

장기유출 모의를 통한 비점오염 부하 산정

Estimation of NPS Pollutant Loads using Long-term Outflow Simulation

이정호

국립한밭대학교

Lee jung-ho

Hanbat National Univ.

요약

최근 비점오염원 제어를 위해 오염총량제(Total Maximum Daily Loads, TMDL)가 도입되었으며, 이것은 도시구역에서의 대표적 비점오염원인 합류식 하수관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)의 발생에 대한 분석이 선행되어야 한다. CSOs를 산정하기 위한 방법으로는 두 가지가 있다. 첫째, 확률강우량 분석에 의한 유출량 모의 방법으로, 이것은 표준강우사상에 의한 연간 CSOs 산정에 국한되는 한계를 가지고 있다. 둘째, 관측 강우 자료를 이용한 장기유출모의(LOS) 방법으로, 이 방법은 장기간의 강우 자료를 이용할 경우 최근의 강우 변화 양상을 반영하기 어려우며, 반면 단기간의 강우 자료를 이용할 경우 결과에 대한 신뢰도를 보장할 수 없다. 본 연구에서는 연간 CSOs 발생량 및 오염부하량을 산정하기 위하여 강우발생모형과 Long-term Outflow Simulation 모형을 이용하였다. 본 연구를 통한 CSOs의 산정은 앞서 언급된 기존 방법들의 문제점을 해결하고자 개발되었으며, 향후 도시화에 따른 유출 변화 및 유역 물순환 변화에 대한 연구에 활용될 수 있다.

I. 서론

도시구역의 합류식 하수관거시스템에서 차집관거는 차집용량을 초과하는 흐름을 하수처리장으로 보내지 않고 하천으로 방류한다. 이처럼 합류식하수관거에서 월류되어 강으로 배출되는 유량을 CSOs(Combined Sewer Overflows)라 한다. 이러한 CSOs는 건기시에 노면에 축적되어 있던 오염물과 하수관거 내에 퇴적되어 있던 오염물 등 비점오염원(Non Point Source)으로부터의 오염물들을 포함하고 있다. 따라서 CSOs는 도시구역에서 대표적인 수질오염의 주원인이 되고 있으며, 수계의 수질을 개선하기 위해서는 반듯이 CSOs에 대한 처리가 필요하다.

CSOs에 관한 연구는 CSOs의 발생량 산정에 관한 연구와 CSOs에 포함된 오염물에 대한 연구로 구분되어진다. Walker et al.(2006)은 CSOs 산정을 통하여 CSOs 처리시설물의 효과적인 제어에 대하여 연구하였다[1]. Ashamalla et al.(1994)는 터널식 저류시설의 용량을

결정하기 위해 4년치의 강우자료를 이용하여 CSOs 발생량을 산정하였다.[2]. CSOs의 오염부하량에 관한 연구에 있어서 Gupta and Saul(1996)은 합류식하수관거에서 배출되는 오염물의 농도를 분석하여 유출량과 오염물간의 회귀식을 추정하여 CSOs 저류탱크의 규모를 결정하였다[3].

이상의 연구들은 독립강우사상의 분석을 통한 설계강우를 이용하거나 연속적인 강우자료를 SWMM(Storm Water Management Model)이나 WASP 등과 같은 모델에 적용하여 CSOs 발생을 분석하였다. 그러나 국내의 경우 최근 기후변화와 도시화의 영향으로 강우특성이 변화하고 있으므로, 장기간의 축적된 강우자료가 있다 할지라도 자료의 이용을 제한적으로 만들게 된다.

본 연구에서는 기후변화에 따른 강우특성 변화를 고려하기 위하여 최근의 단기간의 강우자료를 이용하였으며, 단기간의 자료에 대한 통계적 분석의 신뢰성을 확보하기 위하여 Neyman-Scott 모형을 이용하여 CSOs의 연간 발생량을 산정하였다.

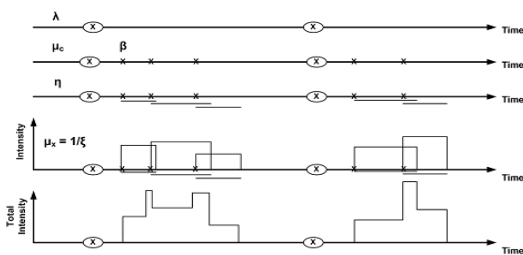
II. Long-term Outflow Simulation

서울의 경우 1990년 이후의 강우특성이 과거와는 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 연간 CSOs 발생량을 산정하기 위하여 1990년 이후의 단기간 자료(17개년)만을 이용하여 유출을 모의한다면 자료의 수가 충분하지 못하므로 모의결과에 대한 통계적 분석의 신뢰성이 낮아진다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모의강우를 이용하여 통계적 신뢰성을 확보할 수 있는 장기간의 강우 발생을 위하여 Neyman-Scott 모형을 이용하였으며, CSOs 발생량 산정을 위한 강우-유출 모형으로는 SWMM을 이용하였다.

1. Rainfall generation

본 연구에서는 stochastic model 중에서 대표적인 point rainfall model인 Neyman-Scott rectangular pulses model(NSRPM)을 이용하여 강우를 발생시켰다. 이 모형은 매개변수의 수가 5개로 비교적 적은 편으로 매개변수의 추정이 용이하며, 강우의 대표적인 특징인 군집성을 고려할 수 있으며 재현성이 우수하다.

