

## Tank모델에 의한 영일만 유입오염부하량의 계절변동 예측

이인철<sup>(1)</sup>

### Seasonal Variation Estimation of Inflow Pollutant Loads of Yeong-il Bay by using Tank Model

by  
In-Cheol Lee<sup>(1)</sup>

#### 요 약

형산강 유역의 일별 하천유량과 오염부하량을 산정하기 위한 유역유출모형(강우-유출모형)인 Tank 모델을 구축하여 영일만으로 유입하는 오염부하량의 계절별 변동특성에 대해 검토하였다. 산정된 영일만으로 유입되는 형산강의 연평균 하천유량은  $878.34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 로 형산강 유역면적내 연평균 총강우량의 약 73%로 나타났다. 영일만내 유입되는 연평균 오염부하량은 각각 15.11 ton-COD/year, 23.24 ton-SS/year, 10.65 ton-TN/year, 0.54 ton-TP/year로 산정되었다. 또한 계절별 변동특성으로 하천유량이 증가하는 하계 6~7월과 춘계 10월에 유입오염부하량도 증가하는 경향을 보였다. 영일만으로 유입하는 주된 오염부하원은 형산강 하구인근에 위치한 포항시와 포항공단인 것으로 밝혀졌다. 따라서 영일만의 효율적인 수질관리를 위해서는 오염부하원으로부터의 오염부하량 저감대책수립이 요구된다.

#### Abstract

This study investigated about the seasonal variation of pollutant loads flowing into the Yeong-il bay from constructing Tank model which is the simulation model to evaluate the daily river discharge and pollutant load in the Hyeong-san river watershed. The estimated annual average river discharge of Hyeong-san river flowing into Yeong-il bay is about  $878.34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  which is about 73% of annual average of total precipitation in Hyeong-san river watershed. The annual average of pollutant load flowing into Yeong-il bay was estimated each 15.11 ton-COD/year, 23.24 ton-SS/year, 10.65 ton-TN/year, and 0.54 ton-TP/year. For the seasonal variation of pollutant loads, it was tended as increasing of river discharge as increasing of inflow pollutant loads at June and July of summer and October of autumn. The main source of pollutant loads was found to be the Pohang city and Pohang industrial complex which are located near the mouth of Hyeong-san river. Therefore, for effective water quality management of Yeong-il bay, the counterplan to reduce pollutant loads from the main source of pollutant loads is required.

Keywords: Hyeong-san river(형산강), Yeong-il Bay(영일만), Tank model(탱크모델), Daily river discharge(일별하천유량), Pollutant load(오염부하량), Seasonal variation(계절변동).

(1) 정회원, 부경대학교

## 1. 서 론

동해안 영일만내로 유하하는 형산강은 Fig. 1에서와 같이 경주 및 포항지역의 주요 상수원이며, 공업용수 및 농업용수로 이용되는 주요 수자원이지만, 하상 경사가 크고 유하거리·유하도달시간이 작은 지형적 특성으로 인해 평상시 하천유량이 빈약하고 하천의 자정능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다(경주상공회의소 등[1996]). 이로 인해 하천수질오염이 유발될 수 있을 뿐만 아니라, 영일만내 오염하천수 유입시 적조 또는 부영양화 현상을 초래할 가능성이 높다. 특히 영일만내로 유입되는 수계 중 유역면적이 가장 큰 형산강 유역은 논과 밭이 약 16%정도이고, 802.69km<sup>2</sup>의 면적을 차지하는 임야가 총면적의 71.2%를 점유하고 있어 비점오염원에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다(이 등[2001]).

그러나 영일만을 비롯하여 우리나라 대부분의 연안역 수질예측모형 수립시 기초자료가 되는 수문자료나 유입오염부하량에 대한 자료가 빈약할 뿐만 아니라, 대체로 월별 또는 계절별 관측치를 대표값으로 이용하거나 관측자료를 임의 보정 후 입력자료로 사용하고 있는 실정이다(이 등[2001]). 이와 같은 간헐적인 측정방법은 중·장기적인 수량변동을 반영하거나 계절적인 변동성을 정성적·정량적으로 평가하기가 곤란하므로, 강우시의 하천유량 및 오염부하량의 시간변동 특성을 파악할 수 있는 일별 강우-유출모형의 구축이 요구되어지고 있다(김 등[2003]; 이 등[1998]; 조 등[1998]). 이러한 측면에서 영일만 또한 해역수질관리를 위해 형산강을 비롯한 영일만내로 유입되는 유입오염부하량의 정량적 평가 및 효율적 관리대책이 요구되어지고 있다(강 등[2002]).

