

# 90° 접합맨홀에서의 에너지손실 저감 방법 분석

## An Analysis for Reduction Method of Head loss at Manholes with a 90° Bend

김정수\* · 최현수\*\* · 윤세의\*\*\*

Jung Soo Kim, Hyun Soo Choi, Sei Eui Yoon

### 요 지

현재 계획 또는 설계단계에서 수행되고 있는 우수 관거 시스템의 수리계산에서는 연결관의 마찰손실만을 감안하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 수두손실은 고려되지 않는 실정이다. 특히 과부하 90° 접합맨홀 내부에서의 복잡한 흐름 현상에 의하여 발생하는 에너지 손실은 일반적인 직선 연결 맨홀에 의해서 발생하는 에너지 손실과 큰 차이를 보이지만 현재 우수 관거 설계 및 관리에서는 이를 대부분 고려하지 않는 실정이다. 또한 직선으로 연결된 맨홀보다 90° 접합 맨홀은 유수교란에 의한 에너지 손실이 커지므로 이에 대한 90° 접합 맨홀에서의 에너지 손실 저감에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 합류 맨홀 중 90° 접합 맨홀에서의 에너지 손실 저감 방법의 분석을 위하여 하수도시설기준(환경부, 2005)의 표준 1호(원형), 특 1호(사각형) 맨홀을 각각 축소 제작하고, 수리실험 장치를 제작하여 수리 실험을 실시하였으며, 실험결과를 benching을 사용하지 않은 90° 접합 맨홀의 평균 손실계수를 산정한 윤세의 등(2008)의 실험 결과와 비교하였다. 접합위치를 변경한 원형 맨홀 CASE B에서의 평균 손실계수는 1.1로 산정되어 CASE A의 1.6보다 크게 감소하였다. 접합위치를 변경한 사각형 맨홀 CASE B에서는 1.5로 산정되어 손실계수의 감소폭이 적었으나, 접합위치를 변경하고 side benching을 설치한 CASE C에서의 평균 손실계수는 1.1로 산정되어 CASE A의 사각형 맨홀의 손실계수 1.6에 비하여 큰 감소 효과를 나타내었다. 따라서 90° 접합 원형 맨홀에서는 접합 위치를 변경시킨 CASE B의 형태를 사용하고, 사각형 맨홀에서는 접합 위치를 변경시키고 side benching을 설치한 CASE C의 형태를 사용하면 우수 관거 시설의 배수능력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 : 90° 접합맨홀, 손실계수, 우수 관거 시스템**

### 1. 서 론

도시화 진행에 따른 도심지 불투수 면적의 증가는 침투 유량을 증가시키고 도달시간을 감소시켜 도심지의 침수피해를 크게 증가시키는 요인이 되고 있다. 도심지역에 내린 빗물의 대부분은 우수관거 시스템에 의해 배수되기 때문에 우수관거 시스템에서 에너지 손실의 저감은 도심지의 침수를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 우수관거 시스템의 유지와 관리를 위하여 일정 거리마다 맨홀을 설치하고 있는데, 90° 접합 맨홀은 관거의 방향이 변하는 곳, 단차부의 접합, 관거가 합류하는 부분에 원형 또는 사각형 등의 형태로 설치된다. 현재 계획 또는 설계단계에서 수행되고 있는 하수관거 수리계산은 관거 내에서의 마찰손실만을 고려하여 수행하고 있으며, 맨홀에서의 수두손실은 고려되지 않는 실정이다. 특히 과부하 90° 접합맨홀 내부에서의 복잡한 흐름 현상에 의하여 발생하는 에너지 손실은 일반적인 직선 연결 맨홀에 의해서 발생하는 에너지 손실과 큰 차이를 보이지만 현재 우수 관거 설계에서는 이를 대부분 고려하지 않는 실정이다.

\* 정희원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 박사수료 · E-mail : [hydroguy@naver.com](mailto:hydroguy@naver.com)

\*\* 정희원 · 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : [rheoh@nate.com](mailto:rheoh@nate.com)

\*\*\* 정희원 · 경기대학교 토목공학과 교수 · E-mail : [syyoon@kyonggi.ac.kr](mailto:syyoon@kyonggi.ac.kr)

