

강우의 영향을 고려한 용담호 유입오염부하량 산정

Estimation of Pollutant Load to Yongdam Reservoir Considering Rainfall Effect

이 은 형* / 서 동 일**

Lee, Eun Hyoung / Seo, Dongil

Abstract

Pollutant load to Yongdam Reservoir considering rainfall effect is estimated using data collected during dry and wet days between Dec 1998 and Oct. 1999. Limit of significant rainfall was assumed to be as 10 mm/day and numbers of days of significant rainfall for each month were counted using 10 years of meteorological data of the study area. Water quality input concentrations were estimated by taking weighted averages of concentrations in dry and wet days in each month. The resulting concentrations were used as inputs for water quality modeling of Yongdam Reservoir. When rainfall effect was included average reservoir concentrations of BOD, TN and TP were increased by 70%, 5% and 27%, respectively. Considering the fact that Korea is under the significant influence of monsoon effect during the summer, it should be important to include rainfall effect in estimating pollutant input to receiving waters. This method is expected to increase reliability of annual water quality modeling results by providing realistic input data.

Keyword : Pollutant Load, Weighted Average Concentration, Rainfall Effect, Yongdam Reservoir

요 지

용담호의 주요 유입 지류를 대상으로 1998년 12월부터 1999년 10월까지 매월 1회 측정된 수질농도 자료와 1999년 6월 강우시 3차에 걸쳐 4시간 간격의 집중 수질 측정 자료를 이용하여 강우의 영향을 고려한 월별 기중 평균 농도를 산정하였다. 연중 오염물질 유입부하를 산정하기 위하여 10 mm 이상의 강우가 발생하였을 경우 유역의 표면유출 및 오염물질 농도가 심각하게 증가한다고 가정하고, 강우시 측정된 수질농도 측정치를 적용하였으며, 10 mm 이하의 강우가 발생한 경우에는 건기시에 측정된 수질 농도를 적용하였다. 산정된 월평균 수질농도는 수질 모의를 위한 경계농도로 입력되어 용담호의 수질 모의를 실시하였으며 건기시 측정된 수질 농도를 수질 모의에 적용한 결과와 비교하였다. 강우의 영향을 고려할 경우 호내 평균 BOD, TN, TP 농도는 각각 70%, 5% 그리고 27% 가량 증가하는 결과를 나타냈다. 우리나라는 기후 특성상 연중 강우의 약 70% 가량이 하절기에 집중되므로 이 기간 동안에 상당량의 오염물질이 수계내로 유입되며 오염부하량 산정시 이에 대한 고려가 반드시 필요하나 일

* 충남대학교 환경공학과 박사후 연구원, 공학박사
Post Doctoral Fellow, Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Republic of Korea
(E-mail : leh@cnu.ac.kr)

** 충남대학교 환경공학과 교수, 공학박사
Professor, Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Republic of Korea
(E-mail : seodi@cnu.ac.kr)

반적인 수질측정은 주로 건기시에 이루어지므로 수질 모의를 위한 입력자료로 사용될 때 정확한 모의 결과를 얻을 수 없다. 따라서 건기시와 우기시 수질 측정을 통한 실제 유입 농도의 산정은 수질모델의 적용에 있어서 신뢰도의 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 오염부하, 기중평균농도, 강우영향, 용담댐

1. 서론

하천 및 저수지의 수질 관리를 위해서는 해당 수체 및 유역의 수질 현황을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 수질 모델의 적용을 위해서는 주로 계절 단위 또는 월 단위로 측정되는 자료들이 사용되고 있는 실정이다. 일반적으로 환경부는 전국의 주요 수질 측정 지점에 대하여 월 1회 측정을 시행하며, 자료를 관리하고 있다. 이러한 월 1회의 수질 측정을 위한 시료 채취는 강우의 영향이 없거나 적은 평상시 또는 청천시에 시행되는 것이 일반적이다. 그러나 우리나라는 기후 특성상 하절기에 강우가 집중되며 이 시기에 다량의 오염물질이 유입되는 것으로 추정되고 있다. 따라서 수체에 영향을 미치는 실질적인 오염부하량을 산정하여 모델의 입력자료로 사용하기 위해서는 강우의 영향을 고려하는 것이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 강우에 의하여 변화하는 수질농도를 고려하기 위한 방법을 개발하였다. 용담댐에 유입되는 지류를 대상으로 강우시와 비강우시에 수질을 측정하였으며, 측정된 수질자료를 이용하여 강우의 영향을 고려할 수 있는 수질 농도를 산정하였다. 이를 이용하여 연구 대상 유역인 용담댐 유역에 대한 수질모의를 실시하였으며, 강우의 영향을 고려한 경우와 고려되지 않은 조건에 대한 모의 결과를 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 기존의 연구 사례분석

