

관거 내 고형물 퇴적량 산정식 개발

Development of Estimation Equations for Solid Deposition in Sewer Systems

이 재 수*

Lee, Jae Soo

Abstract

Combined sewer solid deposition during dry weather periods and their resuspension during wet weather periods has long been recognized as a major contributor to the first-flush phenomenon. Also, these deposition of sewer solids results in a loss of flow capacity that may restrict flow and cause a local flooding at urban area. In order to solve these problems, measurement of solid deposition for a given sewer system for extended period is needed but this task is very difficult and extremely expensive. This paper presents the development and applicability of estimation equations for solid deposition in sewer systems based on the solid deposition estimated using MOUSE model. As results, the comparison between estimated and measured solid deposition is difficult due to the absent of measured data, but the estimated values using developed equations show applicability compared with the results of MOUSE model and the estimation equations developed by the EPA.

keywords : estimation of solid deposition, estimation equation, MOUSE model

요 지

건기에 합류식 관거 내에 퇴적된 고형물은 우기에 재부상하여 초기부하(first-flush) 현상의 주된 원인이 되고 있으며, 이러한 고형물의 퇴적으로 인해 관거 내 통수능이 감소하여 도시지역의 국지적인 내수침수가 발생하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 장기간에 걸친 관거 내 고형물 퇴적량을 관측할 필요가 있으나 많은 비용과 노력이 수반되어야 한다. 본 논문에서는 MOUSE 모형에 의해 산정된 결과로부터 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 회귀식의 개발 및 적용성을 검토하였다. 분석 결과 관거 내 퇴적고형물의 관측 자료가 구비되어 있지 않아 실질적으로 비교하기는 곤란하지만 MOUSE 모형이나 EPA(미환경보호청)에서 제시한 공식을 이용하여 산정한 결과와 비교해 볼 때 본 연구에서 개발된 산정식은 적용성이 있음을 보여주고 있다.

핵심용어 : 퇴적고형물 산정, 산정식, MOUSE 모형

1. 서 론

합류식 관거 내에 건기에 퇴적된 오염물을 포함한 고형물은 우기에 재부상하여 관거 하류부로 많은 고형물 및 오염물이 배출되고 있다. 또한 퇴적 고형물로 인

해 홍수소통 단면적이 축소되어 우기에 우수 관거의 기능을 제대로 유지하지 못해 도시지역의 내수 침수가 자주 발생하고 있어 관거 내 고형물의 퇴적을 최소화하거나 관거의 유지관리를 위해서는 관거시스템에서의 고형물 퇴적량 산정이 필수적이라 할 수 있다.

* 전주대학교 토목환경공학과 교수

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

국외에서는 이와 관련된 이론적 및 실험적 연구와 지표면에서의 고형물 발생에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 미국의 경우 건기에 관거 내 퇴적 고형물들이 우기에 세굴되어 수질오염을 발생시키자 미 환경보호청(EPA)의 전신인 연방수질통제국(FWPCA)에서는 1965년에 호우로 인한 합류식 관거 내 흐름에 대한 연구를 시작하였다. 이후 EPA에서는 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)을 제시하여 실무에서 도시 합류식 관거의 유지관리에 용이하게 적용할 수 있도록 하고 있다. 또한 유럽에서도 Ashley et al.(2004)이 다년간의 연구를 통해 하수관거에서의 고형물 이송 및 퇴적 그리고 이들의 관리기술 등에 관한 종합적인 보고서를 제출하는 등 외국에서는 하수관거 내 고형물 관리에 대한 많은 연구와 노력을 하고 있다. 국내에서도 EPA에서 제시하고 있는 산정방법을 이용하여 국내 도시지역 관거시스템에서의 고형물 퇴적량을 산정하여 분석한 바가 있다(이재수, 2006; 이재수, 박무중, 2006).

