

MOUSE 모형을 이용한 관거 내 고형물 퇴적량 산정

Estimation of Solid Deposition in Sewer Systems using MOUSE Model

이 재 수*
Lee, Jae Soo

Abstract

The deposition of sewer solids during dry weather in combined sewer systems results in a loss of flow capacity that may restrict flow and cause a local flooding and enhanced solids deposition. In order to solve these problems and to manage sewer systems efficiently, development of estimation equations for solid sediments in sewer systems is needed. However, estimation of solid sediments has performed using specific methods such as computer model before the development of estimation equations. In this study, solid sediments in sewer systems were estimated using MOUSE model for Gunja drainage basin in Korea and the estimated results were verified using estimation equations developed by the U.S. Environmental Protection Agency.

As results, the estimated values using MOUSE model are smaller than that of equations developed in 1977 but greater than that of equations developed in 1984. Although the comparison between simulated and measured solid deposition is difficult due to the absent of measurement data, the estimated values using MOUSE model is reliable and can be used to develop estimation equations for solid sediment in Gunja drainage basin.

keywords : combined sewer systems, estimated solid deposition, MOUSE model

요 지

건기 때의 합류식 관거 내 고형물의 퇴적으로 인해 통수능이 감소하여 여름철 우기시 국지적인 침수가 발생하며 이로 인해 관거 내 퇴적을 더욱 초래할 수가 있다. 이와 같은 문제를 해결하고 관거 시스템을 효율적으로 관리하기 위해서는 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 식을 개발할 필요가 있다. 그러나 이러한 산정식을 개발하기 전에 컴퓨터 모형 등을 이용한 고형물 퇴적량을 산정하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 국내 군자배수구역에 대해 MOUSE 모형을 적용하여 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하였으며, 이를 미환경보호청(EPA)에서 개발한 산정식을 이용하여 산정한 퇴적량과 검토하였다. MOUSE 모형을 적용하여 산정한 값은 EPA에서 1977년에 개발한 초기의 산정식에 의한 결과보다는 작지만 1984년에 개발된 산정식에 의한 결과보다는 다소 크게 나타나고 있다. 퇴적고형물의 관측자료가 구비되어 있지 않아 모형에 의한 산정치를 비교하기는 곤란하지만 모형에 의해 산정결과가 신뢰성이 있다고 판단되며, 추후 군자배수구역에 대한 산정식을 유도하는데 이용할 수 있다고 본다.

핵심용어 : 합류식 관거시스템, 퇴적고형물 산정, MOUSE 모형

* 전주대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Envir. Eng., Jeonju Univ., Jeonbuk 560-759. Korea
(e-mail: jscivil@jj.ac.kr)

1. 서론

최근의 빈번한 집중호우로 인해 도시지역의 배수시스템이 내수를 제대로 배수시키지 못해 침수가 발생하는 경우가 종종 일어나고 있다. 이는 건기에 관거 내 고형물 퇴적으로 인해 유수소통 단면적이 축소되어 관거의 기능을 제대로 유지하지 못하는 것이 한 요인이 되고 있다. 또한 우기에는 퇴적된 하수고형물이 부상 및 침식되어 하류지역의 오염을 발생시키는 원인이 되고 있다.

도시지역의 합류식 관거 내에는 여러 종류의 고형물이 혼합된 상태로 유입되고 있으며, 이들 고형물들은 생활하수, 산업 및 상업지역으로부터의 하수, 지붕, 도로, 고속도로, 주차장, 공원으로부터의 지표면 유출로 인해 이송된 고형물, 그리고 건설과 같은 활동으로부터의 토양 침식에 의한 고형물 등 다양한 출처를 가지고 있다. 이 중에서 평상시의 하수고형물의 관거 내 퇴적량을 비교적 정확히 산정할 수 있다면 도시지역 내 관거 통수단면 부족으로 인한 내수침수방지를 위한 관거 내 고형물의 퇴적량 산정 및 제거계획, 지표면에서의 유사발생량 산정 및 이들의 저감계획 등 도시 내배수시스템의 유지관리에 많은 도움을 줄 수가 있다.

일반적인 관거 흐름에서의 고형물 이송 및 퇴적은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 미립부유사(wash load)는 퇴적되지 않고 이송되는 작은 고형물로 보통 이송확산(advection-dispersion)방정식과 함께 용존물질의 이동으로 모의하게 된다. 30~40 μm 의 중앙입경을 가진 고형물들은 보통 부유(suspension) 상태로 이동하며 흐름의 에너지가 감소하면 침강하여 퇴적유사로 남게 된다. 부유유사의 농도분포는 보통 Rouse(1937)와 Coleman(1982)의 모형으로부터 유도된 방정식을 사용

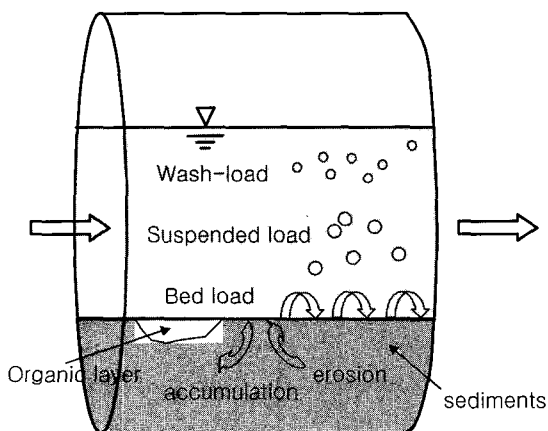


Fig. 1. Types of sewer solids and modes of transport

하여 나타내며, 부유유사의 이동 능력은 Ackers and White(1973) 모형으로부터 Coghlan *et al.*(1993), Ackers *et al.*(1996)이 적용한 것과 같이 유도된 방법을 적용하게 된다. 200~1500 μm 의 중앙입경을 가진 소류사(bed load)는 관거 내 고형물의 평균입경과 비슷하며, 흐름의 에너지가 충분하지 않으면 소류사는 더 이상 이동하지 않고 관거의 낮은 지점에 퇴적되게 된다. 소류사에 대한 공식은 대부분이 Meyer-Peter and Muller (1948), Ackers and White(1973) 등과 같은 전통적인 하천모형으로부터 유도되었고, 최근에는 Arthur *et al.*(1996), Lin and Le Guennec(1996) 등이 관련모형을 연구한 바 있다.