수질 모델링을 위해서는 대상 수계로 유입되는 오염 부하량을 산정하여야 하며, 이는 모델의 초기 조건 및 경계조건을 제공한다. 이를 위하여 주로 연구 기간 동안 실측을 통해 입력자료를 구성하기도 하며, 원단위 등을 이용하여 부하량을 산정한 후 이를 수질 농도로 환산하여 이용하기도 한다. 많은 연구자들은 연구 기간 동안 수질 실측을 통하여 모델의 입력자료를 구성하였으며(허인량 등, 1999; 신 재기 등, 2000; 황병기 등, 2000), 이은형 등(2002)은 용담댐 하류 하천의 수질 모의를 위하여 환경부에서 월 1회 측정되는 수질 농도를

이용하여 년 중 수질 변화를 모의한 바 있다. 서동일 등(2001)은 시화호의 수질 모의를 위해 강우의 영향을 고려한 월평균 부하량으로부터 각 수질 항목의 농도를 산정하여 모델의 입력 자료로 사용하였다. 박석순 등(1999)은 모델에 입력되는 부하량을 배수구역별 오염원에 발생원단위를 적용하여 부하량을 산정하였다. 즉 지금까지의 연구는 주로 실측에 의한 자료를 모델의 입력 자료로 사용하거나, 원단위를 이용한 발생부하량, 배출 부하량 및 유달부하량의 산정을 통하여 입력자료를 구성하였다. 이러한 방법은 대부분 강우에 의한 부하량 증가의 영향은 고려되지 않고 있으며, 정확한 시계열 수질 변화를 모의하기 위해서는 강우 영향이 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다.

2.2 연구 대상 지역

본 연구의 대상유역은 전북 진안군에 위치한 용담호 유역이다. 용담호로는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 최상류에서 구량천과 장계천이 본류로 유입되고 난 후, 진안천, 정자천, 신지천 및 주자천 등 4개의 지류가 유입되고 있다. 용담호는 현재 담수가 완료된 상태이며 전 주권으로 생공용수 공급 및 금강 본류로 하천 유지용수 방류 등의 운영이 실시되고 있다.

본 연구에서는 용담호의 본류 및 주요 지류에 대하여 건기시와 우기시에 수질 측정을 실시하였다. 건기시 수질 측정은 금강 본류 7개 및 지류 4개 지점에 대하여 실시하였으며, 우기시 수질측정은 본류 3개 지점 및 지류 2개 지점에 대하여 실시하였다.

강우시 수질 측정은 Table 1에 나타난 바와 같이 1999년 6월에 총 3회에 걸쳐 실시되었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 6월 6일부터 7일까지는 정자천 유역에서 30 mm, 기타지역에서는 0.1 ~ 5 mm 정도의 강우가 발생하였으며, 16일과 18일 사이에는 60 mm 가량, 23일부터 25일 사이에는 85 ~ 100 mm의 강우가 발생하여 이 시기에 측정된 수질 농도는 강우시의 수질 변화를 대표하는 것으로 볼 수 있다.

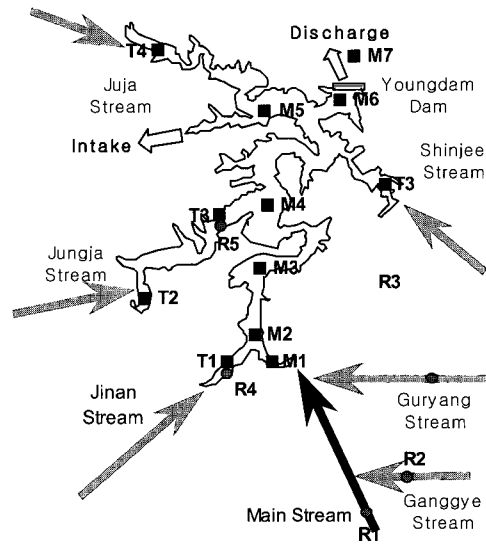


Fig. 1 Study Area and Sampling Points

Table 1. Water Quality Observation Sites of the Study Area

구분	Dry Season			Wet Season		
	ID	Site	Time	ID	Site	Time
Main Stream	M1	Jookdo	Monthly (Dec. 1998 ~ Oct. 1999)	R1	Tonghak Br.	4 hr Interval 6th~7th 16th~18th 23th~25th June, 1999
	M2	Waesong Br.		R2	Dongjung Br. (Jangga Stream)	
	M3	Keumwul Br.		R3	Daeya Br. (Guryang Stream)	
	M4	Woonam Br.				
	M5	Yongdam Br.				
	M6	Ancheon Br.				
	M7	Yongpo				
Tributaries	T1	Jinan Stream		R4	Jinan Stream	
	T2	Jungja Stream		R5	Jungja Stream	
	T3	Shinjee Stream				
	T4	Juja Stream				

