

## WASP5 모형을 적용한 복하천의 수질 예측

신동석 · 권순국<sup>1)</sup>

국립환경연구원, <sup>1)</sup>서울대학교

### Water Quality Modeling for Bokha Stream by WASP5 Model

Dong-Seok Shin and Soon-Kuk Kwun<sup>1)</sup> (National Institute of Environmental Research ; <sup>1)</sup>Seoul National University)

**Abstract :** WASP5 was applied to evaluate water quality of Bokha stream with 17km of its main stem located in Ichon-city, Kyunggi province in Korea. Boundaries of the stream for the WASP5 were the Jumi bridge, 10 major tributaries and one wastewater treatment system. The stream was divided into 37 segments with about 350m length. The flowrate of the 10 day's average of the stream was obtained from the hydrograph data and the discharge-stage rating curve. Simulated quality constituents included nitrogen, phosphorus, BOD and DO. Monthly records of water quality and loads in 1996 were used for the calibration of parameters of WASP5.

Simulation showed high correlations between calculated and observed concentration with monthly runoff ratio in Bokha stream. At downstream boundary, Jumi bridge [Seg.36], similar correlations were appeared. However, simulated concentrations by using annual runoff ratio were somewhat differentiated from those of the observed.

**Key words :** WASP5, 수질모델링, 복하천, 유달율, 부하량.

## 서 론

농촌 지역의 하천 수질은 생활수준의 향상으로 인한 생활 오수의 증가와 축산 및 공장 폐수의 유입 그리고 농경지로 부지의 비료 등의 유입으로 점차 악화되고 있다. 농촌 지역 하천의 오염은 농민의 생활 용수 및 농업용수 수질에 직접적으로 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 농촌 지역이 큰 하천의 상류에 위치하여 중하류의 대단위 상수 취수원의 원수의 수질을 저하시킴으로 이에 대한 적절한 수질 관리가 요구된다<sup>1)</sup>. 여러 연구자들은 하천이나 호수의 적절한 수질 관리를 위한 수단으로서 대상 유역의 자연현상에 대한 조사 자료들을 바탕으로 하천이나 유역에서의 수질모델링을 시도하여 현재 여러 종류의 수질 모형이 사용되고 있다<sup>2)</sup>

현재 국내에 적용되고 있는 하천수질 모형은 QUAL2E, AUTO-QUAL, STREAM, WASP 모형 등이다<sup>3)</sup>.

WASP를 하천에 적용한 국내의 연구 사례를 살펴보면 김<sup>4)</sup>의 갑조하천 특성을 보이는 한강 하류부의 수질 예측, 신<sup>5)</sup>의 안양천 하류부의 수질 예측, 성<sup>6)</sup>의 한강 본류구간의 수질 예측, 신(1995)<sup>7)</sup>의 안양천 상류 구간의 수질 예측, 박<sup>8)</sup>의 복하천 상류 구간의 수질 예측 등이 있다.

그런데 기존의 연구들은 측정된 농도를 이용하여 예측한 것이고 부하량 자료를 이용한 경우도 이길성<sup>9)</sup> 등 몇몇을 제외하면 연중 균등한 유출부하량을 입력함으로써 실제 상황에 부합되지 않게 적용한 사례가 대부분으로 WASP의 동적모의 발생 특성을 충분히 활용하지 못한 경우가 많았다.

본 연구에서는 배출부하량에 유달율을 시기별로 다르게 적용한 부하량을 입력하고 하천 수질을 모의 발생시킴으로서 수질 예측의 정확도를 높이고, GIS 등을 연계한 유역관리 모형의 일부분으로서 하천에서의 수질예측시 활용 가능 여부를 검토하는데 그 목적이 있다.

## WASP5 모형의 적용

### 모형의 개요

본 연구에서 적용한 수질 모형은 1981년 Di Toro 등에 의해 처음 개발되어 수정과 보완을 거쳐 수체내 독성 물질 거동까지 분석 가능한 WASP5 모형으로서 미국 환경청에 의해 발표되었다<sup>10)</sup>. 이 모형은 호수, 강, 하구에서 수체의 이동과 일반 및 독성 물질의 이동 및 상호 반응을 모의 발생하며, 수계에 대한 동적 분할 모형으로서 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있어 연중 변화는 물론 짧은 시간 간격 사이의 수질 성분 변화를 분석하는 데에도 대단히 유용하다<sup>5)</sup>.