이에 본 연구는 비교적 간단한 유역유출모형(강우-유출모형)을 구축하고, 영일만내로 유출되는 가장 큰 하천인 형산강의 일별 하천유출량을 추정하였다. 또한 대상유역의 인구, 토지이용상황, 가축수, 공장부지 등 형산강 유역특성을 고려하여 영일만으로 유입되는 오염부하량의 계절변동에 대하여 검토하였다. 이를 통해 형산강으로부터 유출되는 일별 오염부하량을 산정할 수 있는 모형을 구축함과 아울러 유입오염부하량의 계절별 변동특성을 고려한 영일만의 체계적 유역·수질관리 및 효율적 오염물질관리 대책수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

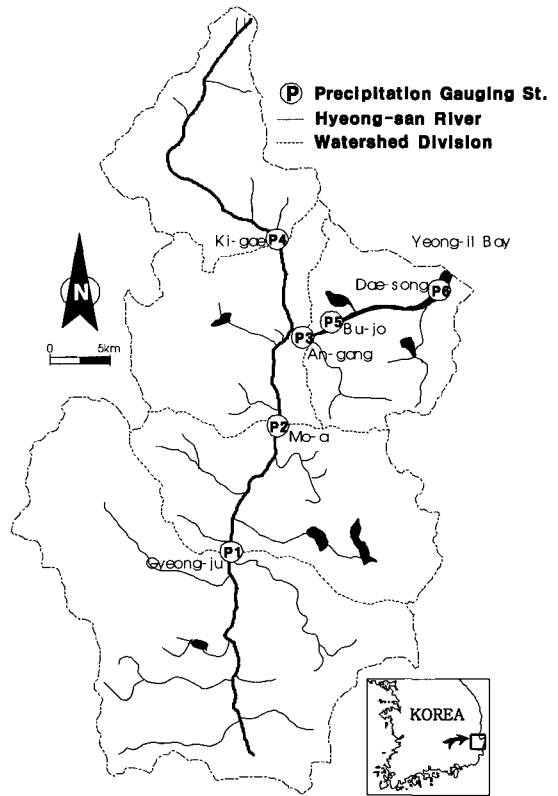


Fig. 1 Division of Hyeong-san river watershed.

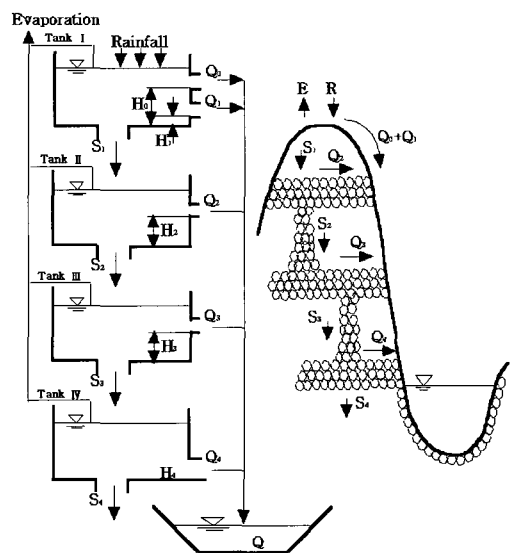


Fig. 2 Schematic of the Tank model.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 유역유출모형 구축

#### 2.1.1 Tank모델 개요 및 구성

Tank 모델은 이수계획시 필요한 일단위 장기유출량을 추정하는데 최근 많이 사용되는 모형으로(Yokoo et al.,[2001]; Hashino et al.,[2002]) 대부분의 다른 유출 모형이 복잡한 구조와 매개변수를 보정하는데 있어 많은 실측자료를 필요로 하는데 반해, Tank 모델은 모형 구조의 단순성과 적은 양의 입력자료가 요구된다는 점에서 좋은 모형으로 평가받고 있다(菅原正己[1986]; 李等[1996]).

본 연구는 일별 하천유출량을 산정하기 위해 Fig. 2와 같이 4개의 Tank가 직렬로 배치된 cascade 모델을 구축하였다. 본 Tank 모델은 하천유출량을 근사적으로 1단은 표층유출(단기유출, 2일 이내), 2단은 중간유출(약1주일정도), 3단은 준기저유출(2~3개월 정도), 4단은 기저유출(년 단위정도)의 반감기를 가진 4개 성분의 합으로 표시한 것으로, Fig. 2의 우측에 나타내어진 지하수의 단층적 구조를 단순화시킨 모형이다. 이는 강우가 발생하면 각 Tank의 우측 유출공과 바닥 침투공을 통해 물이 저류되며, 해당 유출공의 높이에 수위가 도달하면 물이 하천으로 유출된다는 개념으로서, 각 Tank의 유출공에서 유출되는 유출량의 합계를 유역의 총유출량으로 산정하는 모델이다. Tank 모델내 첫 번째 Tank의 기본식은 다음과 같다.

$$X_1 = X'_1 + R - E \quad (1)$$

$$Q_0 = A_0 \cdot (X_1 - H_0) \quad (2)$$

$$Q_1 = A_1 \cdot (X_1 - H_1) \quad (3)$$

$$S_1 = B_1 \cdot X_1 \quad (4)$$

여기서, R : 강우량(mm/day), E : 증발산량(mm/day),  $Q_0, Q_1$  : 표층 및 1단 유출량(mm/day),  $A_0, A_1$  : 표층 및 1단 유출계수,  $H_0, H_1$  : 표층 및 1단의 바닥에서 유출공까지의 높이(mm),  $X_1$  : 저류고(mm),  $X'_1$  : 전일 1단 저류고(mm),  $S_1$  : 침투량(mm/day),  $B_1$  : 침투계수이다. 또한 두 번째 이하 Tank에서의 기본식은 다음과 같다.