이러한 관거 내 고형물의 농도 및 퇴적과 관련한 이론적인 연구뿐만 아니라 실험을 통한 연구도 이루어지고 있다. Pisano and Queiroz(1977, 1984), Laplace (1991) 등은 실험구간을 정하여 장기적인 관측을 하였으며, Bachoc(1992), Ashley and Crabtree(1992) 등은 퇴적이 주로 건기나 호우가 끝날 무렵 유속이 감소할 때 발생하는 것을 알아내었다. 최근에는 Bertrands-Krajewski *et al.*(2004)이 프랑스 Lyon에서 1.8m의 높이를 가진 계란형태의 사람이 들어갈 수 있는 관거에서 새로운 실험을 실시한 바 있으며, Ashley *et al.*(2004)이 다년간 하수관거에서의 고형물 이송 및 퇴적 그리고 이들의 관리기술 등에 연구하였다. EPA(미환경보호청)에서는 관거 내 하수로 인한 퇴적 고형물을 산정하기 위한 회귀모형(Pisano and Queiroz 1977; 1984)을 제시하였고, 지표면에서의 다양한 출처로부터의 고형물 부하량을 산정하는 방법(Fan *et al.*, 2003; Fan, 2004)를 제시하여 실무에서 도시 합류식 관거의 유지관리에 용이하게 적용할 수 있도록 하고 있다.

또한 관거 내 퇴적 고형물량을 산정하기 위한 방법으로 컴퓨터를 통한 수치해석에 의한 방법들이 있는데 이들은 매우 복잡하고 많은 노력을 필요로 한다. 따라서 효율적인 관거유지관리 및 실무에서 간편하게 적용할 수 있는 퇴적 고형물 산정식이 필요하며, 이를 위해 EPA에서 제시한 회귀모형을 이용하여 국내 도시배수구역의 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하여 검토(이재수, 2006; 이재수 등, 2006)한 바가 있지만, 실제에 적용하기에는 어려운 점이 많이 있다. 그러므로 간편하게 국내 도시구역에 적용할 수 있는 산정식의 개발이 필요하며 이를 위해서 먼저 도시구역 관거 내에서의 고형물 퇴적량을 산정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 고형물 퇴적량 산정식의 개발에 앞서 MOUSE 모형을 적용하여 국내 도시배수구역에서의 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하여 검토해보기로 한다.

2. 고행물 산정을 위한 적용모형

도시구역의 지표면 유출해석 및 유역 배수관망을 통한 유출 및 고행물 이송과 관련된 컴퓨터 모형이 많이 개발되어져 왔다. 최근까지 약 40여 종류의 도시 호우 유출모형이 개발되었으며 이 중 Elliott *et al.*(2006)이 현재 많이 사용되고 있는 모형을 10가지 선정하여 잠재적인 사용가능성, 모형의 적용시간, 유역구성 및 공간해상도, 유출발생, 홍수추적, 오염물질의 발생, 이송 및 처리가능성 등에 대해 비교 분석한 결과 MOUSE 및 SWMM 모형이 우수한 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구가 합류식 관거 내에서의 고행물의 퇴적량을 산정하는 것으로 관거 내에서의 유사 및 오염물질의 이송을 모의 할 수 있는 MOUSE 모형이 적절하다고 판단되며, 추후 연구로 지표면에서 발생한 유량과 함께 유사와 관거로의 유입 및 이송에 관한 연구에도 적용할 수가 있다고 판단되어 MOUSE 모형을 적용하였다.

MOUSE(Modeling of Urban SEwer) 모형은 도시유역 배수시스템, 하수관거 및 오수관거에 대한 지표유출, 개수로 유량, 관거 유량, 수질과 침전물거동 등 포괄적이고 복잡한 고도의 모델링이 필요한 곳에 사용된다. 이 모형은 복잡한 수리학 및 유체역학적 거동에 대하여 모의하기 위해 1985년 덴마크의 DHI가 개발한 프로그램으로 1994년에는 수질 및 고행물의 거동을 모의할 수 있는 MOUSE TRAP(Transport of Pollution)을 개발하였다. 그 후 2000년에는 좀 더 보완하여 MOUSE RTC(Real Time Control)와 MOUSE LTS(Long Term Statistics)를 추가하였다. MOUSE의 일반적인 적용범위는 합류식 하수관을 월류하는 흐름 (Combined Sewer Overflows, CSOs), 오수관 월류수 (Sanitary Sewer Overflows, SSO), 복잡한 실시간 제어 (Real Time Control, RTC) 기능의 개발과 분석, 개발지역 설계, 기존 강우와 오수관거 시스템의 절차 분석 및 진단에 대한 연구과정을 포함하고 있다.

3. 실 유역에의 MOUSE 모형 적용

3.1 대상 유역 배수 관망자료 분석

MOUSE 모형을 적용하여 관거 내 고행물 퇴적량 산정을 위해 선정된 배수유역은 서울시 광진구내의 군자배수유역으로 주택지, 공업단지, 어린이대공원, 세종대학교, 상업용지, 나지 등 다양한 토지이용형태를 보여주고 있다. 군자배수유역은 광진구청 관할의 군자동, 능동이 주를 이루고 중곡 1, 2, 4동의 일부와 성동구청 관할

송정동의 일부가 포함되어 있으며 배수유역면적은 약 1,945,421 m²이고 인구수는 약 9만 8천여 명이다.

MOUSE 모형을 적용하기 위해서는 군자배수유역 배수관망의 각 맨홀 당 담당하는 유역면적 및 인구수의 자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유역내 행정구역별 자료를 이용하여 각 맨홀이 담당하는 면적 및 인구수를 추산하였다.

관거 내 고행물 퇴적량 산정을 위해 군자배수유역을 지형 및 관망분포를 고려하여 25개의 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역구분 및 배수관망도는 Fig. 2와 같다. 관거 내 고행물 퇴적량을 산정하기 위해 배수관망도를 이용하여 각 소유역에서의 관거요소수, 관거길이, 배수면적, 평균 관거직경, 평균 관거경사, 평균 지표면경사 등의 관망 자료를 분석하였으며, 결과는 Table 1과 같다.