국외에서는 1950년대부터 맨홀 내부의 손실계수 산정에 관한 연구와 실험이 지속적으로 진행되어왔다. Sangster(1958), Marsalek(1984) 등은 정류 상태에서 유입·유출 관경 및 관로경사의 변화, 단차의 유무, 벤칭형태의 변화, 유향의 변화에 따른 독립맨홀에 대한 실험을 하여 손실계수를 산정하였다. 국내에서는 최원석, 송호면(2002)이 맨홀 손실에 관한 국외 자료와 국내의 맨홀 설계 기준에 대한 자료를 수집하여 원형맨홀에 대한 수리학적 특성에 대해 조사하였고, 윤세의 등(2008)이 사각형 맨홀과 원형 맨홀에 대한 실험적 연구를 실시하였고, 합류 맨홀 중 90° 접합 맨홀에서의 손실계수 산정에 관한 연구(윤세의 등, 2008)를 실시하였으나 합류 맨홀에서의 에너지 손실 저감 방법 분석에 관한 실험적 연구는 미흡한 실정이다. 직선으로 연결된 맨홀보다 90° 접합 맨홀은 유수교란에 의한 에너지 손실이 커지므로 이에 대한 90° 접합 맨홀에서의 에너지 손실 저감에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 합류 맨홀 중 90° 접합 맨홀에서의 에너지 손실을 저감하기 위한 방안을 제시하기 위해 국외에서 사용되고 있는 일반적인 benching에 대하여 문헌조사를 실시하였고, 조사결과를 바탕으로 수리시험 장치를 제작하고 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험 조건에 따라 유량을 변화시키며 수리실험을 실시하여 90° 접합맨홀에서의 손실계수를 산정하고 에너지 손실 저감 방안을 제시하였다.

## 2. 기본이론

맨홀 내부의 손실계수를 산정하기 위하여 Sangster 등(1958)은 맨홀 입·출구부에서의 흐름의 연속식과 운동량 보존식에서 압력손실계수를 산정하는 식(1)을 제안하였다. 이 식은 이후 Marsalek(1984), Shinji, A. and Tetsuya, K.(1998), Bo Pedersen, F. and Mark O.(1990) 등에 의하여 맨홀 내부의 손실계수 산정에 사용되었다.

$$\Delta h = K \cdot \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (1)$$

여기서,  $\Delta h$ 는 맨홀 입·출구부의 압력수두차,  $K$ 는 맨홀내부의 손실계수,  $v$ 는 관거 평균유속이다.

## 3. 수리실험 모형 및 조건

본 연구에서는 관거의 방향이 변하는 곳, 단차부의 접합, 관거가 합류하는 부분에 설치되는 90° 접합 맨홀에서의 손실 수두의 측정을 위한 실험조건을 선정하기 위하여 현장조사 및 문헌조사의 결과를 이용하여 그림 1과 같은 실험 장치를 제작하였다. 수리모형의 총 길이는 약 15m이며, 고수조, 정류용 수조, 아크릴관로, 아크릴 맨홀, 차집통 및 액주계로 구성되어있다. 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(2005)상의 특 1호 맨홀(0.9m×0.9m)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 650cm와 450cm로 제작하였다.

관거 내 압력수두의 변화를 측정하기 위하여 연결 관거의 하단부에 30cm 간격으로 액주계를 설치하였으며, 맨홀의 입·출구 부에서 정확한 압력수두를 측정하기 위하여 맨홀의 전·후에 10cm 간격으로 액주계를 설치하였다. 또한, 실험유량을 측정하기 위하여 관거의 끝부분에는 폭 90cm, 길이 80cm, 높이 70cm의 차집통을 설치하였으며, 액주계를 설치하여 차집통 내의 수위변화를 측정하였다. 실험 유량을 일정하게 공급하기 위하여 지하저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수

위를 유지하도록 하였으며, 관내의 흐름을 정류로 유지하기 위하여 정류수조(폭 120cm, 길이 150cm, 높이 120cm)를 설치하였다. 유입 및 유출 관로의 연결부는 관정 접합으로 연결하였으며, 유량의 변화에 따른 손실계수의 변화를 산정하기 위하여 실험 유량은 1.4ℓ/sec~4.5ℓ/sec로 변화시켰다(표 1). 실험 유량의 선정기준은 하수도시설기준(2005)에 제시된 우수관거에서의 이상 유속(1.0 m/sec)일 때의 유량을 최소유량으로 선정하고, 맨홀의 상판 높이인 2.0m를 월류하지 않는 유량을 최대유량으로 선정하였으며, 선정된 유량에 Froude 상사법칙을 적용하여 1/5 축소 수리 모형에서의 최소유량과 최대유량으로 계산하였다.

