

합류맨홀에서의 유사퇴적 저감을 위한 실험적 연구

An Experimental Study for Reduction of Sedimentation Deposit in Combining Junction Manholes

김정수* / 김경범** / 윤세의***

Kim, Jung Soo / Kim, Kyoung Beom / Yoon, Sei Eui

Abstract

Accumulation of sediment within pipelines, manholes, and other components of urban sewer systems can have a bad influence on sewerage arrangements, such as the resistance of the passage of flows, the cause of urban flooding and the premature operation of combined sewer overflows, and the inevitable pollution of watercourses. Therefore, it is necessary to understand the movements and sedimentation of sediment loads in combining junction manholes by experiments. In this study, hydraulic experimental apparatus which can change the manhole shapes (square, circle) were installed to measure deposited sedimentation quantity. The quantity of deposited sediment loads was measured by different conditions, for instance, the inflow conditions of sediment (continuous and certain period), the amount of inflow sediment, and the variation of inflow pipe of sediment. The combining junction manhole that was set up a inclined benching have the considerable effect of reduction of sedimentation in manholes without apropos of the change of manhole shapes. Therefore, the improved manhole could be increased the drainage capacity of sewerage arrangements in urban sewer systems.

Keywords : combining junction manhole, sediment load, sedimentation quantity, urban sewer system

요 지

일반적으로 관거 및 맨홀 등의 도시 배수 시스템에서의 유사 및 유송잡물의 퇴적은 유수 흐름의 저항, 합류식 하수도의 조기 운영 및 도시 침수 및 주수로에서의 필연적인 오염 발생 등의 하수도 시설에 심각한 영향을 미친다. 그러므로 배수관과 연결된 합류맨홀에서 유사 거동 특성 및 퇴적 양상을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 문헌조사 및 현장조사를 실시하여 실험장치를 제작하고 실험조건을 선정하였다. 선정된 실험조건인 맨홀 형상 조건(사각형, 원형), 유사 유입 조건, 유입 유사량 및 유사 유입 관거를 변화시키면서 실시하였다. 맨홀 내부에 경사형 benching을 설치한 개선형 합류맨홀은 맨홀의 형상에 관계없이 합류맨홀 내 유사퇴적을 저감시키는 데에 상당한 효과를 나타내고 있으므로 도시 배수 시스템에서 개선형 합류맨홀은 관거 시설의 배수능력을 증대시킬 것으로 판단된다.

핵심용어 : 합류맨홀, 유사, 유사퇴적량, 도시 배수 시스템

* 교신저자, 부천대학교 토목과 겸임교수 (e-mail: hydroguy@naver.com)

Corresponding Author, Adjunct Professor, Department of Civil Engineering, Bucheon Univ., Bucheon 420-735, Korea

** 경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (e-mail: Kyoungbeom.Kim@gmail.com)

Ph.D., candidate, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 443-760, Korea

*** 경기대학교 토목공학과 교수 (e-mail: syoon@kyonggi.ac.kr)

Professor, Department of Civil Engineering, Kyonggi Univ., Suwon 443-760, Korea

1. 서론

도시 지역에서 해마다 반복되는 국지성 집중호우는 하천 연안이나 유출량이 급격히 증가하는 저지대 및 하수관거가 불량하거나 부족한 지역을 중심으로 상습적인 침수 피해를 발생시키고 있다. 도시지역에 내린 빗물은 우수관거 시스템에 의하여 배수되므로 우수관거 시스템의 우수 배제 능력의 증가는 도심지의 침수 피해를 방지하기 위한 필수적인 요소라 할 수 있다. 그러나 도시 유역에서 발생하여 배수관거 및 맨홀 등의 관거 시설에 퇴적된 유송잡물 및 토사는 관거 시설의 통수능을 감소시키고 내배수 시스템의 기능을 감소시켜 저지대 침수 및 맨홀에서의 역류 등을 유발하여 도심지 침수의 주요한 원인이 되고 있다(윤세의 등, 2012). 상습침수 해소를 위한 하수도시설 기준 재검토(서울시, 2002)에서 하수관거의 통수단면 축소로 인한 우수소통 장애를 서울시의 주요 수해원인 및 침수세부 원인의 일부분으로 제시하였다. 이에 하수도시설기준(환경부, 2005)에서는 관로 및 맨홀 내 퇴적물이 쌓이는 것을 방지하기 위하여 인버트 등을 설치하여 하수의 흐름을 원활히 하도록 규정하고 있으나 관거시설의 설계나 시공 시에 이러한 설치 규정이 준수되지 않는 실정이다. 따라서 관거 시설 내 맨홀에서의 유사 거동 및 퇴적 특성 분석에 대한 연구와 보다 구체적인 저감 방안 및 설치 기준이 요구되는 실정이다. 그러므로 우수 관거 시스템의 우수 배제 능력을 증가시켜 도심지의 침수 및 배수를 원활하게 하기 위한 관거 시설의 적정 설계 기준이 필요하다. 더욱이 직선으로 연결된 중간 맨홀보다 두 개의 유입관과 한 개의 유출관으로 연결된 합류맨홀은 연결 구조상 우수 및 토사 등의 유송잡물의 거동이 복잡하여 일반적인 중간 맨홀에 비하여 맨홀 내 퇴적 형상의 변화가 다양하다. 그러므로 관거 시설의 우수 배제 능력을 증가시키기 위한 합리적인 설계 방법 및 유사 퇴적 저감 방법을 제시하기 위하여 배수관과 연결된 과부하 합류맨홀 내에서의 유사 거동 특성 및 퇴적 양상을 분석할 필요가 있다.

국외에서 Stovin과 Saul (1994)은 수리실험을 실시하여 관거 시설 내 저류조에서의 유사 퇴적 위치 및 수리학적 특성을 분석하였으며, Stovin과 Saul (1998)은 저류조에서의 유사 퇴적에 관한 전산 유동해석을 실시하여 실험 결과와 비교하였다. Buxton et al. (2002)는 관로 내 유사 차집에 관한 실험적 연구를 실시하였으며, Butler et al. (2003)과 Sutter et al. (2003)는 관로 내의 토사퇴적 저감 연구를 실시하였다. 또한 Faram과 Harwood (2003)는 관로 내 다양한 유사 퇴적 맨홀에서의 유사 거동 특성 분석에 관한

수치해석을 실시하였으며, Lau et al. (2007)과 Stovin et al. (2010)은 맨홀에서의 오염물의 지체시간 및 확산에 관한 실험적 연구를 진행하였다. 한편 국내에서는 유동훈 등 (2007)은 관경, 관중, 비중, 토사입경 및 유량 등을 고려한 하수관의 설계방법을 제시하였고, 심재호 등(2007)은 원형 배수관로 내의 토사이동 특성에 관한 연구를 진행하였다. 또한 박무종(2008)은 도시유역에서 발생하는 유사량의 산정 방법을 제시하였으며, 이재수(2008)는 합류식 관거 내 퇴적고형물의 산정기법을 제시하였고, 조현국(2009)은 원형 우수관로에서의 비점착성 토사이동에 관한 연구를 진행하였다. 이와 같이 국외에서는 관로 및 관거 시설(맨홀, 저류조 등)에서의 유사거동 및 퇴적 특성에 관한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 주로 관로내의 유사거동 특성을 규명하는 것이었다. 국내 및 국외의 문헌조사에서 알 수 있듯이 관거와 연결된 맨홀에서의 유사 거동 및 퇴적에 관한 특성의 분석에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 두 개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 합류맨홀에서의 유송 토사의 퇴적 형상과 퇴적량의 산정 및 맨홀 내 퇴적 저감방안을 제시하기 위하여 토사유입장치, 연결관, 합류맨홀, 토사차집장치 등의 수리실험 장치를 제작하였다. 합류맨홀은 하수도시설기준(환경부, 2005)의 표준 1호 맨홀(원형맨홀)과 특 1호 맨홀(사각형 맨홀)을 선정하여 1/5 축소모형으로 제작하였다. 또한 문헌 조사와 현장 조사를 실시하여 맨홀에 퇴적되어 있는 토사의 특성을 분석하였으며, 분석결과를 바탕으로 수리실험 조건을 선정하였다. 선정된 실험조건에 따라 유사유입조건(연속유입, 일정기간유입), 유사유입량, 유사유입관거 조건 및 맨홀의 형상 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적 형상 및 퇴적량을 실측하였으며, 실측된 결과와 유사 퇴적 저감안의 비교 분석을 실시하여 합류맨홀 내 유사 퇴적을 저감할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 맨홀 내 퇴적토사 특성 분석

유역에서 유사 발생하는 원인은 겨울철 도로제설 작업을 위한 모래, 산업쓰레기, 건설현장, 토양침식 등이 있다. 유사는 크게 토양으로부터 직접적으로 비롯되는 토사(sedimentation), 나무, 잔디, 동물의 배설물, 동물사체 등의 유기물(organiacs), 자동차, 담배, 도시쓰레기, 기타 등의 쓰레기(litter), 중금속, 비료, 살충제 등의 화학적 오염물질 등을 일컫는다(박무종과 이재수, 2004). 또한 맨홀 및 관거로 유입되는 유송토사는 유역의 지역 변화에 따른 유입유사의 특성, 계절적 특성변화에 따른 맨홀에서의 유