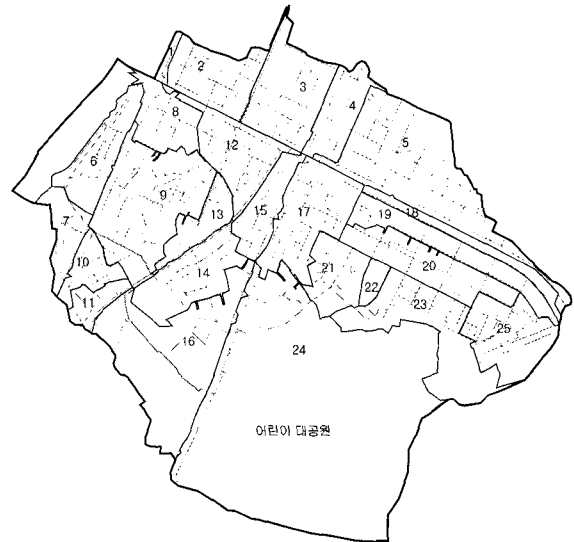


Fig. 2. Sub-basin and pipe network on Gunja drainage basin

3.2 MOUSE 모형 적용을 위한 입력자료 구축

군자배수유역의 배수계통을 살펴보면 Fig. 3과 같이 유역전체적인 배수 흐름이 북서쪽으로 향하고 있으며, 각 소유역별 배수 흐름은 크게 두 종류의 Box관거를 통해 집중하여 배수되고 있다. 유역 상부의 Box관거는 25번 소유역의 출구지점부터 시작하여 8번 소유역을 거쳐 중랑천으로 유입되고 있다. 이 Box관거로 배수되는 유역은 1~5, 8, 12, 15 및 17~25번 소유역들이다. 남서쪽으로 또 다른 Box관거가 위치하고 있으며 6, 7, 9~11, 13, 14, 16 및 24번 소유역이 이 관거로 배수되어 7번 소유역 출구지점의 새말빛물펌프장을 통해 중랑천으로 배수되고 있다. 군자배수분구유역 상부에 위치한 Box관거는 직접 중랑천으로 유입되지만 남서쪽의 Box

Table 1. Summary data from pipe and sub-basin characteristics

Basin	Number of pipes	Total length of pipes (m)	Mean slope of pipes	Mean dia. of pipes (mm)	Basin area (m ²)	Population (persons)	Mean slope of basin
1	5	191	0.0013	748	5,173	160	0.0236
2	62	1,779	0.0084	538	56,565	1,744	0.0044
3	80	2,601	0.0180	511	77,532	2,391	0.0231
4	46	1,324	0.0214	605	41,555	1,735	0.0310
5	125	4,128	0.0270	535	152,564	6,390	0.0354
6	58	1,597	0.0085	613	48,854	938	0.0018
7	45	1,186	0.0230	873	29,995	576	0.0281
8	46	1,344	0.0137	826	42,107	1,118	0.0222
9	164	4,544	0.0165	599	124,905	3,364	0.0155
10	27	789	0.0441	502	25,180	668	0.0186
11	27	720	0.0433	461	18,547	507	0.0462
12	88	2,356	0.0178	526	60,760	1,659	0.0180
13	54	1,603	0.0235	537	29,821	814	0.0163
14	62	1,982	0.0269	543	62,863	1,717	0.0185
15	62	1,673	0.0156	584	36,627	1,000	0.0121
16	59	2,451	0.0216	819	152,159	4,155	0.0181
17	98	2,712	0.0189	516	78,101	2,801	0.0309
18	18	789	0.0211	711	25,259	908	0.0243
19	32	1,121	0.0239	579	51,979	2,047	0.0241
20	54	1,464	0.01862	465	63,424	2,498	0.0163
21	38	990	0.0325	481	42,228	1,571	0.0384
22	10	297	0.049	518	9,791	386	0.0499
23	47	1,314	0.023	552	95,077	1,499	0.0294
24	73	2,085	0.0189	607	545,676	1,708	0.0255
25	74	2,275	0.0249	521	68,681	1,977	0.0506
Sum	1,454	43,317			1,945,422	44,331	

관거는 새말빗물펌프장을 통해 배수되므로 이곳에서의 준설자료가 충분하다면 이 Box관거의 관련 소유역에서 배출되는 퇴적 고형물과 간접적인 비교가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 새말 빗물펌프장으로 유입되는 소

유역들에 대해서만 모형 배수관망 입력자료를 구축하여 각 관거 내 퇴적 고형물량을 산정하기로 하며, 이 중 13번 소유역에 대한 관망은 Fig. 3과 같다.

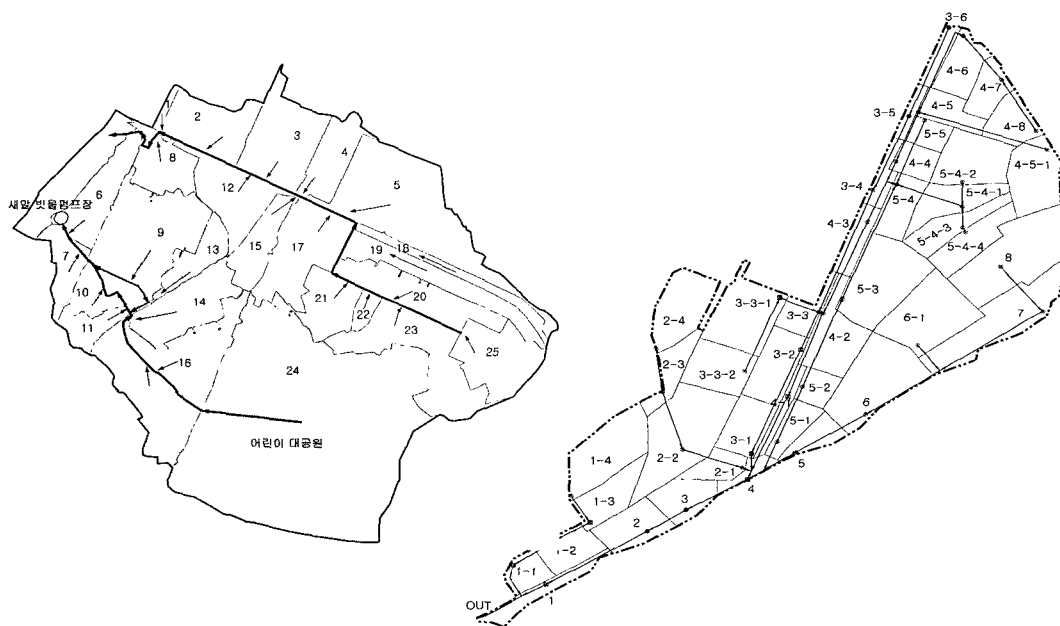


Fig. 3. Pipe network of sub-basin 13 in Gunja drainage basin

3.3 고형물 관련 주요입력 변수값

3.3.1 하수유입량

MOUSE 모형에 적용한 1인당 1일 하수배출량 Q(gpcd)는 1인당 1일 최대급수량과 동일하다고 가정하고, 하수도시설기준(1998)으로부터 군자배수분구구역의 인구수가 약 98,000 명인 것을 감안하여 인구 50,000~500,000 명인 경우 적용하고 있는 1인당 일 최대급수량 250~350 lpcd에 사용수량의 증가를 고려해 400 lpcd를 우리나라의 시간별 하수배출경향에 따라 시간별로 나누어 하수량을 적용하였다.