이와 같이 관거 내 퇴적 고형물량을 산정하기 위한 이론적 및 실험적 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 많은 시간, 노력 및 비용의 투자에도 불구하고 관거 내 고형물 이송 및 퇴적의 복잡한 메커니즘으로 인해 아직까지 국제적으로 높은 신뢰도의 적용 방법이 제시되지는 못하고 있다. 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 방법으로 컴퓨터를 통한 수치해석에 의한 방법들이 있는데 이들은 매우 복잡하고 많은 노력을 필요로 한다. 그러므로 EPA에서 제시하고 있는 산정식들(Fan et al, 2004)이 실무에서 적용하기가 간편할 수 있지만, 이들 산정식이 해당 지역의 자료를 바탕으로 유도되었고, 우리나라의 실정과 차이가 있으므로 국내 자료를 기본으로 한 합류식 관거 내 고형물 퇴적량을 산정할 수 있는 식이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내 합류식 관거 내 퇴적고형물 관리 실무에서 간편하게 적용할 수 있도록 국내 여건에 맞는 실용적인 산정공식을 개발하여 관거 내 퇴적 고형물 준설 및 유지관리에 도움이 되도록 한다.

2. 기존의 관거 내 고형물 퇴적량 산정식

EPA에서 개발 제시한 산정식(Pisano and Queiroz, 1977, 1984; Fan et al., 2004)은 두 번에 걸쳐 다음과 같이 제시되었다. 먼저 개발된 1977년의 산정식 Eqs. (1)

~(4)는 미국 Boston, Dorchester 및 Fitchburg 지역을 대상으로 개발되었으며, 그 후 1984년에 개발된 산정식으로서 Boston 및 Fitchburg 지역에는 Eqs. (5)~(7)과 같고, Cleveland 지역에는 Eqs. (8), (9)와 같다.

정밀모형

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

중간모형

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

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

단순모형

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

정밀모형

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

중간모형

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

단순모형

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

정밀모형

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

단순모형

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

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(gpcd), S는 평균 관거 경사(ft/ft), TS는 집수시스템에서의 일 총 고형물 퇴적량(lb/day)이다.

이와 같이 EPA에서 제시된 고형물 퇴적량 산정식들은 미국 Boston, Dorchester, Fitchburg 그리고 Cleveland 지역에서 유도된 공식으로 이들 지역의 관거 시스템 및 퇴적고형물의 특성이 국내와는 다소 차이가 날 것으로 판단되며, 또한 이들 식의 적용시 정밀모형

인 경우 S_{PD} 및 $S_{PD}/4$ 는 산정이 곤란하고, 국내에 적용한 결과 식에 따라 많은 차이를 보이고 있다(이재수, 2006). 따라서 국내 관거시스템을 적용하여 실무에서 적용하기 간편한 산정식을 개발하기로 한다.

3. 컴퓨터 모형을 통한 관거 내 고형물 퇴적량 산정

3.1 적용 모형

관거 내 고형물 퇴적량 산정식을 개발하기 위해 먼저 대상 유역 관거시스템에서의 고형물 퇴적량 산정이 필요하며, 이를 위해 Elliott and Trowsdale(2006)이 잠재적인 사용가능성, 모형의 적용시간, 유역구성 및 공간 해상도, 유출발생, 홍수추적, 유사 및 오염물질의 발생, 이송 및 처리가능성 등에 대해 분석하여 우수함을 보여준 MOUSE 모형을 선정하였다. MOUSE 모형은 도심지 배수시스템, 하수관거 및 오수관거에 대한 지표유출, 개수로 유량, 관거 유량, 수질과 침전물거동 등 포괄적이고 복잡한 고도의 모델링이 필요한 곳에 사용된다. 이모형은 복잡한 수리학 및 유체역학적 거동에 대하여 모의하기 위해 1985년 덴마크의 DHI가 개발한 프로그램으로, 1994년에는 오염물 및 고형물을 모의할 수 있는 MOUSE TRAP을 개발하여 관거 내 고형물의 퇴적을 모의할 수가 있다.

3.2 대상유역 및 관망시스템

관거 내 고형물 퇴적량 산정을 위해 선정한 배수유역은 서울시 광진구 내의 군자배수유역으로 주택지, 공

업단지, 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 1,945,422 m^2 이고 인구수는 약 9만 8천여 명이다.

관거 내 고형물 퇴적량 산정을 위해 군자배수유역을 지형 및 관망분포를 고려하여 25개의 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역 구분 및 배수관망도는 Fig. 1과 같다. 군자배수유역의 배수 계통을 살펴보면 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 새말뫼물펌프장을 통해 중랑천으로 배수되고 있다.

관거 내 고형물 퇴적량을 산정하기 위해 배수관망도를 이용하여 각 소유역에서의 관거요소수, 관거길이, 배수면적, 평균 관거직경, 평균 관거경사 및 평균 지표면경사 등의 관망 자료를 분석하였다. MOUSE 모형을 적용하기 위해서는 군자배수유역 배수관망의 각 맨홀 담당하는 유역면적 및 인구수의 자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유역 내 행정구역별 자료를 바탕으로 각 맨홀이 담당하는 면적 및 인구수를 추산하였다.