WASP5 모형은 기본 물질 수지 방정식을 유한차분법으로 해석하여 수질 인자의 값을 구하는 구조로 구성되어 있다. 정상 상태에서는 DO, BOD 등 최대 6개의 수질 항목이 입력자료로서 요구되며, 동적 상태에서는 유기인과 유기질소를 포함한 8개 항목이 모의 발생에 필요하다. 입출력 자료의 수에 따라 복잡도가 6단계로 구분되어 있으며, 복잡도는 임의 선택이 가능하지만 단계가 높아질수록 입력 자료의 수가

많아지고 반응 계수도 증가한다.

### 모형의 기본식

지배 방정식을 수심 방향, 폭 방향으로 미분된 1차원 질량보존방정식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(UAC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( E_x A \frac{\partial C}{\partial x} \right) + AS_L + AS_B + AS_K \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 분할된 구획을 연결하는 수로의 단면적,  $C$ 는 분할된 구획의 수질 항목 농도,  $U$ 는 흐름 방향의 유속,  $E_x$ 는 흐름 방향의 확산 계수,  $S_L$ ,  $S_B$ ,  $S_K$ 는 각각 특정 구획에 직접 유입되는 오염부하율, 경계 구역에서의 오염부하율, 반응에 의한 동적 변화율이다. 이 지배 방정식은 모의발생 하고자 하는 수질 항목의 수만큼 형성되며 복잡도 4단계 이상의 경우, 8개로 구성되고 각각은 모의할 8개의 수질 항목의 반응식을 포함한다. 주요 파라메타의 반응 계수는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Major reaction coefficients of WASP5 with definitions.

Code number	Coefficients	Unit	Definition
11	K12C	day <sup>-1</sup>	Nitrification rate at 20°C
13	KNIT	mgO <sub>2</sub> /L	Half-saturation const. for nitrification oxygen limitation
21	K20C	day <sup>-1</sup>	Denitrification rate at 20°C
23	KNO3	mgO <sub>2</sub> /L	Half-saturation const. for denitrification oxygen limitation
71	KDC	day <sup>-1</sup>	BOD deoxygenation rate at 20°C
91	K71C	day <sup>-1</sup>	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen
100	K83C	day <sup>-1</sup>	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus

### 모형의 적용

#### 대상 유역의 선정

본 연구에서는 WASP5 모형의 적용 수계로서 수문 및 수질 자료를 비교적 체계적으로 관측하고 있는 경기도 이천시, 용인시, 광주군 일부를 포함하는 복하천 상류 유역을 선정하였다.

시험 유역에서 차지하는 복하천의 유로 연장은 17km이고, 유역의 면적은 80km<sup>2</sup>으로서 임야가 64%, 농경지가 27%인 전형적인 농촌 유역이다. Fig. 1과 같이 13개 소유역(WS1~WS13)을 기준으로 상류측 경계는 10개 주요 지류와 1개의 하수처리장이며, 하류측 경계는 복하천 하류부의 주미교이다. 분할 구획은 평균 길이가 350m인 37개 구획으로 구성되었다.

### WASP5 모형의 보정

#### 입력 자료 추정

기상자료 중 일사량은 수원 기상대, 풍속 등 기타 기상 자료는 이천 관측소 자료의 5개년 평균치(기온, 풍속, 일조율 등)를 사용하였으며, 소유역으로부터의 유입 유량은 주미교 지점의 자기 수위 기록과 수위-유량 관계식으로부터 환산한 순별 평균 유량을 유역 면적에 대한 비율로 배분하여 구하였다.

측정하지 않은 유기 질소와 유기인은 TN, TP와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 등과의 관계로부터 다음과 같이 계산하여 추정하였다.

$$\text{Org-N} = \text{TN} - \text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$$

$$\text{Org-P} = \text{TP} - \text{PO}_4^{3-}$$

#### 모형의 입력 자료

WASP5의 주요 입력 자료는 다음과 같다.

- ① 모형 수행을 위한 기본 자료 - 모형의 구성 및 입출력 제어
- ② 구획간의 연결 특성 - 단면적, 특성길이, 확산계수, 부피, 수리계수
- ③ 흐름특성 자료 - 유량 및 흐름방향
- ④ 경계조건 및 오염부하량 자료 - 경계구획의 수질농도 /오염부하량
- ⑤ 환경 매개변수 및 상수와 기상자료등
- ⑥ 수질 항목의 초기농도 및 용존율

BOD, DO, N(3가지), P(2가지)의 7개 수질항목을 대상으로 모의 발생하였으며, 계산시간 간격은 출력화일에서 제시한 값 중 최소값을 재입력하였다. 모의발생 옵션은 계산된 농도가 0 이상인 값을 갖도록 하는 것과 후방차분법을 선택하고 10일 간격으로 각 구획별 수질 항목별 계산 결과를 출력하도록 하였다.