3.3.2 고형물 평균입자크기

MOUSE 모형에서는 관거 내 고형물의 이송모의를 위해 입자의 크기를 설정하여야 한다. 아직 우리나라에서 하수로부터 발생하는 고형물 입자의 크기에 대한 분석 자료를 얻기 곤란하여 외국의 유사한 자료를 바탕으로 추정된 값을 적용하였다. Sartor and Biyd(1972)가 미국 내 5개의 도시로부터 지표면 고형물에 대한 입자 분포를 분석한 결과, 약 0.15~0.85 mm가 많은 비율을 차지하고 있으므로 본 연구에서는 하수 고형물의 평균 입자크기를 0.1~0.5 mm에 대해 적용하였다.

3.3.3 하수 고형물 농도

하수흐름은 지역에 따라 변하며 시간에 따라 또한 변한다. Manning *et al.*(1977)의 분석에 의하면 도시하수흐름에서의 평균 농도가 총 고형물인 경우 860 mg/l, 총 부유고형물인 경우 150 mg/l로 나타나고 있고, Pitt and Field(1977)에 의해 분석된 도시구역 도로 유출에서의 관측된 고형물 농도는 총 고형물이 496 mg/l, 총 부유고형물이 210 mg/l로 나타나고 있으므로 본 연구에서는 하수를 통해 유입되는 고형물의 농도를 50~500 mg/l 범위의 값을 적용하였다.

3.3.4 하수 고형물 비중

Manning *et al.*(1977)이 Chicago의 20개 분석지역에서 CSO에서의 고형물 구성 및 비중을 분석하여 이들 물질들을 중량백분율로 가중하여 평균하면 약 2.0정도로 나타남을 보였다. 따라서 본 연구에서는 하수 고형물의 비중을 2.0으로 적용하였다.

4. 관거 내 고형물 퇴적량 산정 및 민감도 분석

4.1 13번 소유역에서의 퇴적량 산정 및 분석

하수고형물의 입자크기 및 농도를 적용하여 군자배수분구 구역 내 13번 소유역에 대해 하수고형물 퇴적량

을 산정하였다. 먼저 하수고형물 입경크기와 농도에 따른 관거 내 퇴적량의 변화를 알아보기 위해 입경크기는 0.1~0.5 mm의 범위에서 0.1 mm씩 증가시키며 퇴적량의 변화를 분석하는 한편, 하수고형물의 농도는 50~500 mg/l의 범위에서 100 mg/l씩 증가시키며 퇴적량의 변화를 알아보았다. 하수유입량은 400 lpcd를 적용하였으며, 13번 소유역에서의 각 농도별 입경크기별 퇴적량은 Table 2와 같다.

Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 각 하수고형물 입경에 대해 농도가 증가할수록 고형물 퇴적량이 비례적으로 증가함을 알 수가 있다. 하지만 같은 농도에 대해서는 입경 0.2 mm를 기준으로 입경이 0.1 mm로 감소할 때 퇴적량이 증가하고, 다시 입경이 0.2 mm보다 커지게 되면 퇴적량도 증가하고 있는 것으로 나타나 입경에 대한 퇴적관계를 더 연구할 필요가 있겠다. 하수고형물의 농도와 입경이 적용범위의 중간정도에 해당하는 300 mg/l와 0.3 mm인 경우 13번 소유역내 하수관거 전체에 퇴적된 하수고형물은 7.11 kg/day 정도로 나타나고 있다. 입경별 농도별 변화추세를 도표로 나타내면 Fig. 4와 같다.

Table 2. Solid deposition for different diameter and concentration(kg/day)

Dia. Conc.	0.1mm	0.2mm	0.3mm	0.4mm	0.5mm
50mg/l	1.44	1.10	1.08	1.11	1.18
100mg/l	2.72	2.04	2.22	2.26	2.34
200mg/l	5.36	4.41	4.50	4.53	4.65
300mg/l	7.75	6.88	7.11	7.27	7.41
400mg/l	9.24	8.92	9.78	9.83	9.97
500mg/l	10.88	10.43	11.11	11.71	11.73

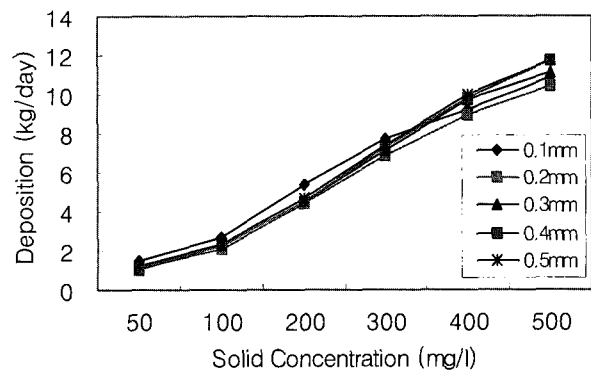


Fig. 4. Solid deposition for different diameter and concentration

4.2 모의 유역 전체에 대한 퇴적량 산정 및 분석

하수 고형물 평균 입자크기 0.3 mm, 농도 300 mg/l 그리고 하수유입량 400 lpcd를 적용하여 본 연구에서 고려한 소유역 전체(6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 24번 소유역)를 모의하여 각 소유역 및 전체유역에 대해 고형물 퇴적량을 산정하였다. MOUSE 모형에서 산정하는 고형물 퇴적량은 관거에 퇴적된 퇴적층의 높이 변화로 나타나므로 이를 부피(m³/day)로 환산하고 퇴적고형물의 평균비중은 2.0으로 적용하여 퇴적량을 무게(kg/day)로 환산하였다. 이와 같이 산정한 소유역별 고형물 퇴적량이 Table 3과 같으며, 소유역 전체에 대한 고형물 퇴적량은 0.0369 m³/day(73.73 kg/day)로 나타났다. Table 3에서는 모형에 적용하기 위해 일부 관거

를 조정하였으므로 Table 1에서 보여준 관거 특성치와는 약간 다르다.