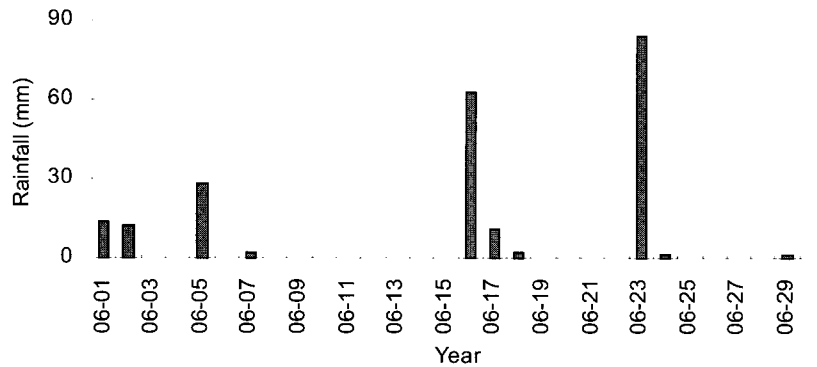


Fig. 2 Precipitation Record of the Study Area(1999)

2.3 강우 효과를 고려한 수질 농도 산정

Table 2는 용담댐 상류에 위치한 장수군 기상관측소의 1990년부터 1999년까지의 10년 동안 측정된 강우자료를 이용하여 추출한 월평균 강우 일수 및 강우량 자료를 나타내고 있다. 본 연구에서는 10 mm 강우를 기준으로 그 이상의 강우가 발생하였을 경우 유역의 표면유출 및 오염물질 농도가 심각하게 증가한다고 가정하였다. 환경부(1995)의 비점오염원 조사연구사업 보고서에서도 비점오염원 측정을 위한 유효강우를 10 mm를 기준으로 제시한 바 있으며, 최지용 등(1999)도 10 mm 이상의 강우를 기준으로 도시지역의 비점오염원 유출 특성 조사를 수행한 바 있다. 즉, 10 mm 이상의 강우에 대해서는 하천의 수질농도가 증가하는 시기라고

가정하여 강우시 측정된 수질농도 측정치를 적용하였으며, 10 mm 이하의 강우가 발생한 경우에는 건기시에 측정된 수질 농도를 적용하였다.

10 mm 이상 강우가 발생한 일수는 6월 ~ 9월 사이의 하절기에 4회 ~ 7회의 범위를 나타내면서 가장 많으며 4월과 5월에도 10 mm 이상의 강우가 평균 3회씩 발생한 것으로 조사되었다. 1월, 2월과 12월에도 10 mm 이상의 강우가 평균 1회씩 발생하였으나 이 시기에는 강설의 영향이 지배적인 것으로 보아 동절기에는 강수량에 의한 오염물질농도의 증가는 발생되지 않는 것으로 가정하였다.

Fig. 3은 1990년부터 1999년 동안 발생한 강우에 대해 강우량 분포를 나타내고 있다. 10 mm이하의 강우는 전체 강우량의 약 20%를 나타내고 있으며, 10

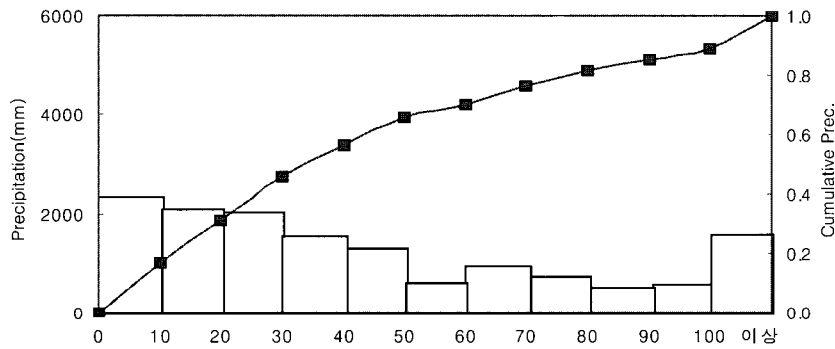


Fig. 3 Histogram and Cumulative Distribution of Rainfall in the Study Area

Table 2. Rainfall Records of Yongdam Dam Watershed (Averages of 1963–1998)

	Days of Rainfall (>10mm)	Days of Rainfall (<10mm)	Total Rainfall(mm) (>10mm)	Total Rainfall(mm) (<10mm)	% of Rainfall (>10mm)	% of Rainfall (<10mm)
Jan	1	30	9.01	20.56	39.47	60.53
Feb	1	27	29.96	18.83	61.41	38.59
Mar	2	29	40.98	27.82	59.56	40.44
Apr	3	27	74.47	17.61	80.88	19.13
May	3	28	83.39	20.89	79.97	20.03
Jun	5	25	210.43	18.89	91.76	8.24
Jul	6	25	247.61	24.32	91.06	8.94
Aug	7	24	289.44	19.4	93.72	6.28
Sep	4	26	125.05	14.19	89.81	10.19
Oct	2	29	39.4	9.87	79.97	20.03
Nov	2	28	31.73	17.38	64.61	35.39
Dec	1	30	14.71	19.3	43.25	56.75

mm이상의 강우는 80%가량을 나타내고 있다.

