

합류식 관거 유지관리를 위한 하수 및 지표면 고형물 부하량 산정

Estimation of Solid Sediments Load by Sewer and Land Surface for Maintenance of Combined Sewer Systems

이재수* / 박무종**

Lee, Jae Soo / Park, Moo Jong

Abstract

The deposition of solids 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 proper pipe management, estimation of solid loads from sewer and surface in a drainage basin is needed but this task is very difficult and extremely expensive. In this study, generalized procedures for estimating sewer solid loads during dry weather in combined sewer systems and for estimating solid loads on surface in a drainage basin developed by the U. S. Environmental Protection Agency were applied and analyzed in Gunja drainage basin in Korea. As result, the estimated solid loads from sewer and surface are 205,8759kg/yr and 1,321,993kg/yr respectively, and total solid loads is 1,527,752kg/yr. The estimated solid removal from street cleaning, dredging from pipe system and pumping house is 1,486,636kg/yr. Therefore, the applied methods show reasonable results. More reliable estimation can be achieved if long-term measurements and adjustment of estimation equations are carried out, and this estimation methods can be used usefully for the management of combined sewer system with reduction of cost and effort.

keywords : combined sewer systems, solid loads, management of sewer system

요 지

합류식 관거 내 고형물의 퇴적으로 인해 통수능이 감소하여 여름철 장마시 국지적인 침수가 발생하며 이로 인해 관거 내 퇴적을 더욱 초래할 수가 있다. 이와 같은 문제를 해결하고 관거의 적절한 유지관리를 위해서는 배수구역에서의 하수 및 지표면으로부터의 고형물 부하량을 산정할 필요가 있으나 많은 비용과 노력이 수반되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 미국환경보호청에서 제시한 건조기의 합류관거 내 고형물 퇴적 부하량 산정기법과 지표면에서의 고형물 부하량 산정기법을 우리나라 군자배수구역에 적용하여 분석하였다. 분석결과 하수로부터의 고형물 부하량은 205,759kg/yr이고 지표면으로부터의 고형물 부하량은 1,321,993kg/yr로 총 1,527,752kg/yr로 나타났다. 또한 수거량은 1,486,636kg/yr로 나타나 적절한 산정결과를 보여주었다. 배수구역에서 관거 및 지표면에서의 장기적인 관측이 이루어지고 이에 따라 국내설정에 맞도록 산정공식의 수정이 이루어지면 더욱 신뢰성 있는 산정을 할 수가 있으며 이를 통해 실무에서 많은 비용과 노력을 줄이고 합류식 관거 유지관리를 할 수가 있겠다.

핵심용어 : 합류식 관거시스템, 고형물 부하량, 하수관거 관리

* 전주대학교 토목환경공학과 부교수

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

** 한서대학교 토목공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Hanseo Univ., Chungnam 356-870. Korea (e-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

1. 서 론

도시지역의 합류 관거에서 고형물 퇴적으로 인해 홍수소통 단면적이 축소되어 우기에 우수관거의 기능을 제대로 유지하지 못해 침수가 발생하는 경우가 자주 발생하고 있다. 따라서 관거의 적절한 유지관리를 위해서는 배수유역내 하수 및 지표면으로부터 발생하는 고형물 부하량을 각 항목별로 적절하게 산정할 필요가 있으며 이를 바탕으로 관거로의 고형물 유입량 정기적인 관거 및 빗물 펌프장의 준설계획 등에 이용할 수가 있다.

합류식 관거 내에는 여러 종류의 고형물이 혼합된 상태로 유입되고 있으며, 이들 고형물들은 생활하수(주방, 목욕, 화장실, 청소 등으로부터의 고형물), 산업 및 상업지역으로부터의 하수, 지붕, 도로, 고속도로, 주차장, 공원으로 부터의 지표면 유출로 인해 이송된 고형물, 그리고 건설과 같은 활동으로부터의 토양 침식에 의한 고형물 등 다양한 출처를 가지고 있다. 이와 같은 다양한 출처를 가진 고형물들을 각 출처별로 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 흐름 상태에서 Fig. 1과 같이 걸코 퇴적되지 않는 가장 작은 고형물을 미립부유사(wash load)라 하며 이들의 이동은 보통 이송확산(advection-dispersion)방식과 함께 용존물질의 이동으로 모의하게 된다. 부유(suspension) 상태로 이동하는 고형물들은 30~40 μ m의 중앙입경을 가지고 있으며 만일 흐름의 에너지가 감소한다면 이들은 침강하여 퇴적유사로 남게 된다. 소류사(bed load)로 이동하는 고형물들은 일반적으로 200~1500 μ m의 중앙입경을 가지고 있으며 관거 내 고형물의 평균입경과 비슷하다. 만일 흐름의 에너지가 충분하지 않다면 소류사는 더 이상 이동하지 않고 관거의 낮은 지점에 퇴적되게 된다. 호우기간과 같이 많은 유량과 높은 유속에서는 관거 내 퇴적 고형물은 침식되고 하류로 이동하게 된다.

국외에서는 관거 내 퇴적 고형물량을 산정하기 위한 이론적 및 실험적 연구와 지표면에서의 고형물 발생에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있지만 많은 시간, 노력 및 비용이 소요되고 있다. 그럼에도 불구하고 관거내 고형물 이송 및 퇴적의 복잡한 메커니즘에 의해 아직까지 국제적으로 높은 신뢰도를 가지고 적용할 방법이 제시되지는 못하고 있다. 관거 내 고형물량을 산정하기 위한 방법으로 컴퓨터를 통한 수치해석에 의한

방법들이 있는데 이들은 매우 복잡하고 많은 노력을 필요로 한다.