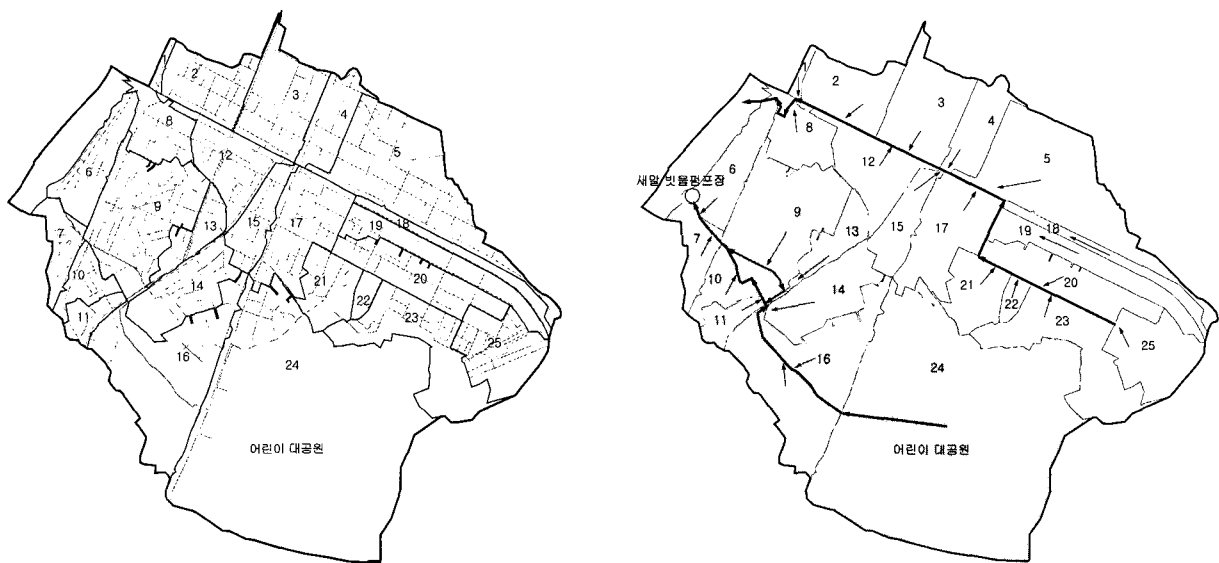


Fig. 1. Sub-basin and pipe network on Gunja drainage basin

3.3 MOUSE 모형을 이용한 퇴적량 산정

MOUSE 모형에 적용하기 위한 고형물 입자에 대한 크기, 농도 및 비중은 Sartor and Biyd(1972), Manning *et al.*(1977) 및 Pitt and Field(1977) 등의 연구결과를 참고하여 고형물의 평균 입자크기 0.3 mm, 농도 300 mg/l, 비중 2.0 그리고 하수유입량 400 lpcd를 적용하였다.

새말빛물펌프장으로 유입하는 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 24번 소유역을 선정하여 각 소유역 및 소유역 전체에 대해 고형물 퇴적량을 산정하였다. MOUSE 모형에 의한 고형물 퇴적량 산정 결과는 관거에 퇴적된 층의 깊이로 나타나므로, 이를 부피(m³/day)로 환산한 후 무게(kg/day)로 변환하였다. 이와 같이 산정된 소유역별 고형물 퇴적량은 Table 1과 같으며 소유역 전체에 대한 고형물 퇴적량은 0.0369 m³/day(73.73 kg/day)로 나타나고 있다(이재수, 2007).