서동일(2001)은 강우의 영향을 고려한 월평균 유입 농도의 산정방법을 개발한 바 있으며 단계별 계산 과정은 Fig. 4와 식 (1)~(8)에 나타낸 바와 같다. 이 방법에서는 매월 일정하게 기저유량(V_b)이 흐른다고 가정하였고, 이 유량은 1963년부터 1990년까지의 28년 평균 용담댐 지점 월별 유출량(서동일 외, 2001) 중 1월의 평균값인 $7.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ 를 사용하였다. 매월 10 mm 이상 강우가 발생한 일수를 계산하여 건기일수(D_d)와 우기일수(D_w)로 구분하고 매월 해당시기의 강우량 합계를 산정하였다. 매월 총유출량에서 기저유량에 의한 부분을 제외한 양을 강우량 비로 비례 배분하면 해당시기의 유출량을 계산할 수 있다. 이 유출량에 각각 건기시 농도와 우기시 농도를 곱한 후 두 가지를 합하면 한 달 동안 유입되는 오염물질의 총량이 계산되고, 이를 총유출량으로 다시 나누어주면 월평균 유입농도를 계산할 수 있다.

$$V_t = Q_m \cdot (D_d + D_w) = V_b + V_d' + V_w' \quad (1)$$

$$V_t' = V_t - V_b \quad (2)$$

$$V_t' = V_d' + V_w' \quad (3)$$

$$V_d' = V_t' \cdot F \quad (4)$$

$$V_w' = V_t' \cdot (1 - F) \quad (5)$$

$$V_d = V_d' + V_b \cdot \frac{D_d}{D_d + D_w} \quad (6)$$

$$V_w = V_w' + V_b \cdot \frac{D_w}{D_d + D_w} \quad (7)$$

$$C_m = \frac{V_d \cdot C_d + V_w \cdot C_w}{Q_m \cdot (D_d + D_w)} \quad (8)$$

- 여기서 Q_m : 월 평균 유입유량(m^3/day)
 V_t : 월 총유입량(m^3)
 V_b : 기저유량에 의한 유입량(m^3)
 V_c : 건기시 유입량(m^3)
 V_w : 우기시 유입량(m^3)
 V_t' : 강우에 의해 증가된 유입량(m^3)
 F : 총 강우량에 대한 건기시 강우량의 비
 V_d' : 건기시 강우에 의해 증가된 유입량(m^3)
 V_w' : 우기시 강우에 의해 증가된 유입량(m^3)
 D_d : 건기 일수 (day)
 D_w : 우기 일수 (day)
 C_d : 건기시 유입농도(mg/ℓ)
 C_w : 우기시 유입농도(mg/ℓ)
 C_m : 월 평균 유입농도(mg/ℓ)

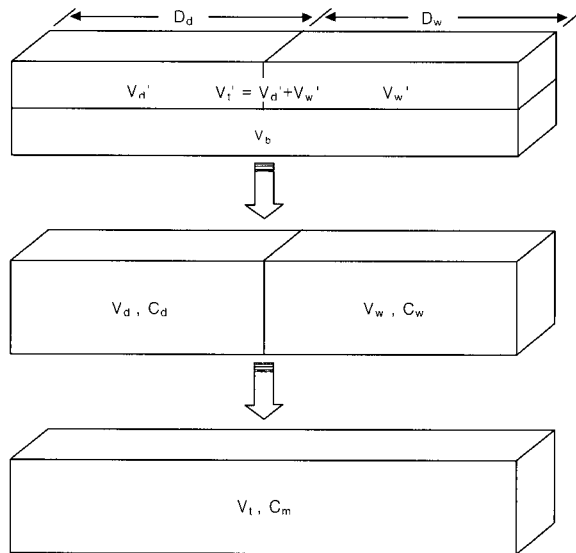


Fig. 4 Calculation of Weighted Average Inflow Concentration Considering Rainfall Effect

3. 연구 결과

3.1 수질 측정결과

Table 3은 1998년 12월부터 1999년 10월까지 매 월 1회 측정된 수질항목별 측정농도를 이용하여 구성된 용담호의 유입농도를 나타내고 있다. BOD농도의 경우 최소 0.55 mg/l에서 최대 2.43 mg/l의 범위를 나타내고 있다. 총질소 농도는 1.52 ~ 4.78 mg/l의 범위를 나타내고 있으며, 비교적 동절기에 높은 농도를 나타내는 것으로 분석되었다. 총인 농도는 최소 20.1 mg/l에서 최대 농도 385.2 mg/l로 큰 변화 경향을 나타내었으며, 동절기에 비교적 낮고 강우에 의하여 증가되는 경향을 보이고 있다. 수질모델에 사용할 자료를 구성하기 위하여 실측이 이루어지지 않은 1월, 9월, 11월 및 12월의 수질 농도는 실측이 이루어진 여타 시기의 평균 농도를 적용하였다.

강우시 수질 측정은 본류 3개 지점과 2개의 지류 지점에 대하여 실시하였다. 본 연구에서는 3회에 걸쳐 강우시 수질 측정을 실시하였으며 실측된 BOD, TP 농도를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 실제 강우는 6월 5일 발생하였으나 1차 수질 측정은 6일부터 7일에 이루어졌으므로 강우의 영향을 적절하게 반영하지 못하고 있다. 그러나 2차(6월 16일 ~ 18일) 및 3차(6월 23일 ~ 25일) 실험은 강우발생과 동시에

이루어졌으므로 강우에 의하여 뚜렷하게 수질 농도가 증가되는 현상을 관찰할 수 있다.