입수문곡선의 변화 및 맨홀의 설치조건과 맨홀 내부의 구조적인 변화 등의 다양한 인자에 영향을 받고 있어서 대단히 복잡한 현상을 보여준다. 그러므로 본 연구에서는 맨홀 내로 유입되는 유송토사는 토사만을 고려하였으며, 맨홀로의 유입 가능한 유사량을 검토하기 위하여 하수도 시설기준(환경부, 2005)과 하수도통계(환경부, 2001~2008)에서 서울시의 하수관거 준설량을 조사하였다. 하수도 시설기준에서는 신시가지 토지조성 완료 후 1.5 m³/ha·yr, 택지조성공사 기간 중 별도의 시설 조치가 없는 경우 150 m³/ha·yr의 유사가 발생하는 것으로 제시하고 있으며, 원단위법은 나지 및 황폐지에서는 200~400 m³/ha·yr, 배별지 및 초지에서는 15 m³/ha·yr, 택별지에서는 2 m³/ha·yr, 산림에서는 1 m³/ha·yr로 단위면적당 발생하는 연간 토사 유출량을 제시하고 있다.

또한, 2001년부터 2008년까지 하수도통계(환경부, 2001~2008)에서 서울시의 하수도 준설량을 조사한 결과는

Table 1과 같았다. 2008년도 하수도통계 자료에 의하면 서울시에 존재하는 맨홀은 총 209,004개소가 존재하는 것으로 조사되었다. 또한 2001년부터 2008년까지의 평균 하수도 준설량은 261,136.3 ton으로 조사되었다. Table 1의 준설실적을 바탕으로 맨홀로 유입되는 유사량을 개략적으로 예측하기 위하여 기상청의 강우자료를 조사하였다. 일반적으로 유사유출은 일강우량이 20 mm 이상일 경우에만 발생하는 것으로 가정하고 맨홀의 준설 실적이 2004년 이후부터 수록되어 있어서 2004~2008년의 기간의 준설량을 검토하고, 매년 서울시에서 20 mm 이상의 강우가 발생한 일수를 조사하였다. 조사결과 지난 2004년에서 2008년까지 강우가 20 mm 이상 발생한 일수는 30일이었다. 서울시 하수도 준설량과 전체 맨홀개소 및 강우일수를 근거로 맨홀 1개소 당 유입되는 유사량을 산출한 결과 0.38~0.60 g/s 정도 되는 것으로 나타났다(Table 2). 그러나 하수도통계의 준설량은 서울시 전체 맨홀에서의 준설량이 아

Table 1. Sewerage Dredging Quantity in Seoul

Year	Total Length of Sewerage (km)	Length of Dredge and Number of Unit				Dredging Quantity (ton)
		Pipe (m)	Manholes (number)	Inlets (number)	Mouth and Chamber (number)	
2001	10,015	1,157,405	43,537	573,073	446	307,221
2002	10,052	1,118,329	53,995	494,492	208	262,774
2003	10,087	1,138,793	18,183	577,049	50	236,647
2004	10,157	1,235,041	29,725	518,263	284	309,951
2005	10,228	1,154,266	32,243	510,297	135	251,264
2006	10,252	1,024,142	16,425	599,571	207	264,075
2007	10,261	1,200,807	28,737	448,663	107	251,876
2008	10,283	978,331	13,998	507,605	1,037	205,282

Table 2. Injection Discharge of Sediment Load to Manholes

Year	Dredge Rate (%)				Dredge Quantity Per Unit Manhole (ton/unit)	Number of Raining Days over 20 mm (days)	Injection Quantity of Sediment Load Per Unit Manhole (g/s)/unit
	Sewer Pipe	Manhole	Rain or Sewage Inlet	Storm Overflow Chamber and Outfall			
2004	12.16	15.03	116.38	21.68	10.43	30	0.60
2005	11.29	16.11	113.55	10.31	7.79		0.48
2006	9.99	8.17	132.58	15.61	16.08		0.51
2007	11.70	14.04	97.96	8.07	8.76		0.47
2008	9.51	6.70	109.13	78.21	14.67		0.38

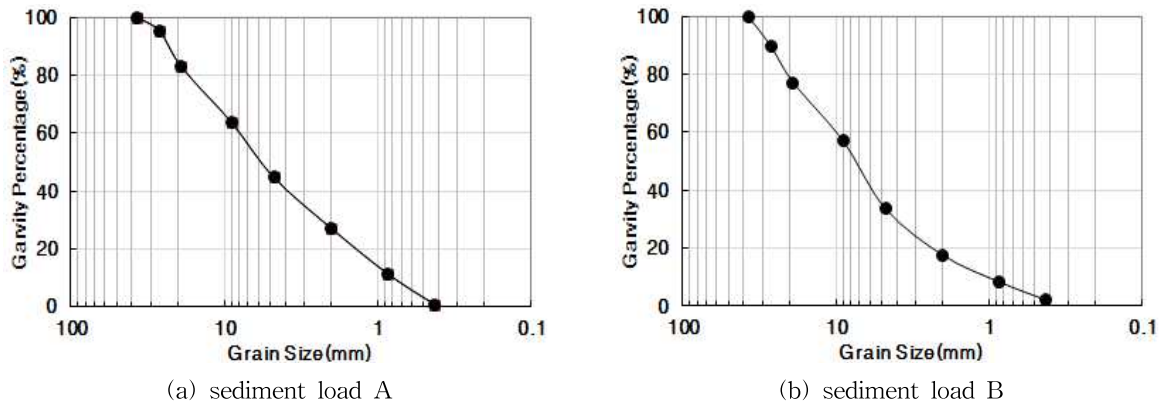


Fig. 1. Results of Particle Size Analysis

Table 3. Grain Size of Sediment Load

Sample	≥ 2 mm	D_{60} (mm)	D_{50} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)
A	33%	0.91	0.78	0.41	0.17
B	22%	0.8	0.61	0.27	0.15
Average	28%	0.86	0.70	0.34	0.16

나라는 점과 동일 맨홀을 대상으로 매년 준설이 이루어지 않는다는 점에서 맨홀 내 유사 거동 실험 시, 유입 유사량으로 판단하기에는 비현실적이라고 판단된다. 또한 유역 내에서 발생하는 유사의 많은 양이 관로에 퇴적된다는 점을 고려한다면, 예측된 맨홀 1개소 당 유사유입량은 실제의 유입량과 다소 차이가 있을 것으로 판단되며, 맨홀의 설치 장소 및 위치에 따라 많은 변동성을 보일 것으로 판단된다.

맨홀 내 유송 토사의 비중 및 입경 등의 특성 파악을 위하여 실제 하수도에서 준설된 토사를 채취하여 입도 분석을 실시하였다. 시료는 화성시 향남읍에 위치한 향남하수처리장에서 당일 준설된 토사(토사 A)와 채취일 2~3일 전 미리 준설되었던 토사(토사 B)의 2종류를 채취하여 입도 분석을 실시하였다. Fig. 1은 토사 A와 B의 입도분석을 실시한 결과를 나타내는 입도분포곡선이다. 입도분석 결과 토사 A의 평균 입경(D_{50})은 0.78 mm로 나타났으며, 토사 B의 평균 입경(D_{50})은 0.61 mm로 분석되었다. 당일 준설된 토사 A의 입자가 토사 B보다 전반적으로 크게 나타났으나 그 차이는 미소하였다. 따라서 두 유송토사를 산술 평균하면 평균 입경(D_{50})은 약 0.70 mm로 산정되었다(Table 3).

3. 수리실험

3.1. 수리학적 상사성

윤세의 등(2008)은 손실계수 산정 수리실험 결과를 바

탕으로 개수로와 관수로가 혼재하는 맨홀의 수리 모형에서는 Froude 상사를 적용하는 것이 타당함을 제시하였다. 그러므로 맨홀 내부 흐름과약을 위한 수리모형은 Froude 상사를 만족해야 한다. 그러나 Henderson (1966)은 수심이 큰 경우, 즉 Froude 수가 1보다 상당히 작아서 Froude 상사가 그다지 중요하지 않다고 판단될 때 Froude 수의 상사를 다음과 같이 완화할 수 있음을 제안하였다.

$$\Delta F = V_r Y_r^{-1/2} \quad (1)$$

여기서, F 는 Froude 수, V_r 은 유속비, Y_r 은 수직길이 비, 그리고 첨자 r 은 원형과 모형비이다.

