2009, 2010)이 제시한 값을 적용하였다. 과부하 맨홀에 손실계수를 적용한 결과 맨홀 내 수심은 증가하였고 동수경사선이 높아짐으로써 손실계수 적용 후 침수가 발생하는 맨홀도 나타났다. 따라서 도시유역의 하수관거 평가 시 맨홀에 과부하가 발생하는 경우에는 손실계수를 적용 후 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 과부하맨홀, 손실계수, SWMM 모형, 우수관거 시스템**

### 1. 서론

과부하된 우수 관거 시스템에서 집합부와 하수 유입부 및 다른 부속물에 의해서 발생하는 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. 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. 윤세의 등(2008)은 기존 하수관거의 배수 능력을 평가할 경우에는 맨홀의 손실계수가 필수적인 요소라고 기술한바 있다.

과부하 맨홀의 손실계수에 대한 해외의 연구 내용으로는 Sangster *et al.*(1958)은 맨홀 사각형과 원형맨홀에서 2개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 합류맨홀의 실험을 실시하였다. Lindval(1984)은 2개의 유입관과 한 개의 유출관으로 이루어진 합류맨홀의 과부하 상태에서 합류맨홀 내부 형상을 half benching과 full benching 형태의 두 가지로 구분하여 합류맨홀에서의 손실계수 산정에 대해 연구하였다. Johnston과 Volker(1990)는 일반적인 중간맨홀에서의 연결관경이 서로 다른 두 개의 유입관과 한 개의 유출관이 접합하는 과부하 합류맨홀에서 유입유량 변화에 따른 손실계수를 산정하고 실험식을 제시하였다. 또한 Zhao *et al.*(2006)은 2개의 유입관과 1개의 유출관으로 구성된 합류맨홀에 관한 연구를 실시하였다. 유입유량 및 유입관과 유출관을 변화시키면서 수리 실험을 실시하여 과부하 합류맨홀에서의 손실계수를 산정하고 합류맨홀에

\* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : rheoh@nate.com

\*\* 정회원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : hydroguy@naver.com

\*\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 · E-mail : csrim@chungwoon.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 경기대학교 토목공학부 교수 · E-mail : syyoon@kyonggi.ac.kr

서의 손실계수 산정 실험식을 제시하였다. 국내에서는 윤세의 등(2008, 2009, 2010)이 직선 연결 맨홀, 90° 접합 맨홀과 사각형 합류맨홀 원형 합류 맨홀에 대하여 실험을 실시하고, 손실계수를 제시하였다. 그러나 실제 하수관거 설계 및 평가에 이러한 손실계수의 적용여부에 따른 맨홀의 흐름변화에 대한 연구는 찾기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 실무에서 하수관거 설계 및 평가 시 가장 많이 사용되는 상용프로그램 SWMM 모형을 활용하여 손실계수 적용 여부에 따른 맨홀의 수두변화를 비교 하였다.

## 2. 대상유역

맨홀의 손실계수 적용에 따른 변화 분석을 위해 그림 1과 같이 가상유역을 설정하였다. 가상유역은 17개의 원형관거와 2개의 측구 가 있는 총 21개의 관로, 총 17개의 맨홀로 구성되었다. 유역의 상류부는 지름이 700mm, 하류부는 지름이 900mm인 원형관거로 이루어졌으며, 관로의 길이는 각각 250m로 동일하게 선정하였다. 유역의 상류부는 직선연결 맨홀 및 90° 접합 맨홀의 형태로 구성되었고, 하류부는 합류 맨홀의 형태로 구성되었다. 소유역 면적 및 불투수 면적, 관의 조도 등은 동일 하게 설정하였으며 유역에 내리는 강우는 일정한 강우 강도로 가정하였다.