4. 퇴적량 산정식의 개발 및 검증

4.1 퇴적량 산정식의 개발

관거 내 고형물 퇴적량(TS)과 관련 있는 변수들로는 관거길이(L), 유역면적(A), 관거경사(S) 및 관거직경(D) 등이 있으며, 이들 변수들과의 관계를 보면 다른 변수들이 고정된 조건에서 길이 및 직경이 증가할수록 퇴적량이 증가하며, 경사가 급할수록 퇴적량은 감소하게 된다. 이와 같이 단일 변수들에 대해서는 퇴적량의 변화가 명확하게 나타나지만, 이들 변수들이 서로 연계되어 변화될 경우, 퇴적량의 변화를 예측하기가 쉽지가 않다(이재수, 2007). 하지만 이들 인자들이 관거 내 고형물 퇴적량에 직접적으로 영향을 미치므로 본 연구에

서는 이들 인자들을 포함하여 퇴적량을 산정하는 회귀식을 개발하고자 하였다. 회귀식의 형태는 Pisano and Queiroz(1977, 1984)의 식과 같은 형태로 Eq. (10)과 같은 비선형식을 대수값을 취해 Eq. (11)과 같이 선형화한 후 중선형회귀분석을 실시하였다.

$$TS = \beta_0 L^{\beta_1} A^{\beta_2} S^{\beta_3} D^{\beta_4} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \log TS = \log \beta_0 + \beta_1 \log L + \beta_2 \log A \\ + \beta_3 \log S + \beta_4 \log D \end{aligned} \quad (11)$$

각 소유역별 평균치 즉, 소유역 관거 총길이, 유역면적, 평균 경사, 평균 직경을 이용하여 회귀분석을 실시하여 Eq. (12)와 같은 회귀식을 유도하였다.

$$\begin{aligned} TS = 0.002067L^{1.1546} A^{-0.1929} S^{0.1467} D^{0.6683} \\ (SSE : 0.4142) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 L은 총 관거길이(m), A는 유역면적(km²), S는 관거경사(m/m), D는 관거직경(m)이며 고형물 퇴적량 TS는 kg/day의 단위를 사용하게 되며, SSE는 오차의 제곱의 합(Sum of Squares for Error)을 의미한다.

실무에서 관거 내 하수고형물 퇴적량을 쉽게 산정하기 위해 Eq. (12)를 적용할 수가 있지만, 실 유역에서의 관할 면적, 관거 경사 및 관거 직경을 모두 구하기가 쉽지가 않을 경우 가용한 자료들에 따라 관련 변수들을 선택하여 적용할 수 있도록 다양한 회귀식들을 다음과 같이 제시하였다.

$$\begin{aligned} TS = 0.00345L^{1.0981} A^{-0.0272} S^{0.1356} \\ (SSE : 0.4376) \end{aligned} \quad (13)$$

Table 1. Estimation of solid deposition for each sub-basin

Bain	Number of pipes	Basin area (m ²)	Population (persons)	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

$$TS = 0.002381L^{1.0652}A^{-0.1675}D^{0.5996}$$

(SSE : 0.4461) (14)

$$TS = 0.004646L^{1.0683}S^{0.1346}$$

(SSE : 0.4383) (15)

$$TS = 0.003748L^{1.0202}A^{-0.0193}$$

(SSE : 0.4651) (16)

이상의 회귀식들의 개발에는 기존의 자료 분석을 통한 하수고형물의 농도 300 mg/l 및 입자크기 0.3 mm 그리고 하수량 400 lpcd를 MOUSE 모형에 적용하여 관거별 및 소유역별 고형물 퇴적량을 산정한 결과를 이용하였다. 따라서 개발된 회귀식은 개발에 적용된 하수고형물의 농도 및 입자크기 그리고 하수량이 비슷한 조건에서 적용할 수가 있으며, 이들 값이 다른 경우에는 적용 시 주의 할 필요가 있다. 또한 하수량을 포함시킨 퇴적량 산정 회귀식을 개발하여 적용하거나, 별도로 Eqs. (12)~(16)을 이용하여 퇴적량을 산정한 후 하수량에 대한 보정계수를 적용할 필요가 있다.

하수량의 변화에 따른 퇴적량의 변화를 알아보기 위해 소유역 전체에 대해 하수 고형물의 농도 300 mg/l 및 입자크기 0.3 mm에 대한 하수량을 300 lpcd로부터 500 lpcd로 50 lpcd씩 증가시키며 모의한 결과, Table 2 및 Fig. 2와 같이 하수량이 증가할수록 관거 내 고형물 퇴적량이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2. Variation of solid deposition for different sewage

sewage (lpcd)	300	350	400	450	500
deposition (kg/day)	57.32	65.47	73.73	82.43	88.48
sewage (ratio)	0.750	0.875	1.0	1.125	1.250
deposition (ratio)	0.777	0.888	1.0	1.118	1.200

따라서 400 lpcd를 기준으로 회귀분석을 통해 유량의 증가 또는 감소함에 따른 퇴적량 보정계수를 다음과 같이 제시하였다.