모의한 소유역 전체에 대하여 관거특성 즉, 관거길이, 경사, 직경에 대한 퇴적량을 비교하였으며, 소유역 누가 면적별 퇴적량을 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. 길이에 대한 고형물 퇴적량의 변화는 관거 직경 및 경사에 따라 퇴적량이 변하게 되므로 길이만으로는 뚜렷한 상관관계를 나타내고 있지 않다. 경사에 따른 고형물 퇴적량의 변화는 경사가 커질수록 고형물이 퇴적되기가 어려우므로 퇴적량이 감소하고 경사가 작을수록 퇴적량이 증가하는 경향을 약간 나타내고 있다. 반면 직경에 따른 고형물 퇴적량의 변화도 경사에 대한 변수가 있으므로 뚜렷한 경향을 보여주지는 못하고 있지만 관거의 직경이 증가할수록 하류에 위치하고, 따라서 경사도 완만

Table 3. Estimated solid deposition for each sub-basin

Bain	Number of pipes	Basin area (m ²)	Population (pearsons)	Total length of pipes(m)	Mean value		Solid deposition		
					Diameter (mm)	Slope (10 ⁻³)	m ³ /day	kg/day	m ³ /yr
6	48	48,854	938	1,381	566	8.22	0.0028	5.59	1.02
7	40	29,995	576	1,128	557	23.48	0.0017	3.43	0.63
9	145	124,905	3,364	4,118	616	16.97	0.0094	18.71	3.41
10	23	25,180	668	699	503	45.49	0.0016	3.17	0.58
11	24	18,547	507	638	477	46.60	0.0019	3.88	0.71
13	52	29,821	815	1,561	535	24.46	0.0032	6.41	1.17
14	52	62,863	1,717	1,780	555	28.21	0.0039	7.75	1.41
16	54	152,159	4,155	2,359	834	21.76	0.0057	11.43	2.09
24	62	43,360	1,708	1,899	622	18.58	0.0067	13.37	2.44
Sum	500	535,683	14,448	15,565			0.0369	73.73	13.46

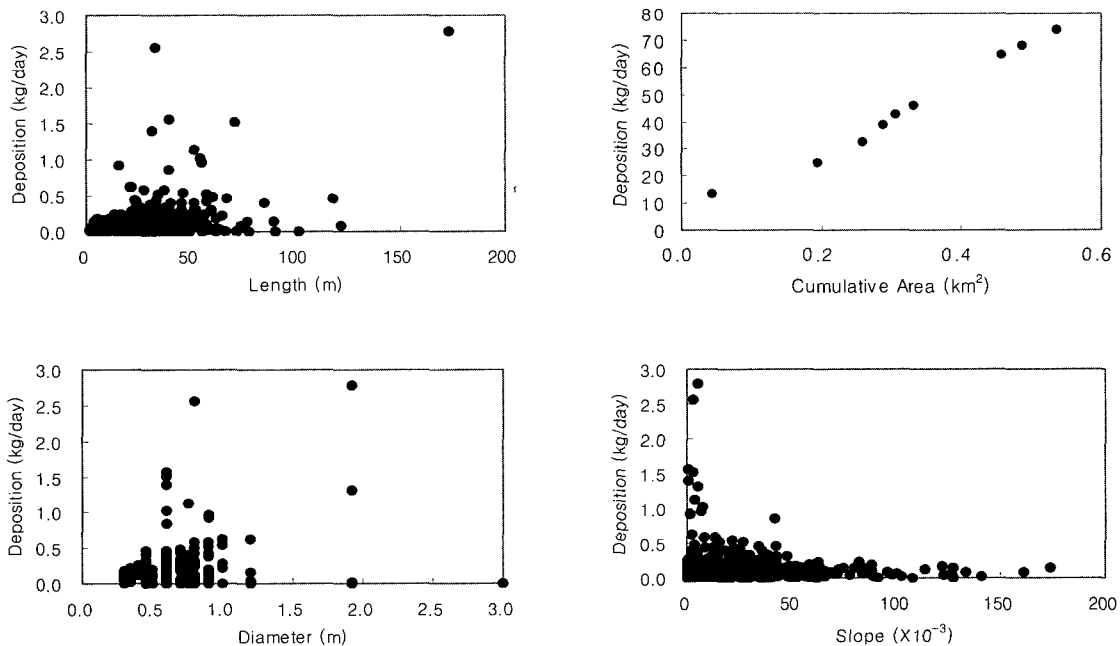


Fig. 5. Solid deposition for different variables

하브로 퇴적량이 증가하는 경향을 조금은 나타내고 있다. 유역면적에 따른 고형물 퇴적량의 증가는 뚜렷하게 나타나고 있다.

Fig. 6은 관거 직경 0.45 m의 동일한 조건하에서 관거 경사 및 길이의 변화에 따른 퇴적량의 변화를 3차원으로 나타낸 것이다. Fig. 6에서 보이는 바와 같이 길이가 일정한 상태에서는 관거 경사가 완만해짐에 따라 퇴적량이 증가함을 보이고 있고, 경사가 일정한 경우 관거 길이가 증가할수록 퇴적량이 증가하는 경향을 뚜렷이 볼 수가 있다. 이러한 경향들은 추후 퇴적량 산정식 개발시 변수들의 결정에 고려될 수 있겠다.