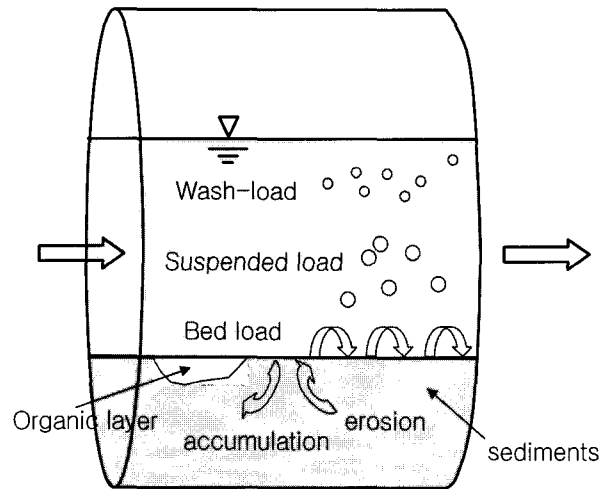


Fig. 1. Types of sewer solids and modes of transport

건조기에 관거 내에 퇴적된 고형물들이 우기시 세굴되어 수질오염을 발생시키자 미환경청(EPA)의 전신인 연방수질통제국(FWPCA)에서는 1965년에 호우 및 합류식 관거내 흐름연구를 시작하였다. 이후 EPA에서는 관거 내 하수로 인한 퇴적 고형물을 산정하기 위한 회귀모형(Pisano와 Queiroz, 1977, 1984)을 제시하였고, 지표면에서의 다양한 출처로부터의 고형물 부하량을 산정하는 방법(Fan 등, 2003; Fan, 2004)를 제시하여 실무에서 도시 합류식 관거의 유지관리에 용이하게 적용할 수 있도록 하고 있다. 또한 유럽에서도 Ashley 등(2004)이 다년간의 연구를 통해 하수관거에서의 고형물 이송 및 퇴적 그리고 이들의 관리기술 등에 관한 종합적인 보고서를 제출하는 등 외국에서는 하수 관거내 고형물 관리에 대한 많은 연구와 노력을 하고 있다.

본 연구에서는 미 환경보호청(EPA)에서 제시하고 있는 하수로부터의 관거 내 퇴적 고형물 부하량 산정기법과 지표면에서의 쓰레기 및 부유고형물, 도로 제설용 모래, 도로의 먼지 및 흙 그리고 토양손실로 구분해서 고형물 부하량을 산정하는 방법을 소개하고 국내 배수유역에 적용하여 각 항목별로 고형물 부하량을 산정하고, 청소에 의한 수거, 관거 및 빗물 펌프장에서의 퇴적 고형물 수거량을 산정하여 고형물 부하량과 수거량을 비교 검토하여 도시 합류식 관거의 유지관리에 유용하게 사용할 수 있는 방법을 제시하기로 한다.

2. 하수 및 지표면에서의 고형물 부하량 산정방법

2.1 하수로 인한 관거 내 고형물 퇴적 부하량 산정방법

하수 고형물로 인한 관거 내 고형물 퇴적 부하량은 미국 환경보호청(EPA)에서 개발 제시한 회귀모형식(Pisano와 Queiroz, 1977, 1984; Fan et al., 2003, Fan, 2004)를 이용하여 산정할 수가 있다. 이 고형물 산정 회귀모형식은 Pisano et al.(1977)에 의해 미국 내 Boston, Dorchester 그리고 Fitchburg 지역을 대상으로 유도한 초기의 Eqs. (1)~(4) 및 Pisano와 Queiroz(1984)에 의해 후에 유도된 Eqs. (5)~(9)로 다음과 같이 상관계수(R^2)에 따라 정밀(elaborate)모형, 중간(intermediate)모형 그리고 단순(simplest)모형으로 구분하였다.

· Boston, Dorchester 및 Fitchburg에 대한 경우 정밀모형

$$TS = 0.0038L^{0.8142}S_{PD}^{-0.8187}S_{PD/4}^{-0.1078}Q^{-0.5098} \quad (R^2=0.95) \quad (1)$$

중간모형

$$TS = 0.001303L^{1.18}A^{-0.178}S^{-0.418}D^{0.604}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.85) \quad (2)$$

$$TS = 0.00389L^{1.2195}A^{-0.1866}S^{-0.4343}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.85) \quad (3)$$

단순모형

$$TS = 0.0076L^{1.063}S^{-0.4375}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.85) \quad (4)$$

· Boston 및 Fitchburg에 대한 경우 정밀모형

$$TS = 0.00073L^{0.81}S_{PD}^{-0.82}S_{PD/4}^{-0.11}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.95) \quad (5)$$

중간모형

$$TS = 0.0013L^{1.2}D^{0.61}A^{-0.18}S^{-0.42}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.85) \quad (6)$$

단순모형

$$TS = 0.0011L^{1.1}S^{-0.44}Q^{-0.51} \quad (R^2=0.85) \quad (7)$$

· Cleveland에 대한 경우

정밀모형

$$TS = 0.00017L^{0.95}S^{-0.32}S_{PD}^{-0.52}S_{PD/4}^{-0.15}Q^{-0.52} \quad (R^2=0.94) \quad (8)$$

단순모형

$$TS = 0.0012L^{1.1}S^{-0.43}Q^{-0.54} \quad (R^2=0.88) \quad (9)$$

여기서 S_{PD} 는 L_{PD} 에 상응하는 관거 경사, L_{PD} 는 관거시 시스템에서 고형물의 80%가 퇴적되는 관거 길이(ft), $S_{PD/4}$ 는 고형물의 80%가 퇴적하는 관거 길이 백분율의 1/4에 상응하는 관거 경사, A는 집수관거시스템의 관할 면적(acre), D는 평균 관거 직경(in), L은 총 관거 길이(ft), Q는 침투를 허용한 1인당 유출율(gpcd), S는 평균 관거 경사, TS는 집수시스템에서의 일 총 고형물 퇴적 부하량(lb/day)이다. 앞으로는 계산과정 및 결과를 SI단위로 나타내기로 한다.

2.2 지표면에서의 고형물 부하량 산정방법

도시배수유역으로부터의 고형물 부하량을 산정하기 위한 공식은 부유고형물 또는 도로의 쓰레기, 겨울철 도로의 결빙을 막기 위한 모래, 도로의 먼지 및 흙, 개활지에서 침식된 토양유사 등이 포함된다.

2.2.1 쓰레기 및 부유물

도시지역의 쓰레기들은 플라스틱 및 종이포장, 쇼핑백, 담배 및 담배갑 그리고 공원, 정원, 간이음식점에서 사용하는 물건 등과 같은 주로 가공된 물질로 구성되어 있으며 버려지는 물질의 총량은 도시배수유역의 상태에 따라 다양하게 변한다. 연간 쓰레기 부하량은 Armitage와 Rooseboom(2000)이 제안한 경험식 (10)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$T = \sum f_{sci} (V_i + B_i) A_i \quad (10)$$

여기서 T는 총 쓰레기 부하량(m^3/yr), f_{sci} 는 토지이용에 따른 도로 청소인자, V_i 는 토지이용에 따른 식생 부하량($m^3/ha-yr$), B_i 는 토지이용에 따른 기본 쓰레기 부하량($m^3/ha-yr$) 그리고 A_i 는 각 토지이용 면적(ha)이다.