$$\Delta TS = 0.9986\Delta Q^{0.8646}$$

(17)

여기서 ΔQ 는 하수량 400 lpcd를 기준으로 한 하수량의 비율이고, ΔTS 는 400 lpcd일 때의 고형물 퇴적량과의

비율이다. 따라서 Eqs. (12)~(16)을 적용하여 400 lpcd를 기준으로 한 고형물 퇴적량을 산정하고, 실제의 하수량의 비율 ΔQ 를 Eq. (17)에 적용하여 구한 ΔTS 를 400 lpcd일 때의 퇴적량에 곱하여 결정한다.

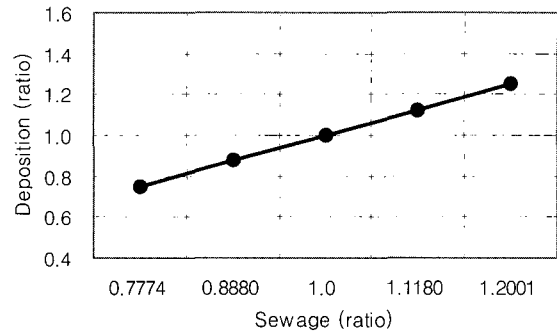


Fig. 2 Variation of solid deposition for different sewage

4.2 개발된 산정식의 검증 및 적용성 검토

4.2.1 개발된 식과 MOUSE 모형에 의한 결과의 비교 분석

앞에서와 같이 얻은 산정식을 검증하기 위해 군자배 소유역의 각 소유역별 관거 변수들을 이용하여 고형물 퇴적량을 산정하고, 이 식을 유도하기 위해 MOUSE 모형을 이용하여 산정한 퇴적량과 비교 검토한 결과는 Table 3 및 Fig. 3과 같다.

Table 3 및 Fig. 3을 보면 Eq. (12)를 이용하여 산정한 퇴적량은 MOUSE 모형과 비슷한 결과를 주고 있음을 알 수가 있다. 개발된 나머지 식들에 의한 퇴적량 산정 결과는 Table 4와 같으며, 각 산정식에 의한 퇴적량을 비교한 결과 근사한 결과를 나타냈으며, MOUSE 모형에 의한 결과와도 근사한 값을 나타내고 있다.

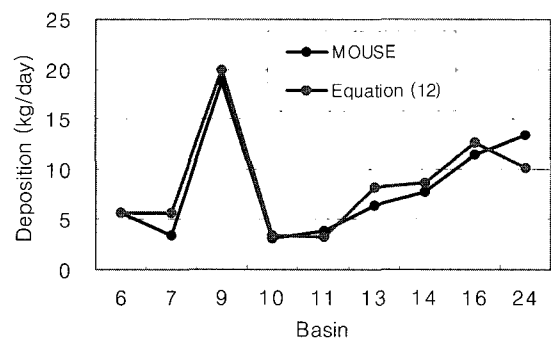


Fig. 3. Comparison of solid deposition between model and developed eq. (12)

Table 3. Comparison of solid deposition between model and developed eq. (12)

Basin	Basin area (km ²)	Total length of pipes (m)	Mean of pipes		Solid deposition (kg/day)	
			Dia. (mm)	Slope (10 ⁻³)	MOUSE	Eq. (12)
6	0.0489	1,381	566	8.22	5.59	5.68
7	0.0300	1,128	557	23.48	3.43	5.69
9	0.1249	4,118	616	16.97	18.70	19.90
10	0.0252	699	503	45.49	3.17	3.47
11	0.0185	638	477	46.60	3.88	3.20
13	0.0298	1,561	535	24.46	6.41	8.15
14	0.0629	1,780	555	28.21	7.75	8.60
16	0.1522	2,359	834	21.76	11.43	12.71
24	0.0434	1,899	622	18.58	13.37	10.11
Sum	0.5357	15,565			73.73	77.51