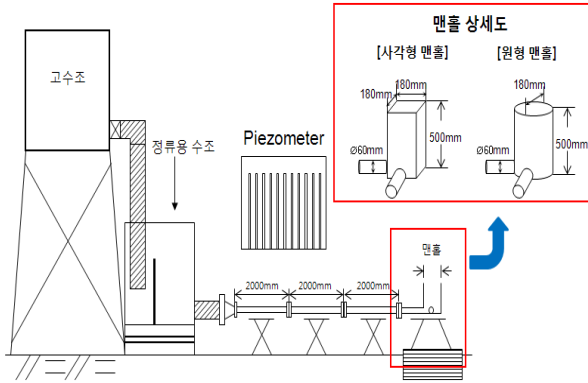


그림 1. 수리모형 개략도

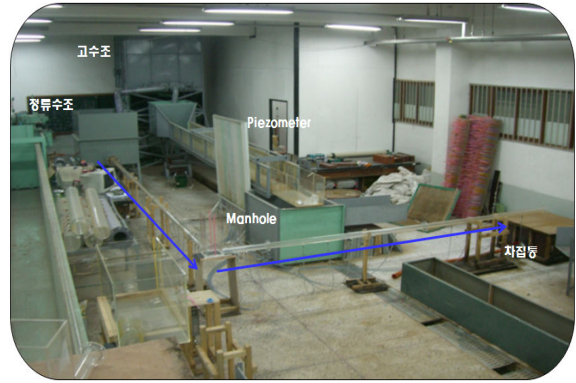


그림 2. 수리모형 전경

표 1. 수리실험 조건

맨홀형태	맨홀의 크기 (mm)	연결 관거 직경 (mm)	유입관로 길이 (cm)	실험 유량 (ℓ/sec)	흐름상태
사각형	180 × 180	60	650	1.4~4.5	정상류
원형	180				

표 2. 맨홀 연결 조건 변화

	CASE A (윤세의 등, 2008)	CASE B	CASE C
원형			
사각형			

90° 접합맨홀에서의 에너지 손실의 저감 방안을 분석하기 위하여 90° 접합 원형 및 사각형 맨

홀의 연결조건 변화 및 benching 조건을 표 2와 같이 선정하였다. 표 2에서 CASE A는 일반적인 90° 접합맨홀의 평면도이고 CASE B는 맨홀에서의 원활한 배수를 위하여 맨홀과 연결 관경의 접합위치를 맨홀의 중앙부분에서 오른쪽 끝부분으로 변경시킨 평면도이며, CASE C는 90° 접합 사각형 맨홀의 CASE B 맨홀에 side benching을 설치한 평면도이다.

#### 4. 실험결과 및 분석

90° 접합맨홀에서의 에너지 손실 저감 방안의 분석을 위하여 전 절의 수리모형을 이용하여 수리실험을 실시하였다. 수리 실험 결과 전 구간에서 관 마찰에 의해 압력수두가 감소하다가 맨홀구간에서 수두 손실이 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 유량이 증가할수록 손실수두가 증가하는 것을 알 수 있었다. 측정된 손실수두 값과 유입 유량으로부터 계산된 관 평균유속을 식 (1)에 적용하여 손실계수를 산정하여 유량 변화에 따른 손실계수의 변화를 산정하고, 표 2의 일반적인 90° 접합맨홀(CASE A)의 손실계수를 산정한 윤세의 등(2008)의 실험 결과와 비교하여 그림 3에 나타내었다.