또한 유사이동은 점성력을 함께 고려해야 한다. Manning의 평균유속공식의 비로부터 다음과 같은 점성력의 상사를 만족하는 식을 유도할 수 있다.

$$\Delta M = V_r^{-1} n_r^{-1} R_r^{2/3} S_r^{1/2} \quad (2)$$

여기서, S_r 은 경사축적으로써 Y_r/X_r 과 같고, R_r 은 동수 반경비, X_r 은 수평길이비, 그리고 n_r 은 조도계수비로써 Strickler는 다음과 같이 제안하였다.

$$n_r = D_r^{1/6} \quad (3)$$

여기서, D_r 은 모형사와 원형사의 입경비이다.

흐름의 상사를 만족시키기 위해서는 Froude 상사와 Manning 평균유속공식 비의 상사가 동시에 이루어져야

한다. 수심에 비해 하폭이 상당히 큰 하천의 경우 R_r 은 Y_r 이므로 위 식들로부터 다음과 같은 흐름의 상사조건식을 유도할 수 있다.

$$\Delta F \Delta M = Y_r^{2/3} D_r^{-1/6} X_r^{-1/2} \quad (4)$$

하상변동을 일으키는 유사입자의 운동과 하상형상은 Shields곡선 상의 위치에 의해 결정되는 것으로 알려져 있으므로 유사이동의 상사를 만족하기 위해서는 다음의 두 식으로 표현되는 Shields의 유입함수와 입자 Reynolds수가 원형과 모형에서 동일하게 유지되도록 조정하여야 한다.

$$F_s = \frac{1}{\psi} = \frac{\tau_0}{\gamma(S_s - 1)D} = \frac{u_*^2}{g(S_s - 1)D} \quad (5)$$

$$R_e^* = \frac{u_*^* D}{\nu} = \frac{\sqrt{\tau_0/\rho} D}{\nu} \quad (6)$$

여기서, F_s 는 Shields의 유입함수로서 일종의 Froude 수로 볼 수 있으며, 입자 Froude 수로 정의하기도 한다. ψ 는 전단강도, τ_0 는 마찰응력으로써 $\gamma R S$ 와 같고, S_s 는 입자의 비중, R_e^* 는 입자 Reynolds수, u_*^* 는 전단속도, 그리고 ν 는 물의 동점성계수이다.

Novak과 Čabelka (1981)는 경험식을 이용해서 R_e^* 가 3.5 이상이 되면 입자에 작용하는 힘이 주로 형상마찰에 의한 것으로써 점성력의 영향은 무시할 수 있음을 밝혔다. 입자 Reynolds수를 무시하는 경우에 원형과 모형간의 유사이동에 대한 상사성을 확보하기 위해서는 다음 식과 같이 Shields의 유입함수 상사조건만을 만족하면 된다.

$$\Delta F_s = (S_s - 1)^{-1} D_r^{-1} Y_r^2 X_r^{-1} \quad (7)$$

본 연구의 실험에서 모형의 축척에 관련된 변수들 X_r (1/5)과 Y_r (1/5)이 먼저 결정되었으므로, 완화된 흐름의 상사($\Delta F \Delta M \neq 1$)와 유사의 이동상사($\Delta F_s = 1$)를 이용하여 모형사에 관련된 변수 D_r 과 S_s 를 결정하면 된다.

3.2. 실험유사 결정

본 연구에서는 전절의 현장 조사를 통하여 분석된 유송 토사를 일반적인 배수 관거 및 맨홀으로 유입되는 유사로 판단하고 모형실험에서 사용가능한 실험 유사를 선정하기 위하여 일반모래, 주문진 표준사, 안트라사이트, 규조토, NO.200체를 통과한 모래, 이들 5가지 유사에 대하여 입자 Reynolds수를 검토하였다. 검토결과 Table 4와 같이 모든 실험유사가 3.5 이상의 값을 보였다. 그러므로 점성력을 무시하고 원형과 모형간의 유사이동에 대한 상사성을 확보하기 위하여 Shields의 유입함수 상사조건만 만족하면 되는 것으로 검토되었다. 또한, 완화된 흐름의 상사와 유사의 이동상사를 확인한 결과는 Table 5에 나타내었다.

맨홀 내 유사 거동특성을 분석하기 위하여 Table 5에서 알 수 있듯이 5가지 실험유사에 대하여 입자 Reynolds수와 흐름 및 유사이동 상사성을 검토하였으며, 모형 수리실험에 사용가능한 실험 유사를 본 연구에서는 평균 입경(D_{50})과 비중의 차이를 고려할 수 있으며, 입자의 크기가 전반적으로 일정한 주문진 표준사를 실험유사로 선정하였다.

3.3. 수리실험 모형 제작

합류맨홀에서의 유송 토사의 퇴적 형상과 퇴적량의 산정 및 맨홀 내 퇴적 저감방안을 제시하기 위한 수리실험 모형은 고수조, 정류용 수조, 아크릴관거, 아크릴 맨홀, 차집통 등으로 구성되어있다. 윤세의 등(2008)은 맨홀에서의 손실계수 산정을 위한 수리실험 결과를 바탕으로 개수로와 관수로가 혼재하는 맨홀의 수리 모형에서는 Froude 상사를 적용하는 것이 타당함을 제시하였다. 그러므로 본 연구에서는 수리모형의 Froude 상사를 만족시키기 위하여 아크릴 맨홀 및 아크릴 관로는 하수도시설기준(2005)상의 특1호 맨홀(0.9×0.9m)과 표준 1호 맨홀(내직경 0.9m)의 기성품과 직경 0.3m의 유입 및 유출관을 1/5로 축소하여 제작하였고, 합류맨홀 내 유사의 퇴적을 저감할

Table 4. Reynolds Number of Particles

Sediment Load	Average Grain Size (D_{50}) (mm)	Reynolds Number of Particles
Sand	0.83	75.35
Jumunjin Sand	0.55	49.93
Anthracite	0.80	72.63
Diatom Earth	0.30	27.24
Sand (No.200)	0.07	6.36

Table 5. Review Results of Flow and Transfer of Sediment Load Similarity Law

Sediment Load		Average Grain Size (D_{50})(mm)	Specific Gravity (S)	$\Delta F \Delta M$	F_{sr}
Sediment Load in Manhole		0.7	2.65	-	-
Experimental sediment load	Sand	0.83	2.65	1.35	1.17
	Jumunjin Sand	0.55	2.63	1.26	3.88
	Anthracite	0.8	1.45	1.34	1.56
	Diatom Earth	0.3	1.90	1.14	1.17
	Sand (No. 200)	0.07	2.65	0.89	0.50

Table 6. Schematic Picture of Combining Junction Manholes

Manhole Shapes	Basic Form	Upgrade Form
Square		
Circle		

수 있는 개선안도 함께 제작하였다(Table 6).

관로의 길이는 흐름의 확립을 위하여 직선 연결구간은 합류맨홀의 상류방향으로 4.5m, 측면 연결구간은 합류맨홀 상류 방향으로 2.5m, 합류맨홀 하류방향으로 4.5m로 제작하였다. 실험 유량의 원활한 공급을 위하여 지하 저수조의 물을 고수조로 양정하여 일정 수위를 유지하도록 하였으며, 고수조에서 연결관거로 물을 공급할 때, 관내의 흐름을 정류상태로 유지하기 위하여 정류 수조를 설치하여 연결 관거와 연결하였다. 실험 관거에는 유량계를 설치하여 실험유량이 정확하고 원활히 공급되는지 확인하였다. 또한 유출관로의 끝에는 유사를 차집 할 수 있는 별도의 장치를 설치하였으며, 유사의 공급은 직선 연결관거로 유입되는 상류부분과 측면 연결관거로 유입되는 상류

부분에 각각 유사 공급 장치를 제작하여 설치하고 밸브를 통해 유사유입량을 조절하면서 실험을 실시하였다. 본 연구에서 제작되어진 수리 실험 수로의 전경을 나타내고 있다(Fig. 2).