Table 4. Comparison of solid deposition for different estimation equations

Basin	Solid deposition (kg/day)					
	MOUSE	Eq. (12)	Eq. (13)	Eq. (14)	Eq. (15)	Eq. (16)
6	5.59	5.68	5.46	5.92	5.51	6.35
7	3.43	5.69	5.11	5.11	5.11	5.21
9	18.70	19.90	19.49	17.17	19.51	19.01
10	3.17	3.47	3.32	2.94	3.35	3.21
11	3.88	3.20	3.04	2.71	3.05	2.94
13	6.41	8.15	7.34	7.04	7.27	7.27
14	7.75	8.60	8.48	7.33	8.53	8.19
16	11.43	12.71	10.88	11.34	11.13	10.78
24	13.37	10.11	8.68	9.05	8.64	8.81
Sum	73.73	77.51	71.81	68.59	72.11	71.71

4.2.2 기존 산정식과의 비교분석

EPA에서 제시하고 있는 산정공식 중 초기의 식인 Eqs. (1)~(4)에 의한 산정결과는 Table 5와 같으며, Pisano and Queiroz(1984)이 제시한 Eqs. (5)~(9)를 적용하여 산정한 결과는 Table 6과 같다. 여기서 각 적용 식별 방법 1은 S_{PD} 및 $S_{PD/4}$ 를 산정하기 위하여 EPA에서 식 유도시 얻은 관거길이별 누가퇴적량 관계곡선을 이용한 경우이고, 방법 2는 S_{PD} 및 $S_{PD/4}$ 를 산정을 위해

식 유도시 얻은 지수누가분포함수를 이용한 경우이다. 한편, 방법 3은 식 유도시 얻은 지표면 경사와 관거경사간의 관계식을 이용하여 관거경사를 산정하여 적용한 경우이다. 이들 회귀식을 이용한 고형물 산정절차는 Pisano and Queiroz(1977) 및 이재수(2006)의 문헌에 자세히 설명되어 있다.

이상과 같이 EPA에서 제시한 고형물 퇴적량 산정식들을 이용하여 퇴적량을 산정한 결과 Eqs. (1)~(4) 및

Table 5. Estimated solid deposition by equations (1)~(4) (kg/day)

Basin	Method	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 6. Estimated solid deposition by equations (5)~(9) (kg/day)

Basin	Method	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
계		29.47	29.66	58.37	385.95	500.37	35.72	46.63	25.54	25.61	40.85	32.56	42.21

Table 7. Basin and pipe characteristics for verification

Basin	Number of pipes	Basin area (m ²)	Population (Persons)	Total length of pipes (m)	Mean value	
					Diameter (mm)	Slope (10 ⁻³)
1	4	5,173	160	153	785	1.24
2	62	56,565	1744	1644	540	8.53
3	73	77,532	2,391	2440	516	17.98
4	38	41,455	1735	1102	619	21.86
5	105	152,564	6390	3587	548	27.70
18	17	25,259	908	745	716	21.82

Eq. (6)을 적용하여 산정한 퇴적량이 전반적으로 본 연구에서 개발된 식에 의한 산정량에 비해 과다하게 나타나고 있으며, 나머지 공식들은 25.54~58.39 kg/day의 범위에서 산정되고 있다. 개발된 산정식인 Eqs. (12)~(16)에 의한 산정량은 68.59~77.51 kg/day의 범위를 보이고 있어 Pisano and Queiroz(1984)이 제시한 공식 중 Eq. (6)을 제외한 나머지 식들보다 약간 크게 산정되고 있다. 전반적으로 볼 때 개발된 산정식들에 의한 결과가 EPA에서 제시한 산정식들에 의한 결과의 최대 및 최소값 범위에 들고 있어 적용성은 긍정적으로 볼 수가 있다.

4.2.3 다른 유역에서의 퇴적량 산정 및 비교분석

개발된 퇴적량 산정식을 검증하기 위해 이번에는 군자배수유역 내에서 고품물 퇴적량 산정에 적용하지 않은 다른 배수계통에 대해 MOUSE모형을 이용하여 고품물 퇴적량을 산정하는 한편, 동일한 소유역에 대해 개발된 산정식에 의한 고품물 퇴적량을 산정하여 서로 비교해 보아 유도된 산정공식의 적용성을 검토하였다. 새로 적용된 소유역(Fig. 4)에 대한 유역면적, 총관거길이, 평균관거직경 및 관거경사는 Table 7과 같다.

