

탱크모형을 이용한 일별 오염부하량의 산정

Determination of Daily Pollutant Loadings Using TANK Model

엄 명 철* · 권 순 국**
Eom, Myung Cheol · Kwun, Soon Kuk

Summary

In order to control the water quality in rivers or lakes, it is needed to evaluate accurate amount of pollutant loadings from watersheds. The daily pollutant loadings were simulated using the pollutant loading calculation model which was composed of mathematical equations superimposed on the TANK model. The calibration of runoff and pollutant loading parameters were carried out with observed data, using a trial-and-error method. In addition, the proposed model was applied to evaluate its applicability for the representative watershed, the Bokha river watershed, Icheon city, Korea.

The parameters of SS and T-P showed large values in the first tank while T-N showed large in the second tank. As a result of simulating the daily pollutant loadings by the pollutant loading calculation model, all of SS, T-N and T-P loadings were increased or decreased according to the amount of runoff discharge. Especially, it was apparent that SS and T-P loadings were significantly influenced by the runoff variation when it was rain. These results could partly explain that SS and T-P would occur mainly from the surface runoff while T-N would occur from both surface and subsurface flow.

I. 서 론

유역에서의 하천이나 호소의 수질관리를 위해서는 유역으로부터 유입하는 오염물질에 대한 정확한 부하량의 산정이 중요하다. 이러한 유입부하량의 정확한 산정이 이루어져야만 하

천이나 호소의 수질변동의 예측이나 수질관리를 위한 관리시스템의 구축이 용이하다. 오염부하량은 시간에 따른 변동이 크므로, 측정에 상당한 주의가 필요하다. 유출량은 유역말단에서의 수위계 설치 등을 통하여 연속측정이 비교적 쉬우나, 오염부하량 특히 질소나 인

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 오염부하량, 오염부하 산정모형, 일별 부하량, 탱크모형, 유출량 매개변수, 오염부하 매개변수

등은 실험실에서의 화학분석이 필요하므로 연속측정이 상당히 어렵다. 따라서 오염부하량의 추정에는 어느정도 한정된 자료를 이용해야 하는 어려움이 있다.¹³⁾

유역으로부터 유출되는 오염부하량 추정을 위한 방법으로는 유량-부하량 관계식과 수문모형을 이용한 계산방식 등이 많이 이용된다. 유량-부하량 법은 유량과 오염부하량 실측치의 통계적 분석을 통하여 적절한 관계식을 만들어서 유량의 변동에 따른 오염부하량을 계산하는 방법으로서 간단하므로 비교적 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 수질항목에 따라 오염부하의 방식은 다양하므로 총 유량만으로 이를 표현한다는 것은 무리가 있다. 수문모형을 이용하는 방법으로는 EPIC(Williams et al., 1983), CREAMS(Foster et al., 1981), ANSWERS(Beasley et al., 1980), AGNPS(Young et al., 1989) 등 강우사상에 따른 농촌유역의 유사량과 영양염 부하량을 추정하는 물리적 모형과 탱크모형을 이용한 부하량 계산모형 등이 있다.

탱크모형을 이용한 오염부하량의 추정은 모형의 각 유출공에 오염부하의 개념을 도입하여 오염물질도 지표, 중간, 지하수로부터의 부하로 나누어서 계산하는 방식으로, 각종 수질항목에 대한 부하의 양상을 유출 성분 별로 개념화하므로써 실제현상에 가깝도록 표현하고자 한 것이다. 오염부하량의 계산은 적절한 매개변수의 보정만으로 여러 수질성분에 대한 부하량의 계산이 용이하고 또한 장기유출 탱크모형을 이용하면, 일별 오염부하량의 산정도 가능하다. 우리나라에서도 탱크모형을 통한 장, 단기 유출해석이 여러 번 실시되어 그 적용성을 검토한 바 있으므로, 이러한 모형에 몇 가지 오염부하량 계산식만을 첨가하므로써 일별 오염부하량을 쉽게 계산할 수 있을 것으로 생각된다.¹¹⁾

본 연구의 목적은 농촌유역으로부터 유출

되는 오염물질의 양을 산정하기 위하여 수문모형인 탱크모형에 오염부하 계산식을 첨가한 오염부하 산정모형을 구성하여, SS성분과 총질소, 총인의 수질항목에 대하여 일별 부하량을 계산하고, 이를 연구대상 유역에 적용하여 모형의 타당성을 검토하는 데 있다.