여기서 집성시간의 선택에 대한 절대적인 기준은 없으며, 일반적으로 1hr-12hr, 1hr-24hr을 이용한다. 또한 매개변수의 경우 최적화 기법을 이용하여 산정할 수 있다.



▶▶ 그림 1. NSRPM(Rodriguez et al.(1987))[4]

2. CSOs 및 오염부하 산정

CSOs 산정은 변화된 강우특성을 지닌 최근의 강우자료를 이용하여 발생된 모의강우를 이용하여 SWMM을 통한 장기 모의를 실시하였다.

이를 위하여 SWMM에서 제공되는 power-linear equation (축적) 및 power equation(쓰림)의 매개변수

에 대한 회귀분석을 실시하여 1회 강우사상에 대한 강우량, 유출량, 선형건기일수 등을 이용하여 매개변수를 추정하였다. 축적식과 쓸림식의 매개변수 추정은 다음의 회귀식을 이용하였다.

$$z = \alpha P_{tot} + \beta \quad (1)$$

여기서, z 는 오염물 축적 및 쓸림의 매개변수이며, α 및 β 는 회귀계수, P_{tot} 는 하나의 강우사상에 대한 강우량을 나타낸다.

III. 적용 결과

본 연구에서 제안된 강우발생 및 CSOs 발생량 산정을 위하여 서울에 위치한 소규모 배수구역을 선정하였다. 다음의 표 1은 CSOs 발생량 산정 결과를 나타내고 있으며, 표 2는 오염부하 산정에 대한 결과를 나타낸다.

표 1의 결과에서 나타나듯이 단기 실측강우를 적용했을 때 장기 실측강우를 적용했을 때에 비해 강우량은 10% 정도 증가한 것에 비해 유출량은 175.5×103m3(25%), CSOs는 약 100×103m3(29.5%)정도 크게 산정되었다. 이를 통하여 강우량의 변화는 유출량의 변화에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 신뢰수준 90%에서 단기 실측강우 적용시의 신뢰구간의 폭이 장기 실측강우를 적용했을 때에 비해 약 2배 가량 넓게 분포되는 것을 확인할 수 있다. 이는 단기 실측강우 적용 시에는 자료의 수가 부족하여 불확실성이 커지는 것을 의미한다.

표 1. CSOs 발생량 산정 결과

		Observed data		Simulated data
		OR-L data (1961-2006)	OR-S data (1990-2006)	SR data
Total outflow (10 ³ m ³)	Mean	683.4	858.9	871.6
	Range	64.39~1,752.06	326.99~1,752.06	36.4~3,466.6
	C.L _{0.90}	574.6~792.3	641.7~1,076.1	765.1~978.0
CSOs (10 ³ m ³)	Mean	360.5	466.9	467.4
	Range	5.58~1,147.26	160.06~1,1147.26	1.3~1,836.8
	C.L _{0.90}	296.8~424.3	333.6~600.3	406.2~528.6

표 2의 결과에서 나타나는 CSOs에 포함된 오염부하는 연속적인 실측강우와 모의강우에 대해 IETD=10시간을 적용하여 독립사상으로 분리하였다. 분리된 독립사상별 강우량과 CSOs발생량, 선행건기일수를 고려하여 산정하였다. 산정대상 오염물은 오염총량제에서 배출기준으로 제시하고 있는 BOD와 SS에 대해 연간 발생량을 산정하였다. 단기 실측강우에 의한 오염부하는 유출 모의와 동일하게 1990년 이후 자료만을 추출하여 산정하였다.

표 2. CSOs 오염부하 산정 결과

Pollutants in CSOs		Observed data		Simulated data
		OR-L data (1961-2006)	OR-S data (1990-2006)	SR data
BOD (kg)	Mean	1,243.5	1,209.55	1,981.0
	Range	74.7~4,990.0	387.8~2,506.1	70.4~5,910.1
SS (10 ³ kg)	Mean	282.4	332.8	620.2
	Range	0.2~1,573.7	0.9~1,307.3	0.3~4,026.8

IV. 결론

본 연구에서는 최근의 변화된 강우특성을 반영하기 위하여 서울지역의 17개년 단기 강우자료를 적용하여 100년치의 장기 모의강우를 발생시켰으며, 이를 적용하여 CSOs 발생량 및 오염부하를 산정하였다. 이는 장기 간의 강우자료를 확보함으로써 모의결과의 불확실성을 감소시킬 수 있으며, CSOs에 포함되어 있는 오염부하를 산정하여 분석함으로써 CSOs 관련 시설물의 용량 결정과 관련 규제 마련 등에 보다 객관적인 근거를 제시해 줄 수 있다. 또한 모의강우의 이용은 다양한 수문학적 연구에 있어서 최근의 강우특성을 반영할 때 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] Walker, D. E., Heath, G. R. and Levy, W. P., "Design of a storage runnel control strategy to eliminate CSO and reduce

stormwater discharges to south Boston beaches", Proceedings of the Water Environment Federation, Collection Systems 2006, pp.226-250, 2006.

- [2] Ashmalla, A., Bowering, T. and Parente, M., "Optimization of storage/treatment scheme for combined sewer overflows", Water Science and Technology, Vol. 29, No. 1, pp. 404-408, 1994.
- [3] Gupta, K. and Saul, A. J., "Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows", Water Resources Research, Vol. 30, No. 5, pp.1244-1252, 1996.
- [4] Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D. R. and Isham, V., "Some models for rainfall based on stochastic point processes", Proc. R. Soc. Lond. A, Vol. 410, No. 1839, pp. 269-288, 1987.