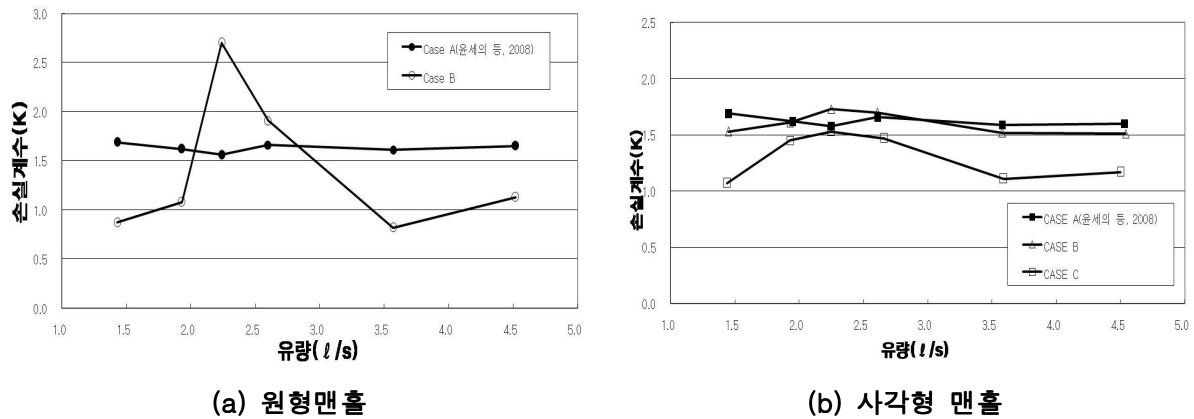


그림 3. 유량변화에 따른 손실계수 변화

그림 3에서 알 수 있듯이 90° 접합 원형 맨홀의 경우 CASE A의 손실계수는 1.6~1.7로 산정되었으나, 맨홀과 연결관의 접합위치를 변경시킨 CASE B의 손실계수는 맨홀 내 와동현상이 발생되어 손실계수가 증가한 구간(2.25l/s~2.61l/s)을 제외하면 0.8~1.1의 범위로 산정되어 맨홀 내 에너지 손실이 저감됨을 알 수 있었다. 사각형 맨홀의 경우 CASE A의 손실계수는 원형 맨홀과 유사하게 1.6~1.7의 범위로 산정되었고 CASE B의 손실계수는 1.5~1.7의 범위로 산정되어 손실계수의 감소폭이 적게 나타났으나, 접합 위치를 변경하고 side benching을 설치한 CASE C의 손실계수는 원형 맨홀에서와 유사하게 맨홀 내 와동현상이 증가한 구간(2.25l/s~2.61l/s)을 제외하면 1.1~1.3의 범위로 산정되어 맨홀 내 에너지 손실이 저감됨을 알 수 있었다.

유입유량이 2.25l/s~2.61l/s의 범위에서는 CASE A에서 발생되지 않았던 맨홀 내 수표면 와동 현상이 CASE B와 CASE C에서 발생하여 맨홀 내 에너지 손실이 크게 발생하는 것으로 판단된다. 이러한 수표면 와동 현상은 유입유량이 2.61l/s이상으로 증가하면 맨홀에서의 에너지 손실에 영향을 적게 미치는 것으로 나타났다. 따라서 맨홀 내 수심이 유입관경의 3배 이상으로 증가하게 되면 맨홀 내의 흐름이 압력흐름으로 변경되는 것으로 판단되며, 이러한 압력흐름에서는 수표면에서 발생하는 와동 현상이 맨홀 내 수두 손실의 변화에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 90° 접합 맨홀에서의 에너지 손실을 저감하기 위해 국외에서 사용되고 있는 일반적인 benching에 대하여 문헌조사를 실시하였다. 조사 결과를 바탕으로 특 1호 맨홀과 표준 1호 맨홀을 선택하여 수리실험 장치를 제작하고 맨홀에서 에너지 손실을 저감할 수 있는 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건에 따라 유량을 변화시키며 수리실험을 실시하여 90° 접합 맨홀의 손실계수를 산정하였다. 실험결과를 benching을 사용하지 않은 90° 접합 맨홀의 평균 손실계수를 산정한 윤세의 등(2008)의 실험 결과와 비교하였다. 접합위치를 변경한 원형 맨홀 CASE B에서의 평균 손실계수는 1.1로 산정되어 CASE A의 1.6보다 크게 감소하였다. 접합위치를 변경한 사각형 맨홀 CASE B에서는 1.5로 산정되어 손실계수의 감소폭이 적었으나 접합위치를 변경하고 side benching을 설치한 CASE C에서의 평균 손실계수는 1.1로 산정되어 CASE A의 사각형 맨홀의 손실계수 1.6에 비하여 큰 감소 효과를 나타내었다. 따라서 90° 접합 원형 맨홀에서는 접합위치를 변경시킨 CASE B의 형태를 사용하고, 사각형 맨홀에서는 접합 위치를 변경시키고 side benching을 설치한 CASE C의 형태를 사용하면 우수 관거 시설의 배수능력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 1 윤세의, 김정수, 송주일 (2008). “과부하 사각형 맨홀의 배수능력 증대에 관한 실험적 연구”, 대한상하수도학회 논문집, pp. 619-625.
- 2 윤세의, 김정수, 송주일, 장석진 (2008). “과부하 원형 맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 실험적 연구”, 한국수자원학회 논문집, pp. 305-314.
- 3 윤세의, 김정수, 윤영노, 박선희 (2008). “과부하 90°접합맨홀에서의 손실계수”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 706-709.
- 4 최원석, 송호면 (2002). “하수맨홀의 수리학적 특성에 관한 연구”, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, pp. 13-16.
5. 환경부 (2006). 하수도시설기준.
6. 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.
7. Marsalek, J. (1984). "Head losses at sewer junction manholes", Journal of hydraulic engineering, ASCE, Vol. 110, No. 8, pp. 1150-1154.
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. 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.