II. 모형의 구성

오염부하 산정모형은 유출량의 예측모형인 수문모형에 오염부하 산정식을 첨가하여 유출량의 변화에 따른 오염부하량을 예측하는 모형이다. 유출량의 예측을 위하여 수문모형인 탱크모형의 유출량에 관한 매개변수를 결정하고 이를 통하여 유역의 장기유출 해석을 실시한다. 또한 오염물질도 물과 함께 유출된다고 가정하여 탱크모형의 유출량 계산식에 오염물질 부하에 대한 산정식을 첨가하여 유역으로부터 부하되는 SS, T-N, T-P에 대한 일별 오염부하 산정식을 구성하고, 시행착오법으로 각각의 수질성분에 대한 매개변수를 보정하여 유역으로부터의 일별 부하량을 계산한다.

1. 유출량의 계산

본 연구에서는 김, 박(1988)이 우리나라의 중소유역의 특성에 맞게 탱크모형을 개량하여 그 적용성을 검토한 바 있는 수정 탱크모형을 사용하여 유역의 장기유출 해석을 실시하였다. 수정탱크모형은 Fig. 1과 같이 1단에 2개의 유출공을 가지며 총 3단의 탱크와 4개의 유출공으로서 구성된다.

2. 오염부하량의 계산

수문모형을 통한 오염부하량의 계산은 정확한 유출량의 예측과 오염물질에 대한 수많은 실측을 통하여 이루어진다. 그러나 실제로 오염부하량의 연속측정은 상당히 어려움이 따르므로 어느정도 한정된 데이터를 이용하여 유

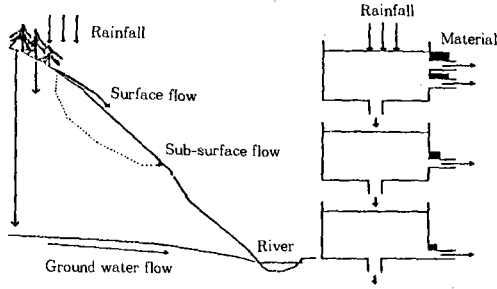


Fig. 1. Schematic diagram of the TANK model

역으로 부터의 오염부하량을 추정하는 방법이 필요하다.

海老瀨 등(1979)은 수문모형인 탱크모형을 이용하여 강우시의 오염부하량의 해석을 실시하였다. 물의 유출량 계산에 대해서는 탱크모형을 이용하였으며, 탱크의 각 유출공에서 산출된 유출고에 오염부하 농도계수를 곱하여 각각의 유출공으로 부터 흘러나오는 오염부하량을 합하여 유역으로 부터의 총 오염부하량을 계산하는 방법이다.

中村 등(1991)은 탱크모형의 유출공에 오염물질의 축적량을 포텐셜로 넣어 각각의 유출공으로 부터 흘러나오는 오염부하량을 계산하였다. 이는 탱크모형의 유출량 계산식에 오염물질 부하의 산정식을 첨가하는 방식으로 오염물질의 화학적, 생물학적 반응에 대해서는 고려하지 않는다.

본 연구에서는 中村 등(1991)의 오염부하량 산정식을 이용하여, 탱크로부터의 유출을 표면유출, 중간유출, 지하수유출로 나누고 각각 여기에 축적되어 있는 오염물질이 물의 유출이 시작될 때 같이 흘러나온다는 개념을 사용한다. 즉 오염물질이 각 지층에 축적되어 있다가 물과 같이 유출된다고 가정하여 부하량을 계산한다. 오염부하 산정모형의 개요는 Fig. 1과 같이 수문모형인 탱크모형에 오염부하 부분을 삽입하여 만들며, 우측모형의 사각

형 부분은 각각의 지층에 축적되어 있는 오염물질량을 나타낸다.