$$X_i = X'_i + S_{i-1} - E \quad (5)$$

$$Q_i = A_i \cdot (X_i - H_i) \quad (6)$$

$$S_i = B_i \cdot X_i \quad (7)$$

여기서,  $Q_i$  : i단의 유출량(mm/day),  $A_i$  : i단의 유출계수,  $H_i$  : i단의 바닥에서 유출공까지의 높이(mm),  $X_i$  : i단의 저류고(mm),  $X'_i$  : 전일의 i단 저류고(mm),  $S_i$  : i단의 침투량(mm/day),  $B_i$  : i단의 침투계수이다. 최종적으로 각 Tank의 유출량을 구하고 다음 식(8)을 통해 하천유출량으로 산정한다.

$$Q \text{ (m}^3\text{/sec)} = (Q_0 + \sum_{i=1}^n Q_i) \times \text{유역면적 (km}^2\text{)} / 86.4 \quad (8)$$

#### 2.1.2 계산조건

Tank 모델을 적용하여 일별 하천유출량을 산정할 대상유역은 경주시와 포항시, 울산광역시 울주군 일부를 포함하는 형산강 수계로 Fig. 1과 같이 5개 소유역으로 분할하였다. 수위관측소를 나타내는 ①는 하천유출시 경주(P1), 모아(P2), 안강(P3), 기계(P4), 대송(P6)의 5개 소유역의 최종 하단부를 나타내며, 하천유출량 산정결과와 검증 지점에 해당한다. Table 1은 매개변수 추정시 사용된 5개의 각 소유역별 전답, 산림의 토지이용현황을 나타낸다.

Tank 모델 구축시 요구되어지는 매개변수는 총 18개로서 시간불변 매개변수와 시간변동 매개변수로 구분할 수 있는데, 전자는 유출공계수, 유출공 높이 및 침투공계수 등이 있고, 후자로는 탱크의 저류고를 들 수 있다. 본 연구에서는 대

Table 1 Characteristics of each sub-watershed.

Watershed	Area (km <sup>2</sup> )	Area Ratio(%)	Land use(%)		
			Paddy	Upland	Forest
Gyeong-ju (P1)	445.2	38.9	15.1	5.4	67.5
Mo-a (P2)	646.3	56.5	15.0	5.8	65.3
An-gang (P3)	985.3	86.1	14.5	6.0	67.1
Ki-gae (P4)	145.7	12.7	10.8	6.6	72.2
Dae-song (P6)	1144.1	100	14.7	6.0	66.9

상유역에 대한 유출량자료의 미비로 적절한 매개변수의 보정이 불가능하므로 Table 2와 같이 김[1987]과 한국수자원공사[1989, 1992]의 연구자료에서 제시된 매개변수와 유역 지상인자와의 상관 관계식을 이용하여 구하였으며, 기존 자료에서 얻지 못하는 매개변수는 유역면적비에 따른 도해적 방법과 수치해석법을 이용한 시행착오법을 사용하여 구하였다. Table 3은 하천유량의 관측치와 계산치의 최소자승법을 통해 선정된 최종 매개변수들을 나타낸 것이다.

### 2.1.3 민감도 분석

민감도 분석은 상대민감도를 표현한 다음 식(9)를 적용하였다.

$$S_r = \frac{\partial R/R}{\partial P/P} \quad (9)$$

여기서, P는 매개변수를 나타내며, R은 해당매개변수 값에 대한 모델의 결과치를 나타낸다. 상대민감도는 매개변수들의 상대적 중요성을 나타내는 것으로 모델의 결과에 미치는 영향을 알 수 있다(정 등[2001]). 본 모델의 매개변수 민감도 분석에서 대상으로 하는 영역은 형산강 유역 내 안강(P3) 수위관측소 지점이며, 매개변수의 민감도 분석을 실시하기 위해 각 매개변수가 -50%~+50%까지 변화됨에 따른 유출량 계산치를 초기모델산정 유량과 비교하는 방법을 사용하였다.

### 2.2 일별 하천유량 산정

구축되어진 Tank 모델을 이용하여 일별 하천유출량 산정의 수치실험은 1995년부터 2001년까지(7년간)이며, 포항관측소의 일별 강우량 및 증발산량 자료(기상청[1995~2001])를 이용하여 하천유출량을 산정하였다(Fig. 3). 특히, 증발산량 자료가 매월 상·중·하수에 해당하는 평균치이므로 계산데이터 입력시 일별 증발산량으로 환산한 후 입력하였으며, 일별 하천유량 계산결과의 검증은 건설교통부 낙동강 홍수통제소[1999, 2000] 관측소별 유량측정 성과자료를 이용하였다.

이상과 같이 구축되어진 일별 하천유출량 산정모형에 의해 각 소유역별의 일별 하천유출량을 추정하였으며, 7년간의 대상기간 중 강우량이

Table 2 Relations between Tank model parameters and watershed characteristics(Kim[1987]).