MOUSE 모형과 개발된 산정식에 의한 고품물 퇴적량 산정결과를 비교한 내용은 Table 8과 같다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 Eqs. (12) and (13) 그리고

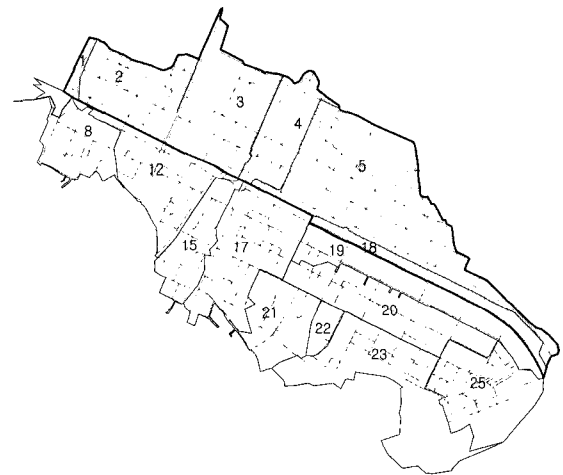


Fig. 4. Sub-basins of Gunja drainage basin for verification

Eq. (15)에 의한 고품물 퇴적량은 MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량에 비해 1번 소유역을 제외하고는 2~3배 정도 퇴적량이 많이 산정되고 있다. 반면에 Eqs. (14) and (15)에 의한 퇴적량은 MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량과 비슷한 퇴적량 산정결과를 보여주었다.

Eqs. (12), (13) and (15)와 Eqs. (14) and (16)의 차이점은 앞의 식들은 유역의 관거경사를 고려하고 있는 반면, 뒤의 식들은 관거경사를 고려하지 않는 식들로서 경사의 고려 여부에 따라 서로 다른 결과를 보여주고

Table 8. Estimated solid deposition by MOUSE model and developed equations

Basin	MOUSE (kg/day)	Developed equations (kg/day)				
		Eq. (12)	Eq. (13)	Eq. (14)	Eq. (15)	Eq. (16)
1	1.20	1.67	1.03	1.06	1.03	0.70
2	6.54	16.85	16.95	7.09	16.90	7.56
3	9.93	27.09	28.70	9.97	28.50	11.25
4	8.55	14.18	12.53	5.29	12.52	5.06
5	17.20	41.14	45.62	13.91	45.58	16.45
18	4.12	10.95	8.25	4.14	8.24	3.43
Sum	47.54	111.88	113.08	41.45	112.76	44.45

있다. 따라서 MOUSE 모형에 의한 퇴적량 산정결과를 기준으로 한다면 관거경사를 고려하지 않은 Eq. (14) and (16)을 적용하여 유역 내 관거에서의 퇴적량 산정을 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

하지만 MOUSE 모형에 의한 고형물 퇴적량 산정결과 또한 완전히 신뢰할 수는 없으므로 궁극적으로는 장기적으로 유역에서의 고형물 퇴적량 측정을 실시하여 MOUSE 모형에 의한 산정결과와 개발된 식에 의한 산정결과를 비교 검토하여 보다 안정적으로 실무에서 적용할 수 있는 신뢰성 있는 고형물 퇴적량 산정공식을 제시할 필요가 있겠다.

4.3 준설자료와의 비교 분석

개발된 산정식을 이용하여 산정한 관거시스템에서의 고형물 퇴적량을 군자배수유역에서의 가용한 준설자료와 비교하여 간접적인 검토를 하기로 한다. 군자배수유역에는 각 소유역마다 일부 관거 요소에서만 부정기적으로 준설한 자료만 존재하며 일부 소유역에서는 준설 자료가 없다. 그러나 군자배수유역 내 새말빗물펌프장에서 2002년과 2004년의 준설자료를 이용하여 개략적이거나 비교가 가능하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이 군자배수유역 내 6, 7, 9~11, 12, 14, 16 및 24번 소유역에서의 유출이 Box 관거를 통해 배수되어 7번 소유역 출구지점에 위치한 새말빗물펌프장을 통해 중랑천으로 배수되고 있다. 따라서 빗물펌프장으로 유입되는 소유역들로부터 발생하여 퇴적되는 고형물량과 빗물펌프장에서의 준설량을 비교해보았다. 빗물펌프장에서의 준설 기록은 Table 9와 같이 2002년에 48m³, 2004년에는

56m³의 준설을 하였으므로 연간 28m³/yr 의 하수 고형물이 새말빗물펌프장으로 유입된다고 판단할 수 있다.