가. 오염물질 저류량

오염부하량 산정모형에서 탱크내에 저류되는 오염물질의 양은 유출량 매개변수를 이용하여 강우에 의하여 유입되는 물질량과 증발에 의하여 손실되는 물질량을 가감하여 계산한다. 탱크의 각 유출공의 유출계수에 오염물질의 저류량을 곱하여 계산하는 방식으로 계산식은 식 (1)과 같다.

$$D_{1,t+\Delta t} = (1 - a_{11} - a_{12} - b_1) D_{1,t} + R_t - T_t$$

$$D_{2,t+\Delta t} = (1 - a_2 - b_2) D_{2,t} + b_1 D_{1,t}$$

$$D_{3,t+\Delta t} = (1 - a_3 - b_3) D_{3,t} + b_2 D_{2,t} \dots (1)$$

여기서 $D_{1,t}$, $D_{2,t}$, $D_{3,t}$ 는 시간 t 에서 각 탱크내에 저류된 물질량, R_t 는 Δt 시간 동안 강우로부터 유입되는 물질량, T_t 는 Δt 시간동안 증발에 의하여 손실된 물질량, a_{11} , a_{12} ,는 1단 탱크의 유출공 저류계수, a_2 는 2단탱크의 유출공 저류계수, a_3 는 3단탱크 유출공 저류계수, b_1 은 1단탱크 배수계수, b_2 는 2단탱크 배수계수, b_3 는 3단탱크의 배수계수를 나타낸다.

강우에 의하여 유입되는 T-N의 농도는 0.06mg/l ~ 1.43mg/l의 범위이고, T-P의 농도는 0.005mg/l ~ 0.036mg/l의 범위에 있다고 한다.⁴⁾ 본 연구에서는 강우로 부터 유입하는 물질량은 수원지방의 것을 이용하여 T-N은 1.37mg/l, T-P는 0.036mg/l로 하였으며, SS는 강우로 인한 유입량이 없는 것으로 간주하였다.

증발에 의하여 손실되는 물질량은 그 측정이 어렵고, 오염물질의 성분에 따라 여러가지 특성을 나타내므로 본 연구에서는 매개변수에 의하여 그 양이 반영되는 것으로 보고 생각하였다.

나. 유역 축적량

유역에 축적된 물질은 강우에 의하여 유출을 하게되며 강우가 없는 맑은 날에는 재축적된다. 유역내의 오염물질은 강우가 시작되면 하류로 유출되어 최종적으로 하천으로 유입하게 되는데 이러한 현상은 탱크의 각 유출공으로부터 유출되는 것과 같은 것으로 가정한다. 즉 유역내에서의 오염물질의 감소율을 나타내는 계수와 각 유출공에서의 유출량에 대응하여, 유역내의 오염물질량이 감소한다는 개념으로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{t+\Delta t} = B_t \cdot \exp(-f \cdot q_t) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $B_{t+\Delta t}$: 각 탱크에서의 오염물질량, f : 오염물질의 감소율을 나타내는 매개변수, q_t : 탱크의 각 유출공에서의 유출량이다.

강우가 끝나고 맑은 날이 계속되면 유역에서는 다시 오염물질의 축적이 시작된다. 이러한 오염물질의 축적량은 강우 정지로부터 다음 강우까지의 시간에 따라 좌우되는데 이와 같은 과정은 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 즉 식 (2)에 따라 감소한 유역내의 오염물질량 B 가 물질의 증가를 나타내는 계수와 강우 정지로부터의 시간에 따라 증가한다는 개념이다. 그리고 강우가 계속되는 기간 중에는 유역내의 오염물질의 축적은 없다고 가정한다.

$$B_{t+\Delta t} = B_t \cdot \exp(c \cdot t) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $B_{t+\Delta t}$: 각 탱크에서의 오염물질량, c : 오염물질의 증가를 나타내는 매개변수, t : 강우가 끝난 후부터의 시간이다.