Regression Eq.	Correlation coef.	F-values
X4=43.686(lnA)+37.159	0.9998	29674.0
B1=-0.070(lnA)+0.470	-0.969	138.37
B3=-0.00618(lnA)+0.0351	-0.931	58.89
B2=0.00998P+0.111	0.998	4177.5
A0=-0.00175F+0.333	-0.996	1312.5
A1=-0.00411P+0.169	0.996	1302.1
A2=0.00657U+0.163	0.985	303.2
A3=-0.000267U+0.00912	-0.972	155.7
H1=16.68(lnA)+24.20	0.9998	34408.0
(lnH3)=-0.0934U+2.0904	-0.688	8.1

※ A=Area(km<sup>2</sup>) F=Forest(%) P=Paddy(%) U=Upland(%)

Table 3 Tank model parameters of each sub-watershed.

Param-eters	Gyeong-ju(P1)	Mo-a(P2)	An-gang(P3)	Ki-gae(P4)	Dae-song(P6)
x1	0	0	0	0	0
x2	0	0	0	0	0
x3	35	35	35	35	35
x4	303.6	319.6	338.3	254.8	344.8
A0	0.215	0.219	0.216	0.207	0.216
A1	0.207	0.206	0.209	0.225	0.209
A2	0.099	0.101	0.103	0.106	0.102
A3	0.0077	0.0076	0.0075	0.0074	0.0075
A4	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
H0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
H1	125.92	132.14	139.17	107.29	141.67
H2	4.89	4.72	4.60	4.38	4.62
H3	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
H4	0	0	0	0	0
B1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
B2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
B3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
B4	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002

최대(1998년) 및 최소(1995년)인 연도의 홍수시와 갈수시의 하천유출특성에 대하여 검토하였다.

### 2.3 실시간 오염부하량 산정

유입오염부하량은 상기 모델에 의해 산정된 일

별하천유량 계산치와 1995년부터 2001년까지 환경부 수질관측망자료(환경부[2002]) 중, 형산강 유역 5개 지점에서 관측된 월별 평균 BOD, COD, SS, 총질소(TN), 총인(TP) 등의 5개 수질 항목을 기초로 하여 산정하였다. 각 소유역별 하천에서 발생하는 일별 오염부하량은 Tank 모델을 통해 산정된 1일 하천유량에 일별 수질변동값으로 환산된 수질오염물질 농도를 곱하여 구하였다. 이를 통해 소유역별 오염부하량의 연간 총발생량을 산정하였으며, 형산강 하천유량과 유입오염부하량의 계절 변동에 대하여 고찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 유역유출모형의 검증

##### 3.1.1 민감도분석

###### (1) Tank 유출공의 유출계수

Tank 유출공의 유출계수 값을 변화시켰을 경우 계산된 하천유출량을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 A0, A2, A3, A4의 경우 계수값 증가에 따라 유출공을 통한 유출량이 증가하는 것으로 나타나지만, A1의 경우 일정한 값으로 나타났다. 각 매개변수에 대한 상대민감도  $S_r$ 값은 각각 0.078, 0.0, 0.144, 0.139, 0.171이었다. 1단에서는 홍수시 유출의 경우 민감도가 크게 나타나는 반면, 2단(중간유출)과 4단(지하유출)의 경우 유출량은 하단 Tank로의 유출(지하로의 침투)보다 측벽 유출공을 통한 유출에 대해 더욱 민감한 것으로 나타났으며, 그 결과 총하천유량이 증가하는 것으로 나타났다.

###### (2) Tank 유출공의 높이

Tank 유출공의 높이에 대한 민감도 검토결과에 대해서는 Fig. 5에 나타내었다. 유출공 높이가 증가함에 따라 유출공을 통한 유출량이 감소하고, 그 결과 총유출량 또한 감소하는 것으로 나타났다. 각 매개변수에 대한 상대민감도  $S_r$ 값은 각각 -0.091, -0.007, -0.044, -0.025이었다. 이중 H0의 반응이 상대적으로 큰 것은 홍수시 지표층을 통한 유출량이 많음을 나타낸다.

###### (3) Tank 침투공의 침투계수

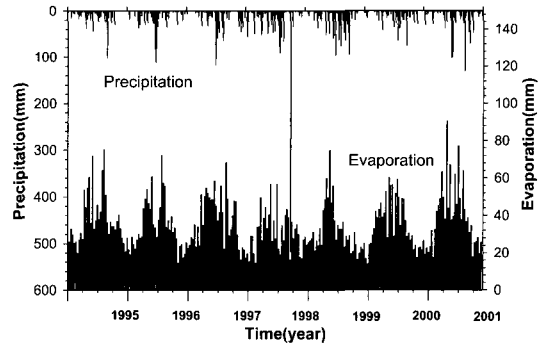


Fig. 3 Daily precipitation and Evaporation of Po-hang region.

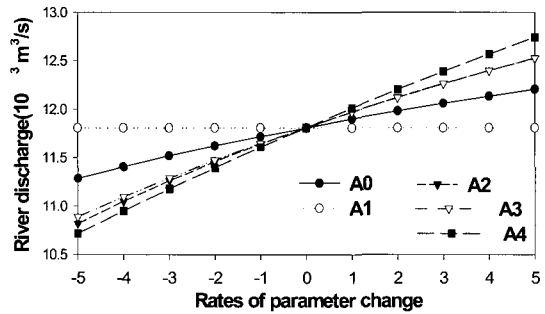


Fig. 4 Sensitivity of runoff coefficients.