모형의 구성은 복하천 하천 정비 기본계획<sup>11)</sup>을 참고하여 Fig. 1과 같이 수리적으로 비슷한 특성을 지닌 37개 구획으로 하고, 각 구획의 단면적, 특성 길이, 부피 등을 결정하였다.

수리 및 수질 자료는 서울대 농공학과에서 수행 중인 복하천 유역의 조사 자료를 이용하였고, 수리 계수는 측정된 유량, 유속 및 수심 자료를 기초로 회귀 분석을 통하여 결정하였다.

유량은 주미교 지점의 자기 수위 기록과 수위-유량 관계식으로부터 환산하여 사용하였으며(Fig. 2 참조), 흐름장(Flow fields)은 10일 단위의 하천 유량 및 하수처리장 방류 수량과 각각의 흐름 방향을 나타내는 2개의 세트르 입력하였다.

경계조건 수질은 월별 부하량으로 입력하였으며, BOD, N, P의 6개 항목(7개중 DO 제외)의 월부하량 및 연평균 부하량은 첫째, 인구·산업·가축(생활계, 축산계, 산업계, 자연계) 등의 발생부하량을 각각의 소유역별로 구하고, 둘째, 발생부하량에 원단위를 곱하여 배출부하량(Table 2 참조)을

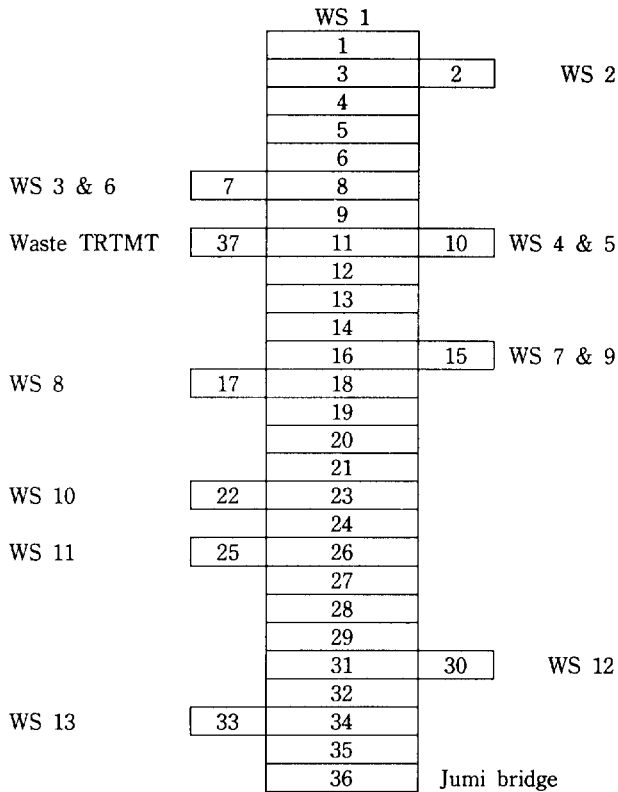


Fig. 1. Schematic diagram of Bokha stream.

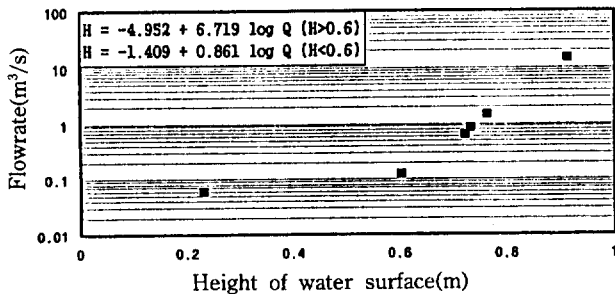


Fig. 2. H-Q relationship at Jumi bridge[Seg. 36].