Table 9. Dredging data at Saemal pump station

Pump station	Drainage basin	Volume of dredging		
		2002	2004	Mean
Saemal	Gunja	48m ³	56m ³	28m ³

MOUSE 모형 및 유도된 식에 의해 산정된 새말빗물 펌프장으로 유입하는 소유역들의 고형물 퇴적량을 m³/yr 단위로 나타낸 결과는 Table 10과 같다. 산정식을 이용하여 산정된 퇴적량자료와 준설자료를 직접적으로 비교하기는 여러 가지 변수들이 많이 존재하여 곤란하다. 즉, 산정식에 의해 산정한 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 존재한다. 따라서 관거 내에 퇴적되어 있는 고형물량을 정기적으로 측정하거나 펌프장에 퇴적되어 있는 고형물의 근원을 지표면과 하수로부터 분리 산정하는 방법도 연구할 필요가 있으며, 이를 통해 개발된 산정식을 이용하여 실무에서 관거 내 고형물량관리 및 정기적인 준설계획 등을 수립할 수 있고, 관거 내 통수능 감소를 방지하여 호우시 관거의 역류로 인한 피해를 방지할 수가 있겠다.

Table 10. Estimated solid deposition by model and developed equations

Unit	Eqs	Solid deposition					
		MOUSE	Eq. (12)	Eq. (13)	Eq. (14)	Eq. (15)	Eq. (16)
kg/day		73.73	77.51	71.81	68.59	72.11	71.71
m ³ /day		0.0369	0.0388	0.0359	0.0343	0.0361	0.0359
m ³ /yr		13.4551	14.1448	13.1048	12.5185	13.1609	13.0880

5. 결 론

본 연구에서는 건조기 동안의 합류식 관거 내 고형물 퇴적량 산정을 위한 산정식을 개발하였다. 산정식을 개발하기 위해 군자배수구역에서의 유역자료 및 관거자료분석을 하였으며 관거 내 퇴적량 산정을 할 수 있는 MOUSE 모형을 적용하여 소유역별 퇴적량을 산정하였다. MOUSE 모형에 의한 퇴적량과 소유역별 유역면적, 총관거길이, 평균직경, 평균경사 등과 같은 유역 및 관거 특성치를 변수로 회귀분석을 실시하여 관거 내 고형물 퇴적량을 산정할 수 있는 산정식을 개발하여 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

개발된 산정식을 이용하여 다시 역으로 소유역별 퇴적량을 산정한 결과와 식의 개발에 사용된 MOUSE 모형에 의한 퇴적량과 비교한 결과 비슷한 결과를 주고 있다. 개발된 산정식에 의한 산정량은 68.59~77.51 kg/day의 범위를 보이고 있어 Pisano and Queiroz (1984)이 제시한 공식 중 Eq. (6)을 제외한 나머지 식들보다 약간 크게 산정되고 있다. 전반적으로 볼 때 개발된 산정식들에 의한 결과가 EPA에서 제시한 산정식들에 의한 결과의 최대 및 최소값 범위에 들고 있어 적용성은 긍정적으로 볼 수가 있다.

식의 개발에 사용되지 않은 군자배수구역 내 소유역에서의 MOUSE 모형에 의한 산정결과와 개발된 식에 의해 산정된 퇴적량을 비교하면 관거의 평균경사를 포함하는 식에 의한 산정치는 비교적 크게 산정되고 있는 반면, 평균경사를 포함하지 않은 식에 의한 산정치는 서로 비슷한 결과를 주고 있어 적용성이 있다고 판단된다.

개발된 산정식을 실무에 적용하기 위해서는 퇴적량의 실측을 통한 비교검토를 할 필요가 있으며, 다른 배수구역에 대해서도 적용하여 실측치와 검증할 필요가 있다. 이러한 과정을 거쳐 개발된 산정식이 보완되면 실무에서 간편하게 배수구역의 관거 내 고형물 퇴적량을 산정할 수가 있어 관거의 유지관리에 활용될 수가 있다고 본다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- 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.
- 이재수 (2007). "MOUSE 모형을 이용한 관거 내 고형물 퇴적량 산정", *한국수자원학회논문집*, 제40권 제5호, 한국수자원학회, pp. 397-407
- 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.
- DH, (2003). *MOUSE TRAP User Manual*, DHI Water & Environment, Horsolm, Denmark.
- DH, (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.
- 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.
- 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.
- Startor, J.B. and Biyd, G.B. (1972). *Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants*, Report No. EPA-R2-72-081.
- (논문번호:07-26/접수:2007.03.23/심사완료:2007.05.02)