강우시 BOD 농도의 경우 건기시 최대 농도 2.43 mg/l의 약 3배 이상 높은 7.64 mg/l의 농도를 나타내었으며, 강우량이 감소함에 따라 수질 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 6월 23일 ~ 25일의 3차 실험의 경우는 연구 기간 중 최대 강수량을 나타내었으나, 6월 16일 발생한 선행 강우에 의한 영향으로 유출 농도는 오히려 낮게 나타나고 있으며, 이러한 경향은 여타의 항목에 대해서도 관찰되고 있다.

TN 농도의 경우는 BOD 농도와 TP 농도에 비해 강우에 의한 농도 증가 현상이 뚜렷이 나타나지 않았다. TP 농도는 최대 870 µg/l의 침투 농도를 나타내고 있으며, 강우에 민감하게 반응하는 경향을 나타낸다. 이는 인 성분이 토양에 쉽게 흡착되며 강우에 의해 유출된 토사와 함께 하천으로 유입되는 경향이 있기 때문인 것으로 분석된다.

본 연구에서는 6월 16일부터 6월 17일까지의 2차 실험결과가 강우시 수질농도를 대표하는 것으로 가정하여 이 시기의 실측농도 평균을 강우시 농도로 적용하였으며, 이를 Table 4에 나타내었다. 여기에서 본류의 농도는 최상류의 3개 지점인 통학교(본류), 동정교(장계천) 및 대야교(구량천)에서 측정된 우기시 실측농도를 평균한 값을 나타내며, 실측이 이루어지지 않은 신지천

Table. 3 Observed Water Quality of Major Tributaries of Yongdam Reservoir in Dry Season

	Main Stream(M1)			Jinan Stream(T1)			Jungja Stream(T2)			Shinjee Stream(T3)			Juja Stream(T4)		
	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (µg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (µg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (µg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (µg/l)	BOD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (µg/l)
<i>Jan</i>	1.32	3.03	69.7	1.05	2.72	76.7	1.00	1.70	70.5	1.26	2.79	97.1	1.16	2.56	78.5
Feb	1.94	4.02	34.1	1.74	3.18	57.5	1.29	1.98	29.4	1.50	3.91	41.6	1.62	3.27	40.7
Mar	0.54	3.39	103.9	0.85	2.78	102.4	0.88	0.11	52.5	1.61	2.83	99.9	0.97	2.28	89.7
Apr	1.41	2.84	37.3	2.03	3.15	57.3	1.07	2.80	85.7	1.12	3.10	77.7	1.41	2.97	64.5
May	1.74	2.36	69.1	1.55	2.33	76.7	1.14	1.95	70.5	1.52	2.18	89.3	1.49	2.20	76.4
Jun	1.34	3.66	127.4	0.87	4.06	76.7	1.20	2.66	70.5	1.85	4.31	168.2	1.32	3.67	110.7
Jul	1.66	2.02	38.8	0.70	2.03	82.3	0.83	1.61	124.3	0.98	2.20	83.2	1.04	1.97	82.1
Aug	1.00	3.00	69.7	0.94	1.39	76.4	0.59	0.60	70.5	1.18	1.05	138.8	0.93	1.51	88.8
<i>Sep</i>	1.32	3.03	69.7	1.05	2.72	76.7	1.00	1.70	70.5	1.26	2.79	97.1	1.16	2.56	78.5
Oct	0.90	2.97	77.0	0.40	2.84	84.3	1.00	1.85	60.7	0.30	2.78	78.3	0.65	2.61	75.1
Nov	1.32	3.03	69.7	1.05	2.72	76.7	1.00	1.70	70.5	1.26	2.79	97.1	1.16	2.56	78.5
<i>Dec</i>	1.32	3.03	69.7	1.05	2.72	76.7	1.00	1.70	70.5	1.26	2.79	97.1	1.16	2.56	78.5