Table 2. Amount of Pollutant loads from watersheds. (Unit : kg/day)

Subwatershed	Pollutant loads produced			Pollutant loads discharged		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
WS#1	153.4	147.9	7.8	71.4	89.7	5.0
WS#2	421.2	255.3	29.0	114.9	39.0	1.5
WS#3	183.4	948.8	115.1	24.6	28.1	1.5
WS#4	903.5	328.7	56.9	94.7	132.5	7.9
WS#5	194.4	455.1	141.0	16.1	19.9	1.4
WS#6	753.6	268.4	2.5	10.4	18.9	4.8
WS#7	314.5	193.5	19.2	8.5	18.8	1.0
WS#8	341.5	111.1	27.1	32.2	108.5	13.0
WS#9	318.2	16.7	2.0	11.0	12.8	1.0
WS#10	773.9	737.0	42.9	55.3	79.2	3.3
WS#11	504.2	365.8	27.3	53.6	95.8	7.5
WS#12	736.7	301.6	46.8	52.8	71.0	4.2
WS#13	598.5	650.5	33.2	32.0	45.4	3.0
Total	6197.0	4780.4	550.8	577.5	759.6	55.1

계산하였으며, 셋째, 월별 측정농도 및 유량으로 월별 유출 부하량을 계산하고, 넷째, 배출부하량과 유출부하량으로부터 월별 유달율과 연평균 유달율을 (Table 3~5 참조) 구하였으며, 다섯째, 계산한 유달율에 배출부하량을 곱하여 계산하였다. 모의발생은 앞에서 계산한 월부하량 및 연평균부하량을 각각 입력자료로 하여 수행되었다.

유달율이 100%를 초과하는 것은 원단위의 오류와 축산 분뇨의 재이용 등이 고려되지 못하였기 때문으로 판단되며 이를 보완하는 작업이 진행중이다.

보정에 사용한 계수는 암모니아 관련 3개를 포함하여 모두 17개였으며, 기상 자료는 일사량, 일조율, 풍속, 수온 등 4가지를 입력하였다.

각 수질항목의 용존율은 모형에서 제시한 값을 그대로 이용하였으며, 모의발생 초기 농도는 연평균 수질 농도를 입력하였다.

Table 3. Runoff ratio for BOD

(Unit : %)

Sub-Watershed	Month												Annual mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
WS#1	--	--	33	67	82	101	229	551	177	122	--	--	170
WS#2	--	--	15	13	15	23	54	91	37	10	--	--	32
WS#3	--	--	25	54	28	104	241	469	239	44	--	--	151
WS#4	--	--	137	263	--	63	143	402	100	63	--	--	158
WS#5	--	--	137	263	--	63	143	402	100	63	--	--	158
WS#6	--	--	25	54	28	104	241	469	239	44	--	--	151
WS#7	--	--	51	41	112	111	383	661	198	116	--	--	209
WS#8	--	--	85	202	--	62	77	252	165	197	--	--	142
WS#9	--	--	51	41	122	111	383	661	198	116	--	--	209
WS#10	--	--	34	32	96	76	132	475	85	34	--	--	121
WS#11	--	--	25	48	90	80	260	379	105	92	--	--	135
WS#12	--	--	37	60	--	51	116	264	--	--	--	--	85
WS#13	--	--	158	162	--	90	261	281	--	--	--	--	176

-- : Missing data or no flow condition

Table 4. Runoff ratio for TN

(Unit : %)

Sub-Watershed	Month												Annual mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
WS#1	-	-	14	35	49	69	120	64	78	73	-	-	63
WS#2	-	-	18	28	9	69	76	75	59	37	-	-	46
WS#3	-	-	23	27	84	39	76	61	34	56	-	-	50
WS#4	-	-	17	23	-	50	54	56	22	50	-	-	38
WS#5	-	-	17	23	-	50	54	56	22	50	-	-	38
WS#6	-	-	23	27	84	39	76	61	34	56	-	-	50
WS#7	-	-	32	40	36	75	151	224	117	68	-	-	93
WS#8	-	-	7	6	-	5	19	26	17	16	-	-	12
WS#9	-	-	32	40	49	69	120	64	78	73	-	-	93
WS#10	-	-	18	51	44	77	79	256	54	86	-	-	83
WS#11	-	-	20	20	41	47	96	48	40	44	-	-	45
WS#12	-	-	12	16	-	33	86	21	-	-	-	-	27
WS#13	-	-	25	29	-	99	148	-	-	-	-	-	52

- : Missing data or no flow condition

Table 5. Runoff ratio for TP

(Unit : %)