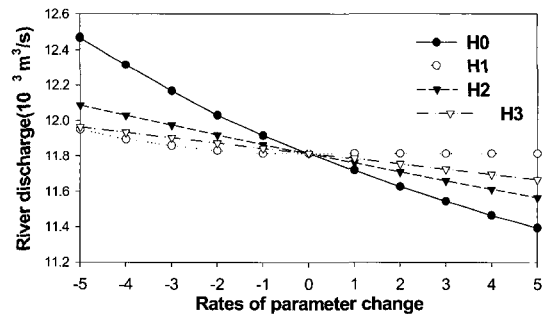


Fig. 5 Sensitivity of outlet heights.

Tank 침투공의 침투계수에 대한 민감도 검토결과에 대해서는 Fig. 6에 나타내었는데, 침투계수가 증가함에 따라 총유출량은 감소하는 경향을 나타내었다. 각 매개변수에 대한 상대민감도  $S_r$ 값은 각각 -0.115, -0.189, -0.129, -0.006이었으

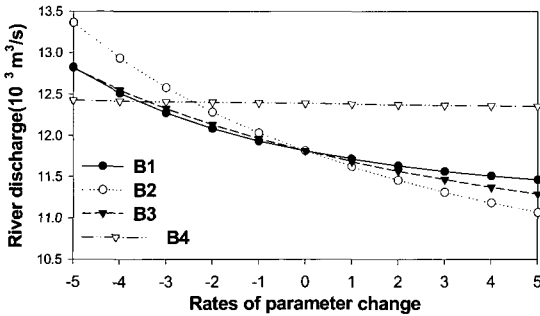


Fig. 6 Sensitivity of infiltration coefficients.

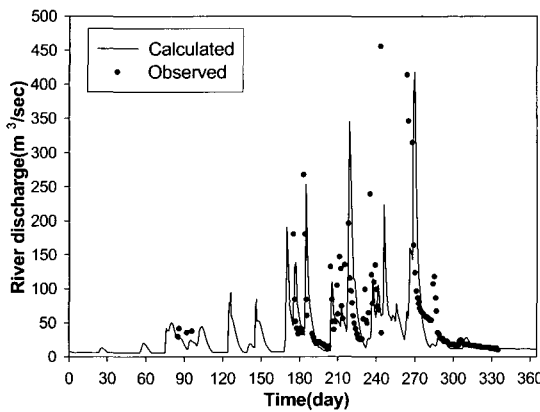


Fig. 7 Daily river discharge at An-gang of Hyeong-san river(year of 1999).

며, B2의 값이 다른 값들에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 정 등[2001]에 따르면 변수 B1이 홍수시 유출량에, 변수 B2는 저수시의 유출에 영향을 끼치는 것으로 보고한 바 있다. 본 연구의 계산결과 변수 B2가 변수 B1보다 월등히 큰 유출량의 변화를 보이는데, 이는 형산강 유역내 이수계획에 따라 저수지나 제방 등이 많다는 것을 감안하면 실제현상과 유사한 특성을 가진다고 생각된다.

이상의 민감도 분석결과를 통해서 Tank 모델 매개변수 중 A0, A2, A3, A4, H0, B2가 가장 민감한 변수임을 알 수 있다. 또한 이 변수값들이 -50%~+50%로 증감할 경우 하천 총유출량은 약 10~20%의 증감이 있는 것으로 나타났다.

### 3.1.2 하천유량검증

1999년 일별 하천유출량을 계산한 결과는 Fig. 7과 같다. 안강 수위관측소의 수위-유량곡선식에 의하여 얻어진 하천유량 관측치(검은점)와 Tank 모델에 의해 산정된 일별하천유량의 계산치(실선)는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

### 3.2 하천유량 산정결과

Table 4는 1995년부터 2001년까지 형산강 유역내 포항관측소의 연간 총강우량이 가장 적었던 1995년(744.8 mm)과 가장 많았던 1998년(1,977.6

Table 4 Monthly precipitation & evaporation and estimated river discharge(year of 1995 / 1998).