3.4. 실험조건 선정

맨홀 및 관거에 퇴적된 유사는 관거 시설의 통수능을 저하시키는 한 원인이며, 특히 맨홀에 퇴적된 유사는 도시 배수 시설에서의 역류, 과부하 및 맨홀로의 하수 분출 등의 도심지 침수피해의 심각한 원인 중 하나이다. 이러한 맨홀 내 유사 퇴적은 집수 유역에서 발생하는 유입 유사량에 영향을 받는다. 또한 유입 유사량은 계절적, 지역적 특성 및 맨홀의 설치위치 등에 많은 다양한 인자들의

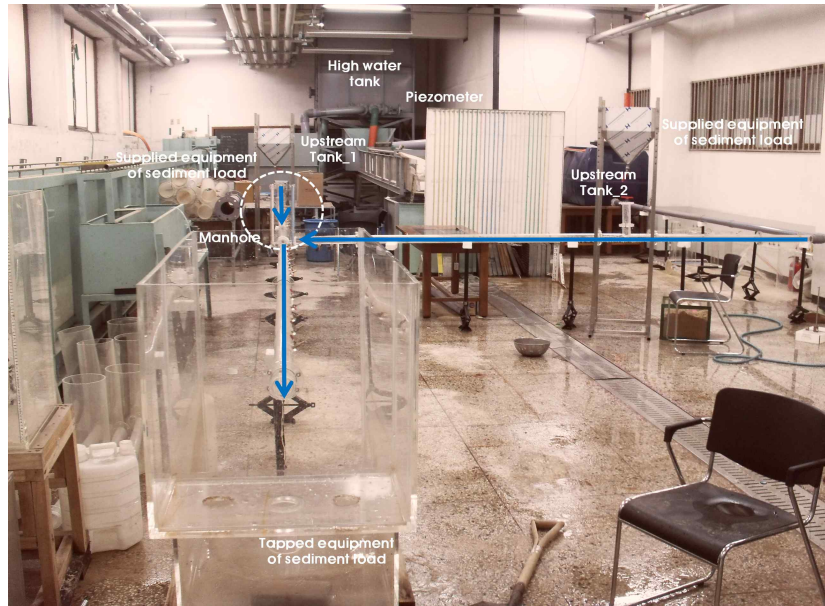


Fig. 2. View of Experimental Apparatus

Table 7. Experimental Conditions

Manhole Shapes	Sediment Load	Injection Conditions	Injection Pipes	Injection Quantity	Total Discharge
Square, Circle	Jumunjin Sand	Continuous, Certain Period	IS + IL, IL, IS	0.75 g/sec, 10 g/sec, 15 g/sec	2.54 l/sec

영향을 받으므로 유입 유사량의 정량화된 결과를 도출하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 침수피해의 발생지역이 주로 도심지임을 고려하여 전절에서 제한된 조건하에서 분석되어진 서울시 하수도 준설량 보다는 많은 유사가 유입되는 것으로 가정하고 일반적인 경우의 유입 유사량을 개략적으로 0.75 g/sec로 추정하였으며, 다량의 유사가 유입되는 경우를 가정하여 유입 유사량을 10, 15 g/sec로 추정하였다.

강우발생 시간 동안 유입되는 실제 관거 및 맨홀에서의 유사 유입은 우리나라의 계절적인 영향으로 여름철의 강우발생 시간동안에는 지속적으로 유입이 이루어지기도 하고, 봄과 가을철의 강우 시에는 일정시간 유사 유입이 발생하고 강우가 끝나면 맨홀이나 관로에 일정량이 남아 있다가 다음 강우 시에 거동하는 등의 형태를 반복하고 있다. 따라서 본 연구에서는 맨홀에서의 유사 퇴적 형상 및 특성을 분석하기 위하여 2가지 유사유입형태를 실험조건으로 선정하였다. 유사 유입이 지속적으로 발생하여 맨홀 내의 유사의 거동이 평형상태에 도달한 경우인 연속유입 형태와 유사가 지속적으로 맨홀로 유입되다가 유사 유

입은 중단되고 유량만 흘러 평형상태에 도달한 경우인 일정기간유입 형태로 나누어서 실험을 실시하였다. 또한 유사 유입 관거에 따른 합류맨홀 내의 퇴적 변화를 알아보기 위하여 직선유입 관거와 측면유입 관거에서 모두 유사가 유입되는 경우(IS + IL), 측면유입 관거에서만 유사가 유입되는 경우(IL, Injection of sediment load at Lateral pipe) 및 직선유입 관거에서만 유사가 유입되는 경우(IS, Injection of sediment load at Straight pipe)로 나누어 실험을 실시하였다.

관거 내 유하 유량은 설계빈도의 강우량, 유역의 토지 이용현황 등의 영향을 받는다. 특히, 실무에서 관거를 설계할 때 설계유속을 1.0~3.0 m/sec의 범위에서 사용하고 있음을 고려하여 이를 Froude 상사법칙에 적용한 후 실험 유속을 결정하고 관거의 면적을 고려하여 유입유량을 결정하였다. 그러므로 본 연구에서는 실제 유입관에서의 설계유속인 1.0 m/sec를 Froude 상사법칙을 적용하여 합류 맨홀의 상류부에서의 관거 내 실험유속을 직선연결 관거와 측면연결 관거에서 각각 0.45 m/sec로 선택하였으므로 유입 관거에서의 실험유량은 각각 1.27 l/sec이고 유출

관거에서의 유량은 2.54 l/sec이다(Table 7).

4. 실험결과 및 분석

4.1 직선 및 측면유입 관거에서의 유사유입

4.1.1 사각형 합류맨홀

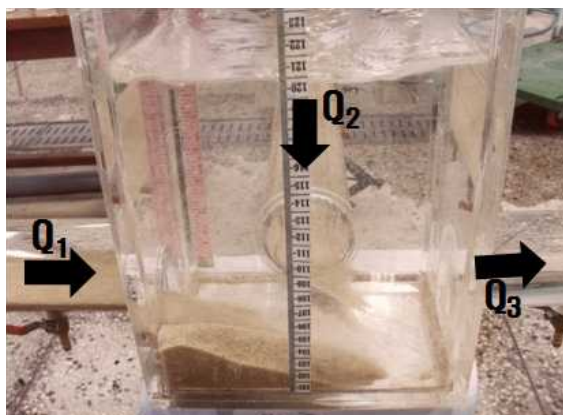
사각형 합류맨홀에서의 유송 토사의 퇴적 형상과 퇴적량의 산정 및 맨홀 내 퇴적 저감방안을 제시하기 위하여 유사유입조건(연속유입, 일정기간유입), 유사유입량 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적량을 실측하였으며, 실측 퇴적량은 Table 8과 같다. Table 8에서 유사유입 조건이 연속 유입조건일 때, 기본 사각형 합류맨홀에서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 유사유입량의 변화에 따라서 각각 453, 808, 819g으로 측정되었으며, 개선된 사각형 합류맨홀에서는 각각 114, 229, 377g으로 측정되어 개선된 맨홀에서의 유사 퇴적량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 유사

유입 조건이 일정기간유입 조건일 때, 기본 사각형 합류맨홀에서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 유사유입량의 변화에 따라서 각각 58, 89, 136g으로 측정되었으며, 개선된 사각형 합류맨홀의 경우 유사유입량이 0.75g/sec일 때는 유사 퇴적량이 발생하지 않았으며, 유사유입량이 10g/sec와 15g/sec에서는 각각 12, 28g으로 측정되어 연속유입 조건과 동일하게 개선된 맨홀에서의 유사 퇴적량이 감소하는 것으로 나타났다.

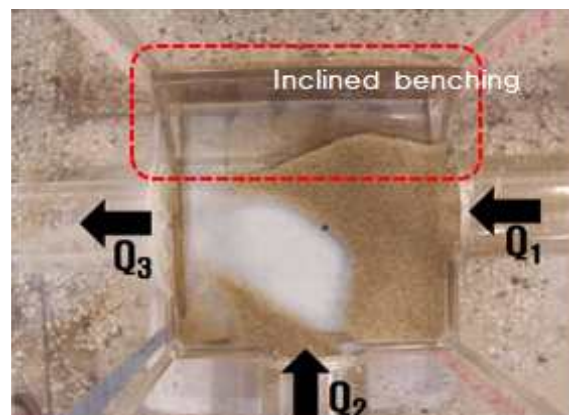
Fig. 3은 유사유입 조건이 연속 유입조건(10g/sec) 일 때, 기본 사각형 합류맨홀에서의 퇴적형상과 합류맨홀 내부의 유사의 퇴적을 저감하기 위하여 맨홀 유입관을 기준으로 우측 맨홀 내부벽에 경사형 benching을 설치한 개선된 사각형 합류맨홀에서의 퇴적형상을 나타내고 있다. 기본 사각형 합류맨홀에서는 직선유입 관거로부터 유입된 유사가 맨홀로 유입되면서 좌우로 퇴적되고, 측면유입 관거에서 유입되는 유입수에 의하여 부유되면서 유출관으로 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 측면유입 관거

Table 8. Sedimentation Quantity in Combining Junction Manhole with Square Shape

Injection Pipes	Injection Quantity (g/sec)	Manhole Profile	Sedimentation Quantity (g)	
			Continuous Injection	Certain Period Injection
IS + IL	0.75	Basic Form	453	58
		Upgrade Form	114	N/D
	10	Basic Form	808	89
		Upgrade Form	229	12
	15	Basic Form	819	136
		Upgrade Form	377	38



(a) Basic Form



(b) Upgrade Form

Fig. 3. Sedimentation Shape in Square Manhole (Injection Quantity:10 g/sec)

로부터 유입된 유사는 직선유입 관거에서 유입되는 유입수에 의해 곧바로 부유되어 배출되는 것을 확인하였으며, 사각형 합류맨홀 내의 유사퇴적은 직선유입 관거로부터 맨홀의 우측 모서리에 집중되었다. 반면에 개선형 사각형 합류맨홀에서는 맨홀 내 우측에 설치된 경사형 benching에 의해 맨홀 내부의 우수 흐름이 많이 교란되어 직선유입 관거에서 맨홀로 유입되는 유사를 많이 부유시키고 있었으며, 부유된 유사의 대부분은 유출관으로 배출되었다. 개선된 사각형 합류맨홀 내의 유사는 직선유입 관거로부터 맨홀의 좌우측에 퇴적되는 경향을 보이고 있다.