* Values written in italic were averages of observed data of the other months

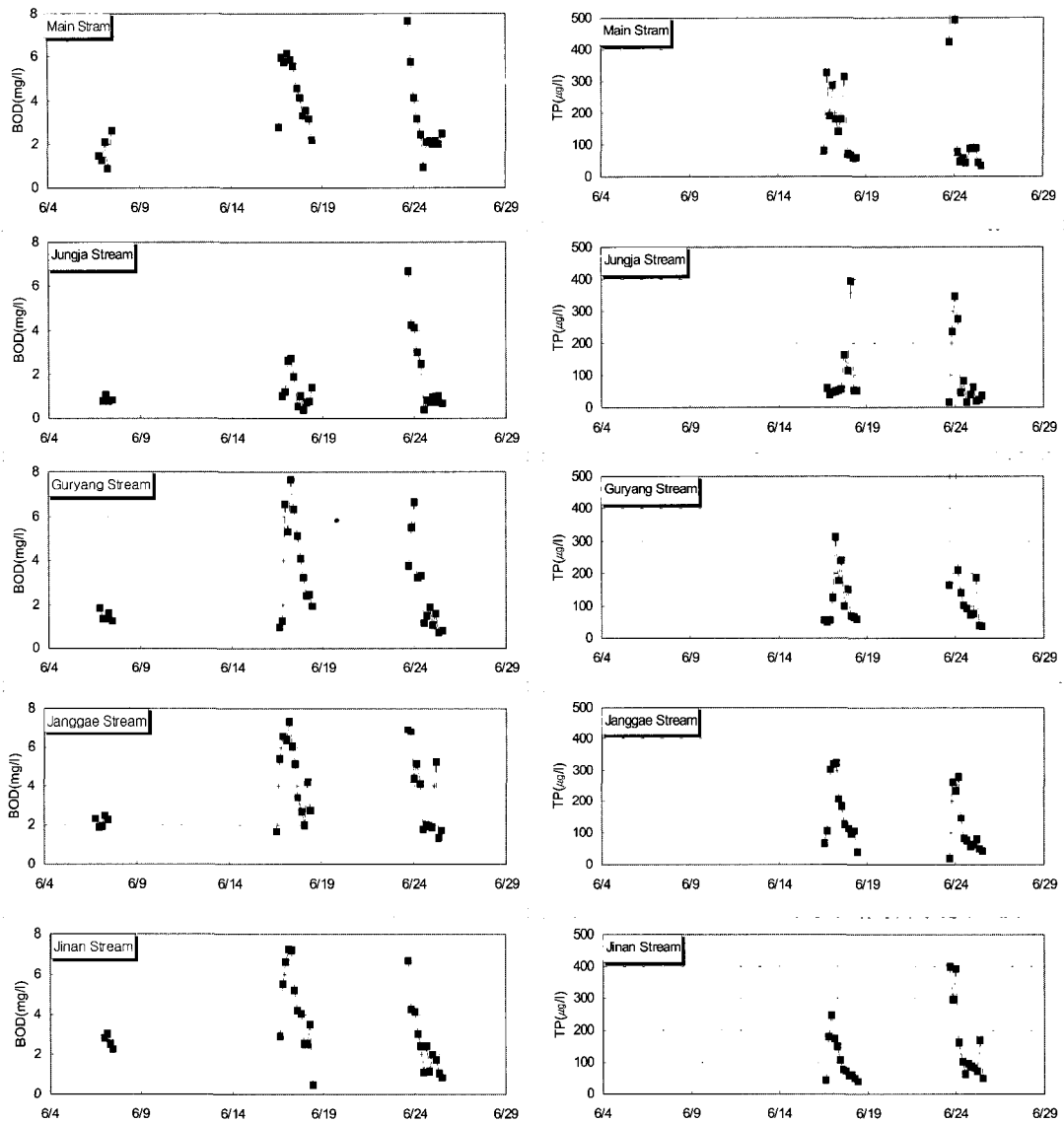


Fig. 5 Observed BOD and TP Concentrations during Rainfall Events

Table 4. Average Water Quality of Major Tributaries during Rainfall Events

Site	Variables	BOD (mg/ℓ)	TN (mg/ℓ)	TP (µg/ℓ)
Main Stream		4.78	3.25	177.1
Jinan Stream		5.05	3.79	123.3
Jungja Stream		1.41	2.43	72.6
Shinjee Stream		4.16	3.19	145.5
Juja Stream		4.16	3.19	145.5

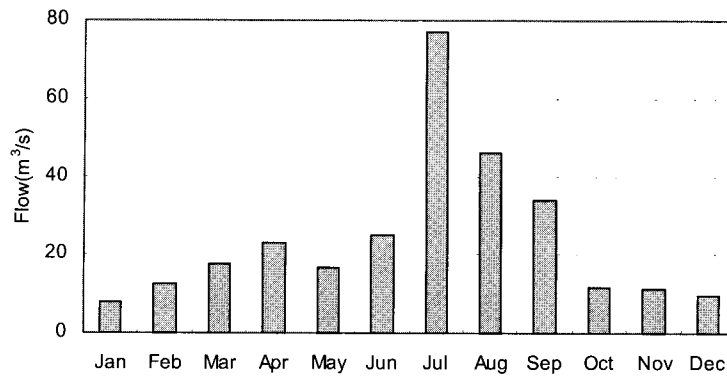


Fig. 6 Annual Averaged Inflow of Yongdam Point

Table 5. Watershed Area of Main Stream and Tributaries

	Main Stream	Jinan Stream	Jungja Stream	Shinjee Stream	Juja Stream
Area(km ²)	534.5	67	150	27.5	142
%	58.4	7.2	16.1	3.0	15.3

* 한국수자원공사 (2001)

