

강우로 인한 관거 내 고형물 퇴적량 산정식 개발

Development of Estimation Equations for Solid Deposition in Sewer Systems due to Rainfall

이 재 수* / 이 세 원**

Lee, Jae Soo / Lee, Se Won

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, estimations of solid loads on land surface in a drainage basin and solid deposition in sewer system due to rainfall are needed but these tasks are very difficult and very expensive. In this study, procedures for estimating solid loads on surface in a drainage basin were applied and analyzed in Gunja drainage basin in Korea. Also, this paper presents the development and application of estimation equation for solid deposition in sewer system due to rainfall 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 application of the other basin. The developed estimation equations can be used usefully for the management of combined sewer system.

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

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 지표면으로부터의 고형물 부하량 산정 및 강우로 인해 지표 퇴적 고형물이 관거 내로 유입되어 퇴적되는 양을 산정할 필요가 있으나 많은 비용과 노력이 수반되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 지표면에서의 고형물 부하량 산정기법을 우리나라 군자배수유역에 적용하여 분석하고, 이를 바탕으로 MOUSE모형을 적용한 결과를 이용하여 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 회귀식을 개발하고 적용성을 검토하였다. 분석결과 유역 내 관거에서의 퇴적고형물 관측자료가 구비되어 있지 않아 실질적으로 비교하기는 곤란하지만, MOUSE 모형결과 및 타 유역에서의 적용결과로 볼 때 적용성이 있다고 판단되며, 합류식 관거 유지관리에 개발된 산정식을 유용하게 이용할 수 있으리라 본다.

핵심용어 : 퇴적고형물 산정, 산정식, MOUSE모형

* 전주대학교 토목환경공학과 교수

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

** 전주대학교 토목환경공학과 대학원 석사

Master of Engineering, Dept. of Civil & Envir. Eng., Jeonju Univ., Jeonbuk 560-759. Korea
(e-mail: top231@nate.com)

1. 서론

도시지역의 합류 관거에서 고형물 퇴적으로 인해 홍수소통 단면적이 축소되어 우기에 우수관거의 기능을 제대로 유지하지 못해 침수가 발생하는 경우가 자주 발생하고 있다. 또한 합류식 관거 내에 건기에 퇴적된 오염물을 포함한 고형물이 우기에 재부상하여 하류로 많은 고형물 및 오염물이 배출되고 있다. 따라서 관거의 적절한 유지관리를 위해서는 배수구역 내 하수 및 지표면으로부터 발생하는 고형물 부하량을 적절하게 산정할 필요가 있으며, 이를 바탕으로 관거로의 고형물 유입으로 인한 퇴적량을 산정하여 정기적인 관거 및 빗물 펌프장의 준설계획 등에 이용할 수가 있다.

합류식 관거 내에는 여러 종류의 고형물이 혼합된 상태로 유입되고 있으며, 이들 고형물들은 생활하수, 산업 및 상업지역으로부터의 하수, 지붕, 도로, 고속도로, 주차장, 공원으로로부터의 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.

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 관거 내 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.

건조기에 관거 내에 퇴적된 고형물들이 우기 때 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(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 하수 관거내 고형물 관리에 대한 많은 연구와 노력을 하고 있다. 국내에서도 EPA에서 제시하고 있는 방법 및 MOUSE모형을 이용하여 도시배수구역에서 하수로 인한 관거 내 퇴적량을 산정하고, 이를 바탕으로 퇴적량 산정식을 개발한 바가 있다(이재수, 2006, 2007a, 2007b). 이와 같이 건조기 동안 하수로부터의 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 연구가 있었지만, 강우로 인한 지표면 퇴적 고형물의 관거 내 유입 및 퇴적량 산정에 대한 연구는 별로 이루어지고 있지 않다.

본 연구에서는 미 환경보호청(EPA)에서 제시하고 있는 지표면에서의 고형물 부하량 산정 방법 및 국내 도시배수구역에서의 적용결과를 소개하고, 이를 바탕으로 MOUSE모형을 적용하여 강우로 인한 지표면퇴적물의 관거 내 퇴적량을 산정하는 한편, 이 결과를 이용하여 퇴적량 산정식을 개발하고 검토함으로써 관거 내 퇴적 고형물 준설 및 유지관리에 도움이 되도록 한다.