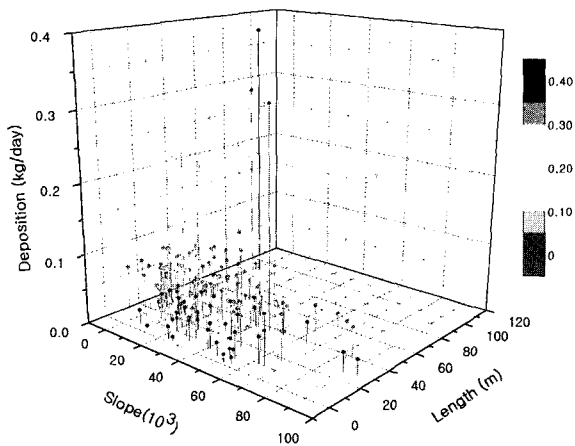


Fig. 6. Variation of solid deposition for length and slope of pipe

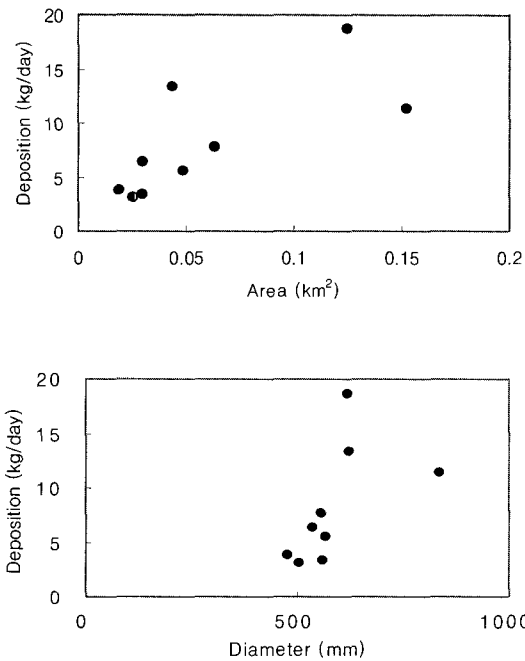


Fig. 7. Solid deposition for sub-basin characteristics

소유역별로 퇴적량과 관계된 인자들에 의한 영향은 Fig. 7과 같다. 일반적으로 도시지역에서는 유역면적이 증가할수록 거주인구가 늘어나고, 따라서 이로 인한 하수배출량이 증가할 것이므로 소유역 면적이 증가하면 퇴적량도 함께 증가하는 것으로 나타나고 있다. 각 소유역에서의 총 관거길이가 증가함에 따라 유역 내 관거에서의 퇴적되는 양도 증가하고 있으며, 평균 관거직경이 증가할수록 퇴적량도 약간 증가하지만 뚜렷하게 증가하지는 않는 것으로 나타나고 있다. 유역 내 관거의 평균경사에 따른 퇴적량의 변화도 평균경사가 증가할수록 퇴적량은 감소하는 것으로 나타나고 있다.

4.3 기존 공식에 의한 퇴적량 산정

EPA에서 개발 제시한 산정식(Pisano and Queiroz, 1977, 1984; Fan, 2004)을 이용하여 고형물 퇴적량을 산정하고, MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량과 비교해 보기로 한다. 미국 Boston, Dorchester 및 Fitchburg 지역을 대상으로 개발한 초기의 산정식(Pisano and Queiroz, 1977)은 Eqs. (1)~(4)와 같고, 그 후 개발된 산정식(Pisano and Queiroz, 1984)은 Boston 및 Fitchburg 지역에 대한 경우 Eqs. (5)~(7)과 같으며, Cleveland 지역에 대한 경우는 Eqs. (8)~(9)와 같다.

$$[EM]: TS = 0.0038L^{0.8142}S_{PD}^{-0.8187}S_{PD/4}^{-0.1078}Q^{-0.5098} \quad (1)$$

$$[IM]: TS = 0.00130L^{1.18}A^{-0.178}S^{-0.418}D^{0.604}Q^{-0.51} \quad (2)$$

$$[IM]: TS = 0.00389L^{1.2195}A^{-0.1866}S^{-0.4343}Q^{-0.51} \quad (3)$$

$$[SM]: TS = 0.0076L^{1.063}S^{-0.4375}Q^{-0.51} \quad (4)$$

$$[EM]: TS = 0.00073L^{0.81}S_{PD}^{-0.82}S_{PD/4}^{-0.11}Q^{-0.51} \quad (5)$$

$$[IM]: TS = 0.0013L^{1.2}D^{0.61}A^{-0.18}S^{-0.42}Q^{-0.51} \quad (6)$$

$$[SM]: TS = 0.0011L^{1.1}S^{-0.44}Q^{-0.51} \quad (7)$$

$$[EM]: TS = 0.00017L^{0.95}S^{-0.32}S_{PD}^{-0.52}S_{PD/4}^{-0.15}Q^{-0.52} \quad (8)$$

$$[SM]: TS = 0.0012L^{1.1}S^{-0.43}Q^{-0.54} \quad (9)$$

(gpcd), S는 평균 관거 경사(ft/ft), TS는 집수시스템에 서의 일 총 고형물 퇴적량(lb/day)이다. 식 앞의 [EM]은 정밀모형, [IM]은 중간모형 그리고 [SM]은 단순모형을 의미한다.

EPA에서 제시하고 있는 산정공식 중 초기의 Eqs. (1)~(4)에 의하여 각 소유역에 대해 산정한 결과는 Table 4와 같으며, Pisano *et al.*(1984)이 제시한 Eqs. (5)~(9)를 적용한 결과는 Table 5와 같다. 여기서 각 적용식별 방법 1은 S_{PD} 및 $S_{PD/4}$ 를 산정하기 위하여 EPA에서 식 유도시 얻은 관거길이별 누가퇴적량 관계 곡선, 방법 2는 S_{PD} 및 $S_{PD/4}$ 를 산정을 위해 식 유도시 얻은 지수누가분포함수, 그리고 방법 3은 지표면 경사와 관거경사간의 관계식을 각각 적용한 경우이다. 이상의 회귀모형식을 이용한 퇴적고형물 산정절차는 Pisano and Queiroz(1977) 및 이재수(2006)의 문헌에 자세히 설명되어 있다.

이상과 같이 EPA에서 제시한 고형물 퇴적량 산정공식을 이용하여 퇴적량을 산정한 결과 Eqs. (1)~(4) 및 Eq. (6)을 적용하여 산정한 퇴적량이 전반적으로 MOUSE 모형에 의해 산정된 값에 비해 과다하게 나타

여기서 S_{PD} 는 L_{PD} 에 상응하는 관거 경사(ft/ft), L_{PD} 는 관거시스템에서 고형물의 80 %가 퇴적되는 관거 길이(ft), $S_{PD/4}$ 는 고형물의 80 %가 퇴적하는 관거 길이 백분율의 1/4에 상응하는 관거 경사(ft/ft), A는 집수관거 시스템의 관할 면적(acre), D는 평균 관거 직경(in), L은 총 관거 길이(ft), Q는 침투를 허용한 1인당 유출율

Table 4. Estimated solid deposition by Eq. (1)~(4) (kg/day)

Method Basin	Eq. (1)			Eq. (2)		Eq. (3)		Eq. (4)	
	1	2	3	2	3	2	3	2	3
6	36.15	27.62	106.73	43.39	79.83	28.09	52.91	23.21	43.94
7	9.00	10.87	13.16	27.15	29.59	13.86	15.16	10.92	11.95
9	40.13	34.98	48.64	94.19	109.27	63.22	73.78	52.75	61.62
10	4.21	5.42	16.33	9.44	15.54	6.56	11.02	5.33	8.97
11	4.02	5.11	7.62	8.57	10.27	6.27	7.56	4.87	5.89
13	10.80	13.68	25.38	28.67	37.95	19.85	26.57	14.91	19.99
14	12.36	18.12	34.86	30.69	41.22	21.11	28.68	17.61	23.98
16	24.65	20.79	33.08	47.30	58.33	25.49	31.70	24.28	30.24
24	14.92	20.63	22.43	27.48	28.53	17.48	18.17	21.68	22.55
Sum	156.23	157.23	308.22	316.88	410.52	201.94	265.54	175.57	229.14

Table 5. Estimated solid deposition by Eq. (5)~(9) (kg/day)

