

도시유역내 오염물 축적에 관한 연구

Development of Pollutants Accumulation Model in Urban Watershed

주진걸*, 전환돈**, 류성수***, 김종훈****

Jin Geol Joo, Hwan Don Jun, Seong Su Ryu, Joong Hoon Kim

Abstract

The physical characteristics of suspended solid in urban watersheds are estimated and are described the accumulation processes on the urban surface. And build up the accumulation model which has two parameters and three constants. Two parameters are P_0 and P_{max} , and three constants are landuse, clean and traffic constant.

Suggested model is applied three industry watershed which has variable area. And simulated results are compared with observed data. The model estimates the real phenomenon and the results are pretty good. The simulated accumulation mass are 1.20, 0.96 and $2.88g/m^2$. The differences of simulation and observation data are about 30%.

Key words : non-point source, accumulation rate, first flush

1. 서론

자연수계로 방출되어 수자원을 오염시키는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있다. 점오염원은 오염발생지점과 배출량을 알고 제한된 지역에 대해 발생하는 오염원으로 공장 폐수 및 가정오수 등이 이에 해당된다. 이에 반하여 비점오염원은 오염물 발생지점 및 발생량을 예측하기가 쉽지 않으며 광범위한 지역에서 발생한다(김석구 등, 2004). 도로 위에 쌓인 먼지와 낙엽, 소규모 가축시설에서 발생하는 축산 폐수 등이 강우 유출수와 함께 흘러나오는 것이 대표적인 비점오염원이다. 우리나라는 지난 수십년간 점오염원을 처리하기 위하여 많은 노력을 기울였다. 많은 하수처리장 및 폐수처리장이 신설되었으며 공장폐수, 가정오수 등의 처리에 많은 성과를 얻어내었다. 그럼에도 원하는 수질 목표치에는 도달하지 못하고 있다(최지용 등, 1997). 점오염원으로 인한 오염은 줄었으나 도시 개발과 더불어 점차 증가하는 비점오염원을 통제하지 못하였기 때문이다(환경부, 1995). 지속적인 하천 및 호소의 수질관리와 목표수질에 도달하기 위하여 비점오염원의 관리는 필수적이다.

초기우수로 인한 유출수는 도시유역에서 발생하는 대표적인 비점오염원으로 그 농도가 매우 높은 것으로 알려져 있다(Thornton and Saul, 1987). 도시 하천의 수질 개선을 위해서는 초기 유출수의 분리 및 처리가 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 도시의 불투수 지역에 쌓이는 오염물

* 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정-E-mail : civilguy97@hanmail.net

** 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 연구교수-E-mail : hwandinjun@gmail.com

*** 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정-E-mail : fbtjdn@korea.ac.kr

**** 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 교수-E-mail : jaykim@korea.ac.kr

의 양을 정량적으로 모의하고자 하였다.

2. 오염물 축적 모형의 개발

건기동안 유역내에 축적되었던 오염물은 호우 발생시 유출수와 함께 수계로 유입된다. 특히 도시유역은 불투수 지역의 비율이 높아 강우 초기에 오염물의 유출이 집중되며 매우 높은 농도의 유출수가 발생하게 된다. 따라서 유출수에 포함된 오염물의 양을 파악하고 이에 따른 적절한 처리 기준을 산정함으로써 보다 효율적으로 초기유출수를 제어할 수 있을 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 축적된 오염물의 양을 정량화할 수 있는 축적 모형을 개발하였다.

2.1 모형 구축을 위한 가정

자연현상을 모의하는 데는 항상 두 가지의 모순이 존재하게 된다. 정확한 값을 예측해야 하는 것과 모형의 적용을 손쉽게 하기 위하여 자연현상을 단순화하는 것이다. 본 연구에서는 모형의 정확도를 저해하지 않는 범위내에서 적용성을 향상시키기 위하여 몇 가지 가정을 하였다.