2.2.2 제설용 모래

겨울철 눈이 내릴 때 도로표면과 자동차 바퀴간의 마찰력을 증가시켜 안전성을 확보하기 위해서 모래를 살포하게 된다. 그러나 눈이 녹은 후 모래는 도로상의

중요한 유사발생원이며 비점오염원이 된다. Guo(1999)는 겨울동안 도로상에 살포된 모래의 총량을 결정할 수 다음과 같은 Eq. (11)을 제시하였다.

$$W_s = w_s B_t L \quad (11)$$

여기서 W_s 는 모래의 양(kg), w_s 는 연간 단위면적당 모래의 양(kg/m²), B_t 는 도로 차선의 폭(m) 그리고 L 은 도로에 인접한 배수구간의 거리(m)이다.

2.2.3 도로의 먼지 및 흙

도로의 먼지 및 흙의 축적량은 Huber와 Dickinson (1992)이 제시하고 EPA의 호우관리모형(SWMM)에서 적용하고 있는 Eq. (12)를 이용하여 산정할 수가 있다.

$$DD = \frac{(DDLIM) \cdot (T)}{(DDFACT + T)} \quad (12)$$

여기서 DD 는 축적된 먼지 및 흙의 양(g) 그리고 T 는 시간(day)이며 계수 $DDFACT$ 는 day(일), 그리고 축적한계인 $DDLIM$ 의 단위는 g이다.

2.2.4 토양침식

지표면에서의 강우로 인한 토양침식은 Renard 등 (1996)에 의해 수정된 다음과 같은 RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) 방법을 사용하여 산정할 수가 있다.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (13)$$

여기서 A 는 강우침식인자 R 의 해당기간 중 단위면적당 토양침식량(ton/ha), R 은 강우침식인자(10⁷J/ha·mm/hr), K 는 토양침식인자(ton/ha/R), L 는 지형인자, C 는 토양피복인자 그리고 P 는 토양보전대책인자이다. 이 방법은 국내에서 재해영향평가서 주로 사용되고 있으며, 각 인자에 대해서는 재해영향평가서 실무지침서(소방방재청, 2005)에 단위나 적용방법에 대해 비교적 상세하게 기술되어 있으므로 본 연구에서는 지면상 생략하기

로 한다.

3. 실제 배수구역에서의 고형물 부하량 산정 및 분석

3.1 배수구역분석

본 연구에서는 합류식 관거의 유지관리를 위한 하수 및 지표면으로부터의 고형물 부하량을 산정하기 위해 앞에서 설명한 방법들을 서울 군자배수구역에 적용하여 각 항목별 고형물 부하량을 산정하여 비교 분석하였다.

3.1.1 토지이용 현황

군자배수구역은 주택지, 공업단지, 어린이대공원, 세종대학교, 상업용지, 나지 등 다양한 토지이용형태를 보여주고 있다. 광진구청 관할의 군자동, 능동이 주를 이루고 중곡 1, 2, 4동의 일부와 성동구청 관할 송정동의 일부가 포함되어 있으며 배수구역의 총면적은 약 199.9ha로 이중 동부간선도로 사면의 면적 5.4ha를 제외하면 실제면적은 약 194.5ha이며 인구수는 약 9만 8천여 명이다. 토지이용은 인구밀도가 낮은 지역, 인구밀도가 높은 지역, 학교, 상업지역, 경공업지역, 공원, 도로 등 7가지로 구분하였으며 Fig. 2 및 Table 1과 같다.

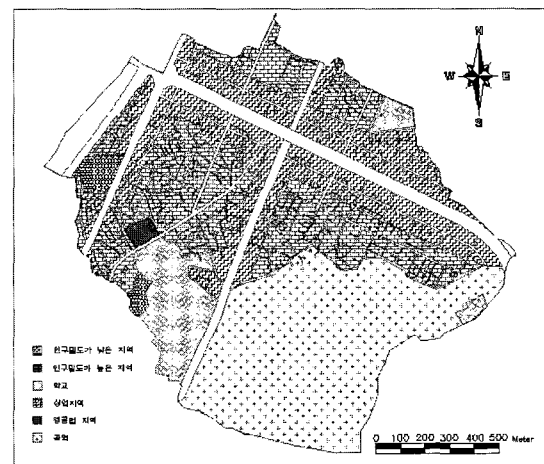


Fig. 2. Land use distribution

Table 1. Land use areal distribution (unit:ha)

Land use	Roof area	Parking/Roadway	Landscaped area	Toatal area	Ratio(%)
Low density residential area	22.99	2.30	20.69	45.98	23.0
High density residential area	1.27	0.64	0.64	2.55	1.3
School	4.26	2.84	7.10	14.20	7.1
Commercial area	29.25	1.72	3.44	34.41	17.2
Light industrial area	0.71	0.25	0.05	1.01	0.5
Parks	5.89	5.89	47.15	58.93	29.5
Street		36.74	0.03	36.77	18.4
The others				5.40	2.7
Total	64.37	50.38	79.10	199.90	100.0

3.1.2 배수관망 현황

하수로 인한 관거 내 고형물 퇴적 부하량 산정을 위해 군자배수구역의 지형 및 관망분포를 고려하여 25개의 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역 구분 및 배수관망도는 Fig. 3과 같다. 관거 내 고형물 부하량을 산정하기 위해 배수관망도를 이용하여 각 소유역에서의 관거요소수, 관거길이, 배수면적, 평균 관거직경, 평균 관거경사, 평균 지표면경사 등의 관망 자료를 분석하였으며, 결과는 Table 2와 같다.

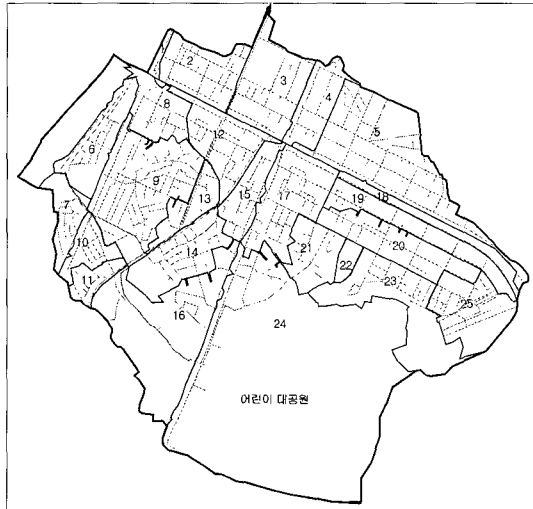


Fig. 3. Sub-basin and pipe network

3.1.3 도로 현황

군자배수구역 내에 위치한 도로의 총 길이는 약 30km이고 면적은 36.77ha이다. 도로는 도로의 폭과 형상에 따라서 간선(1), 간선(2), 간선(3), 지선(1), 지선(2), 골목길로 6가지로 구분하였다. 6가지로 구분된 도로의 규모와 제원은 도로주변에서의 1)제설용 모래, 2)먼지와 흙에 직접적인 영향을 미치므로 이에 대해 조사하였다. 도로의 구조는 차로, 연석, 인도로 구성되어 있으며 구분된 도로별 분포 및 제원은 Fig. 4 및 Table 3과 같다.

