

# SWMM모형을 이용한 유역의 오염부하량 산정

Estimation for Watershed pollutant loading with SWMM

전 지 홍\* · 윤 춘 경(건국대)

Jeon, Ji Hong · Yoon, Chun Gyeong

## Abstract

This study estimated average yearly watershed pollutant loading by using SWMM(Storm Water Management Model) which is one of the nonpoint source quality models. Two sites were measured discharge and water quality at dry period and wet period. The rainfall data is used from 1989 to 1998. During a decade, the average year watershed pollutant loading, which is SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP, were 2.39E+06kg, 2.92E+05kg, 2.53E+05, 2.66E+04kg respectively. During dry period, SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP loadings were 1.89E+05kg, 1.17E+05kg, 1.04E+05kg, 1.11E+04kg, and during wet period 1.89E+05kg, 1.17E+05kg, 1.04E+05kg, 1.11E+04kg respectively so wet period loadings are more than dry day loadings.

## I. 서론

적절한 유역관리를 위해서는 유역에서 유출되는 오염부하량을 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 유역에서 유출되는 오염부하량을 산정하는 방법에는 크게 원단위에 의한 방법과 modeling에 의한 방법으로 나눌수 있다. 현재 우리나라의 경우 유역에서의 오염부하량 산정시 대부분의 경우 원단위에 의해 오염부하량을 추정하고 있는 실정이다.

원단위에 의한 방법은 최적관리기법 적용시 오염물 감소에 쉽게 적용할 수 있으나 평균적인 유출량의 개념을 기본으로 하기 때문에 연도별 오염부하량의 변화를 추정할 수 없으며 한 지점에서 다른지점으로의 적용이 어렵다.<sup>1)</sup>

반면에 modeling에 의한 오염부하량 산정은 유출량과 오염부하량을 시간적·공간적으로 쉽게 묘사할 수 있다<sup>1)</sup>. 특히 강우시 지표유출에 의한 오염물질의 부하는 환경학적으로 많은 문제를 가지고 있기 때문에 강우시 오염물질의 거동을 쉽게 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 오염부하 유출모형에는 SWMM, STORM, HSPF, CREAMS, ILLUDAS등이 사용되어져 왔고 최근에는 USGS, AGNPS, SWRRB등이 사용되고 있다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 오염부하 유출모형 중 하나인 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 이용하여 과거 10년 동안 대상유역에서의 오염부하량을 추정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1 대상지구의 개요

본 연구의 대상지구는 동경 126 °40'-127 °, 북위 37 °00'-37 °15'에 위치하고 있으며 수원에 서 서북방향으로 35km, 서울로부터 70km지점에 위치하고 있으며 행정구역상으로 경기도 화성군 남양면, 마도면, 서신면, 비봉면, 팔탄면, 우정면, 장안면 등 1도 1군 7개면에 걸쳐 위치하고 유역면적은 17368ha이다<sup>2)</sup>. 유역은 유역의 특성에 따라 크게 4개로 나누었으며 이를 다시 세분하여 총 19개의 소유역으로 나누었으며 Fig. 1과 같다.

### 2.2 유량 및 수질측정

평상시 수질 측정은 2주마다 이루어 졌으며 강우시 수질 측정은 1-4시간 간격으로 이루어졌다. Standard Methods에 의하여 SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP가 분석이 이루어졌다<sup>3)</sup>. II-2, II-4지점에서는 평상시 수질측정만 이루어졌으며 유량은 수질채취시 같이 측정되었다. II-1, III-1지점에서는 평상시 수질측정과 강우시 수질측정이 같이 이루어졌으며 유량은 수위관측에 의하여 15분마다 측정되어졌다.



Fig. 1 Location of study watershed and data-collection sites

### 2.3 모델 입력 자료

#### 2.3.1 강수 자료

강수자료는 수원기상대에서 측정된 98년 1월 1일에서 98년 12월 31일 사이의 강수량 자료를 10mm이상의 연속강수만을 선별하였으며 연별·월별로 나누었으며 10년간 10mm이상의 강수

사상은 모두 237개였다.

### 2.3.2 수질자료

평수기시 수질 분석은 15회, 강우시 수질 분석은 2회 이루어졌다. 평수기시 II-1지점의 SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP 평균 농도는 각각 16.21, 7.21, 8.94, 0.475mg/L었으며 III-1지점은 각각 8.53, 9.54, 5.62, 0.21mg/L였다. 1999년 4월 9일과 1999년 5월 3일 강우시 수질 분석을 실시하였으며 이때의 강우량은 각각 37.3, 58.5mm였다. 두 강우시 수질 분석결과를 보면 II-1지점의 SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP의 농도 변화는 각각 15-244mg/L, 3-29.6mg/L, 7.6-16.1mg/L, 0.3-1.6mg/L였으며 III-1의 경우 각각 4-409mg/L, 1.5-22.8mg/L, 3.1-7.8mg/L, 0.1-1.1mg/L였다.