일반적으로 유역내에 축적되는 오염물의 양은 최대 축적량(P_{max}) 보다 작은 범위내에서 지수 형태로 증가하는 형태를 따른다고 알려져있다(김이형, 2002). 본 연구에서도 오염물의 축적모형이 기본적으로 지수함수를 따른다고 가정하였으며 오염물의 축적량은 최대 $750g/m^2$ 을 넘지 못하는 것으로 가정하였다(Grottker, 1987). 도로의 가장자리에 대한 노면 세척을 실시할 경우 전체 먼지에 대한 제거효율을 20%로 가정하였다. Osuch-Pajdzinska 와 Zawilski(1998)은 그의 모형에서 바람의 영향을 고려하였다. 그러나 바람이 유역 전체 오염물의 양을 증가 또는 감소시키지 않을 것으로 판단되어 본 연구에서는 바람의 영향을 무시하였다.

2.2 모형 구축

지면에 축적되는 오염물의 양에 영향을 미치는 요인은 무강우 일수, 선행강우량, 토지이용형태, 도로면의 청소횟수, 일평균 차량통행대수 등이 있다. 본 연구에서는 위의 요인들을 고려하여 SS(Suspended Solid) 의 축적량을 구할 수 있는 모형으로 식 (1)을 제시하였다.

$$P(t) = P_0 + (P_{max} - P_0) \times (1 - e^{-0.001at}) \quad (1)$$

여기서, t 는 선행강우 이후 오염물 축적기간(day)으로 무강우 일수를 고려할 수 있으며, P_0 는 이전 강우시 제거되지 않은 오염물의 양(g/m^2)으로 선행강우량을 고려할 수 있다. P_{max} 는 최대오염부하량(g/m^2)을 의미한다. a 는 축적 상관 계수로서 식 (2)로 나타나며 토지이용형태, 청소횟수, 일평균 차량통행대수에 의한 영향을 반영한다.

$$a = a_1 + a_2 + a_3 \quad (2)$$

여기서, a_1 은 토지이용상수, a_2 는 도로 청소빈도 상수, a_3 는 통행량 상수이다.

토지의 이용 형태에 따라 발생하는 오염물의 양이 다르게 된다(최지용 등, 2002). 따라서 각 토

지 이용 형태에 따라 표 1과 같이 연간 발생하는 SS의 양을 결정한 후 이를 단위 환산하여 단위 면적당 하루에 발생하는 SS의 양을 결정하였다. 일 발생 SS양을 식 (1)에 대입하여 일 발생에 따른 계수 a_1 을 표 2와 같이 결정하였다.

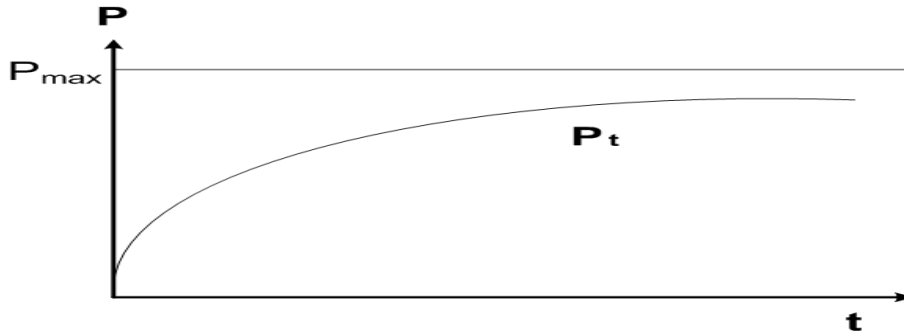


그림 2. 노면상 오염물의 축적변화 곡선

표 1. 토지이용에 따른 비점오염물질 발생원단위(최지용 등, 2002) (단위 : kg/ha/yr)

토지사용	BOD	COD	SS	T-N	T-P	Cd	Pb
아파트	61.9	161.6	60,402	33.1	3.2	0.136	0.543
주거지역	106.1	455.3	384.0	59.2	2.8	0.260	0.785
상업지역	100.4	719.9	653.1	119.8	4.8	0.312	0.834
산업지역	150.1	746.1	823.2	89.5	4.8	0.105	0.952
고속도로	153.2	858.7	1,605.0	95.9	6.1	0.391	1.412
주차장	63.4	579.4	274.0	40.9	1.1	0.547	1.120