다. 오염 부하량

각 탱크로부터 유출되어 오는 오염물질의 총 부하량은 강우 중에 포함된 오염물질과 유역내에 축적된 오염물질이 물과 함께 탱크의 유출공을 통하여 유출될 경우에 이 값을 모두

합하여 식 (4)와 같이 구한다.

$$L_t = a_{11}D_{1,t} + a_{12}D_{2,t} + q_{1,t}B_{1,t} + a_2D_{2,t} + q_{2,t}B_{2,t} + a_3D_{3,t} + q_{3,t}B_{3,t} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 $D_{1,t}$, $D_{2,t}$, $D_{3,t}$ 는 시간 t 에서 각 탱크내에 저류된 물질량, L_t 는 오염물질 부하량, $B_{1,t}$, $B_{2,t}$, $B_{3,t}$ 는 유역에 축적되어 있는 물질의 농도, $q_{1,t}$, $q_{2,t}$, $q_{3,t}$ 는 각 탱크단의 유출량, a_{11} , a_{21} , a_{31} 는 각 탱크단의 유출공 저류 계수이다.

3. 모형의 구성

오염부하 모형의 계산과정은, 1) 모형의 입력자료를 읽는다. 2) 초기저류량으로부터 각 탱크별로 유출량과 배수량을 구한다. 3) 각 탱크별 유출량, 배수량, 초기오염물질 저류량을 이용하여 탱크별로 오염물질 저류량을 구한다. 4) 각 탱크별 유출량을 더하여 추정기간의 일별 유출량을 구한다. 5) 유역에 축적되어지는 오염물질량을 각 탱크별로 구한다. 6) 각 탱크별 부하량을 합하여 당일의 오염부하량을 계산한다. 7) 추정기간의 일별 오염부하량을 구한다. Fig. 2는 그 내용을 도식적으로 나타낸 것이다.

III. 모형의 적용

1. 대상 유역

본 연구의 대상유역으로는 장, 권(1994)에 의해 연구된 바 있는 경기도 이천시 등에 위치한 복하천의 최상류 유역이다. 유로연장이 17km, 유역면적 80km²을 대상으로 하며, 지형은 비교적 경사가 완만하고 단조로운 편이어서 하천을 따라 농경지가 발달되어 있으며 유역전반에 걸쳐 소규모 축산농가가 산재해 있는 전형적인 농촌지역의 특성을 가진 유역이다.

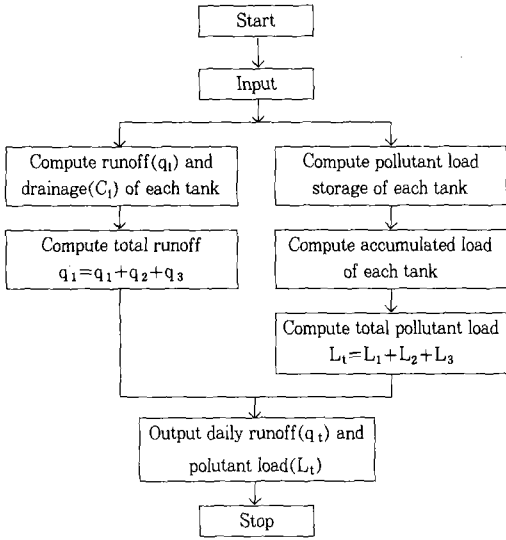


Fig. 2. Flow chart of the TANK model for calculation of pollutant loadings

연구 대상유역의 토지이용 현황은 임야가 64%, 논 17.7%, 밭 9.8%, 대지 1.9%, 기타 6.8%이며 대체적으로 상류유역에서 임야의 구성비율이 높으며 중하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보인다. 유역의 개략적인 형상은 Fig. 3과 같으며, 수질과 유출량의 측정지점은 유역의 최말단인 주미교 지점이다.