Sub-Watershed	Month												Annual mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
WS#1	-	-	65	57	88	17	171	161	48	151	-	-	95
WS#2	-	-	92	132	134	22	101	92	64	28	-	-	83
WS#3	-	-	33	39	33	5	63	20	22	3	-	-	27
WS#4	-	-	53	56	43	37	122	45	27	12	-	-	50
WS#5	-	-	53	56	43	37	122	45	27	12	-	-	50
WS#6	-	-	35	39	33	5	63	20	23	3	-	-	27
WS#7	-	-	65	31	74	24	109	199	68	21	-	-	73
WS#8	-	-	6	7	-	3	17	23	19	14	-	-	12
WS#9	-	-	65	31	74	24	109	199	68	21	-	-	73
WS#10	-	-	81	107	45	5	228	26	26	8	-	-	66
WS#11	-	-	34	47	25	12	40	7	24	38	-	-	28
WS#12	-	-	72	38	-	10	110	123	-	-	-	-	865
WS#13	-	-	61	86	-	16	124	-	-	-	-	-	85

- : Missing data or no flow condition

## 모형의 매개 변수 보정

모형의 수리학적 추정 매개변수인 확산계수와 계산시간 간격은 모의발생 시간을 최대한 줄이고자 모의발생 과정에서 계산하여 제시한 값을 재입력 하였다.

그리고 차후 진행될 장래예측 연구나 여러 부하량 삭감에 따른 대안제시 연구에서 활용하기 위하여 측정농도 대신 경계 조건으로의 부하량을 월별로 입력하여 측정 농도로 조정된 후, 유기질소와 유기인, 암모늄, 질산, 인산, BOD, DO 관련 계수순으로 보정 하였으며, 상위 순위의 계수고정시 하위 순위의 농도를 보정할 수 없을 때 상위 계수부터 보정하는 시행착오법을 사용하였다.

본류구간 구획인 6, 9, 16, 19, 21, 24, 29, 32, 36(Fig. 1 참조)에 대하여 실측 농도와 계산농도를 비교하였으며, 오차의 자승 합이 최소가 되는 계수를 선택하였다. 보정된 계수는 Table 6에 나타내었다.

KDC(71,BOD)를 제외하면, 대부분의 보정값이 WASP5

Table 6. Calibrated values for main reaction coefficients.

Name of coefficient with code number	Manual	This study
K12C(11)	0.09~0.13	0.80
K20C(21)	0.09	0.005
KDC(71)	0.16~0.21	0.15
K2(82)	-	0.25
K71C(91)	0.075	0.05
K83C(100)	0.22	0.01

Manual에 제시된 값과 큰 차이를 보이는데, 그 이유는 대 상유역이 하구<sup>10)</sup>가 아니라 유속과 물질의 순환이 빠르며, DO 농도가 높은 상류의 소하천이기 때문으로 판단된다.

K12C(11, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)의 값이 큰 것은 암모늄이 질산으로 빠르게 산화되는 것을 의미하며, K20C(21, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 작은 것은 DO의 농도가 상대적으로 높아(평균 8.8mg/L) 탈질이 거의 일어나지 않음을 반영한 것으로 생각된다.

모형의 보정 결과 분석

상류경계조건에서의 BOD, TN, TP

연평균 유달율을 고려한 평균 유출부하량을 입력시, Table 7에서 보듯이 상류 경계에서의 예측치와 실측치의 BOD, TN, TP 상관계수는 각각 0.404, 0.178, 0.379으로 나타나 경계 조건에서의 농도 변화를 올바르게 표현하지 못하는 것으로 나타났다. 그러므로 연평균 유출부하량을 입력하여 예측한 과거의 적용 사례<sup>5,12,13)</sup>는 타당한 예측이었다고 할 수 없을 것이다.

그러나 월별 유달율을 적용한 유출부하량의 입력결과는 Table 7과 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 상류 경계에서의 예측치와 실측치의 BOD, TN, TP 상관계수는 각각 0.999, 0.991, 0.994로 나타났다. 그러므로 월별 유달율을 고려한

Table 7. Comparison of annual runoff ratio and monthly runoff ratio at upper Boundary Condition.