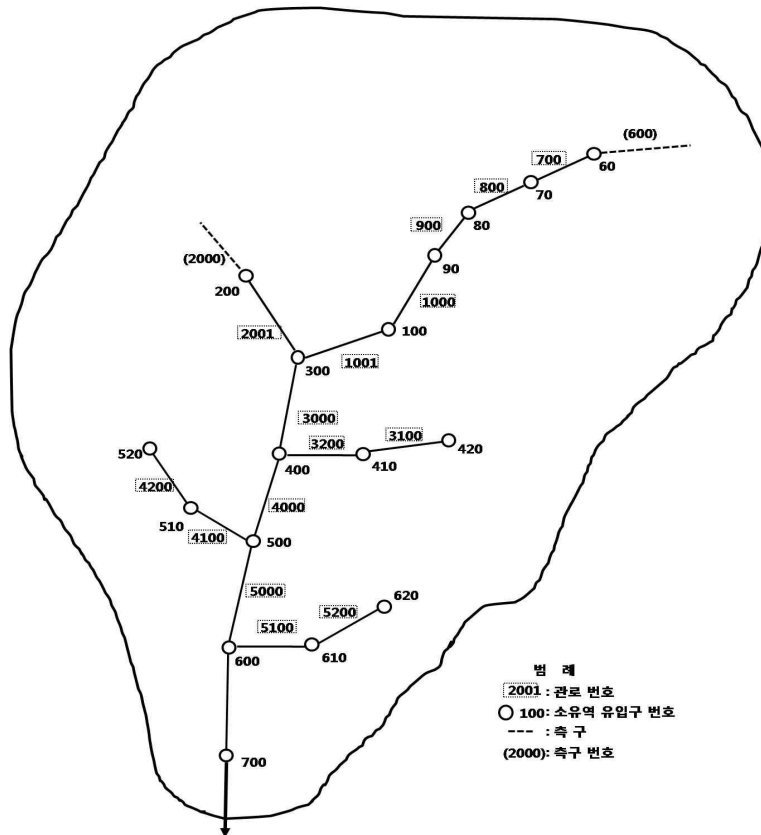


그림 1. 가상유역 하수 관망도

표 1. 가상유역의 구성

측구	관거	관거형태	맨홀 수	맨홀 형태	직선맨홀 및 90°접합 맨홀 수	합류맨홀 수
2	17	원형	17	원형	13	4

### 3. SWMM모형 적용

#### 3.1 손실계수 미적용

모의 결과 그림 2와 같이 80, 90, 300, 400, 500, 600번 맨홀에서 과부하가 발생하였으며, 월류는 발생하지 않았다. 과부하가 발생한 맨홀 중 80, 90번 맨홀은 중간 맨홀의 형태이고, 300, 400, 500, 600번 맨홀은 합류맨홀의 형태이다.

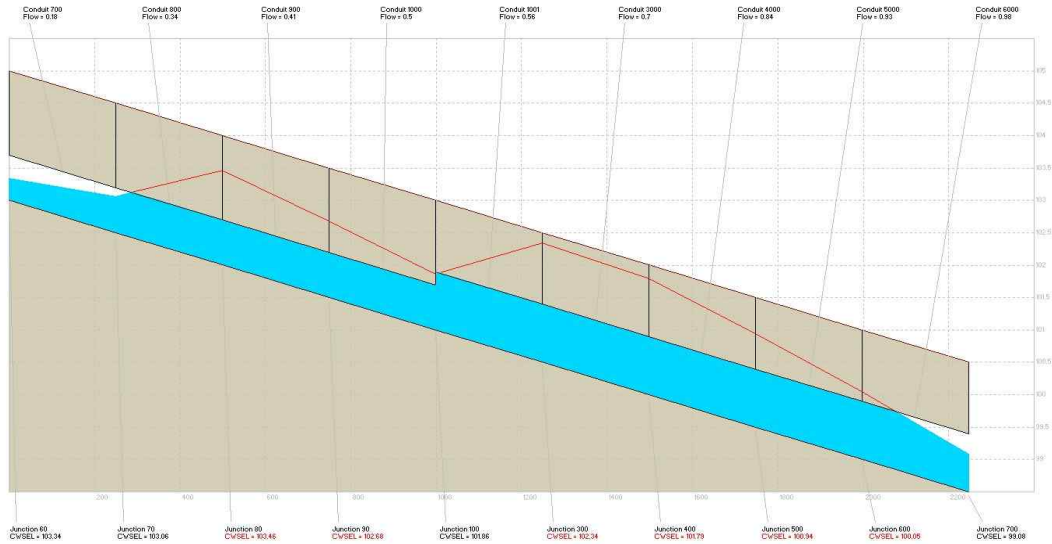


그림 2. 손실계수 적용 전 모의결과

#### 3.2 손실계수 적용

과부하가 발생된 맨홀의 손실계수는 윤세의 등(2008, 2009, 2010)이 수리실험을 통해 제시한 값을 적용하였다. 90°접합맨홀 및 직선 연결 맨홀에는 0.5의 손실계수를 적용하고, 합류맨홀에서는 1.0의 손실계수를 적용하여 영향을 분석하였다. 이때 손실계수 적용 시 일반적인 유·출입 손실을 고려하여 맨홀 유입부에 총 손실계수의 2/3를 적용하고, 유출부에 1/3을 적용하였다. 따라서 80, 90번 맨홀에는 0.5의 손실계수를 적용하였고, 400~600번 맨홀에는 1.0의 손실계수를 적용하였다.

표 2. 관거 조건 및 적용 손실계수

관거 번호	유입맨홀 번호	유출맨홀 번호	관경(m)	관거길이(m)	유입손실	유출손실
800	70	80	0.7	250	0	0.33
900	80	90	0.7	250	0.17	0.33
1000	90	100	0.7	250	0.17	0
1001	100	300	0.9	250	0	0.67
3000	300	400	0.9	250	0.33	0.67
4000	400	500	0.9	250	0.33	0.67
5000	500	600	0.9	250	0.33	0.67
6000	600	700	0.9	250	0.33	0

과부하 맨홀에 손실계수를 적용한 후 모의한 결과 그림 3과 같이 최 상류단 맨홀인 60번 맨홀을 제외한 모든 맨홀에서 수위 상승이 발생하였으며, 특히 100, 300, 400번 맨홀에서는 월류가 발생하는 것으로 나타났다. 손실계수 미 적용 시 과부하가 발생하지 않았던 70, 100번 맨홀에서는 추가로 과부하가 발생하였으며, 월류는 발생하지 않았지만 80, 90, 500, 600 맨홀에서도 12~56cm의 수위 상승이 발생하여 관거의 월류 위험성이 증가한 것으로 나타났다.