2. 모형의 보정

가. 유출량

탱크모형을 주어진 유역에 적용하기 위해서는 매개변수의 적절한 보정이 필요하다. 즉, 실측치와 모의발생치 사이의 차이를 최소화하

여 유역의 유출량 매개변수의 값을 확정하는 절차이다. 보정방법은 시행착오법과 수학적 방법 등으로 구분된다. 시행착오법은 매개변수의 초기치를 가정하여 계산하고, 그 결과를 실측치나 이론치 등과 비교한 다음, 임의의 변수를 임의의 양만큼 조정하여 결과를 얻어 오차를 줄여가는 방법이며, 수학적 방법으로는 최적화기법, 최소사승법, 확률가중모멘트법 등이 있다.

본 모형에서는 매개변수의 보정을 위하여 시행착오법을 적용하였다. 보정에 사용된 자료는 유출량의 실측치가 있는 대상유역의 1993년 6월 7일부터 9월 26일까지의 유출량 관측자료를 이용하였다.

보정된 매개변수를 Table-1에 나타내었는데, 실측치와 모의 발생치의 비교분석 결과 일별 유출량의 모의발생치와 실측치와의 RMS오차는 2.43mm, 상관계수(r)는 0.87로서 비교적 실측치와 일치하는 경향을 나타내었다. 여기서 h_{11} , h_{12} 는 1단탱크 유출공의 높이, h_2 는 2단탱크 유출공의 높이, h_3 는 3단탱크 유출공의 높이를 나타낸다. 보정된 매개변수를 이용한 일별 유출량의 모의 발생결과는 Fig. 4에 나타내었다. 실측치와 모의 발생치의 비교결과, 강우시에 모의 발생치가 실측치보다 작게 나타나는 경향을 보이는 데 이러한 현상은 수정 탱크모형에서 제1단 탱크의 2개의 유출공만으로는 폭우에 의한 직접유출 성분을 표현하기가 힘들기 때문이라고 생각된다. 그러나 본 모형이 홍수부분의 유출해석에

Table-1. Runoff parameter values calibrated in the TANK model

Runoff parameter	a_{11}	a_{12}	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	h_{11}	h_{12}	h_2	h_3
Value	0.036	0.31	0.046	0.0034	0.19	0.21	0.0002	5.0	71.4	0.5	0.0
RMSE	2.43mm										
Correlation coefficient	0.87										

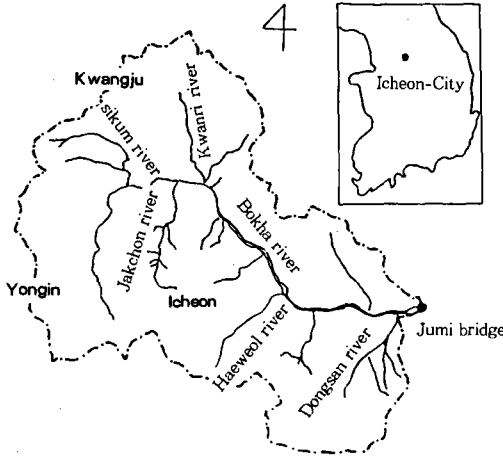


Fig. 3. Map of Bokha river watershed

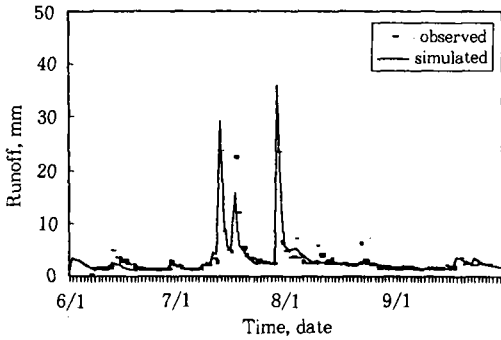


Fig. 4. Comparison between observed and simulated daily runoff during the calibration period, 1993