2. 지표면에서의 고형물 부하량 산정방법 및 결과

2.1 지표면에서의 고형물 부하량 산정방법

도시배수구역으로부터의 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 도시배수구역의 상태에 따라 다양하게 변한다. Armitage and Rooseboom (2000)이 연간 쓰레기 부하량을 산정할 수 있는 경험식을 다음과 같이 제시하였다.

$$T = \sum f_{s_{ci}}(V_i + B_i)A_i \quad (1)$$

여기서 T는 총 쓰레기 부하량(m^3/yr), $f_{s_{ci}}$ 는 토지이용에 따른 도로 청소인자(일반적인 청소: 1~청소를 하지 않는 경우: 6), V_i 는 토지이용에 따른 식생 부하량($m^3/ha-yr$)(식생불량: 0.0~식생조밀: 0.5), B_i 는 토지이용에 따른 기본 쓰레기 부하량($m^3/ha-yr$)(상업지역: 1.2, 산업지역: 0.8, 거주지역: 0.01) 그리고 A_i 는 각 토지이용면적(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 있는 식을 다음과 같이 제시하였다.

$$W_s = w_s B_t L \quad (2)$$

여기서 W_s 는 겨울동안 살포되는 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 Huber and Dickinson (1992)이 제시하고, EPA의 호우관리모형(SWMM)에서 적용하고 있는 다음과 같은 식을 이용하여 산정할 수가 있다.

$$DD = \frac{(DDLIM) \cdot (T)}{(DDFACT + T)} \quad (3)$$

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

2.2.4 토양침식

지표면에서의 강우로 인한 토양침식은 Renard *et al.* (1996)에 의해 수정된 다음과 같은 수정범용토양유실공식(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)을 사용하여 산정할 수가 있다.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (4)$$

여기서 A 는 단위면적당 토양침식량(ton/ha), R 은 강우

침식인자(10⁷J/ha·mm/hr), K 는 토양침식인자(ton/ha/R), LS 는 지형인자, C 는 토양피복인자 그리고 P 는 토양보전대책인자이다. 이 방법은 국내에서 재해영향평가 시 주로 사용되고 있으며, 각 인자에 대해서는 재해영향평가서 실무지침서(소방방재청, 2005)에 단위나 적용방법에 대해 비교적 상세하게 기술되어 있다.

2.2 지표면에서의 고형물 부하량 산정결과

이상과 같은 방법에 의해 관거 내 퇴적량 산정식 개발을 위한 시범유역인 군자배수유역에서의 지표면 고형물 부하량을 산정하였으며, 청소차 및 인부, 관거 준설 및 펌프장 준설로 인한 제거량을 조사하였고, 그 결과가 Table 1과 같다. Table 1에서의 각 값의 산정과정은 이재수와 박무종(2006)의 문헌에 자세히 설명되어 있다.

3. 도시배수유역에서의 강우로 인한 관거 내 고형물 퇴적량 산정

3.1 적용 모형

강우로 인한 관거 내 고형물 퇴적량 산정식을 개발하기 위해 먼저 대상 유역 관거시스템에서의 고형물 퇴적량 실측 또는 산정이 필요하나, 가용한 실측자료가 없어 컴퓨터 모형을 이용하여 퇴적량을 산정할 필요가 있다. 이를 위해 Elliott *et al.*(2006)이 현재 가용한 도시유역 유출모형 중 잠재적인 사용가능성, 모형의 적용시간, 유역구성 및 공간해상도, 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 사용하기 위해 1985년 덴마크의 DHII(2004)가 개발한 모형으로, 1994년에는 오염물 및 고형물을 모의할 수 있는 MOUSE TRAP을 개발하여 관거 내 고형물의 이송 및 퇴적을 모의할 수가 있다.

Table 1. 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

MOUSE 모형에서 적용하고 있는 관거 유량 해석방법에는 kinematic식, diffusive식, dynamic식 중에서 선택하여 사용하고 있으며, 퇴사량 산정은 Engelund-Hansen, Ackers-White, Engelund-Fredsoe-Deigaard 그리고 van Rijn식 중에서 선택하여 비점작성 고�형물의 이송을 모의하고 있다. 고�형물 이송모형은 모의 과정 중에 퇴적 하상고를 고정시키는 explicit 모형과 하상고와 퇴적량을 보정하는 morphological 모형으로 구분되어 있다.

3.2 대상유역 및 관망시스템

관거 내 고�형물 퇴적량 산정을 위해 선정한 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 포함

되어 있으며, 배수유역면적은 약 1,999 km²이고 인구는 약 9만 8천여 명이다.

군자배수유역을 지형 및 관망분포를 고려하여 25개의 소유역으로 구분하였으며, 각 소유역 구분 및 배수 관망도는 Fig. 1과 같다. 군자배수유역의 배수 계통은 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 새말빗물펌프장을 통해 중랑천으로 배수되고 있다. 군자배수유역의 지표면 이용 상황은 Table 2와 같다.