4.1.2 원형 합류맨홀

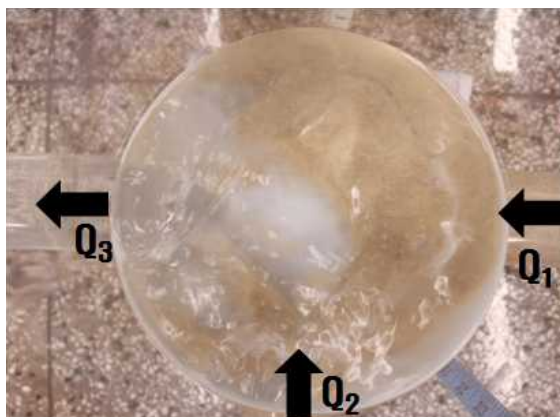
원형 합류맨홀에서의 유송 토사의 퇴적 형상과 퇴적량의 산정 및 맨홀 내 퇴적 저감방안을 제시하기 위하여 유사유입조건(연속유입, 일정기간유입), 유사유입량 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적량을 실측하였으며, 실측 퇴

적량은 Table 9와 같다. Table 9에서 유사유입 조건이 연속 유입조건일 때, 기본 원형 합류맨홀에서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 유사유입량의 변화에 따라서 각각 386, 542, 712 g으로 측정되었으며, 개선된 원형 합류맨홀에서는 각각 87, 219, 227 g으로 측정되어 개선된 맨홀에서의 유사 퇴적량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 유사유입 조건이 일정기간유입 조건일 때, 기본 원형 합류맨홀에서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 유사유입량의 변화에 따라서 각각 44, 45, 50 g으로 측정되었으며, 개선된 원형 합류맨홀의 경우 본 연구의 유입유사량 조건에서는 맨홀 내 유사퇴적량이 발생하지 않았다.

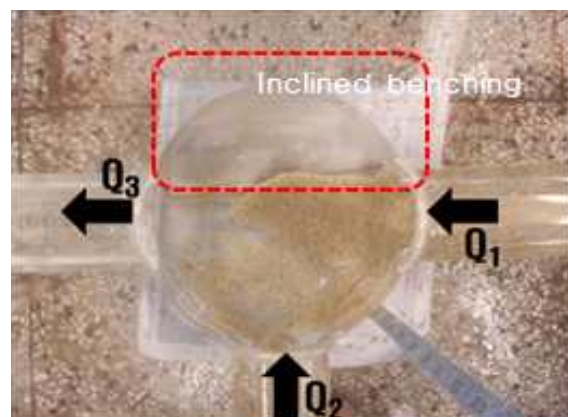
Fig. 4는 유사유입 조건이 연속 유입조건(0.75 g/sec) 일 때, 기본 원형 합류맨홀에서의 퇴적형상과 합류맨홀 내부의 유사의 퇴적을 저감하기 위하여 맨홀 유입관을 기준으로 우측 맨홀 내부벽에 경사형 benching을 설치한 개선된 원형 합류맨홀에서의 퇴적형상을 나타내고 있다. 사각형

Table 9. Sedimentation Quantity in Combining Junction Manhole with Circular Shape

Injection Pipes	Injection Quantity (g/sec)	Manhole Profile	Sedimentation Quantity(g)	
			Continuous Injection	Certain Period Injection
IS + IL	0.75	Basic Form	386	44
		Upgrade Form	87	N/D
	10	Basic Form	542	45
		Upgrade Form	219	N/D
	15	Basic Form	712	50
		Upgrade Form	227	N/D



(a) Basic Form



(b) Upgrade Form

Fig. 4. Sedimentation Shape in Circular Manhole (Injection Quantity: 0.75 g/sec)

맨홀의 경우와 유사하게 기본 원형 합류맨홀에서는 직선 유입 관거로부터 유입된 유사가 맨홀로 유입되면서 좌우로 퇴적되고, 측면유입 관거에서 유입되는 유입수에 의하여 부유되면서 유출관으로 배출되었으며, 측면유입 관거로부터 유입된 유사는 직선유입 관거에서 유입되는 유입수에 의해 곧바로 부유되어 배출되었다. 원형 합류맨홀 내의 유사퇴적은 직선유입 관거로부터 맨홀의 좌측과 우측 모서리에 퇴적되었으나 주로 우측 모서리에 집중되었다. 반면에 개선된 원형 합류맨홀에서의 퇴적양상은 기본 원형 합류맨홀에서와 유사한 양상을 보이고 있으나 경사형 benching이 주요 퇴적 구역에 설치되어 침전되는 부유사를 유출관으로 배출하여 원형 맨홀 내에 상당히 적은 양의 유사만이 퇴적되었다.

4.2 측면유입 관거에서의 유사유입

유출관을 기준으로 측면으로부터 유입되는 유사에 의한 사각형 합류맨홀 내 퇴적 양상의 변화를 알아보기 위하여 측면유입 관거에서만 유사가 유입되는 경우(II)의 실험을 실시하였다. 여기서 사각형 맨홀로 유입되는 실험유량은 측면 유입관거와 직선 유입관거 모두 동일하게 1.27 l/sec이고, 측면 유입관거에서 사각형 맨홀로 유입되는 유사량은 연속유입과 일정기간 유입 조건에서 각각 0.75, 10, 15 g/sec로 결정하여 실험을 실시하였다. Fig. 5는 연속유입 유사량이 10 g/sec일 경우의 사각형 합류맨홀 내에서의 유사거동을 나타내고 있다. Fig. 5에서 측면 유입관거로부터 유입된 유사가 직선유입관거로부터 유

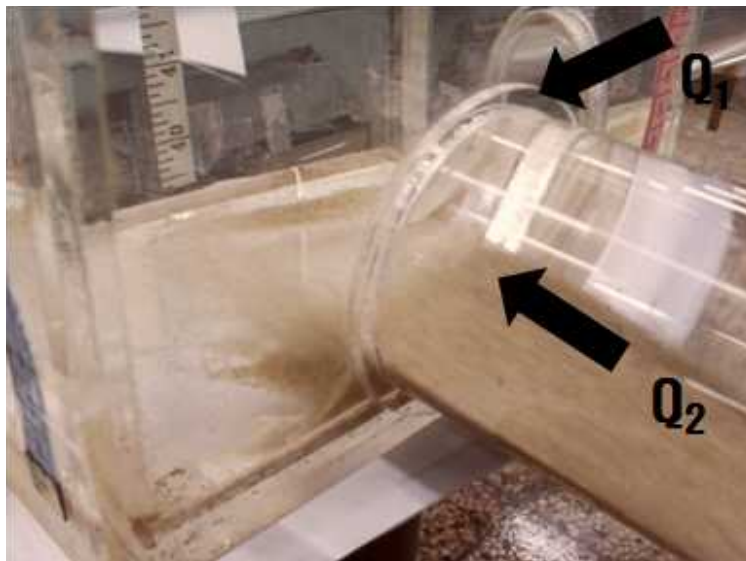


Fig. 5. Behavior Sediment Load in Square Manhole as Inflow of Sediment Load from Lateral Pipe

Table 10. Sedimentation Quantity in Combining Junction Manhole (IS case)

Injection Quantity (g/sec)	Manhole Profile	Sedimentation Quantity (g)			
		Continuous Injection		Certain Period Injection	
		Square Shape	Circular Shape	Square Shape	Circular Shape
0.75	Basic Form	116	95	57	38
	Upgrade Form	108	51	N/D	N/D
10	Basic Form	810	553	85	41
	Upgrade Form	206	150	10	N/D
15	Basic Form	812	699	113	43
	Upgrade Form	387	170	24	N/D

입되는 유량에 의해서 유입되는 즉시 부유하여 유출관으로 배출되는 현상을 나타내었으며, 이로 인하여 사각형 합류맨홀 내에 퇴적되는 유사량은 기본 사각형 합류맨홀의 연속유입의 조건에서만 미소량인 5~12g이 퇴적되었으며, 기본 원형 및 개선된 사각형과 원형 합류맨홀에서는 연속유입조건과 일정기간 유입의 조건의 모든 경우에서 퇴적되지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 측면 관거로부터의 유입 유사는 합류맨홀 내의 유사 퇴적에 거의 영향을 미치는 않는 것을 알 수 있으므로 합류맨홀 내 유사 퇴적은 직선유입관거로부터 유입되는 유사에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

4.3 직선유입 관거에서의 유사유입

전절에서의 결과로부터 알 수 있듯이 합류맨홀 내의 유사퇴적은 유출관을 기준으로 직선으로부터 유입되는 유사에 의한 영향이 상당히 크게 작용하고 있으므로 본 연구에서는 직선유입 관거에서만 유사가 유입되는 경우(IS)의 실험을 실시하였다. 실험조건은 전절의 실험조건과 동일하였으며, 직선유입 관거에서만 유사가 유입될 경우 맨홀의 형상과 유사유입조건(연속유입, 일정기간유입) 및 유사유입량 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적량을 실측하였다(Table 10).