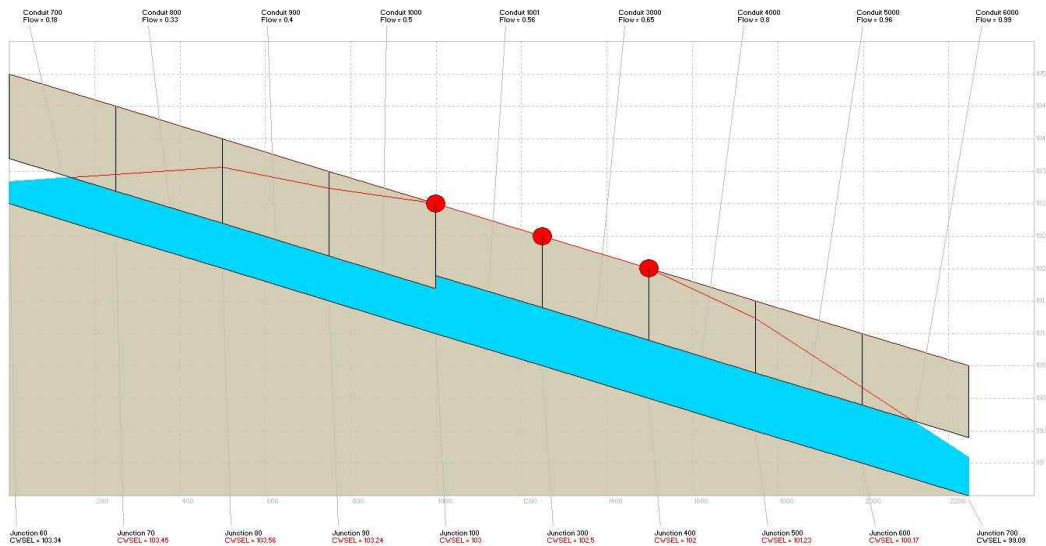


그림3. 손실계수 적용 후 관거 흐름

표 3. 모의결과

맨홀 번호	맨홀 형태	맨홀 내 수위(m)		최대수두차(cm)
		손실계수 미적용	손실계수 적용	
60	중간맨홀	103.34	103.34	0
70	중간맨홀	103.06	103.45	39
80	중간맨홀	103.46	103.56	10
90	중간맨홀	102.68	103.24	56
100	중간맨홀	101.86	월류	-
300	합류맨홀	102.34	월류	-
400	합류맨홀	101.79	월류	-
500	합류맨홀	100.94	101.23	29
600	합류맨홀	100.05	100.17	12

#### 4. 결론

본 연구에서는 SWMM 모형에 손실계수 적용여부에 따른 영향을 확인하였다. 손실계수 적용전후의 변화를 확인하기 위해 가상유역을 설정하였다. 손실계수는 과부하가 발생하는 맨홀에 대해서 유입관 2/3, 유출관

1/3의 비로 적용하고 손실계수 적용전후의 맨홀에서의 수심을 비교하였다.

비교 결과 과부하 맨홀에 손실계수 적용 시 과부하 맨홀뿐만 아니라 주변 맨홀에도 영향을 주어 과부하가 추가로 발생하고, 기존의 과부하 맨홀 중 일부는 수두가 상승해 월류가 발생하는 것으로 모의가 되었다. 이는 도시 유역의 기존 관거의 배수 능력 및 침수 발생 여부 평가 시 과부하 맨홀에서의 손실계수 적용 여부에 따라 평가 결과가 상이 할 수 있음을 의미한다. 따라서 중간 맨홀과 합류 맨홀이 과부하 돼있는 경우에는 손실계수를 적용하여 관거 해석을 실시하는 것이 합리적이라고 판단되며, 실제 유역에서의 검토 또한 이루어져야 한다.

## 감사의 글

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

## 참 고 문 헌

1. 윤세의, 김정수, 송주일 (2008). 과부하 원형맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구, 한국수자원 학회 논문집, 제41권, 제3호, pp. 305-314.
2. 윤세의, 김정수, 최현수, 한정석 (2009). 과부하 합류맨홀에서의 손실계수, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 711-714.
3. 김정수, 최현수, 한정석, 윤세의(2010). 원형 합류맨홀에서의 손실계수 산정, 방재학회 학술발표회 논문집, pp. -
4. Johnston, A. J. and Volker, R. E. (1990). "Head loss at junction boxes." Journal of hydraulic engineering, Vol. 116, No. 3, pp. 326-341.
5. 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.
6. 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.
7. 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, Vol. 34, No. 6, pp. 1391-1400.
8. Zhao, C.H., Zhu, D.Z., and Rajaratnam, N. (2006). "Experimental Study of Surcharged Flow at Combining Sewer Juntion." Journal of hydraulic engineering, Vol. 132, No. 12, pp. 1259-1271.