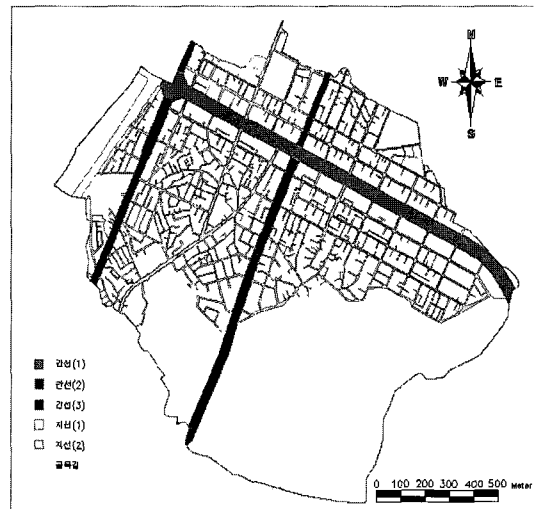


Fig. 4. Roadway right-of-way distribution

Table 2. Summary data on derived pipe characteristics

No	No. of pipe	Total pipe length (m)	Mean pipe slope	Mean pipe dia.(mm)	Basin area (ha)	Mean basin slope
1	5	191.38	0.00125	748	0.5173	0.02355
2	62	1778.55	0.00841	538	5.6565	0.00441
3	80	2601.07	0.01804	511	7.7532	0.02309
4	46	1324.47	0.02135	605	4.1555	0.03097
5	125	4128.01	0.02704	535	15.2564	0.03544
6	58	1597.40	0.00847	613	4.8854	0.00179
7	45	1185.87	0.02301	873	2.9995	0.02808
8	46	1343.91	0.01369	826	4.2107	0.02218
9	164	4543.94	0.01645	599	12.4905	0.01553
10	27	788.54	0.04407	502	2.5180	0.01862
11	27	720.36	0.04334	461	1.8547	0.04622
12	88	2356.19	0.01783	526	6.0760	0.01804
13	54	1602.77	0.02349	537	2.9821	0.01632
14	62	1982.24	0.02689	543	6.2863	0.01845
15	62	1673.11	0.01555	584	3.6627	0.01214
16	59	2451.41	0.02163	819	15.2159	0.01814
17	98	2712.35	0.01887	516	7.8101	0.03093
18	18	789.10	0.02106	711	2.5259	0.02428
19	32	1120.81	0.02392	579	5.1979	0.02411
20	54	1464.00	0.01862	465	6.3424	0.01633
21	38	989.62	0.03251	481	4.2228	0.03841
22	10	297.13	0.0492	518	0.9791	0.04995
23	47	1313.70	0.0234	552	9.5077	0.02944
24	73	2085.11	0.01891	607	54.5676	0.02548
25	74	2275.45	0.02494	521	6.8681	0.05059
Σ	1454	43317			194.542	

Table 3. Roadway right-of-way characteristics

Type of roadway	Length (m)	RW (m)	Curb (m)	Landscaped strip (m)	Sidewalk (m)	Traffic Lanes (m)	Area (m ²)	Ratio (%)
Major artery(1)	1680	51.1	0.9	-	18.4	31.8	85,848.0	23.3
Major artery(2)	1072	35.0	0.9	-	6.3	27.8	37,520.0	10.2
Major artery(3)	1746	27.4	0.9	2.3	7.7	16.5	47,840.4	13.0
Minor artery(1)	406	12.1	0.9	-	4.2	7.0	4,912.6	1.3
Minor artery(2)	7810	9.8	0.8	-	-	9.0	76,538.0	20.8
Street	17700	6.5	0.8	-	-	5.7	115,050.0	31.3
Total	30,414						367,709.0	100.0

3.2 고품물 부하량 산정 및 분석

3.2.1 하수로 인한 고품물 퇴적부하량 산정

이상과 같이 분석한 군자배수구역의 배수관망자료를 이용하여 앞에서 설명한 회귀모형을 이용하여 각 소유역별 관거 내 고품물 퇴적량을 산정하였다. 정밀모형(Eq. 1, 5, 8)인 경우 관거시스템에서 고품물의 80%가 퇴적되는 관거 길이 L_{PD} 를 바탕으로 하는 S_{PD} 및 $S_{PD}/4$ 를 먼저 산정하여야 하나 연구 대상구역인 군자배수구역에서는 자료의 부재로 현재로서는 적용하기 곤란하므로 전체 소유역에 대해 정밀모형을 제외한 중간모형(Eq. 2, 3, 6) 및 단순모형(Eq. 4, 7, 9)을 적용하여 관거 내 고품물 퇴적 부하량을 산정하여 보았다. 즉, 실질적으로 구할 수 있는 군자배수구역의 관거자료(관거길이, 배수면적, 관거평균경사, 관거평균직경)를 이용하여 6가지의 관거 내 고품물

퇴적 부하량 산정 회귀모형식을 적용하여 각 소유역별로 퇴적고형물을 산정하였다. 이때 회귀모형식 적용에 필요한 1인당 1일 하수배출량 $Q(lpcd)$ 는 군자배수구역의 인구가 약 98,000명인 것을 감안하여 하수도시설기준(1998)에서 제시하고 있는 2001년 기준 인구규모 5만~40만명에 대한 1인 1일 평균급수량 353lpcd로 선정하고, 이러한 평균급수량에서 누수로 손실되거나 사용 후 지하침투 및 증발 등에 의한 손실량을 약 15%로 가정하여 1인 1일 평균하수량을 300lpcd로 산정하였다. 이와 같이 군자배수구역의 각 소유역별 퇴적 고품물 산정공식별로 산정한 결과가 Table 4와 같다. 각 공식별로 많은 차이를 보이고 있으며 Eqs. (6) and (9)는 약 11.5배의 차이를 보이고 있고 각 방법을 평균해 보면 약 563.72 kg/day(205,759kg/yr)로 나타나고 있다.