Month	Weather condition(mm)		River discharge( $\times 10^6$ m <sup>3</sup> /year)				
	Precipitation	Evaporation	Gyeong-ju	Mo-a	An-gang	Ki-gae	Dae-song
JAN	21.1 / 98.1	88.0 / 64.0	7.94 / 23.9	12.0 / 35.4	19.2 / 55.0	2.3 / 7.6	22.6 / 64.0
FEB	17.1 / 79.1	70.7 / 63.1	6.34 / 17.4	9.6 / 25.8	15.2 / 40.1	1.8 / 5.5	17.9 / 46.7
MAR	56.5 / 32.9	84.6 / 117.2	10.1 / 12.2	15.2 / 18.1	24.0 / 28.2	3.2 / 3.8	28.1 / 33.1
APR	64.7 / 135.0	152.2 / 109.5	14.9 / 33.1	22.3 / 48.7	34.6 / 75.1	4.7 / 10.7	40.3 / 87.2
MAY	69.1 / 117.5	167.7 / 130.1	13.5 / 30.3	20.1 / 44.4	31.4 / 68.4	4.3 / 9.7	36.6 / 79.5
JUN	64.4 / 194.2	115.1 / 91.1	16.3 / 36.4	23.9 / 53.5	37.0 / 82.3	5.2 / 11.8	43.1 / 95.5
JUL	116.9 / 356.7	143.5 / 97.8	22.8 / 83.7	33.6 / 122.3	52.0 / 187.1	7.5 / 27.7	60.4 / 217.0
AUG	221.7 / 253.1	161.9 / 101.3	27.7 / 83.1	40.8 / 121.3	62.5 / 185.7	8.9 / 27.0	72.6 / 215.5
SEP	68.4 / 618.4	100.1 / 98.1	45.6 / 21.9	66.7 / 31.5	102.3 / 48.0	14.9 / 6.8	118.7 / 56.1
OCT	43.7 / 62.9	103.1 / 97.0	18.3 / 212.4	26.7 / 309.3	40.9 / 471.6	5.8 / 70.1	47.6 / 546.7
NOV	1.2 / 15.1	100.8 / 82.9	9.9 / 22.2	14.5 / 32.1	22.2 / 48.9	3.1 / 6.9	25.9 / 57.1
DEC	0.0 / 14.6	73.5 / 72.1	7.1 / 17.4	10.4 / 25.3	16.0 / 38.8	2.2 / 5.5	18.7 / 45.3
Total	744.8 / 1,977.6	1,361.2 / 1,124.2	200.48 / 593.9	295.8 / 867.7	457.3 / 1,329.2	63.9 / 193.1	532.5 / 1,543.7

Table 5 Annual precipitation & evaporation and estimated river discharge.

Year	Weather condition(mm)		River discharge( $\times 10^6$ m <sup>3</sup> /year)				
	Precipitation	Evaporation	Gyeong-ju	Mo-a	An-gang	Ki-gae	Dae-song
1995	744.8	1,361.2	200.5	295.8	457.3	63.9	532.5
1996	953.1	1,247.5	263.1	386.7	596.3	84.5	693.8
1997	1,049.0	1,350.3	280.5	412.2	635.4	90.3	739.0
1998	1,977.6	1,124.2	593.9	867.7	1,329.2	193.1	1,543.7
1999	1,576.9	1,151.7	454.1	665.0	1,020.8	147.1	1,186.0
2000	912.8	1,274.6	245.6	361.3	557.6	78.7	648.9
2001	1,121.0	1,417.7	306.4	449.8	691.9	98.7	804.7
Mean(%)	8,335.2	8,927.2	2,344.1(38.1)	3,438.5(55.9)	5,288.5(86.0)	756.3(12.3)	6,148.6(100)

mm)의 월별 추정하천유출량을 각각 나타낸다.

홍수기(집중호우·태풍 등으로 강우량이 많은 7~10월)와 평수기의 하천유출특성을 살펴보면 1995년과 1998년의 홍수시 하천유출량은 각각 56.2%, 67.1%이었다. 이는 전국(도서포함) 하천유출량의 홍수시 68.42%, 평수시 31.58%와 비교하면 홍수시 유출율은 유사한 비율을 보였다.

또한 형산강 5개 소유역별 연평균 추정 하천유출량은 대송(P6)이  $878.34 \times 10^6$  m<sup>3</sup>로 가장 높았으며, 안강, 모아, 경주, 기계의 순으로 나타났다. 이를 각 유역별 하천유출비로 고찰하면 영일만과 접한 대송(P6)을 100%라 가정할 때 안강이 86.0%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 모아(55.9%), 경주(38.1%), 기계(12.3%)의 순으로 나타났다(Table 5). 이를 통해 유역면적이 넓은 경주지역으로부터의 하천유출이 많은 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 포항관측소의 강우 및 증발산량 자료와 각 소유역별 추정하천유출율을 나타낸 것으로 형산강을 통해서 영일만내로 최종 유입되는 하천유출량은 형산강 유역면적내 연평균 총강우량의 73.0%로 나타났다. 연도별로 유출율을 살펴보면 강우량이 비교적 많았던 1998년이 78.1%로 가장 높고, 강우량이 가장 적었던 1995년이 71.5%로 낮게 나타났다. 특히, 1997년의 경우 하천유출율이 가장 낮은 70.4%를 나타내었는데, 이는 강우량에 비해 증발산량이 많았던 것에 기인한 것으로 생각된다.

이상의 결과는 건설교통부(2000)가 제시한 형산강 연평균(69년~98년) 하천유출량  $585.0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>(유출비 44.1%)보다 약 26.2%, 한국수자원공사

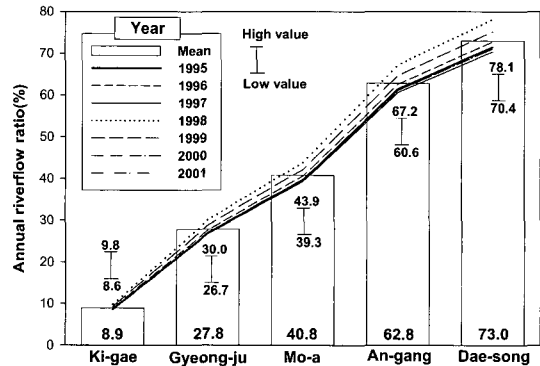


Fig. 8 Annual river discharge ratio.