는 적합도가 약하나 저수시에는 실측치와 모의 발생치의 일치도가 높게 나타나고 있으므로 이수측면의 수질관리를 위한 장기 유출분석에는 좋은 성과를 보이고 있음을 알 수 있다.³⁾

모형의 보정이 완료되면 검정의 단계를 거쳐야 하는데, 보정에서 확정된 매개변수들을 그대로 검정에 이용하며 보정단계에서와 마찬가지로 검정기간 동안의 실측 유출량과 모의 발생 유출량의 일치여부를 검토하므로써 모형이 유출해석을 적절히 수행하는지를 검사하는

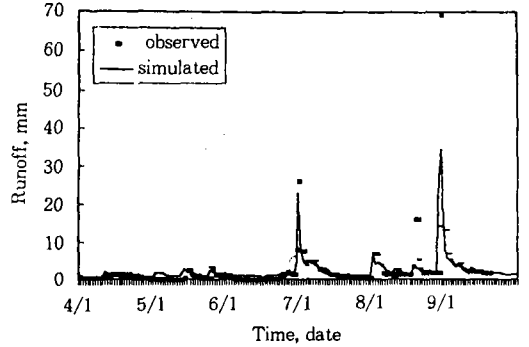


Fig. 5. Comparison between observed and simulated daily runoff during the verification period, 1994

과정이다. 본 연구에서는 확정된 유출량 매개변수를 이용하여 대상유역의 1994년 4월11일부터 9월17일까지의 일별 유출량을 모의 발생하여 실측 유출량과 비교하여 검정하였다. Fig. 5는 일별 유출량의 모의 발생치와 실측치를 비교하였는데, 실측치에 대한 RMS 오차는 3.23mm였으며, 상관계수(r)는 0.88로서 비교적 실측치에 가까운 값을 나타내었다.

나. 오염 부하량

모의발생된 일별 유출량을 이용하여 오염부하 매개변수를 시행착오법으로 결정하였다. 보정기간은 연구대상 유역의 1992년부터 1994년까지의 총 12회에 걸친 수질의 측정결과를 통하여 예측값들을 실측값에 일치하도록 정밀도를 높여가는 방법으로 실시하였다. 보정된 오염부하 매개변수는 Table-2와 같다. 매개변수의 보정결과, SS와 T-P는 제1단 탱크의 매개변수가 높게 나타나는데, 이는 강우가 있을 경우 부하량이 높을 것으로 예상된다. T-N은 제2단 탱크의 매개변수가 상대적으로 높아 평상시에도 부하량이 높게 나타날 것으로 예상되는데, 이러한 현상들은 실제의 수질 성분에 따른 부하의 양상을 잘 나타내고 있다고 생각된다.¹⁰⁾

Table-2. Pollutant loading parameter values calibrated in the TANK model

Parameters	Description	SS	T-N	T-P
$B_{0\ 11}$	amount of load at first tank	1000	80.0	190.0
$B_{0\ 12}$	amount of load at first tank	1500	80.0	190.0
$B_{0\ 2}$	amount of load at second tank	330.0	100.0	0.4
$B_{0\ 3}$	amount of load at third tank	330.0	100.0	36.0
f_{11}	reduction coefficient at first tank	0.0092	0.0004	0.001
f_{12}	reduction coefficient at first tank	0.01	0.0004	0.02
f_2	reduction coefficient at second tank	0.001	0.0001	0.015
f_3	reduction coefficient at third tank	0.001	0.00056	0.008
c_{11}	accumulation coefficient at first tank	0.0009	0.001	0.0001
c_{12}	accumulation coefficient at first tank	0.001	0.0001	0.0001
c_2	accumulation coefficient at second tank	0.0001	0.0001	0.0001
c_3	accumulation coefficient at third tank	0.00001	0.00001	0.0001