Table 4. Comparison of estimated daily solids deposited load

No.	Solid deposited load (kg/day)					
	Eq. 2	Eq. 3	Eq. 4	Eq. 6	Eq. 7	Eq. 9
1	15.38	8.54	6.51	18.04	1.22	1.09
2	51.51	36.19	30.23	62.52	6.10	5.57
3	53.74	38.94	32.42	65.56	6.63	6.09
4	27.95	17.85	14.70	33.70	2.93	2.70
5	71.32	50.56	44.38	87.65	9.22	8.51
6	50.25	32.52	26.88	60.92	5.41	4.93
7	31.44	16.05	12.65	37.93	2.51	2.31
8	41.22	21.99	18.13	49.86	3.62	3.32
9	109.07	73.22	61.08	134.59	12.75	11.71
10	10.93	7.60	6.17	13.03	1.20	1.12
11	9.93	7.26	5.64	11.81	1.10	1.02
12	51.07	36.31	29.34	62.22	5.97	5.49
13	33.20	22.99	17.27	40.18	3.46	3.19
14	35.54	24.45	20.40	43.12	4.12	3.80
15	42.08	27.89	21.65	51.02	4.35	4.00
16	54.77	29.52	28.12	66.82	5.73	5.28
17	55.66	40.13	33.24	67.96	6.80	6.26
18	18.38	10.48	8.53	21.98	1.67	1.53
19	20.48	13.30	11.71	24.59	2.32	2.14
20	26.35	19.78	17.36	31.77	3.47	3.19
21	14.43	10.39	8.97	17.26	1.77	1.63
22	3.98	2.63	2.08	4.66	0.39	0.36
23	21.75	14.56	14.00	26.16	2.79	2.57
24	31.82	20.24	25.11	38.54	5.09	4.68
25	41.44	29.40	24.41	50.40	4.96	4.57
Total	923.67	612.78	520.96	1122.32	105.57	97.04

산정 공식에 포함된 각 변수에 대한 산정치의 변화에 대해 알아보기 위해 민감도 분석을 하여 보았다. 주요 변수들이 모두 포함된 중간모형인 Eq. (2)를 선택하여 각 변수 즉, 관거길이, 유역면적, 관거경사, 관거직경 그리고 하수량을 변화시키며 고품물량을 산정하였다. 이때 각 변수별로 시범유역에서의 최대치, 최소치 그리고 평균치(Table 5)를 구해 각 변수마다 최대치 또는 최소치를 적용하고 나머지 변수들은 평균치를 적용하였다. 그 결과 Table 6과 같이 고품물 부하량이 관거길이 및 경사에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있으며 유역면적, 관거직경 및 하수량은 상대적으로 영향이 적은 것을 알 수 있다.

Table 5. Max., min. and mean values

Var.	L(m)	A(m ²)	S	D(in)	Q(lpcd)
Max.	4543.94	545676	0.04920	873	250
Min.	191.38	5173	0.00125	461	350
Mean	1732.66	77817	0.02248	590.8	300

Table 6. Estimated solid deposit for different variables(kg/day)

Var.	L	A	S	D	Q
Max.	103.275	23.407	23.863	41.911	30.603
Min.	2.460	53.636	110.777	28.499	36.332
Mean	33.106				

3.2.2 쓰레기 부하량 산정

유역에서의 쓰레기 발생량은 전체면적 중 도로의 면적을 제외한 부분에서 발생하게 된다. 쓰레기 발생량은 토지이용에 따라 상이하게 발생하게 되며 Eq. (10)에서 B_i는 상업지역은 1.2, 산업지역은 0.8, 거주지역은 0.01을 추천하고 있으며, 기본값이 제시되어있지 않은 인구 밀도가 높은 지역과 학교는 0.02, 공원 0.5를 적용하였다. V_i는 식생이 불량한 지역은 0.0을 식생이 조밀한 지역은 0.5를 추천하고 있으며, 시험유역의 경우에는 식생

이 불량하여 0.01~0.03범위에서 적용하였다. F_{sci}는 일반적인 도로청소를 하는 경우에는 1, 청소를 하지 않는 도로인 경우에는 최대 6을 적용하도록 추천되고 있다. 본 시험유역은 도심지로 청소차와 청소부를 이용한 청소가 하루에 1회 이상 이루어지고 있어 1을 적용하였다. 이와 같이 산정된 연간 쓰레기 발생체적은 75.41m³/yr이다. 이를 중량으로 환산하기 위해 EPA에서 주거지와 학교는 88.3kg/m³, 상업지역은 96.4kg/m³, 경공업지역은 97.8kg/m³, 공원은 88.3kg/m³을 추천하고 있지만 군자배수유역의 상황을 고려하기 위해 100리터 용량의 쓰레기의 무게를 측정된 결과 평균 15kg으로 나타나 쓰레기 단위중량을 150kg/m³으로 적용하였으며 쓰레기 총 부하량은 Table 7과 같이 11,311kg/yr로 산정되었다.

3.2.3 제설용 모래 부하량 산정

동절기에 살포하는 제설용 모래는 상당부분이 우수 관거로 유입되고 있는 실정이다. 따라서 연간 살포되는 모래의 양을 도로의 규모에 따라 산정하였다. 이때, 도로는 간선(1), 간선(2), 간선(3), 지선(1), 지선(2), 골목길로 6개로 구분하였으나, 지선(2)와 골목길은 제설용 모래를 살포하지 않아 계산에서 제외하였다. 모래의 살포량은 강설의 발생횟수와 직접적으로 상관성이 있다. 즉, 강설이 발생하지 않는다면 모래살포를 실시하지 않을 것이다. 그러나, 모래 살포와 관련된 정확한 자료의 수집이 불가능하여 Fan et al.(2004)에서 제시된 간선도로인 경우 10kg/m²/yr을 지선도로인 경우에는 5kg/m²/yr를 적용한 결과 산정된 모래의 살포량은 1,134,556 kg/yr로 Table 8과 같다.