Divide	Annual runoff ratio		Monthly runoff ratio	
	Regression	Correl. coef.	Regression	Correl. coef.
BOD	Obs.=0.749×Sim.	0.404	Obs.=0.994×Sim.	0.999
TN	Obs.=0.767×Sim.	0.178	Obs.=0.967×Sim.	0.991
TP	Obs.=0.788×Sim.	0.379	Obs.=0.994×Sim.	0.994

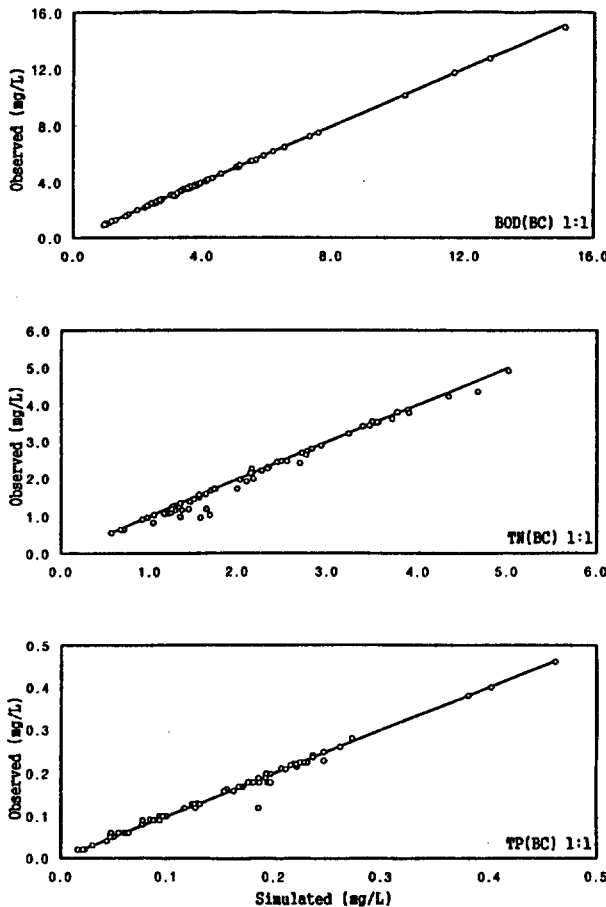


Fig. 3. Correlation between simulated and observed values for BOD, TN, TP at upper boundary.

부하량으로 추정된 경계조건의 예측농도가 실측농도와 거의 일치하므로 경계조건에서 부하량의 변동이 생길 때 유입농도를 예측하기 용이할 것이다. 따라서 앞으로 GIS 등을 이용하여 발생오염 부하량을 산정한 경우 그리고 유역의 최적관리(BMP's)를 통한 발생량 저감, 처리장의 신·증설 등 경계조건이 변경된 경우에 시기별 유달율을 고려하여 자료를 입력하면 여러 대책에 따른 하천에서의 정확한 수질농도 예측 및 수질개선효과 파악이 용이할 것으로 기대된다.

하류경계조건(주미교)에서의 BOD, TN, TP

월별 유달율을 고려하여 입력한 부하량으로 모의발생한 결과는 Fig. 4와 같다. 하류 경계인 주미교([36]구획)의 모의발생 농도는 Table 7에 나타낸 상류 경계의 결과보다 실측치와 많은 차이를 나타내고 있다. BOD, TP 농도는 실측치에 비교적 근접하였으나, TN 농도는 계산치가 약간 크게 나타났다. 이것은 유역의 면적비율로 상류 경계에서의 유량을 추정한 것에 기인된 것으로 판단된다.

유역 말단인 [36] 구획의 농도 자료가 각각 8개뿐인 까닭에 상관분석을 실시하지 않았다. 모의발생 결과, 북하천 말단의 BOD농도가 3ppm을 초과하는 수준으로 상수원수 2~3급 수준이었으며, 본문에 나타내지는 않았으나 DO는 하천 상류의 특성상 대부분 8ppm 이상으로 양호한 수준을