표 2. 토지이용형태별 토지이용계수(a_1) 산정 (단위 : g/m²/day)

토지사용	아파트	주거지역	상업지역	산업지역	고속도로	주차장
오염부하량(SS)	0.1665	0.1052	0.1782	0.2255	0.4397	0.0751
a_1	-0.221	-0.140	-0.239	-0.301	-0.586	-0.100

a_2 는 도로 노면의 청소횟수에 따른 상관 계수로써 노면의 청소 빈도에 따라 노면 청소를 전혀 하지 않았을 경우 $a_2=0$, 월 1회 노면 청소를 실시할 경우 $a_2=0.01$ 로 결정하며, 세척 빈도가 증가할수록 큰 값을 적용한다. a_3 는 차량의 통행량에 따른 상관 계수로 차량 통행량이 가장 많은 지역의 경우 -0.02부터 통행이 극히 적은 경우 0.02까지의 범위에서 적용할 수 있다.

3. 모형의 적용

개발된 축적 모형을 청주 산업단지 내 세군데 소구역울 선정하여, 모의 결과 값과 실제 관측 값을 비교하여 보았다. 청주산업단지는 유량측정 및 시료채취를 동시에 진행할 수 있고, 접근이 용이하며, 각 구역은 동일한 업종별로 블록화가 되어 있다(최종수, 2003). 그 중 시험 대상 구역은 7.4ha ~ 190ha의 면적을 지닌 A, B, C 소구역으로 구역별 불투수율은 55 ~ 65%이다. 토지이용 형태

에 따라 산업지역에 해당되는 토지이용상수는 -0.301을 적용하였으며, 공단지역의 특성상 청소빈도는 낮고 차량통행은 많을 것으로 판단되어 도로 청소빈도상수는 0으로, 통행량상수는 -0.02를 적용하였다.

표 3. 시험 적용 지역의 특성(최종수, 2003)

지역	A지역	B지역	C지역
면적(ha)	190	15.2	7.4
불투수율(%)	65	57	55

각 구역별로 모형을 적용하여 SS의 축적량을 모의하였다. 또한 호우 발생시 유출수의 SS농도를 측정하여 모의 결과와 비교하였다. 표 4는 강우강도와 강우량을 나타내며 표 5는 축적된 SS의 모의 결과와 관측값을 보여준다.

표 4. 시험 적용 지역의 강우사상별 특성(최종수, 2003)

강우 일자	98/08/23	97/07/11	97/11/12
강우량(mm)	9.0	28.1	101.2
강우강도(mm/h)	1.9	7.8	11.8
선행무강우일수(day)	5	4	12

표 5. 시험 지역의 모형 적용 결과

지역	A지역	B지역	C지역
관측치(g/m^2)	1.18	1.27	2.13
모의 결과치(g/m^2)	1.20	0.96	2.88
모의 결과치 / 관측치	1.02	0.76	1.36