3.2.4 먼지와 흙 축적량 산정

도로변에 축적되는 먼지와 흙은 도로 연석에서 발생하게 된다. 따라서, 시험유역내 총 연석면적을 고려하여야 한다. 연석의 폭은 45cm 전후로 도로의 좌우에 설치되어 있으므로 연석의 폭은 양쪽을 고려하여 80cm혹은 90cm로 적용하였으며, 총 도로연장은 30,414m로 먼지

Table 7. Summary of litter/floatable solids loading

Land use	Area (ha)	B _i (m ³ /ha-yr)	V _i (m ³ /ha-yr)	F _{sci}	Volume (m ³ /yr)	Bulk density (kg/m ³)	Litter loading (kg/yr)
Low density residential area	45.98	0.01	0.02	1	1.38	150	207
High density residential area	2.55	0.02	0.02	1	0.10	150	15
School	14.20	0.02	0.03	1	0.71	150	107
Commercial area	34.41	1.20	0.03	1	42.32	150	6,349
Light industrial area	1.01	0.80	0.03	1	0.84	150	126
Parks	58.93	0.50	0.01	1	30.05	150	4,508
Total	157.08				75.41		11,311

Table 8. Estimation of sand applied

Type of roadway	Lenght (m)	Lane width (m)	Road surface area (m ²)	Sand application ratio (kg/m ² /yr)	Sand applied (kg/yr)
Major artery (1)	1,680.0	31.8	53,424	10	534,240
Major artery (2)	1,072.0	27.8	29,802	10	298,016
Major artery (3)	1,746.0	16.5	28,809	10	288,090
Minor artery (1)	406.0	7.0	2,842	5	14,210
Total					1,134,556

와 흙이 축적되는 연석의 총면적은 14,149m²이 된다. 축적되는 먼지의 양은 Eq. (12)로 산정할 수 있으며, 이때 축적된 먼지와 흙 축적 상한선인 DDLIM은 Delleur(2001)가 추천한 간선에서 250g/curb-m, 지선에서 180g/curb-m, 골목길에서 150g/curb-m를 적용하였다. 또한, DDFACT는 0.9일을 축적시간 T는 10일을 적용하였다. 따라서, 먼지와 흙은 3,966kg이 발생하며 유효강우 5mm이상 발생하면 평균발생일수 40일을 고려하여 158,640kg/year로 산정되었으며 Table 9와 같다.

3.2.5 토양침식에 의한 부하량 산정

토양손실에 의한 유사발생량은 시험구역내에 특별한 공사현장이 없어 실제 발생량도 거의 없을 것으로 판단된다. 또한, RUSLE 공식을 적용하기 위한 객관적인 사면의 길이나 경사의 결정도 매우 어렵다고 할 수 있다. 그러나, 주변지역에 적용된 결과를 이용하여 사면의 길이는 140m, 사면의 경사각은 0.723°으로 적용하여 토양 침식량을 산정하였으며 Table 10과 같다.

3.3 고형물 수거량 산정 및 분석

지금까지 군자배수구역의 하수 및 지표면에서 발생하는 고형물 부하량을 산정하였다. 이들 산정량의 적절성을 분석하기 위해 군자배수구역에서 수거되는 고형물의 양을 분석하기로 한다. 구역에서 발생하는 모든 고형물은 청소에 의해 일부 수거되고 나머지는 강우에 의해 관거로 유입되어 퇴적되거나 빗물펌프장으로 이송되어 퇴적된다고 볼 수 있다. 고형물의 수거에는 청소차 및 인부에 의한 수거, 관거 준설에 의한 수거 그리고 빗물펌프장 퇴적고형물의 수거로 구분할 수가 있다.

3.3.1 청소차 및 인부에 의한 수거량

군자배수구역은 행정구역상 성동구청과 광진구청 2개로 나누어져 있으며, 성동구청에 포함된 송정동일부 지역과 광진구청에 포함된 일부 지역으로 구성된다. 따라서 군자배수구역 내에 위치한 성동구와 광진구청의 도로 비를 고려하여 쓰레기 수거량을 산정하였다. 도로

Table 9. Street dust and dirt accumulation rate and loading

Type of roadway	Length (m)	Curb (m)	Total curb length (m ²)	Maximum build up limit (g/curb-m)	Estimated DD accumulation (kg)
Major artery (1)	1,680	0.9	1,512	250	346
Major artery (2)	1,072	0.9	965	250	221
Major artery (3)	1,746	0.9	1,571	250	360
Minor artery (1)	406	0.9	365	180	60
Minor artery (2)	7,810	0.8	6,248	180	1,031
Street	17,700	0.8	14,160	150	1,948
Total	30,414		24,822		3,966

Table 10. Soil erosion load

Land use	Landscaped area (ha)	R (10 ⁷ J/ha · mm/hr)	K (ton/ha/R)	LS	C	P	Soil Erosion (kg/yr)
Residential, school, commercial and industrial areas	31.92	526	0.13	0.231	0.1	0.14	7,059
Parks	47.15	526	0.13	0.231	0.1	0.14	10,427
Total							17,486

청소차의 청소구역으로는 장비의 운행이 가능한 도로의 노폭 10m이상(간선(1), 간선(2), 간선(3), 지선(1))이 되는 구역이며, 청소인부는 도로 청소차 작업 구역을 포함한 장비의 운행이 불가능한 도로의 노폭 10m이하(간선(2), 골목길)를 담당한다.

성동구의 경우에는 도로청소차가 운행되는 도로 폭 10m 이상의 도로연장은 71.13km이며 이중 군자배수구역에 포함된 도로의 길이는 0.75km로 도로의 길이 비는 1.054%이다. 동일한 방법으로 청소인부가 작업하는 전체도로의 길이는 402.17km이고 이중 군자배수구역 내에 포함된 도로의 길이는 3.56km로 도로의 길이 비는 0.89%에 해당한다. 이와 같은 구청별 도로길이 비가 Table 11과 같다.

Table 11. Road ratio by administrative district in the Gunja drainage basin

Ward	Type of load	Administrative district (km)	Gunja drainage basin (km)	Road ratio (%)
Sung Dong	Total load length	402.17	3.56	0.885
	Lane width > 10m	71.13	0.75	1.054
Kwan Gjin	Total load length	321.7	27.58	8.573
	Lane width > 10m	54.96	4.15	7.551

구청별 쓰레기 발생량과 군자배수구역의 도로 길이 비를 고려하여 다음과 같이 쓰레기 발생량을 산정하였다. 즉, 성동구청 관내에서 도로청소차에 의해 수거되는 양은 1일 1,500kg이며 군자배수구역에 포함된 도로 폭 10m 이상의 비율은 1.054% (=0.75km/ 71.13km)이므로, 성동구 관내에 위치한 군자배수구역에서의 1일 고형물 수거량은 1,500kg의 1.054%인 15.82kg이 된다. 또한, 월간 도로청소차 운행횟수는 20일이므로 연간 운행횟수는 240일 따라서 15.82kg/day x 20일 x 12개월은 3,795.87kg/yr이 성동구 관내지역 중 군자배수구역에서 수거되는 청소차에 의한 수거량이 된다. 산정결과 도로 청소차에 의한 연간 수거량은 20,831g이며, 청소인부에

의한 연간 수거량은 49,399kg이 된다. 이에 따라 군자배수구역내에서 차로 청소를 통한 유사를 포함한 쓰레기 수거량은 70,230kg으로 조사되었으며 자세한 자료는 Table 12와 같다.