Table 10에서 유사유입 조건이 연속 유입조건과 일정기간 유입조건에서 기본 사각형 합류맨홀과 개선된 사각형 합류맨홀에서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 유사유입량의 증가할수록 퇴적유사량은 증가하고 있었으며, 개선된 사각형 합류맨홀에서의 유사퇴적량이 기본 사각형 합류맨홀에서보다 감소하는 것으로 나타났다. 원형 합류맨홀에

서의 맨홀 내 유사 퇴적량은 사각형 합류맨홀의 경우와 동일한 경향을 보이고 있었으며, 개선된 원형 합류맨홀에서는 맨홀 내 유사퇴적량이 발생하지 않았다. 또한 유사 유입조건과 관계없이 원형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량이 사각형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량보다 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 맨홀 내 퇴적된 유사를 유출관으로 배출시키는 데에 있어서 사각형 맨홀의 모서리부분에 사수역을 발생시켜 보다 많은 퇴적을 발생시키고 있으므로 맨홀 내 와흐름의 영향이 사각형 맨홀보다는 원형 맨홀에서 크게 발생하는 것으로 판단된다.

5. 비교 및 고찰

5.1 직선 및 측면유입 관거에서의 유사유입에 따른 맨홀 내 유사 퇴적 변화

직선 유입관거 및 측면 유입관거로부터 동일 유입유사량이 유입될 경우 맨홀의 형상, 유입유사의 조건 및 맨홀 내부 구조 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적량의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 유사 유입조건에 관계없이 원형 합류맨홀 내에서 퇴적되는 유사퇴적량은 사각형 합류맨홀 내에 퇴적되는 유사퇴적량보다 더 적은 양이 퇴적되는 것을 알 수 있다.

기본 사각형 합류맨홀과 개선된 사각형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량을 비교하면 유사유입조건과 유사유입량에 관계없이 기본 사각형 합류맨홀보다 개선된 사각형 합류맨홀에서의 유사 퇴적 저감효과를 나타내고 있었다. 유사유입량이 0.75 g/sec의 경우 연속유입조건에서는 최대 75%의 유사 퇴적 저감효율을 보였으며, 일정기간유입 조건에서

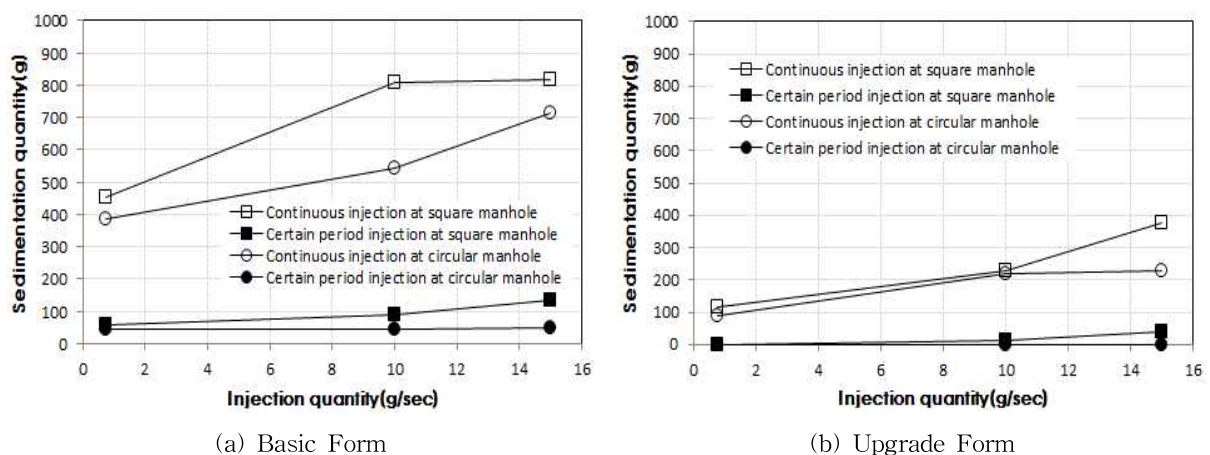


Fig. 6. Change of Sedimentation Quantity in Combining Junction Manholes as Inflow of Sediment Load from Straight and Lateral Pipe

는 개선된 사각형 합류맨홀에서는 퇴적이 발생하지 않았다. 또한 기본 원형 합류맨홀과 개선된 원형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량을 비교하면, 사각형 합류맨홀의 경우에서와 동일하게 유사유입조건과 유사유입량의 변화에 관계없이 개선된 원형 합류맨홀에서의 유사 퇴적 저감효과를 나타내고 있었다. 원형 합류맨홀에서도 유사유입량이 0.75 g/sec의 경우 연속유입조건에서는 최대 77%의 유사 퇴적 저감효과를 보였으며, 일정기간유입 조건에서는 유사유입량의 변화와 관계없이 개선된 원형 합류맨홀에서는 퇴적이 발생하지 않았다. 이는 두 개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 T자형 합류맨홀의 경우 맨홀 내부에 경사형 benching을 설치한 개선된 합류맨홀은 맨홀의 형상에 관계없이 합류맨홀 내 유사퇴적을 저감시키는 데에 상당한 효과를 나타내고 있으므로, 개선된 합류맨홀은 도시 배수 관거 시설의 유사 퇴적에 따른 역류 및 역류에 의한

침수를 저감시킬 것으로 판단된다.

5.2 직선유입 관거에서의 유사유입에 따른 맨홀 내 유사 퇴적 변화

직선 유입관거에서만 유입유사량이 유입될 경우 맨홀의 형상, 유입유사의 조건 및 맨홀 내부 구조 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적량의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 유사 유입조건에 관계없이 원형 합류맨홀 내에서 퇴적되는 유사퇴적량은 사각형 합류맨홀 내에 퇴적되는 유사퇴적량보다 더 적은 양이 퇴적되는 경향과 합류맨홀의 형상과 관계없이 일반형 합류맨홀보다 개선형 합류맨홀에서의 유사 퇴적 저감효과를 나타내는 전철의 결과와 동일하게 나타났다.

연속 유입조건과 일정기간 유입조건에서 직선 및 측면 유입관거에서 유사가 유입되는 조건(IS+IL)과 직선

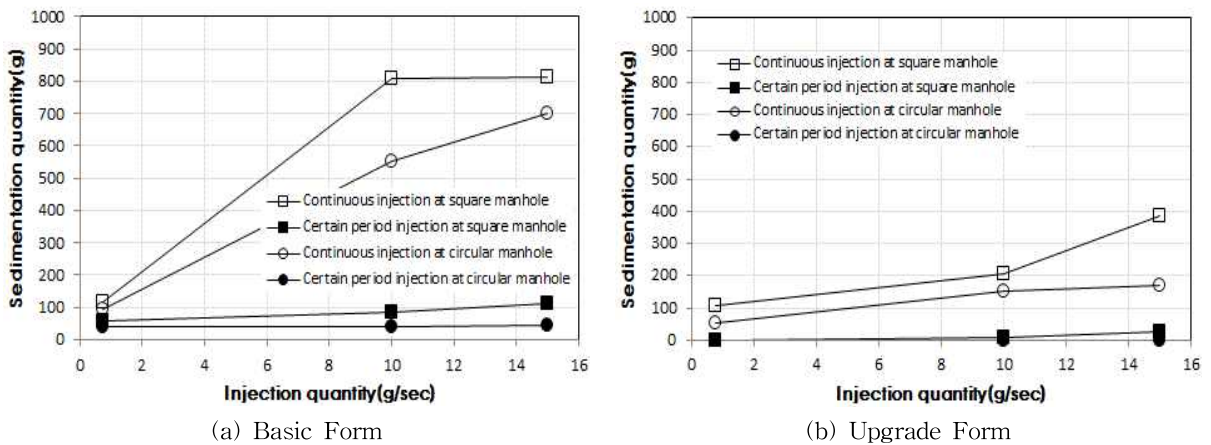


Fig. 7. Change of Sedimentation Quantity in Combining Junction Manholes as Inflow of Sediment Load from Straight Pipe