### 2.3.3 유역별 인자

수로경사와 유역면적, 소유역 경사도는 화옹지구의 DEM자료를 IDRISI version2.0을 이용하여 분석되어졌으며그 외 수로의 Manning조도계수, 루수지역·불루수지역 조도계수, 불루수지역 표면저류등은 calibration에 의해 결정하였다(Table 2).

Table 2. Subcatchment input parameter

subcatchment number	chanel length(m)	subcatchment width (m)	arca (ha)	ground slope (m/m)	channel slope (m/m)	impervious area percent(%)
I-1	750	1282	62	0.0664	0.0164	8.3
I-2	1000	1881	171	0.1294	0.0181	43.5
I-3	2050	3958	495	0.0784	0.0087	23.8
I-4	2500	4529	472	0.1210	0.0131	28.8
I-5	4000	5412	1230	0.8687	0.0049	24.9
II-1	6250	12067	1219	0.1329	0.0144	20.2
II-2	2000	3747	205	0.0878	0.0120	26.8
II-3	2000	3702	367	0.1235	0.0129	2.3
II-4	1050	1946	333	0.0868	0.0060	23.7
II-5	3500	5766	694	0.0231	0.0114	19.0
II-6	1000	1925	237	0.0621	0.0143	22.9
III-1	10000	17254	1391	0.1211	0.0202	14.4
III-2	5500	10986	3583	0.0617	0.0110	16.0
III-3	2250	4308	818	0.0604	0.0162	15.1
IV-1	1750	2406	413	0.0313	0.0107	18.6
IV-2	1000	1627	252	0.0282	0.0101	27.8
IV-3	1500	2957	615	0.0147	0.0092	22.7
IV-4	1500	2977	296	0.0192	0.0148	9.3
IV-5	7000	10671	2355	0.0469	0.0154	22.0

### 2.3.4 토지이용분류

대상유역의 토지이용 분류는 위성사진을 이용하여 ER mapper를 이용하여 임야, 논, 밭, 주거지로 분류하였다. 축산농가의 경우 위성사진으로 분류가 불가능하므로 유우, 육우, 폐지의 두당면적에 의해 소유역별 축산농가의 면적<sup>5)</sup>(Table 3)을 산정하였으며 토지이용별 면적은 Table 4과 같다.

Table 3. Designated area for livestock production per head (unit: m<sup>2</sup>)

dairy cow (per head)	poultry cow (area per head)				swine (per 100 head)
	30 head	50 head	70 head	90 head	
8.95	19.74	18.72	17.4	17.12	427.5

Table 4. Subcatchment land use classification (unit: ha)

subcatchment	forest	paddy	upland	residential	livestock	total
I-1		30	30	2	0.0128	62
I-2	62	29		80	0.105	171
I-3	74	301		119	0.7832	495
I-4	142	183	5	137	4.5284	472
I-5	244	506	145	330	4.7391	1230
II-1	788	174		244	13.491	1219
II-2	45	105		55	0.2848	205
II-3	203	129		31	3.8545	367
II-4	121	94	25	92	0.6869	333
II-5	298	259		136	1.1697	694
II-6	29	146		61	1.2958	237
III-1	639	545		201	6.3334	1391
III-2	1332	1464	140	622	25.087	3583
III-3	131	321	230	129	7.2275	818
IV-1	18	265	27	101	2.4849	413
IV-2	10	126	23	93	0.2956	252
IV-3	12	460		142	0.8352	615
IV-4		262	2	31	0.9608	296
IV-5	410	1649	286	741	9.857	3096

#### 2.4 모형 적용

II-1, III-1지점에서 실측된 4월과 5월의 강우시 유량, 수질자료를 이용하여 각각의 오염물질에 따른 토지이용별 단위 면적당 축적량을 산정하여 이 값을 나머지 소유역에 적용시켰다. 1989년 1월에서 1998년 12월까지 10년간 10mm이상의 연속강우 데이터를 선별하여 강우시 오염부하량을 산정하였다. 평시에 측정된 유량과 2주마다 분석된 수질을 적용시켜 평상시 오염부하량을 산정했으며 여기에 강우시 오염부하량 더하여 연간 유역으로부터 유입되는 오염부하량을 결정하였다.

#### IV. 결과 및 고찰

1989년에서 1989년까지 대상유역에서 유입되는 오염부하량은 Table 5와 같다. Table 5에서 보면 10년간 유효강수량은 952-2040mm, SS 부하량은 1.77E+06 -3.50E+06kg, BOD5 부하량은 2.31E+05-3.94E+05kg, TN 부하량은 1.99E+05 -3.45E+05kg, TP 부하량은 2.10E+04-3.07E+04kg이었으며 평균치는 각각 1350mm, 2.39E+06kg, 2.92E+05kg, 2.53E+05kg, 2.66E+04kg이었다.

Table 6에서 보면 소유역별 오염부하량은 유역의 면적에 비례하였는데 면적이 가장 작은 I-1지점에서 가장 낮은 부하량을 나타내었으며 면적이 가장 큰 III-2지점에서 가장 높은 부하량을 나타내었다.