3.3.2 관거 준설을 통한 수거량

성동구 관내 관거 준설량은 2003년과 2004년에 각각 75m³/yr와 125m³/yr로 조사되었다. 이러한 관거 준설량은 관거별로 정리된 자료를 수집하여 군자배수구역에 포함된 관거만을 분리하여 조사된 결과이다. 성동구 관내에 포함된 관거 준설량은 2년 동안의 평균값은 100m³이고 유사의 습윤단위 중량 1,800kg/m³고려하여 연간 180,000kg/yr로 산정되었다. 같은 방법으로 광진구 관내 관거준설량은 2003년과 2004년에 각각 525.6m³/yr와 708.4m³/yr로 평균이 617.0m³이고, 준설량은 연간 1,110,600kg/yr로 산정된다. 따라서 군자배수구역에서 관거 준설을 통한 수거량은 약 1,290,600kg/yr가 된다.

3.3.3 펌프장 준설을 통한 수거량

군자배수구역 내에 존재하는 새말빗물펌프장에서의 2002년과 2004년의 준설자료가 존재하므로 이를 이용하여 빗물 펌프장 준설을 통한 고형물 수거량을 산정하기로 한다. Fig. 5와 같이 군자배수구역 내 6, 7번 소유역, 9~11번 소유역, 13, 14, 16 그리고 24번 소유역이 Box 관거를 통해 배수되어 7번 소유역 출구지점의 새말빗물 펌프장을 통해 중량천으로 배수되고 있으며 나머지 소유역은 중량천으로 직접 유출되고 있다. 따라서 새말빗물펌프장으로 유입 퇴적되어 준설된 자료를 바탕으로 면적을 고려하여 군자배수구역 전체에 대한 준설량을 산정하기로 한다.

새말빗물펌프장에서는 2002년에는 48m³, 2003년에는 8m³을 2004년에는 56m³을 준설하여 3년동안 평균 37.3m³의 준설실적이 조사되었다. 이때, 유사의 습윤단위 중량을 1,800kg/m³을 적용하면 새말펌프장의 3년간 평균준설량은 67,140kg/yr으로 산정된다. 군자배수구역의 실질적인 유역면적이 194.5ha이고 새말빗물펌프장 관할 소유역의 면적이 103.8ha이므로 새말빗물펌프장의 평균준설량을 군자배수구역 전체로 확장하면 125,806kg/yr가 된다.

Table 12. Solid removal amount through street cleaning

Ward	Street cleaning car				Street cleaner				Total (kg/yr)
	Removal ratio (kg/day)	Road ratio (%)	Removal amount (kg)		Removal ratio (kg/day)	Road ratio (%)	Removal amount (kg)		
			day	year			day	year	
SungDong	1,500	1.054	15.82	3,795.87	880	0.885	7.79	1869.54	5,665.40
KwanGjin	940	7.551	70.98	17,034.93	2,310	8.573	198.04	47,529.85	64,564.78
Total	2,440	-	86.80	20,830.80	3,190	-	205.83	49,399.39	70,230.19

Table 13. Comparison between solid loads and removal amount

Solid loads		Solid removal amount	
Type of solid	Annual (kg)	Type of solid	Annual (kg)
Sewer solids	205,759	Street cleaning car	20,831
Litter/floatable solids	11,311	Street cleaner	49,399
Street sands	1,134,556	Pipe dredging	1,290,600
Street dust/dirt (DD)	158,640	Pumping house dredging	125,806
Soil erosion	17,486		
Total	1,527,752	Total	1,486,636

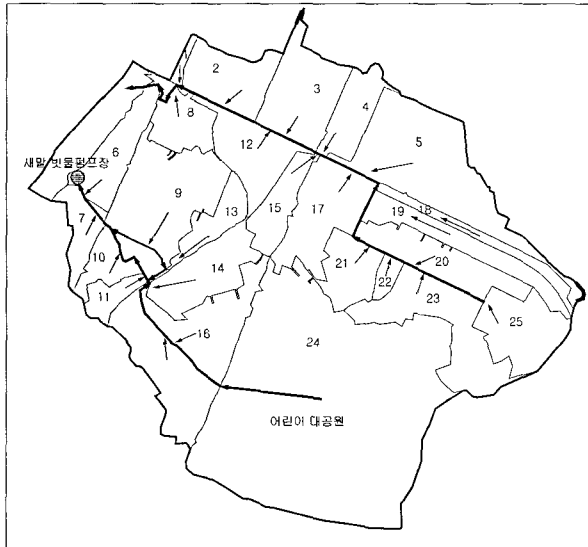


Fig. 5. Drainage system on Gunja drainage basin

3.4 고형물 부하량 및 수거량 비교 분석

지금까지 군자배수구역의 하수 및 지표면으로부터 발생한 고형물 부하량과 이들의 수거량을 각각 산정하였다. 배수구역에서의 퇴적을 고려한 관거 유지관리를 위해서는 고형물 부하량과 이 중 관거로 유입되어 퇴적되는 고형물량을 산정할 필요가 있으며 본 연구에서 적용한 방법들을 이용하여 고형물 부하량을 산정할 수가 있겠다. 이들 고형물 부하량 산정치의 신뢰성을 판단하기 위해서는 동일 구역에서의 각 경로를 통한 수거량과 비교할 필요가 있다. Table 13과 같이 본 연구를 통해 군자배수구역에서의 하수 및 지표면으로부터의 고형물 부하량은 연간 1,527,752kg로 산정되고 있으며, 수거량은 연간 1,486,636kg로 추산되었다.