Method Basin	Eq. (5)			Eq. (6)		Eq. (7)		Eq. (8)			Eq. (9)	
	1	2	3	2	3	2	3	1	2	3	2	3
6	6.85	5.23	20.30	52.61	97.07	4.67	8.87	5.68	4.77	12.68	4.22	7.90
7	1.70	2.05	2.49	32.76	35.72	2.17	2.37	1.36	1.58	1.81	1.98	2.16
9	7.55	6.58	9.16	116.22	134.93	11.01	12.87	7.38	6.68	8.47	10.02	11.68
10	0.80	1.02	3.10	11.25	18.56	1.04	1.76	0.57	0.67	1.48	0.96	1.60
11	0.76	0.97	1.44	10.20	12.22	0.95	1.15	0.51	0.62	0.83	0.87	1.05
13	2.04	2.58	4.80	34.70	45.99	2.99	4.02	1.78	2.07	3.23	2.73	3.65
14	2.33	3.42	6.59	37.24	50.08	3.56	4.86	1.97	2.61	4.19	3.26	4.41
16	4.65	3.92	6.25	57.70	71.23	4.95	6.17	3.74	3.35	4.68	4.52	5.61
24	2.81	3.89	4.23	33.28	34.55	4.39	4.57	2.56	3.28	3.48	4.01	4.16
Sum	29.47	29.66	58.37	385.95	500.37	35.72	46.63	25.54	25.61	40.85	32.56	42.21

나고 있으며, 나머지 식들은 25.54~58.39 kg/day의 범위에서 산정되고 있다. MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량은 73.73 kg/day으로 EPA에서 나중에 개발한 공식 중 Eq. (6)을 제외하면 약간 크게 산정되고 있다.

4.4 산정 퇴적량과 시범 유역자료와의 비교분석

MOUSE 모형에 의해 산정된 관거시스템에서의 고형물 퇴적량을 군자배수유역에서의 준설자료와 비교하기 위해 군자배수유역 소유역별 퇴적 고형물 준설자료를 검토한 바 각 소유역마다 일부 관거요소에서만 부정기적으로 준설한 자료만 존재하며, 나머지 소유역에서는 준설자료가 존재하지 않아 회귀모형식에 의한 산정값을 직접적으로 비교하기가 사실상 곤란하였다. 그러나 군자배수유역 내에 존재하는 새말빛물펌프장에서의 2002년과 2004년의 준설자료가 존재하므로 이를 이용하여 개략적이거나 비교를 해 보기로 한다.

앞에서도 언급한 바와 같이 군자배수유역 내 6, 7, 9~11, 13, 14, 16 및 24번 소유역이 관거를 통해 배수되어 7번 소유역 출구지점의 새말빛물펌프장을 통해 중량 천으로 배수되고 있다. 따라서 빗물펌프장으로 유입되는 이들 소유역들로부터 발생하여 퇴적되는 고형물과 빗물펌프장에서의 준설량을 비교하였다. 빗물펌프장에서의 준설기록에 의하면 2002년에 48 m³, 2004년에는 56 m³을 각각 준설하였다. 따라서 2002년에 준설한 후 2년 뒤에 56 m³의 준설을 하였으므로 연간 약 28 m³의 고형물이 빗물펌프장으로 유입된다고 판단할 수 있다.

Table 6은 EPA가 제시한 산정식 및 MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량을 연간 부피로 나타낸 결과를 보여 주고 있다. 모형에 의해 산정된 퇴적량과 새말빛물펌프장에서의 준설량은 산정식들에 의한 값의 범위 안에 들고 있지만 직접 비교하기에는 여러 변수들이 많아 곤란

하다.

또한, 산정식에 의한 고형물 퇴적량은 관거 내에 퇴적되는 양을 산정하지만, 관거 내에 한계 깊이 이상 퇴적되면 평형상태가 되어 더 이상 퇴적되지 않고 하류 침사지로 이송될 수가 있다. 또한 우기시 지표면의 고형물들이 하류 침사지로 이송되기 때문에 펌프장의 준설량과 직접적으로 비교하기가 곤란하며, 관거 내 퇴적되어 남아 있는 고형물 또한 존재하므로 모든 관거 내의 퇴적량을 측정하기 전까지는 구체적으로 결론을 내리기는 곤란하다. 따라서 관거 내에 퇴적되어 있는 고형물량을 정기적으로 측정하고, 펌프장에 퇴적되어 있는 고형물의 근원을 지표면과 하수로부터 분리 산정하는 방법도 연구 및 개발하여야 MOUSE 모형을 이용한 퇴적량 산정치와 비교가 가능하리라 본다.

5. 결 론

이 논문에서는 군자배수분구 유역에 MOUSE 모형을 적용하여 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하여 분석하였으며, 이를 EPA에서 제시한 합류식 관거 내 고형물 퇴적량 산정식을 적용하여 산정한 결과와 비교 분석한 결과 다음과 같다.

- 1) 관거 길이에 대한 고형물 퇴적량의 변화는 관거 직경 및 경사에 따라 퇴적량이 변하게 되므로 길이만으로는 뚜렷한 상관관계를 나타내고 있지 않다. 경사에 따른 고형물 퇴적량의 변화는 경사가 급할수록 고형물이 퇴적되기가 어려우므로 퇴적량이 감소하고, 경사가 완만할수록 퇴적량이 증가하는 경향을 약간 나타내고 있다. 반면 직경에 따른 고형물 퇴적량의 변화도 경사에 대한 변수가 있으므로 뚜렷한 경향을 보여주지는 못하고 있지

Table 6. Comparison of estimated solid deposition

Method	Eq. (1)			Eq. (2)		Eq. (3)		Eq. (4)	
	1	2	3	2	3	2	3	2	3
TS (m ³ /yr)	28.51	28.69	56.25	57.83	74.92	36.85	48.46	32.04	41.82
Method	Eq. (5)			Eq. (6)				Eq. (7)	
	1	2	3	2	3			2	3
TS (m ³ /yr)	5.38	5.41	10.65	70.44	91.38			6.52	8.51
Method	Eq. (8)							Eq. (9)	
	1	2	3					2	3
TS (m ³ /yr)	4.66	4.67	7.46					5.94	7.70
MOUSE Model	13.46 m ³ /yr								
Measured data	28 m ³ /yr								

만 관거의 직경이 증가할수록 하류에 위치하고 따라서 경사도 완만하므로 퇴적량이 증가하는 경향성을 나타내고 있다. 한편, 유역면적에 따른 고형물 퇴적량의 증가는 뚜렷하게 나타나고 있다.