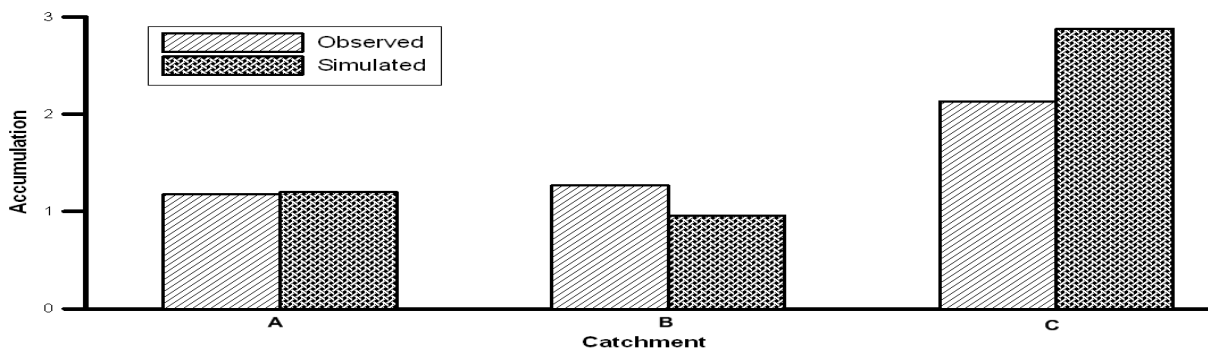


그림 3. 관측치와 모의 시험 결과치의 비교

모형 적용 결과 소구역별 모의결과값은 1.20, 0.96, 2.88 g/m^2 로 산출되었고, 실제 관측값은 1.18, 1.27, 2.13 g/m^2 로 나타났다. A지역은 두 값의 차이가 0.02 g/m^2 로 2%이내의 오차범위를 보인 반면 B지역은 관측치의 23%, C지역은 36%의 차이를 보였다.

4. 결론

이번 연구를 통해 도시유역에서 노면에 축적되는 오염부하의 물리적 특성과 오염물의 축적과정에 대해 설명하였고 이를 바탕으로 2개의 매개변수(P_0 와 P_{max})와 3개의 상수(토지이용상수, 청소빈도상수, 통행량상수)를 사용한 축적모형을 구성하였다.

본 연구에서 제안한 모형을 이용하여 다양한 면적을 가진 산업지역 세 곳에 시험 적용시켜 모의 결과치와 실제 관측값의 상관관계를 살펴보았다. 각 지역의 실 관측치는 1.18, 1.27, 2.13 g/m^2 였고, 모의 결과값은 1.20, 0.96, 2.88 g/m^2 을 보임으로써 약 2~36%의 차이를 보였다. 관측값과 모의값이 지역별로 차이가 컸으나 비교적 높은 상관관계를 보임으로써 모형의 적용가능성을 확인할 수 있었다. 지속적 연구를 통해 오염물 축적에 영향을 끼치는 더욱 많은 인자와 다양한 토지이용 형태를 고려하여 축적 모형을 보완한다면 도시유역에 축적되는 오염부하량을 더욱 정확하게 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술 연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수 재해관리기술 연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 김석구, 김영임, 윤상린, 이용재, 김이호, 김종오(2004). 강우강도에 따른 노면유출수의 유출특성, **대한물환경학회지**, Vol. 20, No. 5, pp. 494-499
2. 최종수(2003). 도시지역의 비점오염원 유출특성과 산정처리방안에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교
3. 최지용, 신은성(1997). **도시지역 비점오염원 관리방안 연구보고서**, 한국환경정책·평가연구원
4. 최지용, 신창민(2003). **비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안 연구보고서**, 한국환경정책·평가연구원
5. 환경부(1995). **비점오염원 조사 연구사업 보고서**
6. E. Osuch-Pajdzinska and M. Zawilski(1998). Model for storm sewer discharge. 1: Description. *Journal of environmental engineering*, Vol. 124, No. 7, pp. 593-599
7. Kim, L. H.(2002). *Monitoring and Modeling of Pollutant Mass in Urban Runoff: Washoff, Buildup and Litter*, Ph. D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, UCLA, USA
8. Ma M., Kahn S., Li S., Kim L. H., Ha S., Lau S., Kayhanian M., and Stenstrom M. K.(2002). First Flush Phenomena for Highway : How it can be meaningfully defined, *Proceedings of 9th Int. Conf. on Urban Drainage*, September, Portland, Oregon
9. Mathias Grottker(1987). Runoff quality from a street with medium traffic loading, *The Science of the total environment*, Vol. 59, pp. 457-466
10. Thornton, R. C. and Saul, A. J.(1987). Temporal variation of pollutants in two combined sewer system, *Proceedings of the 4th Int. Conf. on Urban Drainage*, pp. 51-52, Lausanne, Switzerland