부하량에 비해 수거량이 약 41,000kg/yr정도 많게 나타나고 있는데, 펌프장 준설량 산정시 새말빗물펌프장의 준설량으로부터 면적을 고려하여 군자배수구역 전체로 환산하였는데 새말빗물펌프장 관할 소유역내에 어린이대공원이 위치하고 있어 이를 감안하면 군자배수구역 전체에 대한 준설량이 증가할 것으로 판단되며 이럴 경우 고형물 부하량과 수거량간의 차이는 더욱 줄어들 수

있다고 볼 수 있다. 또한, 호우시 유출수에 포함되어 직접 하천으로 배출되는 고형물도 상당수 있다고 본다면 이러한 차이를 긍정적으로 생각할 수도 있다.

비록 수치상으로 보면 결과가 비교적 양호하게 나타나고 있다고 볼 수 있지만 하수 및 지표면 고형물 부하량 산정식들이 외국에서 유도되어 제시된 것으로 사용 매개변수들이 우리나라 실정과 맞지 않는 경우도 있으며 수거량의 상당량을 담당하는 관거 준설량 자료도 어느 정도 신뢰할 수 있는가가 중요한 문제가 될 수 있다. 따라서 추후로 충분한 분석과 연구를 통해 우리나라 실정에 맞도록 고형물 부하량 산정식을 수정할 필요가 있으며, 또한 관거 및 펌프장의 준설량, 시기 및 기간과 같은 자료도 철저히 관리할 필요가 있다. 미국 및 유럽의 경우 도시지역 내 실제 관거를 선정하여 수년간에 걸친 장기적인 모니터링을 통해 관거 퇴적물 측정과 퇴적 고형물의 입도분석 및 관거의 물리적 특성에 따른 지점별 퇴적양상 그리고 이들의 제거기술 등에 대해 많은 노력과 시간 및 비용을 투자하고 있으며 상당한 효과를 보고 있는 것으로 발표되고 있다.

우리도 이와 같은 기본적인 관거 내 고형물의 모니터링이 이루어지고 본 연구에서 소개한 절차에 따라 고형물 발생 및 수거량이 신뢰성 있게 산정 및 관측된다면 합류식 관거 내로 유입되어 퇴적되는 고형물의 양을 높은 신뢰도로 산정할 수가 있게 되며, 이를 통해 관거의 준설 및 유지관리 등 실무에서 많은 노력과 비용을 절감하며 적용할 수가 있겠다.

4. 결 론

본 연구에서는 합류식 관거의 유지관리를 위한 하수 및 지표면으로부터 발생하는 고형물 부하량을 산정하는 방법을 소개하고 이를 군자배수구역에 적용하여 고형물 발생량과 각 경로를 통한 수거량을 산정하여 비교 분석하여 적용성을 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 하수를 통한 고형물 퇴적 발생량은 정밀모형, 중간

모형, 단순모형으로 구분되어 실제 적용 배수구역의 가용자료에 따라 적절한 모형을 선택하여 적용할 수가 있지만 근자배수구역에서는 자료의 부재로 정밀모형을 제외한 중간모형 및 단순모형을 적용한 결과 모형별로 97.04kg/day~1122.32kg/day로 많은 차이를 보이고 있으며 평균적으로 205,759kg/yr의 고형물 퇴적 부하량이 발생하는 것으로 산정되었다.

2. 지표면에서의 고형물 부하량은 쓰레기 및 부유고형물, 도로 제설용 모래, 도로의 먼지 및 흙 그리고 토양손실로 구분해서 산정한 결과 총 1,321,993kg/yr로 산정되었으며, 고형물 수거량은 도로의 청소, 관거의 준설 및 빗물펌프장에서의 준설로 구분하여 산정한 결과 총 1,486,636kg/yr로 나타났다. 따라서 하수 및 지표면으로부터의 고형물 발생량은 총 1,527,752kg/yr로 발생량과 수거량이 근사하게 나타나고 있다.
3. 하지만 본 연구에 적용된 각 산정방법들은 외국의 도시지역에 대해 유도된 식으로 관거시스템이나 하수고형물 배출상황이 다른 우리나라에 직접적으로 적용하기에는 많은 문제가 있다고 생각한다. 따라서 관거 내 하수고형물의 장기적인 모니터링과 고형물의 입도분석 등을 통한 관거 내 고형물의 부하량 측정 등을 통해 우리나라의 실정에 맞도록 고형물 부하량 산정공식을 수정하거나 새롭게 유도할 필요가 있으며, 이와 함께 장기적인 관거 및 빗물펌프장 준설 자료구축 및 자료의 신뢰성을 높이도록 할 필요가 있다.
4. 국내 실정에 맞는 산정식의 유도 및 충분히 신뢰성 있는 자료가 구비된다면 본 연구에서 소개한 방법을 이용하여 하수 및 지표면에서의 각 항목별 고형물 부하량 산정 할 수가 있으며, 이를 통해 합류식 관거로 유입되는 고형물량을 추산할 수가 있고, 따라서 실무에서 관거 내 고형물량관리 및 정기적인 준설계획 등을 수립하는데 도움을 줄 수가 있으며, 또한 지표면에서의 고형물 발생 저감계획을 통한 관거의 유지관리에 유용하게 적용할 수 있으리라 본다.

감사의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기

술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 소방방재청 (2005). **재해영향평가서 실무지침서**.
- 한국수도협회 (1998). **하수도시설기준**.
- Armitage, N. and Rooseboom, A. (2000). "The Removal of Urban Litter from Stormwater Conduits and Streams : Part I - The Quantities Involved and Catchment Litter Management Options." *Water South Africa*, 26(2), pp. 181-187.
- 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.
- Delleur, J. W. (2001). "Sediment Movement in Drainage Systems." *Chapter 14. Stormwater Collection Systems Design Handbook*. Mays, L. W. (Ed.) McGraw- Hill, New York, NY.
- 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 (2004). *Sewer Sediment and Control: Management Practices Reference Guide*, Report No. EPA/600/R-04/059, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati. OH.
- Guo, J. C-Y. (1999). "Sand Recovery for Highway Drainage Designs," *J. Irrig. & Drainag. Eng.* 125(6). pp. 380-384.
- Huber, W.C. and Dickinson, R.E. (1992). "Storm Water Management Model, User's Manual", Version4, EPA/600/3-88/001a(NTIS PB88-236641/AS), *U.S. Environmental Protection Agency*, Athens, GA.
- 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.

Renard K.G., Foster, G.R., Weessies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. (1996), "USDA-ARS Agriculture Handbook No 703: Predicting Soil

Erosion by Water - A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)", *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, IA.

(논문번호:06-36/접수:2006.03.03/심사완료:2006.05.22)