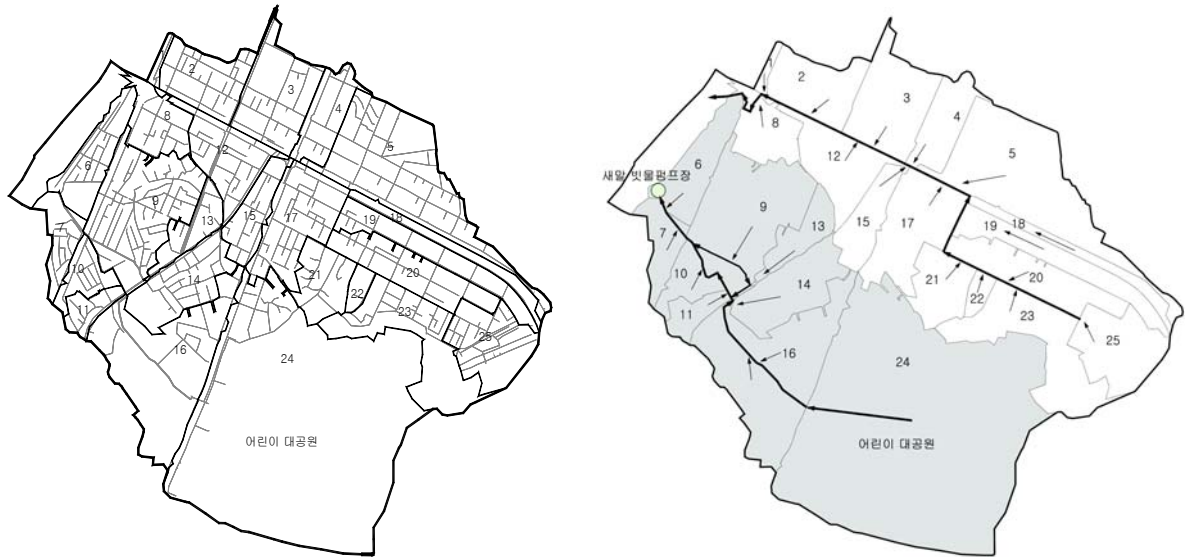


Fig. 1. Sub-basin and Pipe Network on Gunja Drainage Basin

Table 2. Land Use of the Basin (Unit: km²)

Land use	Roof area	Parking/Roadway	Landscaped area	Total area	Ratio(%)
Low density residential area	0.2299	0.0230	0.2069	0.4598	0.230
High density residential area	0.0127	0.0064	0.0064	0.0255	0.013
School	0.0426	0.0284	0.0710	0.1420	0.071
Commercial area	0.2925	0.0172	0.0344	0.3441	0.172
Light industrial area	0.0071	0.0025	0.0005	0.0101	0.005
Parks	0.0589	0.0589	0.4715	0.5893	0.295
Street		0.3674	0.0003	0.3677	0.184
The others				0.0540	0.027
Total	0.6437	0.5038	0.7910	1.9990	1.000

3.3 MOUSE 모형을 이용한 퇴적량 산정 및 분석

MOUSE 모형에 적용하기 위한 지표면 고형물 부하량은 Table 1의 고형물 부하량과 제거량에서 지표면 고형물 부하량은 쓰레기/부유고형물, 도로 제설용 모래, 도로의 먼지 및 흙 그리고 토양손실의 합으로 볼 수 있으며, 제거량은 도로 청소차와 청소인부에 의해 지표면에서 제거되는 양이므로 고형물 부하량에서 제거량을 뺀 나머지가 강우로 인해 관거로 유입되므로 이를 지표면 고형물 부하량으로 정하였고, 단위를 변환한 결과 17.16 kg/day/ha가 된다. 강우사상은 Table 3과 같은 기존 및 가상강우를 적용하였으며, 새말빗물펌프장으로 유입하는 6, 7, 9~11, 13, 14, 16, 24번 소유역을 선정하여 고형물 퇴적량을 산정하였다. 이와 같이 산정된 고형물 퇴적량은 Table 3과 같으며, 기존강우에 대한 고형물 부하량 변화에 따른 퇴적량의 변화가 Table 4와 같다.

Table 3에서 보는 바와 같이 관거 내 퇴적량은 강우량이나 강우강도보다는 강우의 지속시간에 의해 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 사실 퇴적량은 관거 특성 치들과 함께 강우량, 강우강도, 지표면 유출상황 그리고 관거 내 유속 등 다양한 인자들이 영향을 미치고 있다. 하지만 본 연구에서는 지표면 유출상황, 관거 내 유속

등과 같은 인자들을 고려하여 분석하지는 못했으며, Table 3의 결과만 보았을 때 강우지속시간이 퇴적량에 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있으며, 강우강도의 영향이 크게 나타나지 않고 있는 것은 강도가 큰 경우 관거 내의 유속이 커지게 되어 상대적으로 퇴적이 덜 발생하는 것으로 판단된다.

Table 4에서는 지표면 고형물 부하량을 $\pm 30\%$ 로 변화시켰을 경우 퇴적량도 비슷한 비율로 변하고 있음을 알 수 있다. 강우량의 변화에 대한 퇴적량의 변화를 알아보기 위해 지속시간을 1시간부터 12시간까지 변화시키고, 강우량을 5 mm부터 30 mm까지 증가시키며 퇴적량을 산정한 결과가 Table 5와 같으며, 지속시간이 증가함에 따라 퇴적량은 증가하지만 강우량의 변화에 따라서는 변화가 별로 없음을 알 수가 있다.