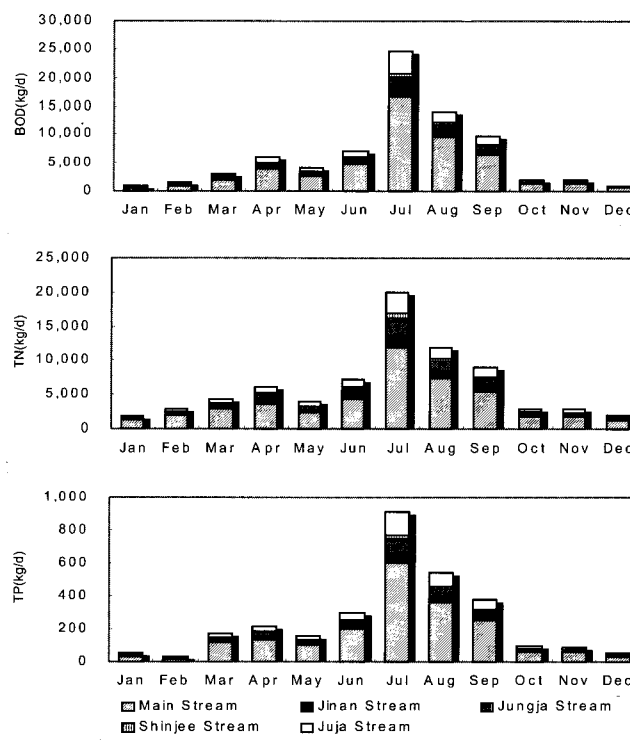


Fig. 7 Pollutant Loadings of Major Tributaries

과 주자천의 경우는 실측된 5개 지점의 평균농도를 적용하였다.

3.2 강우를 고려한 수질 농도의 산정 결과

본 연구에서는 강우를 고려한 수질 농도의 산정을 위하여 10 mm 이하의 강우가 발생한 경우에는 Table 3에 나타난 수질 농도를 적용하였으며, 10 mm 이상의 강우에 대해서는 Table 4에 나타난 강우시 평균 농도를 적용하였다. 유입부하량 계산을 위한 본류 및 지류의 유량은 실측 유량의 확보가 어려웠으므로 Fig. 6에 나타난 1963년부터 1990년까지의 28년 평균 용담댐 지점 월별 유출량(건설부, 1991)을 사용하였으며, 본류 및 각 지류의 유량은 Table 5에 나타난 유역 면적비에 따라 배분하여 사용하였다.

Fig. 7 은 2.3절에서 제시한 계산 과정을 통해 산정된 본류 및 각 지류의 월별 가중 평균 부하를 나타내고

있으며, 이는 수질 모의를 위한 경계 농도로 입력될 수 있다.

3.3 WASP5 모델에의 적용

상기한 방법에 의해 계산된 수질 농도를 WASP5 수질 모형의 입력자료로 사용하여 용담호의 수질모의를 실시하였다. WASP5 수질 모델 적용을 위한 소구간 구분은 Fig. 8에 나타난 바와 같으며, 표층을 16개의 소구간으로 구분하였으며, 수심이 깊은 소구간에 대해서는 상층과 하층으로 구분하여 총 29개의 소구간으로 구분하여 모의하였다. 용담호로 유입되는 지류인 진안천, 정자천, 신지천, 주자천이 각각 소구간 2,9,13,14로 유입되고 있으며, 전주권의 생공용수 공급을 위한 취수 및 하류 하천유지용수 공급을 위한 방류, 홍수시 월류는 각각 소구간 28, 29, 16에서 이루어지는 것으로 가정하였다.