Table-3. Comparison between observed and simulated pollutant loadings

Date	SS(kg/day)		T-N (kg/day)		T-P (kg/day)	
	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated
6/13/92	7.9	306.2	8.3	11.9	0.5	19.9
8/22/92	614.9	333.4	72.9	113.8	2.7	17.7
10/10/92	426.2	378.1	392.1	133.4	163.2	10.6
2/06/93	195.8	247.5	22.3	94.1	13.7	4.5
5/21/93	926.5	912.4	260.3	236.4	125.7	99.8
8/27/93	219.5	315.0	140.3	132.9	99.1	17.2
10/09/93	433.0	241.9	31.5	106.4	2.5	6.4
1/27/94	37.2	155.9	25.1	73.6	2.4	4.7
4/30/94	75.9	111.8	3.8	55.2	2.0	4.1
6/18/94	56.5	155.4	0.8	80.7	0.6	8.5
8/23/94	219.1	135.3	184.6	70.8	8.0	7.8
10/10/94	132.5	138.2	85.1	74.7	9.4	5.9
RMSE	144.0		97.0		51.2	
Correlation coefficient	0.84		0.60		0.52	

3. 일별 오염 부하량의 재현

보정에 의하여 검정된 유출량 매개변수와 오염부하 매개변수를 이용하여 대상유역의 일별 유출량과 오염부하량을 모의 발생하여 Fig. 6~Fig. 7에 나타내었다. 모의 발생 결과 SS, T-N, T-P 모두 유출량의 증가에 따라 부하량이 증가하였으며, 특히 SS와 T-P는 유출

량의 변화에 굉장히 민감하게 반응하였고, T-N은 상시유출에도 부하량이 높게 나타났다. 이는 강우의 영향에 따른 오염물질의 부하의 양상을 잘 표현하는 것으로 SS, T-P는 강우에 따른 직접유출 성분이 높고, T-N은 평상시에도 지하유출이 존재하며 직접유출성분은 다소 낮다는 것을 보여준다.¹⁰⁾

이러한 현상은 SS는 기저유출 부하량이 21

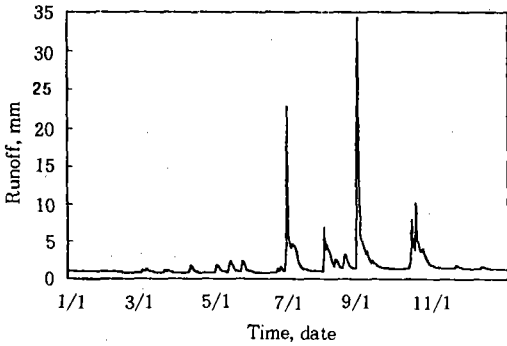


Fig. 6. Simulation of daily runoff, 1994

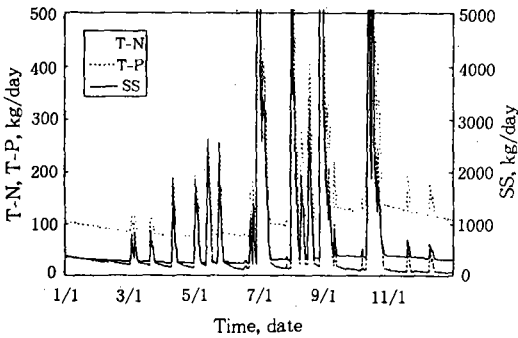


Fig. 7. Simulation of daily pollutant loadings, 1994

%, 직접 유출 부하량이 79%이고, T-P는 직접 유출 부하량이 81%를 차지하여 둘 다 직접 유출성분이 커지만, T-N은 직접 유출부하량의 비율이 68%로서 SS나 T-P 보다 낮다는 鈴木 등(1984)의 결과와도 잘 일치하는 면을 보여준다.

IV. 요약 및 결론

농촌유역에서의 일별 오염부하량 예측을 위하여 수문모형인 탱크모형을 응용하여 오염부하 산정모형을 구성하고 이를 유역면적이 80km²이고 전형적인 농촌유역의 특성을 나타내는 경기도 이천시 북하천 유역에 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다.