- 2) EPA에서 제시한 9가지의 고형물 퇴적량 산정식을 이용하여 퇴적량을 산정한 결과 Eqs. (1)~(4) 및 Es. (6)을 적용하여 산정한 퇴적량이 전반적으로 MOUSE 모형에 의해 산정된 값에 비해 과다하게 나타나고 있다. 나머지 공식들은 25.54~58.39 kg/day의 범위에서 산정되고 있다. MOUSE 모형에 의해 산정된 값은 73.73 kg/day으로 EPA에서 1984년에 제시한 식 중 Eq. (6)을 제외하면 약간 크게 산정되고 있음을 알 수 있다. 하지만 관거 내 고형물 퇴적 및 이송의 복잡성을 고려할 때 MOUSE 모형에 의해 산정된 값이 EPA에서 개발된 산정식에 의한 값 범위에 포함되고 있으므로 신뢰성은 있다고 판단된다.
- 3) 추후 고형물 산정 모형 및 식에 의한 결과를 구체적으로 검증하기 위해서는 지속적인 실측이 필요하며, MOUSE 모형에 의해 산정된 고형물 퇴적량을 이용하여 퇴적 관련 변수들 즉, 관거길이, 관거 직경, 관거 경사 및 유역 등에 대해 회귀분석하여 산정식을 개발하면 실무에서 관거 내 고형물량관리 및 정기적인 준설계획 등을 수립할 때 유용하게 이용할 수가 있다고 본다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구 성과입니다.

참고 문헌

한국수도협회 (1998), **하수도시설기준**.
 이재수 (2006). "합류식 관거 내 고형물 퇴적량 산정기법 분석", **한국수자원학회논문집**, 제39권 제5호, 한국수자원학회, pp. 405-415.
 이재수, 박무종 (2006). "합류식 관거 유지관리를 위한 하수 및 지표면 고형물 부하량 산정", **한국수자원학회논문집**, 제39권 제6호, 한국수자원학회, pp. 533-544.
 Ackers, J.C., Butler, D. and May, R. (1996). "*Design*

of Sewer to Control Sediment Problem." *London(UK), CIRIA, project report*. 141. pp. 181.
 Ackers, P. and White, W.R. (1973). "Sediment Transport: New Approach and Analysis." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 99(11), pp. 2041-2060.
 Arthur, S., Ashley, R.M. and Nalluri, C. (1996). "Near Bed Solids Transport in Sewers." *Wat. Sci. Tech.*, 33(9), pp. 69-76.
 Ashley, R.M. and Crabtree, R.W. (1992). "Sediment Origins, Deposition and Build-up in Combined Sewer Systems." *Wat. Sci. Tech.*, 25(8), pp. 1-12.
 Ashley, R, M., Bertrand-Krajewski, J.-L., Hvitved-Jacobsen, T. and Verbanck, M. (2004). *Solids in Sewers : Characteristics, Effects and Control of Sewer Solids and Associated Pollutants*, Scientific and Technical Report No. 14, IWA Publishing, UK.
 Bachoc, A. (1992). "Location and General Characteristics of Sediment Deposits into Man-entry Combined Sewers." *Wat. Sci. Tech.*, 25(8), pp. 47-55.
 Bertrands-Krajewski, J.-L., Champisano, A., Creaco, E. and Modica, C. (2004). "Experimental Study and Modeling of the Hydraulic Behavior of a Hydrass Flushing Gate." *Proceedings of Novatech 2004*, Lyon, France, 6-10 June 2004, Vol. 1, pp. 557-564.
 Coghlan, B.P., Ashley, R.M. and Jefferies, C. (1993). "An Appraisal of Suspended Sediment Transport Modeling Methods for an Interceptor Sewer." *Wat. Sci. Tech.*, 27(5-6), 81-89
 Coleman, N.L. (1982). "Discussion of Paper 16313." *J. of the Hydraulics Division, ASCE*, 108(1), pp. 164-165.
 DHI (2003). *MOUSE TRAP User Manual*, DHI Water & Environment, Horsolm, Denmark.
 DHI (2003). *MOUSE TRAP Technical Reference : Sediment Transport Module*, DHI Water & Environment, Horsolm, Denmark.
 DHI (2004). *MOUSE User Guide*, DHI Water & Environment, Horsolm, Denmark.
 DHI (2004). *MOUSE Reference Manual*, DHI Water & Environment, Horsolm, Denmark.
 Elliott, A.H. and Trowsdale, S.A. (2006). "A Review

- of Models for Low Impact Urban Stormwater Drainage", *Environmental Modeling & Software*, xx(2006) 1-12.
- Fan, C.Y., Field, R. and Lai, F.-H. (2003). "Sewer Sediment Control: Overview of an Environmental Protection Agency Wet-Weather Flow Research Program." *J. Hydraul. Eng., ASCE*, 129(4), pp. 253-259.
- Fan, C.Y. (2004). *Sewer Sediment and Control: Management Practices Reference Guide*, Report No. EPA/600/R-04/059, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Laplace, D. (1991). *Dynamique du depot en collecteur d'assainissement*, PhD thesis, Institut National Polytechnique/ENSHEEIT, Toulouse, France, pp. 202.
- Lin, H.S. and Le Guennec, B. (1996). "Sediment Transport Modelling in Combined Sewer." *Wat. Sci. Tech.*, 33(9), pp. 61-67.
- Manning, M.J., Sullivan, R.H. and Kipp, T.M. (1977). *Nationwide Evaluation of Combined Sewer Overflows and Urban Stormwater Discharges : Vol. III, Characterization of Discharges*, Report No. EPA-600/2-77-064C.
- Meyer-Peter, E. and Muller, R. (1948). "Formulas for Bed-load Transport." IAHR-Meeting Stockholm, Zahlentabellen zu den Geschiebetriebsversuchen der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zurich.
- Pisano, W.C. and Queiroz, C.S. (1977). *Procedures for Estimating Dry Weather Deposition in Sewerage Systems*. Cincinnati, USEPA, Report No. EPA-600/2-77/120.
- Pisano, W.C. and Queiroz, C.S. (1984). *Procedures for Estimating Dry Weather Sewage Inline Pollutant Deposition-Phase II*, Report No. EPA-600/2-84/020(NTIS PB 84141 -480), U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, OH.
- Pitt, R. and Field, R. (1977) "Water Quality Effect from Urban Runoff", *American Water Works Association J.*, 69(8), pp. 432-436.
- Rouse, H. (1937). "Modern Conceptions of the Mechanics of Turbulence." *Transactions of ASCE*, Vol. 102, pp. 463-543.
- Startor, J.B. and Biyd, G.B. (1972). *Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants*, Report No. EPA-R2-72-081.
- (논문번호:07-22/접수:2007.03.15/심사완료:2007.05.02)