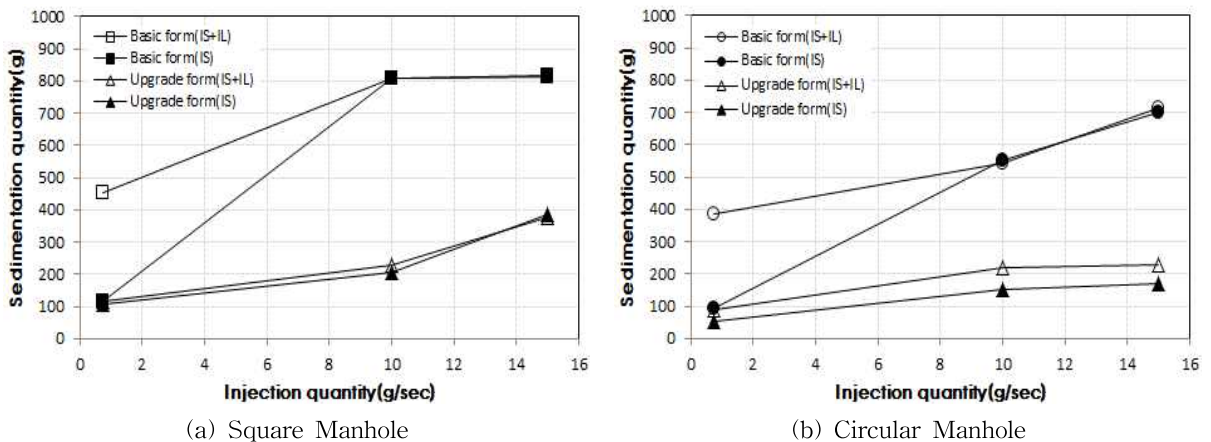


Fig. 8. Change of Sedimentation Quantity in Manholes (Condition of Continuous Injection)

유입관거에서 유입되는 조건(IS)의 맨홀 내 유사 퇴적량을 비교하여 각각 Figs. 8 and 9에 나타내었다. Fig. 8에서 유사유입량이 0.75 g/sec인 경우에 직선 유입관거에서만 유사 유입되는 경우보다 직선과 측면 유입관거에서 동시에 유사 유입되는 조건일 때, 기본형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량이 상대적으로 크게 나타났으나 유사유입량이 10 g/sec 이상으로 증가할 경우에 유사 유입관거의 조건 변화에 관계없이 기본형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량은 거의 동일하게 나타났다. 이는 10 g/sec 이하의 유사 유입량이 직선 유입관거로 동일하게 연속적으로 유입되는 경우 측면 유입관거로부터의 유사 유입이 합류맨홀 내의 유사퇴적량의 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 개선된 사각형 합류맨홀에서는 유사 유입관거 조건 변화에 관계없이 동일한 퇴적량을 나타내었고, 개선된 원형 합류맨홀에서는 직선 유입관거에서만 유사 유입된 경우보다 직선과 측면 유입관거에서 유사 유입된 경우에 합류맨홀 내의 유사퇴적량이 크게 측정되었으나 그 차이는 미소하였으며, 유사 퇴적경향이 유사하게 나타났다.

이는 개선형 합류맨홀의 경우 맨홀 내의 유사퇴적량 변화는 유사 유입관거 조건의 영향을 크게 받지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 9의 일정기간 유사 유입조건에서 맨홀의 형상 및 유사 유입관거 조건 변화에 관계없이 동일한 퇴적량을 나타내었고, 기본 합류맨홀 내의 유사 퇴적량은 40~110 g 정도였으며, 개선된 사각형 합류맨홀에서는 최대 25g 이하의 미량이 퇴적하였고 개선된 원형 합류맨홀에서는 유사 유입이 퇴적하지 않고 모두 배출되는 것을 확인하였다. 그러므로 개선형 합류맨홀은 유사 유입조건, 유사 유입관거

조건 및 맨홀의 형상 변화 조건에 관계없이 합류맨홀 내 유사퇴적의 저감뿐만 아니라 퇴적경향의 변화가 미미하므로 도시 배수 관거 시설의 맨홀 및 관거 청소 등의 유지 관리에 도움을 줄 것으로 판단된다.

5.3 측면 유입 관거로부터의 유사 유입에 의한 합류맨홀 내 유사 퇴적 영향 분석

전절의 Fig. 8에서 10 g/sec 이상의 유사 유입이 연속적으로 유입되는 기본형 맨홀일 때, 직선 및 측면에서 유입되는 경우(IS+IL)와 직선에서만 유입되는 경우(IS)를 비교하여 보면 합류맨홀 내의 유사 퇴적량은 거의 일치하는 것으로 나타났다. 이는 10 g/sec 이하의 유사 유입량이 직선 유입관거로 동일하게 연속적으로 유입되는 경우 측면 유입관거로부터의 유사 유입이 합류맨홀 내의 유사퇴적량의 변화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 측면 유입관거로부터의 유사 유입이 합류맨홀 내 퇴적에 영향을 미치지 않는 범위를 알아보기 위하여 유입 유사량을 5 g/sec에서 10 g/sec의 범위를 세분하여 실험을 실시하였다(Fig. 10). Fig. 10에서 합류맨홀의 형상(사각형, 원형)에 관계없이 유입 유사량이 7 g/sec일 때, 직선과 측면 유입관에서 유사 유입되는 경우(IS + IL)와 직선 유입관에서만 유사 유입되는 경우(IS)의 실험조건에서 합류맨홀 내의 유사퇴적량이 거의 동일하게 나타났다. 이는 유입되는 유사의 양이 미소할 경우에는 측면 관거로부터 유입되는 유사 유입이 합류맨홀 내의 유사퇴적에 큰 영향을 미치지 않지만 일정량 이상의 유사 유입량이 발생하게 되면 측면 관거로부터 유입되는 유사 유입이 합류맨홀 내의 유사퇴적에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

합류맨홀 내로 유입되는 유사의 농도 및 유사 유입 관거

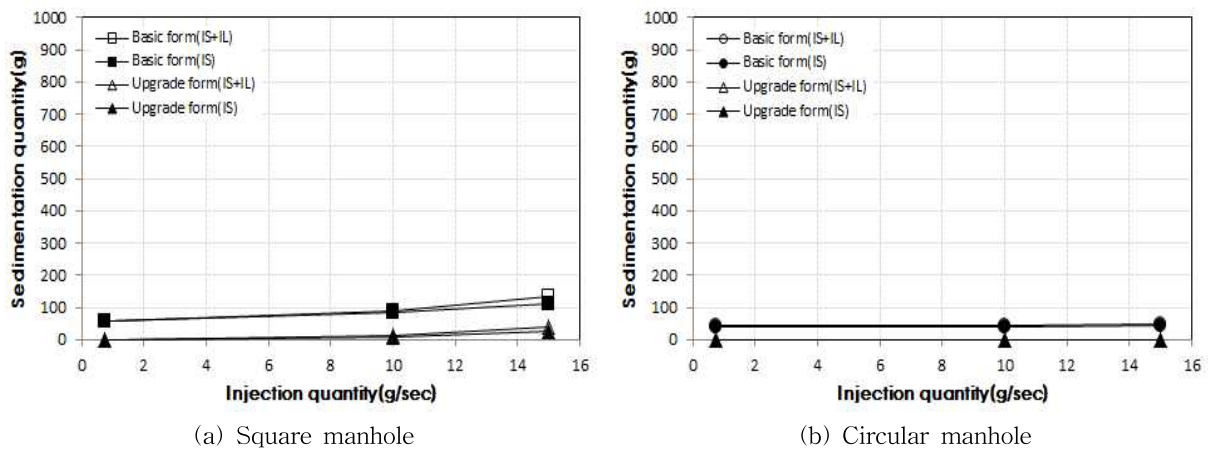
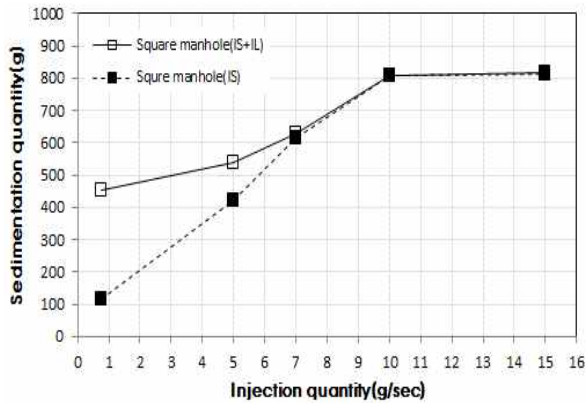
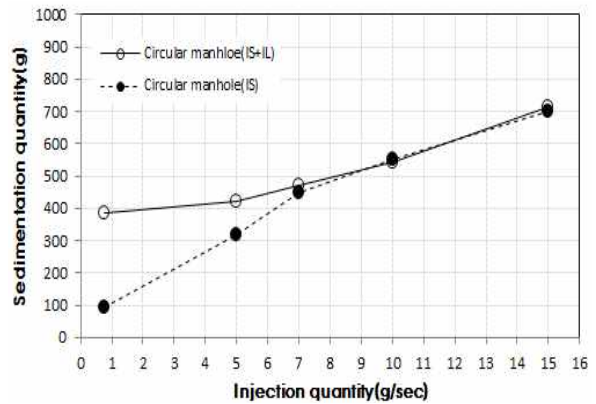


Fig. 9. Change of Sedimentation Quantity in Manholes (Condition of Certain Period Injection)