(1992)의 하천유출량  $648.0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>(유출비 51%)보다는 약 19.3%가 큰 것으로 나타났다. 이는 본 연구가 기존 연구결과의 대상기간과는 차이가 있을 뿐만 아니라, 최근 1998년 및 1999년과 같이 연간 총강우량이 연평균 강우량보다 월등히 많이 발생한 연도를 포함하고 있어 상술한 유출비의 증가는 충분히 발생할 수 있다고 생각된다.

### 3.3 오염부하량 산정

Table 6은 일별 하천유출량계산치에 COD, SS, TN, TP의 농도값을 곱하여 산정된 형산강 수계 유역별 유출 오염부하량을 나타낸다. 오염부하량은 기계천과 경주 상류유역에서 상대적으로 적고, 모아와 안강유역을 지나면서 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 영일만 유입지점에 해당하는 대송에서의 연평균 총오염부하량은 각각

Table 6 Annual estimated pollutant loads in Heong-san river watershed.

Year	Pollutant loads(ton/year)																			
	Gyeong-ju(P1)				Mo-a(P2)				An-gang(P3)				Ki-gae(P4)				Dae-song(P6)			
	COD	SS	TN	TP	COD	SS	TN	TP	COD	SS	TN	TP	COD	SS	TN	TP	COD	SS	TN	TP
1995	-	-	-	-	2.7	2.5	2.2	0.15	4.5	6.8	3.2	0.16	0.2	0.2	0.4	0.03	9.7	11.7	8.1	0.17
1996	0.7	0.7	0.9	0.01	3.3	3.4	3.3	0.25	4.8	6.7	4.3	0.18	0.2	0.3	0.6	0.04	12.4	23.9	9.1	0.25
1997	0.7	0.6	0.7	0.02	3.7	3.9	3.4	0.17	6.1	7.8	4.3	0.17	0.2	0.4	0.5	0.03	14.3	28.6	11.3	0.64
1998	1.5	2.6	1.5	0.05	3.9	5.9	4.0	0.19	6.2	12.5	7.0	0.27	0.4	0.6	1.0	0.03	26.1	34.1	12.8	1.42
1999	1.2	2.4	1.4	0.10	3.1	4.7	3.0	0.16	4.7	10.8	4.8	0.24	0.3	0.3	0.7	0.05	19.7	29.4	11.5	0.71
2000	0.6	1.0	0.4	0.02	2.4	2.5	2.1	0.09	3.9	6.7	2.8	0.11	0.1	0.1	0.3	0.01	10.8	20.1	8.4	0.30
2001	0.8	0.9	0.6	0.09	2.8	2.4	2.4	0.09	4.9	7.5	3.2	0.09	0.2	0.2	0.5	0.01	12.8	14.9	13.4	0.35
Mean	0.92	1.37	0.92	0.05	3.13	3.61	2.91	0.16	5.01	8.40	4.23	0.17	0.23	0.30	0.57	0.03	15.11	23.24	10.66	0.55

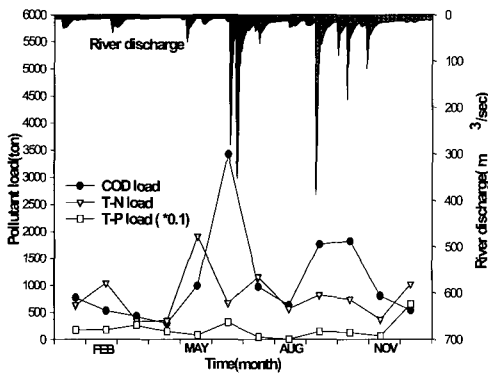


Fig. 9 Seasonal variation of pollutant loads and river discharge of Hyeong-san river(2001yr).

15.11 ton-COD/year, 23.24 ton-SS/year, 10.65 ton-TN/year, 0.54 ton-TP/year로 산정되었다.

2001년 형산강 하천유량과 유입오염부하량의 계절별 변동특성을 살펴보면, 하천유량이 증가하는 6~7월과 10월의 경우 COD 등의 오염부하량도 증가하는 경향을 보였다(Fig. 9). 특히 여름철(6~7월)에 높은 경향을 보임으로써, 하천유량 증가에 따라서 유입오염부하량도 증가한다는 것을 알 수 있다. 그러나 평수시 오염부하량은 COD와 TN이 거의 유사한 수치를 보였는데, 이는 TN의 유입량이 많았음을 나타낸다.