Table 5. yearly pollutant loadings estimated by SWMM

3year	rainfall(mm)	Flow (m3)	SS (kg)	BOD (kg)	TN (kg)	TP (kg)
1989	1.22E+03	1.17E+08	2.49E+06	3.09E+05	2.71E+05	2.85E+04
1990	2.04E+03	1.93E+08	3.50E+06	3.94E+05	3.45E+05	3.65E+04
1991	1.32E+03	1.11E+08	2.04E+06	2.76E+05	2.45E+05	2.57E+04
1992	1.13E+03	5.14E+07	1.77E+06	2.31E+05	1.99E+05	2.10E+04
1993	1.16E+03	1.00E+08	2.39E+06	2.92E+05	2.52E+05	2.69E+04
1994	1.05E+03	5.25E+07	1.83E+06	2.31E+05	2.02E+05	2.08E+04
1995	1.65E+03	1.53E+08	2.76E+06	3.41E+05	2.97E+05	3.07E+04
1996	9.52E+02	4.94E+07	1.92E+06	2.37E+05	2.04E+05	2.16E+04
1997	1.39E+03	9.93E+07	2.62E+06	3.04E+05	2.59E+05	2.74E+04
1998	1.61E+03	1.10E+08	2.61E+06	3.05E+05	2.60E+05	2.73E+04
average	1.35E+03	1.04E+08	2.39E+06	2.92E+05	2.53E+05	2.66E+04

Table 6. Subcatchment average yearly pollutant loadings

subcatchment	SS (kg)	BOD (kg)	TN (kg)	TP (kg)
I - 1	8.46E+03	4.53E+02	4.27E+02	4.42E+01
I - 2	4.50E+04	1.85E+03	1.98E+03	1.95E+02
I - 3	6.74E+04	5.39E+03	5.26E+03	5.47E+02
I - 4	9.34E+04	1.38E+04	1.24E+04	1.33E+03
I - 5	2.29E+05	1.94E+04	1.83E+04	1.92E+03
II - 1	2.87E+05	3.62E+04	3.21E+04	3.48E+03
II - 2	3.30E+04	3.87E+03	2.74E+03	2.13E+02
II - 3	3.32E+04	7.15E+03	6.57E+03	7.40E+02
II - 4	6.55E+04	3.98E+03	3.87E+03	4.01E+02
II - 5	1.18E+05	7.20E+03	6.90E+03	7.24E+02
II - 6	2.83E+04	4.54E+03	4.18E+03	4.44E+02
III - 1	2.18E+05	3.86E+04	2.20E+04	2.04E+03
III - 2	5.66E+05	7.21E+04	6.50E+04	6.99E+03
III - 3	1.37E+05	1.93E+04	1.73E+04	1.87E+03
IV - 1	4.55E+04	7.99E+03	7.33E+03	7.79E+02
IV - 2	3.31E+04	2.64E+03	2.74E+03	2.74E+02
IV - 3	5.10E+04	6.23E+03	6.12E+03	6.34E+02
IV - 4	1.73E+04	3.36E+03	3.12E+03	3.38E+02
IV - 5	4.15E+05	4.44E+04	4.44E+04	4.61E+03

강우시 부하량과 평상시의 부하량을 Table 7에서 비교해 보았다. BOD5, TN, TP의 부하량은 강우시 부하량이 평상시 부하량보다 다소 높았으며 SS의 경우 강우시 부하량이 평상시 부하량보다 약 10배 가량 높았다. 이는 강우시 토양유실에 의해 SS의 농도가 현저히 증가하기 때문으로 생각된다.

Table 7. Comparison wet period us dry period pollutant loading

	SS (kg)	BOD (kg)	TN (kg)	TP (kg)
wet period	9.55E+07	2.36E+06	2.86E+05	2.47E+05
dry period	1.89E+05	1.17E+05	1.04E+05	1.11E+04

## V. 결론

본 연구는 대상유역에서 오염부하 유출모형 중 하나인 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 이용하여 과거 10년 동안 대상유역에서의 오염부하량을 산정해 보았다

10년 평균 대상유역으로 유입되는 연간 오염 부하량은 SS의 경우 2.39E+06kg, BOD<sub>5</sub>의 경우 2.92E+05kg, TN 2.53E+05, TP는 2.66E+04kg 이었다. 평상시 유입되는 SS, BOD<sub>5</sub>, TN, TP 오염부하량은 각각 1.89E+05kg, 1.17E+05kg, 1.04E+05kg, 1.11E+04kg이었으며 강우시 유입되는 오염부하량은 각각 1.89E+05kg, 1.17E+05kg, 1.04E+05kg, 1.11E+04kg으로 강우시 유입되는 오염부하량이 다소 높았다.

## VI. 참고문헌

1. Vladimir Novotny, 1995, Nonpoint pollution and urban stormwater management, pp293-336
2. 농어촌진흥공사, 1989, 화용지구조사계획서, pp33
3. Andrew D. Eaton, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
4. U.S. EPA, 1988, Storm Water Management Model, version 4: user's manual, pp96-104
5. 류재현, 1993, 축산경영학, pp136-148