이외에도 강우의 분포에 따른 영향을 알아보기 위해 동일한 강우에 대해 전진형, 중앙집중형 그리고 지연형 형태의 강우로 분포시켜 적용한 결과 퇴적량이 강우의 분포형에는 영향을 받지 않는 것으로 나타나고 있다. 또한 선행 무강우일수가 증가할수록 지표면에 고형물 퇴적량이 증가하므로 무강우일수를 1일~7일간 변화시켜 모의한 결과 Table 6과 같이 무강우일수 5일까지는 퇴적량이 증가하다 그 이후는 변화가 별로 없는 것으로 나타나고 있다.

Table 3. Estimation of Solid Deposition

Rainfall	Observed rainfall			Assumed rainfall					
Amount(mm)	4.5	9.5	7.5	4.75		9.5		18.0	
Duration(hr)	4	3	1	1.5	3	1.5	3	1.5	3
Intensity(mm/hr)	1.1	3.2	7.5	3.75	1.58	6.33	3.17	12.37	6.33
Solid Deposition(kg)	355.30	276.89	108.20	157.04	283.40	157.20	283.50	158.46	284.87

Table 4. Solid Deposition according to the Variation of Solid Loads

Date		2005. 4. 6	2005. 5. 17	2005. 8. 24
Rainfall(mm)		4.5	9.5	7.5
Solid loads (kg/ha/day)	17.160	355.30	276.89	108.20
	12.01(-30 %)	263.46 (-25.80 %)	201.93 (-27.1 %)	73.09 (-32.4 %)
	22.31(+30 %)	437.03 (+23.0 %)	344.95 (+24.6 %)	141.71 (+30.9 %)

Table 5. Solid Deposition according to the Rainfall Duration and Amounts

Duration(hr)		1	2	4	6	8	10	12
Rainfall (mm)	5	107.67	202.55	355.75	484.43	598.63	709.38	810.72
	10	108.30	202.71	353.99	475.53	586.33	687.01	785.95
	20	109.44	203.72	355.55	477.71	579.36	677.22	761.69
	30	109.97	204.68	357.48	479.04	581.09	670.55	752.81

Table 6. Solid Deposition according to the Days of Antecedent No Rainfall

Date		2005. 4. 6
Rainfall(mm)		4.5
Duration(hr)		4
Days of antecedent no rainfall (day)	1	1067.24
	2	1248.56
	3	1314.14
	4	1336.57
	5	1345.45
	6	1349.37
	7	1350.61

4. 퇴적량 산정식의 개발 및 검증

4.1 퇴적량 산정식의 개발

관거 내 고형물 퇴적량(TS)과 관련 있는 변수들로는 유역면적(A), 관거길이(L), 관거직경(D), 관거경사(S), 강우량(P) 및 지속기간(T) 등이 있으며, 이들 변수들과의 관계를 보면 다른 변수들이 고정되어 있다면 길이가 증가할수록 퇴적 고형물량을 증가하게 되고, 직경이 증가할수록 퇴적량이 증가하며 경사가 급할수록 퇴적량은 감소하게 된다. 이와 같이 단일 변수들만 고려할 경우 퇴적량의 변화가 명확하게 나타나지만, 이들 변수들이 서로 연계되어 복합적으로 구성될 경우 변수별 퇴적량의 변화를 예측하기가 쉽지가 않다. 하지만 이들 인자들이 관거 내 고형물 퇴적량에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 나타나고 있으며, 또한 강우량과 함께 강우의 지속시간이 퇴적량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 이들 인자들을 포함하여 강우로 인한 지표면 고형물의 관거 내 퇴적량을 산정할 수 있는 회귀식을 개발하였다. 회귀식의 형태는 Eq. (5)와 같은 비선형식을 대수값을 취해 Eq. (6)과 같이 선형화 한 후 중선형회귀분석을 실시하였다.

$$TS = \beta_0 L^{\beta_1} A^{\beta_2} S^{\beta_3} D^{\beta_4} P^{\beta_5} T^{\beta_6} \quad (5)$$

$$\log TS = \log \beta_0 + \beta_1 \log L + \beta_2 \log A + \beta_3 \log S + \beta_4 \log D + \beta_5 \log P + \beta_6 \log T \quad (6)$$

각 소유역별 평균치 즉, 소유역 관거 총길이, 유역면적, 평균 경사, 평균 직경을 이용하여 MOUSE 모형에 의해 산정된 퇴적량으로부터 회귀분석을 실시하여 Eq. (7) 및 실무에서 가용한 자료를 이용하여 적용할 수 있

도록 Eqs. (8)~(14)를 개발하였다.