(a) Square Manhole



(b) Circular Manhole

Fig. 10. Change of Sedimentation Quantity as Injection Pipe Variation

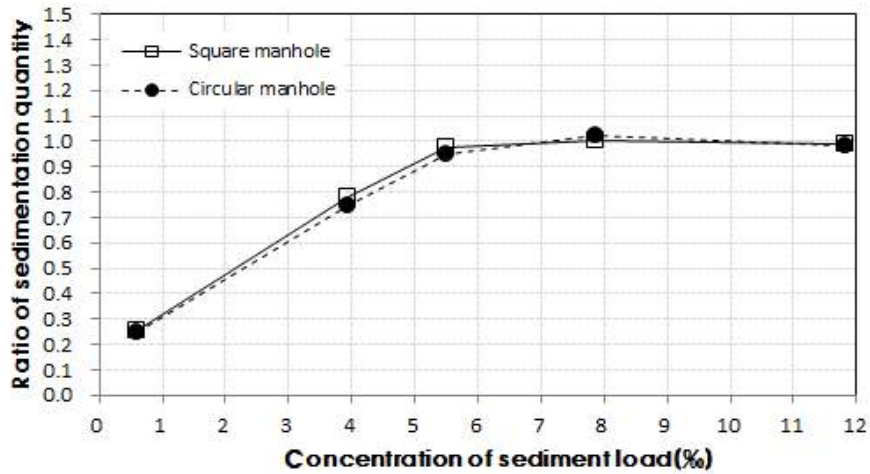


Fig. 11. Change of Sedimentation Quantity Ratio as Variation of Sediment Load Concentration

조건의 변화에 따른 맨홀 내 퇴적 유사량의 변화를 알아보기 위하여 Fig. 11과 같이 나타내었다. Fig. 11은 본 연구에서 사용된 유입 유량(1.27 l/sec)을 중량 유량(1,270 g/sec)으로 환산하고 두 가지의 유입조건(S+IL, S)에서 측면 유입 관거에서 유입되는 유입 유사량을 환산된 중량 유량으로 나누어 계산한 유입 유사의 농도(%)와 직선 유입관 거에서만 유입되는 조건에서의 맨홀 내 퇴적량에 대한 직선 및 측면 유입관거에서 유입되는 조건에서의 맨홀 내 퇴적량의 비로 계산된 합류맨홀 내 유사퇴적량의 비의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 11에서 맨홀 내 유사 퇴적량의 비가 1이하인 경우는 측면 유입 유사의 농도 변화에 따라 맨홀 내 유사퇴적에 영향을 미치는 것이며, 1이 되면 맨홀 내 유사퇴적에 측면 유입 유사의 농도는 영향을 미치지 않는 것을 의미한다. 그러므로 본 연구의 수리실험 조건에서와

같이 측면 유입유사의 농도가 5.5% 이상이 되면 합류맨홀 내 유사 퇴적에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그러나 위의 내용은 본 연구의 제한적인 실험조건 하에서 도출되었으므로 실제적인 현상에 반영하기 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 배수 시스템의 설계 및 시공에 일반적으로 사용되는 두 개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 합류맨홀에서의 유사 거동 특성, 퇴적 형상 및 맨홀 내 퇴적 저감방안을 분석하기 위하여 문헌 조사 및 현장조사를 실시하였으며, 조사결과를 바탕으로 수리실험 장치를 제작하였다. 합류맨홀에서의 퇴적 양상 및 퇴적량의 산정

을 위하여 하수도시설기준(환경부, 2005)의 표준 1호 맨홀(원형맨홀)과 특 1호 맨홀(사각형 맨홀)을 선정하여 1/5 축소모형으로 맨홀을 제작하였다. 선정된 실험조건에 따라 유사유입조건(연속유입, 일정기간유입), 유사유입량, 유사유입 관거 조건 및 맨홀의 형상 변화에 따른 합류맨홀 내 유사 퇴적 형상 및 퇴적량의 실측을 위한 수리실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유사유입 관거 조건 및 유사 유입조건의 변화에 관계없이 합류맨홀 내에 퇴적되는 유사 퇴적량은 사각형 합류맨홀보다 원형 합류맨홀에서 더 적은 양이 퇴적되는 것을 알 수 있었으며, 합류맨홀의 형상 및 유사 유입조건에 관계없이 측면 관거에서만 유입된 유사 합류맨홀 내의 유사 퇴적에 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있으므로 합류맨홀 내 유사퇴적은 직선유입관거로부터 유입되는 유사에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.
- 2) 합류맨홀의 형상에 관계없이 측면 유입유사의 농도가 5.5% 이상이 되면 합류맨홀 내 유사 퇴적에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 유입되는 유사의 양이 미소할 경우에는 측면 관거로부터 유입되는 유사 합류맨홀 내의 유사퇴적에 큰 영향을 미치지 않지만 일정량 이상의 유사 유입량이 발생하게 되면 측면 관거로부터 유입되는 유사 합류맨홀 내의 유사퇴적에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 본 연구의 제한적인 실험조건 하에서 도출된 결론이므로 실제적인 현상을 반영하기 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 기본형 합류맨홀과 개선형 합류맨홀 내의 유사 퇴적량을 비교하면 맨홀의 형상, 유사유입조건 및 유사유입량에 관계없이 기본형 합류맨홀보다 개선형 합류맨홀이 약 75~77%의 유사 퇴적 저감효과를 나타내고 있었다. 이는 두 개의 유입관과 한 개의 유출관으로 구성된 T자형 합류맨홀의 경우 맨홀 내부에 경사형 benching을 설치한 개선형 합류맨홀은 맨홀의 형상에 관계없이 합류맨홀 내 유사퇴적을 저감시키는 데에 상당한 효과를 나타내고 있으므로 도시 배수 시스템에서 개선형 합류맨홀은 관거 시설의 배수능력을 증대시킬 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신

F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 박무중, 이재수 (2004). “도시구역의 유사발생량 및 관거 내 퇴적량 산정.” 도시홍수재해관리기술 연구사업단 FFC04-17.
- 박무중 (2008). “도시구역 유사발생량 산정 및 관리 매뉴얼.” 도시홍수재해관리기술연구사업단 FFC-G18.
- 서울시 (2002). 상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토.
- 심재호, 손광익, 신승철, 노진욱 (2008). “원형 배수관로 내 토사이동 특성 연구.” **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1245-1248.
- 유동훈, 배덕원, 이태희 (2007). “청소유속을 고려한 하수관거 설계산정식의 개선.” **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1413-1416.
- 윤세의, 한정석, 김정수, 윤영노 (2008). “과부하 사각형 맨홀에서의 수리학적 상사성 분석.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 510-514.
- 윤세의, 임창수, 송주일, 김정수 (2012). “사각형 중간맨홀에서의 유사 퇴적 분석 및 산정식 제안.” **대한상하수도학회지**, 대한상하수도학회, 26권, 제2호, pp. 177-189.
- 이재수 (2008). “관거 내 퇴적 고형물 산정 및 관리 매뉴얼.” 도시홍수재해관리기술연구사업단 FFC-G19.
- 조현국 (2009). 원형 우수관로 내 비점착성 토사이동 특성 연구. 석사학위논문, 영남대학교.
- 환경부 (2005). 하수도시설기준.
- 환경부 (2001~2008). 하수도통계.
- Buxton, A.P., Tait, S., Stovin, V.R., and Saul, A. (2002). “Developments in a Methodology for the Design of Engineered Invert Traps in Combined Sewer Systems.” *Water Science and Technology*, Vol. 45, No. 7, pp. 133-142.
- Butler, D., May, R., and Ackers, J. (2003). “Self-Cleaning Sewer Design Based on Sediment Transport Principles.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 129, No. 4, pp. 276-282.
- Faram, M.G., and Harwood, R.H. (2003). “A Method for the Numerical Assessment of Sediment Interceptors.” *Water Science and Technology*, Vol. 47, No. 4, pp. 167-174.

Lau, S.D., Stovin, V.R., and Guymer, I. (2007). "The Prediction of Solute Transport in Surcharged Manholes using CFD." *Water Science and Technology*, Vol. 55, No. 4, pp. 57-64.

Stovin, V.R., and Saul, A.J. (1994). "Sedimentation in storage tank structures." *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 1-2, pp. 363-372.

Stovin, V.R., and Saul, A.J. (1998). "A Computational Fluid Dynamics (CFD) Particle Tracking Approach to Efficiency Prediction." *Water Science and Technology*, Vol. 37, No. 1, pp. 285-293.

Stovin, V.R., Guymer, I., Chappell, M.J., and Hattersley,

J.G. (2010). "Dimensionless Method to Characterize the Mixing Effects of Surcharged Manholes." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 136, No. 5, pp. 318-327.

Sutter, R.D., Rushforth, P., Tait, S., Huygens, M., Verhoeven, R., and Saul, A. (2003). "Validation of Existing Bed Load Transport Formulas Using In-Sewer Sediment." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 129, No. 4, pp. 325-333.

논문번호: 12-011	접수: 2012.02.03
수정일자: 2012.04.27/05.11	심사완료: 2012.05.11