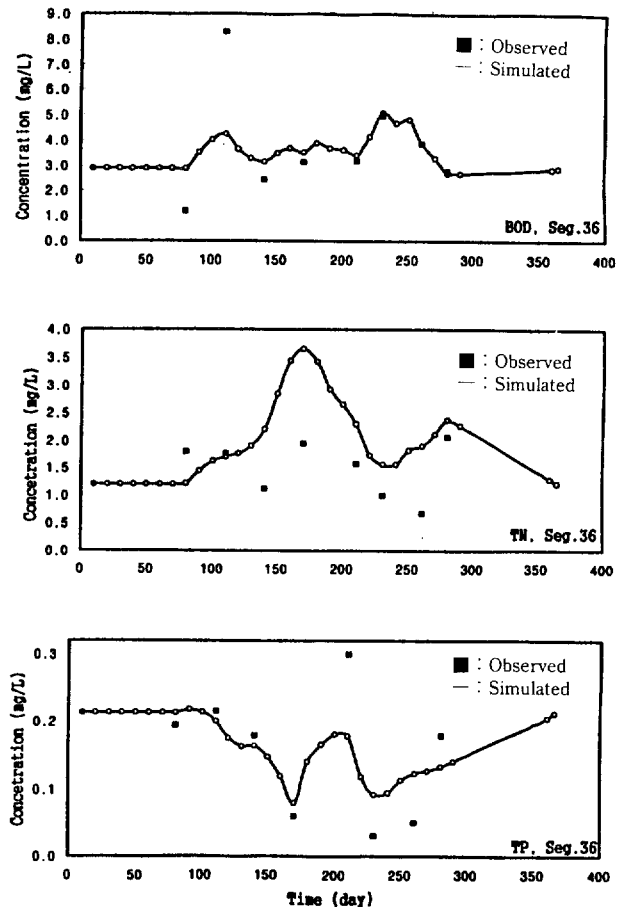


Fig. 4. BOD, TN and TP concentrations with time in Jumi Bridge [Seg. 36].

보였다. TN과 TP의 경우는 축산폐수 등의 영향으로 각각 2ppm, 1.6ppm으로서 상당히 높은 수준이었다.

## 요 약

하천 수질예측 모형으로서 WASP5 모형을 선정하고, 북하천에 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 년평균 유달율을 적용한 결과, 실측치와 계산치 사이에 큰 차이가 나타내므로 시간을 고려한 동적모의발생을 위해서는 계절에 따른 유달율의 변화를 반영하여야 할 것이다.
2. 월별 유달율을 고려한 부하량을 입력하여 계산한 결과, 실측치와 계산치가 거의 일치하므로 유역으로부터의 부하량을 이용한 하천수질 예측모형으로서 WASP5 모형의 활용이 기대된다.
3. GIS를 이용한 부하량 산정, 유역의 최적관리(BMP's)를 통한 발생량 저감, 처리장의 신·중설 등 경계조건이 변동된 경우, 본 WASP5모형에 시기별 유달율을 고려한 자료가 입력된다면 하천수질농도의 예측이나 수질개선효과의 파악이 용이할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 권순국, 유명진, 임종완, 임창영(1994). 농어촌용수 환경관리에 관한 연구(Ⅲ), 94-05-16, 농어촌진흥공사, 농림수산부 : 370.
2. KAIST(1987). 수계별 수질예측 수치모델의 개발(4차) : 1~5.
3. 오경미, 조순행, 유희찬(1995). 남한강 실측치와의 통계적 비교를 근거로 한 수질예측모형의 적용성 평가, 한국수질보전학회지 11(4) : 311~321.
4. 김성홍(1990). 감조하천에 대한 정상상태 수질모형의 적용, 서울대 환경대학원 석사학위 논문 : 1~3.
5. 신동석, 유명진, 이상호, 김영란(1993). 도시하천 수질관리 방안 연구, 서울시정개발연구원 : 163~206.
6. 성기준(1993). 하천 수질모형의 비교분석에 관한 연구, 서울대 대학원 석사논문 : 1~3.
7. 신동석, 구분영, 배준현, 김진섭(1995). 안양천등 관내 하천 오염실태에 관한 연구, 안양시 : 58~71.
8. 박영진(1996). 농촌유역 소하천에 대한 WASP4의 적용, 서울대 석사학위논문 : 1~2.
9. 이길성, 여윤광, 전경수, 윤병만(1992). 수도권 광역상수도 5단계 타당성조사 및 기본계획, 서울대 토목공학과 수리연구실 : 1-1~6-2.
10. U.S. EPA(1994). WASP5 User's Manual, and Programmer's Guide : Part A : 1~209, Part B : 1~80.
11. 경기도(1984). 북하천 하천정비 기본계획 : 부록(북하천 중형단도).
12. 신동석, 유명진, 조용모, 강선균, 외. 1993, 팔당호와 한강하류에 대한 수질모형의 적용, 서울시정연구 1(1) : 4~24.
13. 한강관리사업소(1993). 한강하류 수질보전 대책수립 조사 보고서, 서울시 : 269~378.
14. 기상청(1995), 기상월보.