$$TS = 0.6580L^{0.138}A^{0.993}S^{-0.044}D^{-1.934}P^{0.009}T^{0.855} \quad (7)$$

$$TS = 0.0938L^{0.356}A^{0.495}S^{-0.021}P^{0.009}T^{0.855} \quad (8)$$

$$TS = 0.6407L^{0.164}A^{0.987}D^{-1.917}P^{0.009}T^{0.855} \quad (9)$$

$$TS = 2.1412A^{1.107}S^{-0.068}D^{-2.082}P^{0.009}T^{0.855} \quad (10)$$

$$TS = 0.0933L^{0.367}A^{0.494}P^{0.009}T^{0.855} \quad (11)$$

$$TS = 1.9305A^{0.717}S^{-0.087}P^{0.009}T^{0.855} \quad (12)$$

$$TS = 2.9713A^{1.134}D^{-2.102}P^{0.009}T^{0.855} \quad (13)$$

$$TS = 2.9289A^{0.747}P^{0.009}T^{0.855} \quad (14)$$

여기서, TS는 강우별 퇴적량(kg/storm), L은 총 관거길이(m), A는 유역면적(km²), S는 관거경사(m/m), D는 관거직경(m), P는 강우량(mm) 그리고 T는 지속기간(min)이다.

4.2 개발된 산정식의 검증 및 적용성 검토

4.2.1 개발된 산정식과 MOUSE 모형에 의한 결과의 비교 분석

개발된 산정식을 검증하기 위해 군자배수유역의 각 소유역별 관거 변수 및 강우량과 지속시간을 이용하여 고형물 퇴적량을 산정하고, 이 식을 개발하기 위해 MOUSE 모형을 이용하여 산정된 퇴적량과 비교 검토한 결과가 Table 7과 같으며, 개발된 산정식에 의한 퇴적량 산정치와 MOUSE 모형에 의한 산정치가 비슷한 결과를 보여주고 있다. 이는 개발된 식들이 개발에 사용된 자료들을 제대로 반영하고 있음을 나타낸다.

4.2.2 새로운 강우에 대한 개발된 산정식 및 MOUSE 모형에 의한 결과 비교

산정식 개발시 사용하지 않은 새로운 강우 자료에 의한 MOUSE 모형의 결과와 개발된 산정식에 의한 결과를 비교해 보기로 한다. 즉, 강우량 10 mm와 30 mm에 대해 지속시간을 1시간부터 12시간까지 증가시키며 MOUSE 모형으로부터 산정된 퇴적량과 개발된 산정식에 의한 결과를 비교하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다. 지속시간이 4시간인 240분까지는 개발된 산정식과 MOUSE 모형에 의한 산정 결과가 큰 차이를 보이고 있지 않고 있다. 하지만 4시간이 지나서부터는 전반적으로 모든 산정식들에 의한 결과가 MOUSE 모형에 의해 산정된 결과보다는 크게 나타나고 있으며, 지속시간이 증가할수록 그 차이는 점차 증가하고 있다. 이는

Table 7. Comparison of Solid Deposition between Model and Developed Eqs.

Rainfall (mm)	Duration (min)	Solid Deposition								
		MOUSE	Eq.(7)	Eq.(8)	Eq.(9)	Eq.(10)	Eq.(11)	Eq.(12)	Eq.(12)	Eq.(14)
4.5	240	355.30	355.35	351.56	355.65	354.50	351.72	350.32	354.70	350.84
9.5	180	276.89	279.76	276.78	279.99	279.09	267.90	275.80	279.25	276.21
7.5	60	108.20	109.11	107.95	109.20	108.85	107.99	107.56	108.91	107.72
4.75	90	157.04	153.68	152.05	153.81	152.31	152.11	151.51	153.40	151.73
	180	283.40	277.89	275.03	278.23	277.33	275.16	274.06	277.49	274.47
9.5	90	157.20	154.66	153.01	154.79	154.29	153.08	152.47	154.37	152.69
	180	283.50	279.76	276.78	279.99	279.09	276.90	275.80	279.25	276.21
19.0	90	158.46	155.64	153.98	155.77	155.26	154.05	153.43	155.35	153.66
	180	284.87	281.53	278.53	281.77	280.86	278.66	277.54	281.02	277.96

Table 8. Comparison of Solid Deposition between Model and Developed Eqs.

Rainfall (mm)	Duration (min)	Solid Deposition								
		MOUSE	Eq.(7)	Eq.(8)	Eq.(9)	Eq.(10)	Eq.(11)	Eq.(12)	Eq.(12)	Eq.(14)
10	60	108.30	109.39	108.23	109.49	109.13	108.28	107.85	109.20	108.01
	120	202.71	197.88	195.77	198.05	197.41	195.86	195.08	197.52	195.37
	240	353.99	357.95	354.13	358.25	357.09	354.29	352.88	357.29	353.41
	360	475.53	506.28	500.89	506.71	505.07	501.12	499.11	506.36	499.86
	480	586.33	647.48	640.59	648.03	645.93	640.88	638.32	646.30	639.27
	600	687.01	783.60	775.26	784.26	781.72	775.61	772.51	782.18	773.66
	720	785.95	915.81	906.05	916.58	913.61	906.46	902.84	914.14	904.19
30	30	109.97	110.50	109.32	110.59	110.23	109.37	108.93	110.29	109.09
	120	204.68	199.88	197.75	200.04	199.40	197.84	197.04	199.51	197.34
	240	357.48	361.55	357.70	361.85	360.68	357.86	356.43	360.89	356.96
	360	479.04	511.38	505.93	511.81	510.16	506.16	504.14	510.45	504.89
	480	581.09	654.00	647.04	654.55	652.44	647.33	644.74	652.81	645.71
	600	670.55	791.50	783.06	792.16	789.60	783.42	780.29	790.05	781.45
	720	752.81	925.03	915.18	925.80	922.81	915.59	911.93	923.34	913.30