연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상 유역의 일별 유출량을 계산하기 위하여 수문모형인 탱크모형을 선정하여, 일별 강수량과 증발량 자료로부터 일별 유출량을 계산하였다.

2. 유출량의 계산에 이용된 탱크모형에 오염부하량 계산식을 첨가한 오염부하 산정모형을 구성하였다. 즉 탱크모형에서의 직접유출, 중간유출, 지하수 유출과 동일한 양상으로 오염물질도 물과 함께 각각의 유출공을 통하여 흘러나온다는 개념을 이용하여 계산식을 구성하였다.

3. 총 12회의 오염부하량 실측치를 이용하여 오염부하 산정모형의 매개변수를 보정하였다. 보정결과 SS와 T-P는 제1단 탱크의 매개변수 값이, T-N은 2단 탱크의 매개변수 값이 다른 매개변수에 비하여 높게 나타났다. 부하량의 모의 발생치가 실측치와 다소의 차이를 나타내었는데, 이러한 현상은 오염부하의 실측이 강우가 있는 지 수 일 후에 진행되었기 때문에 강우에 의한 직접유출 부분이 제대로 묘사되지 않았기 때문이다.

4. 보정된 매개변수를 이용하여 대상유역의 유출량과 오염부하량을 일별로 모의 발생하였다. 모의 발생 결과 SS, T-N, T-P 모두 유출량의 증감에 따라 부하량도 증감하였으며, 특히 SS와 T-P는 유출량의 변화에 민감하게 반응하였다. T-N은 강우가 없을 때에도 상당한 양의 오염물질이 배출되고 있었다. 이러한 현상은 SS와 T-P는 직접유출에 의한 부하량이 높고, T-N은 다른 성분에 비하여 기저유출에 의한 부하량이 높다는 것을 나타낸다.

참 고 문 헌

1. 김현영, 박승우, 1988, 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생(I), 한국농공학회지, 30(1), pp.50-62.

2. 장정렬, 권순국, 1994, 수질관리 모형에 의한 농촌 소하천의 수질예측, 한국관개배수, 1(1), pp.14-24.
3. 허유만, 임상준, 박승우, 1993, 중소유역의 일별 용수수급 해석을 위한 하천망 모형의 개발(I), 한국농공학회지 35(1), pp.40-49.
4. 홍성구, 권순국, 1989, 농경지로부터의 오염물질 유출부하특성, 한국농공학회지, 31(3), pp.92-102.
5. Beasley, D. B., L. F. Huggins, and E. J. Monke, 1980, ANSWERS : A Model for Watershed Planning, Transaction of the ASAE, 23(4), pp.938-944.
6. Foster, G. R., L. J. Lane, J. D. Nowlin, J. M. Laflen, and R. A. Young, 1981, Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas, Transactions of the ASAE, 24, pp. 1253-1262.
7. Williams, J. R., K. G. Renard and P. T. Dyke, 1983, EPIC, Method for assessing erosion's effect on soil productivity, J. of Soil and Water Conservation, 38(5), pp. 381-383.
8. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Basch and W. P. Anderson, 1989, AGNPS : A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watershed, J. of Soil and Water Conservation, 44(2), pp. 168-173.
- 9.鈴木誠治, 田淵俊雄, 1984, 農業地域の小河川における降雨時の水質と流出負荷量について研究, 農業土木學會論文集(114), pp. 21-31.
- 10.鈴木誠治, 田淵俊雄, 1984, 農業地域の小河川における流出負荷量の季節變動と年間總量について, 農業土木學會論文集(114), pp. 33-38.
11. 中村良太, 中曾根英雄, 1991, 水質の日流出負荷量の解析に關する研究, 農業土木學會論文集(151), pp. 27-32.
12. 海老瀬替一他, 1979, タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析, 用水と廢水, 123 (11).
13. 黒田久雄, 1993, 森林地區のNO₃-N日流出負荷量の推定, 農業土木學會論文集(168), pp. 31-36.

(접수일자 : 1996년 4월 9일)