이상과 같이 형산강으로부터의 영일만 유입오염부하량의 연간변동을 살펴본 결과, 계산대상기

간 중 모든 수질항목이 강수량이 많은 해인 1998년을 기점으로 증감하는 경향을 나타내었다. 특히 TN의 경우 평년시기인 2001년에 가장 많은 유출량을 나타내고 있으며, 최근 들어 증가하는 추세를 보이고 있다. 이와 같이 육역인 형산강으로부터의 과다한 TN의 유입으로 인해 영일만내 수질변화에 미치는 영향이 클 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일별 하천유량산정 Tank 모델을 구축하고, 지난 7년간(1995년~2001년) 포항관측소의 강우량 및 증발산량 자료를 이용, 형산강 유역의 일별하천유량 모의발생실험을 수행하였다.
- 2) Tank 모델의 민감도 분석결과, Tank 모델 매개변수 중 A0, A2, A3, A4, H0, B2가 가장 민감한 변수이며, 이 매개변수가 -50%~+50%로 증감할 경우 계산 하천유량에서 약 10~20%의 증감을 나타내었다.
- 3) 7년간 형산강 연평균 추정하천유량은 대송이  $878.34 \times 10^6 \text{ m}^3$ 로 가장 많았으며, 안강, 모아, 경주, 기계의 순으로 나타났다. 또한 강우량이 최소인 1995년과 최대인 1998년의 홍수시 하천유출량은 각각 56.2%, 67.1%였으며, 영일만 내로 최종 유입되는 하천유량은 형산강 유역 면적내 연평균 총강우량의 73.0%로 나타났다.



4) 영일만내로 유입되는 연평균 오염부하량은 각각 15.11ton-COD/year, 23.24ton-SS/year, 10.65 ton-TN/year, 0.54ton-TP/year로 산정되었으며, 특히 총질소(TN)의 경우 평년시기인 2001년에 가장 많은 유출량을 나타내고 있으며, 최근 들어 증가하는 추세를 보이고 있다. 이와 같이 증가하는 총질소(TN)의 유입으로 인해 영일만내 수질변화에 미치는 영향이 클 것으로 생각된다.

이상의 결과를 통해, 본 Tank 모델(강우-유출모형)은 일별 하천유량 및 오염부하량을 산정함에 있어 효율적으로 사용될 수 있으며, 차후 하천 수계내 수질예측, 지하수 침투 및 침출을 고려한 강우-유출모형으로의 접근도 가능하리라 생각된다.

## 후 기

본 연구의 일부는 2002학년도 부경대학교 발전기금재단(과제번호 : 0010000200204800)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사를 표합니다.

## 참고문헌

- [1] 강양순·김귀영·심정민·성기탁·박진일·공재열, 2002, “영일만 수질의 시공간적 변동”, 한국수산화회, 제35권 4호, 431~437.
- [2] 기상청, 1995~2001. 기상연보.
- [3] 김광수·이남일, 2003, “목포항에 유입하는 오염부하량 산정 비강우시 육상오염부하를 중심으로”, 한국해양환경공학회지, 제6권 1호, 11~20.
- [4] 김기태, 1992, 동해 남부 해역의 연구, 영남대 출판부.
- [5] 김현영, 1987, 관개용 저수지의 일별 유입량과 유출량의 모의발생, 박사논문, 서울대학교.
- [6] 건설교통부 낙동강 홍수통제소, 1999, 형산강 수계 유량측정조사 보고서.
- [7] 건설교통부 낙동강 홍수통제소, 2000, 형산강·태화강 수계 유량측정조사 보고서.
- [8] 경주상공회의소·경주지역경제연구센터, 1996, 형산강 경주권 수계의 수질환경조사와 자연형 하천보전방안연구.
- [9] 이대인·박청길·조현서, 2001a, “점원 오염부하 제어에 의한 광양만의 수질관리”, 한국해양환경공학회지, 제4권 3호, 28~39.
- [10] 이찬원·권영택·양기섭·장풍국·한성대, 1998, “폐쇄성 해역의 오염부하특성과 해역환경변화”, 한국해양환경공학회지, 제1권 2호, 60~69.
- [11] 이창희·강대석·남정호·이병국·유혜진, 2001b, 하구·석호 육해전이수역 통합환경관리방안 연구, 한국해양수산개발원.
- [12] 정지용·정상욱, 2001, “Tank model 매개변수의 민감도 분석”, 한국관개배수, 제8권 2호, 55~63.
- [13] 조홍연·채장원, 1998, “진해·마산만 오염부하량의 특성분석”, 한국해양·해양공학회지, 제10권 3호, 132~140.
- [14] 한국수자원공사, 1989, 낙동강수계 다목적댐 연계운영방안연구(1차) 보고서.
- [15] 한국수자원공사, 1992, 전국하천조사서.
- [16] 환경부, 2002, Homepage: <http://www.me.go.kr>.
- [17]菅原正己(Sugawara, M.), 1986, “탱크모델(1) -하천유량을 우량에서 산출하는 한 모델에 대하여”, 대한토목학회, 제34권 4호, 57~60.
- [18]菅原正己(Sugawara, M.), 1986, “탱크모델(2·완) -하천유량을 우량에서 산출하는 한 모델에 대하여”, 대한토목학회, 제34권 6호, 73~79.
- [19]李寅鐵·浮田正夫·關根雅彦·中西弘, 1996, “水·底質モデルによる瀬戸内海の水質管理に關する研究”, 日本土木學會論文集, Vol. 545(II-36), 101~112.
- [20] Hashino, M., H. Yao and H. Yoshida, 2002, “Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model”, J. of Hydrology, Vol. 255, 1~11.
- [21] Yokoo, Y., S. Kazama, M. Sawamoto and H. Nishimura, 2001, “Regionalization of lumped water balance model parameters based on multiple regression”, J. of Hydrology, Vol. 246, 209~222.