산정식 개발에 사용된 경우가 Table 3의 기존 및 가상 경우로 지속기간이 모두 4시간 이내이기 때문에 그 이상의 지속기간에 대해서는 오차가 나타나는 것으로 판단된다.

4.3 장기 지속기간을 고려한 산정식 개발

앞에서 보인 바와 같이 개발된 산정식들은 지속기간이 4시간이 지나면 오차가 증가하므로 장기간의 지속기간에도 적용할 수 있는 산정식의 개발이 필요하며, 이를 위해 강우량 5mm, 10mm, 20mm, 30mm 40mm 그리고 50mm를 1시간부터 12시간까지 지속시간을 변경시키며 MOUSE 모형을 이용하여 산정한 결과로부터 산정식을 개발하였으며 다음과 같다.

$$TS = 0.1823L^{0.296}A^{0.827}S^{-0.080}D^{-1.735}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (15)$$

$$TS = 0.0318L^{0.492}A^{0.381}S^{-0.059}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (16)$$

$$TS = 0.1736L^{0.342}A^{0.818}D^{-1.704}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (17)$$

$$TS = 2.2843A^{1.072}S^{-0.132}D^{-2.053}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (18)$$

$$TS = 0.0313L^{0.523}A^{0.379}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (19)$$

$$TS = 2.0626A^{0.688}S^{-0.151}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (20)$$

$$TS = 4.3139A^{1.124}D^{-2.099}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (21)$$

$$TS = 0.0004L^{0.959}P^{-0.010}T^{0.781} \quad (22)$$

이와 같이 장기간의 지속기간을 고려한 산정식을 검증하기 위해 군자배수구역의 각 소유역별 관거 변수 및 강우량과 지속시간을 이용하여 고품물 퇴적량을 산정하고, 이 식을 개발하기 위해 MOUSE 모형을 이용하여 산정된 퇴적량과 비교 검토한 결과가 Table 9와 같으며, 지속기간이 4시간 이하인 경우 대부분 산정식에 의해

Table 9. Comparison of Solid Deposition between Model and Developed Eqs.

Rainfall (mm)	Duration (min)	Solid Deposition								
		MOUSE	Eq.(15)	Eq.(16)	Eq.(17)	Eq.(18)	Eq.(19)	Eq.(20)	Eq.(21)	Eq.(22)
10	60	108.30	114.87	113.60	114.25	114.19	113.76	112.80	114.23	112.99
	120	202.71	197.37	195.20	196.32	196.21	195.47	193.83	196.29	194.14
	240	353.99	339.15	335.42	337.33	337.15	335.87	333.05	337.28	333.60
	360	475.53	465.49	460.37	463.00	462.76	461.00	457.13	462.93	457.87
	480	586.33	582.76	576.35	579.64	579.33	577.13	572.28	579.55	573.22
	600	687.01	693.70	686.07	689.99	689.62	687.00	681.23	689.88	682.35
	720	785.95	799.85	791.06	795.58	795.15	792.13	785.48	795.45	786.76
30	30	109.97	113.65	112.40	113.04	112.98	112.55	111.60	113.02	111.79
	120	204.68	195.28	193.13	194.23	194.13	193.39	191.77	194.20	192.08
	240	357.48	335.54	331.86	333.75	333.57	332.31	329.51	333.70	330.05
	360	479.04	460.55	455.48	458.08	457.84	456.10	452.27	458.01	453.01
	480	581.09	576.57	570.23	573.48	573.18	571.00	566.20	573.39	567.13
	600	670.55	686.33	678.78	682.66	682.30	679.71	674.00	682.56	675.10
	720	752.81	791.36	782.66	787.13	786.71	783.72	777.14	787.00	778.41

Table 10. Comparison of Solid Deposition between Model and Developed Eqs.

Rainfall (mm)	Duration (min)	Solid Deposition								
		MOUSE	Eq.(15)	Eq.(16)	Eq.(17)	Eq.(18)	Eq.(19)	Eq.(20)	Eq.(21)	Eq.(22)
4.5	240	355.30	341.79	338.03	339.96	339.78	338.49	335.65	339.91	336.20
9.5	180	276.89	271.04	268.06	269.59	269.45	268.42	266.17	269.55	266.60
7.5	60	108.20	115.19	113.92	114.57	114.51	114.08	113.12	114.55	113.30
4.75	90	157.04	158.80	157.06	157.95	157.87	157.27	155.95	157.93	156.20
	180	283.10	272.87	269.87	271.41	271.27	270.24	267.97	271.37	268.40
9.5	90	157.20	157.74	156.00	156.89	156.81	156.21	154.90	156.87	155.16
	180	283.50	271.04	268.06	269.59	269.45	268.42	266.17	269.55	266.60
19.0	90	158.46	156.68	154.95	155.84	155.76	155.16	153.86	155.82	154.11
	180	284.87	269.22	266.26	267.78	267.64	266.62	264.38	267.74	264.81

산정된 퇴적량이 MOUSE 모형에 의한 결과보다 약간 작게 산정되고 있지만, 4시간이 넘는 경우는 산정식 및 MOUSE 모형에 의한 결과가 비슷하게 나타나고 있다.

이번에는 산정식 개발에 사용하지 않는 Table 3과 같은 기존강우 및 가상강우를 적용하여 퇴적량을 산정하고, MOUSE 모형에 의해 산정된 결과와 비교해 보기로 하며, 그 결과가 Table 10에 나타나 있다. 기존강우 및 가상강우 모두 지속기간이 4시간 이하이므로, 새로 개발한 산정식에 의해 산정된 결과의 대부분이 MOUSE 모형에 의한 결과보다 약간 작게 산정되는 것으로 나타나고 있다. 따라서 지속기간 4시간보다 작은 경우에는 Eqs. (7)~(14)를 적용하고, 지속기간이 4시간을 초과하면 Eqs. (15)~(22)를 적용하는 것이 바람직하다.

4.4 다른 소유역에의 적용 및 검토

이번에는 군자배수유역에서 고형물 퇴적량 산정에

적용하지 않은 유역에 대해 MOUSE모형을 이용하여 고형물 퇴적량을 산정하는 한편 동일한 소유역에 대해 개발된 퇴적물 산정식에 의한 고형물 퇴적량을 산정하여 서로 비교해 보아 개발된 산정식의 적용성을 알아보기로 한다. 먼저 새로 적용된 군자배수유역 내 소유역에 대한 유역면적, 총 관거 길이, 평균 관거 직경 및 관거 경사가 Table 11과 같고, 소유역이 Fig. 2의 음영부분과 같다.

MOUSE 모형을 적용하여 산정한 고형물 퇴적량과 개발된 퇴적량 산정식에 의한 고형물 퇴적 산정량이 Table 12에 나타나 있다. Table 12에서 볼 수 있는 바와 같이 지속기간이 4시간보다 짧은 경우에는 초기의 Eqs. (7)~(14)를 적용하였고, 지속기간이 4시간보다 긴 경우에는 Eqs. (15)~(22)를 적용하였다. 산정식에 의한 퇴적량 산정결과와 MOUSE 모형에 의해 산정한 결과를 보면 4시간 이하인 경우 식 (8), (11), (12), (15) 그리고, 4시간 이상인 경우는 (16), (19), (20), (22)가

Table 11. Basin and Pipe Characteristics for Verification

Basin	Number of Pipes	Basin area (km ²)	Total pipe length (m)	Mean value	
				Diameter(m)	Slope
1	4	0.5173	153	0.785	0.00124
2	62	5.6565	1644	0.540	0.00853
3	73	7.7532	2440	0.516	0.01798
4	38	4.1455	1102	0.618	0.02186
5	105	15.2564	3587	0.548	0.02770
18	17	2.5259	745	0.716	0.02182

Table 12. Comparison of Solid Deposition between Model and Developed Eqs.

Rainfall (mm)	Duration (min)	Solid Deposition								
		MOUSE	Eq.(7)	Eq.(8)	Eq.(9)	Eq.(10)	Eq.(11)	Eq.(12)	Eq.(13)	Eq.(14)
10	60	81.60	87.75	68.55	87.81	89.04	68.42	69.13	89.56	68.19
	120	154.04	158.72	124.01	158.84	161.07	123.77	125.44	162.01	123.35
	240	267.68	287.11	224.31	287.32	291.35	223.88	226.18	293.06	223.13
30	60	82.12	88.63	69.24	88.69	89.94	69.11	69.82	90.47	68.88
	120	154.59	160.32	125.25	160.44	162.69	125.01	126.30	163.64	124.59
	240	270.39	290.01	226.57	290.21	294.29	226.14	228.46	296.01	225.37
Rainfall	Duration	MOUSE	Eq.(15)	Eq.(16)	Eq.(17)	Eq.(18)	Eq.(19)	Eq.(20)	Eq.(21)	Eq.(22)
10	360	359.11	363.08	292.37	360.59	374.91	290.79	297.30	378.33	283.45
	480	439.78	454.54	366.02	451.43	469.36	364.04	372.19	473.63	354.86
	600	511.98	541.08	435.71	537.37	558.71	433.35	443.04	563.80	422.41
	720	580.90	623.87	502.87	619.61	644.21	499.66	510.84	650.08	487.05
30	360	362.43	359.22	289.27	256.76	370.93	287.70	294.14	374.31	280.44
	480	439.76	449.71	362.14	446.64	464.37	360.18	368.23	468.60	351.09
	600	503.39	535.33	431.08	531.67	552.78	428.75	438.34	557.81	417.93
	720	558.67	617.25	497.05	613.03	637.37	494.35	505.42	643.17	481.88

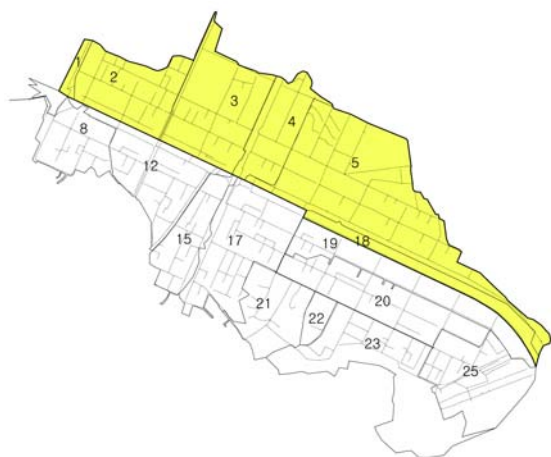


Fig. 2. Sub-basins of Gunja Drainage Basin for Verification

MOUSE모형보다 약간 작게 산정되고 있으나, 관거 내의 고형물 이송 및 퇴적에 대한 메카니즘이 매우 복잡하여 제대로 모의하기가 곤란하고, 현재로서는 강우로 인한 퇴적 고형물을 산정할 수 있는 방법이 제시되고

있지 않는 상황을 고려하면 전반적으로 적용 가능성이 있다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시 지표면 고형물 부하량 산정방법 소개와 함께, 도시 배수구역인 군자배수구역에 대해 MOUSE 모형을 이용하여 강우로 인한 지표면 고형물의 관거 내 유입 및 이로 인한 고형물의 관거 내 퇴적량을 산정하고, 이를 바탕으로 배수구역 및 관거 특성치 그리고 강우자료를 이용하여 관거 내 고형물 퇴적량을 산정하기 위한 산정식을 개발하였다.

개발된 산정식을 이용한 고형물 퇴적량과 MOUSE 모형에 의해 산정된 고형물 퇴적량을 비교한 결과 서로 근사한 결과를 나타내고 있으며, 식 개발에 적용하지 않은 타 구역에서의 적용 검증결과도 관거 내 고형물의 퇴적량을 산정할 수 있는 방법이 없는 현재로서는 적용성이 있다고 판단된다. 강우의 지속기간을 고려해 지속시간이 4시간 이하인 경우 Eqs. (7)~(14)를, 4시간 이상

인 경우 Eqs. (15)~(22)를 적용하는 것이 바람직한 것으로 나타나고 있다. 하지만 이들 산정식들은 균자배수 유역의 특정한 경우에 대해 개발된 식으로 이와 유사한 상황에 대해 적용할 필요가 있으며, 타 유역에 적용할 경우에는 주의를 필요로 한다. 또한 개발된 산정식들을 모든 유역에 적용할 수 있도록 관거 내 고형물 퇴적량의 실측 및 새로운 배수유역에 대해 적용하여 지속적인 수정 및 보완을 할 필요가 있다.

본 연구에서 소개한 방법을 이용하여 지표면에서의 항목별 고형물 부하량을 산정할 수가 있으며, 이를 통해 합류식 관거로 유입되어 퇴적되는 고형물량을 개발된 산정식을 이용하여 산정할 수가 있고, 이미 개발된 하수로 인한 관거 내 고형물 퇴적량 산정식을 함께 적용하면 실무에서 관거 내 고형물 관리 및 정기적인 준설계획 등을 수립하는데 도움을 줄 수가 있다. 또한 지표면에서의 고형물 발생 저감계획을 통한 관거의 유지관리에 유용하게 적용할 수 있으리라 본다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설기술혁신사업(03 산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구 성과입니다.

참고 문헌

- 소방방재청 (2005). **재해영향평가서 실무지침서**.
- 이재수 (2006). “합류식 관거 내 고형물 퇴적량 산정기법 분석.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 405~415.
- 이재수, 박무중 (2006). “합류식 관거 유지관리를 위한 하수 및 지표면 고형물 부하량 산정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제6호, pp. 533~544.
- 이재수 (2007a). “MOUSE 모형을 이용한 관거 내 고형물 퇴적량 산정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제5호, pp. 397~407.
- 이재수 (2007b). “관거 내 고형물 퇴적량 산정식 개발.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제5호, pp. 409~418.
- 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.
- 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”, *Journal of Environmental Modeling & Software*, pp. 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 (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*, Version 4, 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:08-46/접수:2008.04.01/심사완료:2008.07.30)