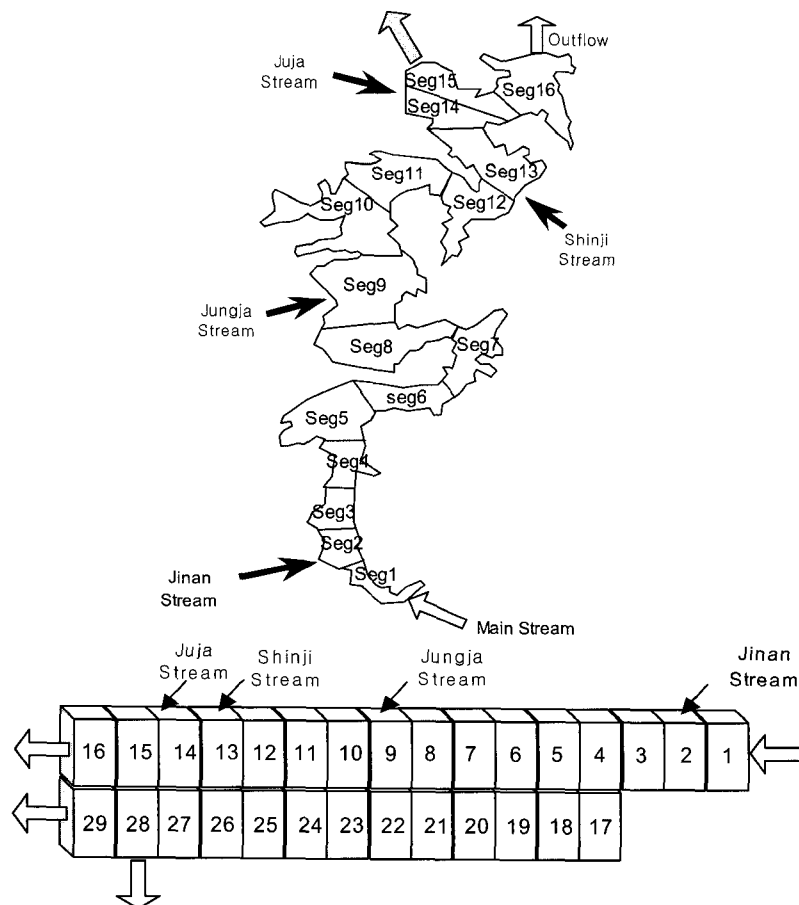


Fig. 8 Segmentation for WASP5 Model of Yongdam Reservoir

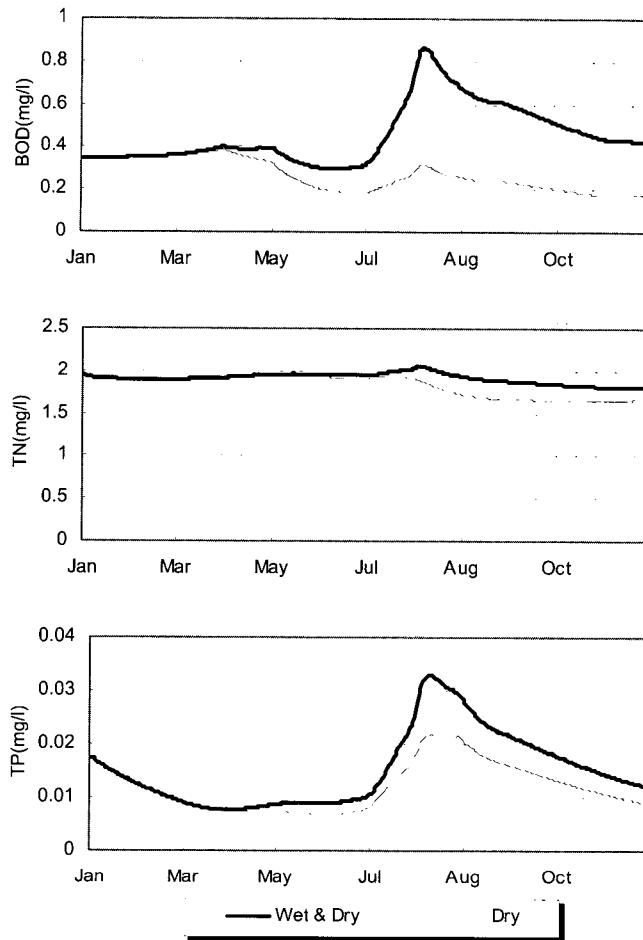


Fig. 9 Results of Water Quality Modelling

용담호의 경우 2002년 현재 담수가 완료되어 운영 중에 있으며 측정된 수질 자료의 확보가 불가능하였으므로, 용담호의 수질 변화 특성이 기존에 연구된 바 있는 대청호와 유사할 것으로 가정하여 서동일 등(2002)에 의해 대청호를 대상으로 보정 및 검증과정을 통해 산정된 수질 변수를 적용하여 모의를 실시하였다. Fig. 9는 BOD, TN 및 TP항목에 대한 모의 결과를 나타내고 있으며, 강우 현상을 고려한 가중평균을 적용한 경우와 건기시 월별 측정자료를 적용한 경우의 모의 결과를 비교하였다. BOD농도의 경우, 강우에 의한 농도 증가를 고려하면 평균 농도는 약 70% 가량 증가하는 것으로 모의되었으며, TP 농도의 경우는 약 27%가량 증가하였다. 반면 강우에 의한 유출량이 비교적 적은 TN농도의 경우는 약 5% 정도의 적은 농도 증가를 나타내는 것으로 모의되었다. 따라서 수질 예측을 위한

모의시 강우현상을 고려하지 않은 경우에는 실제 농도에 비해 상당 부분이 과소평가 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 용담호 유입 지류를 대상으로 강우에 의한 유입 오염부하량의 증가를 고려하기 위하여 98년 12월부터 99년 10월까지 매월 1회의 수질 측정을 실시하였으며, 강우에 의한 오염물질 농도 증가를 파악하기 위하여 강우가 발생한 1999년 6월에 3차에 걸쳐 4시간 간격의 집중 수질 측정을 실시하였다. 강우시 BOD 농도의 경우 건기시 최대 농도 2.43 mg/l의 약 3배 이상 높은 7.64 mg/l의 농도를 나타내었으며, 강우량이 감소함에 따라 수질 농도 또한 감소하는 경향을 나타내고 있다. 3차 연속측정의 경우는 연구 기간 중 최대 강수

량을 나타내었으나, 선행 강우에 의한 영향으로 유출 농도는 오히려 낮게 나타나고 있으며, 이러한 현상은 여타의 항목에 대해서도 같은 경향을 나타내고 있다.

TN 농도는 BOD 농도와 TP 농도에 비해 강우에 의한 농도 증가 현상이 뚜렷이 나타나지 않는다. TP 농도는 최대 870 $\mu\text{g}/\ell$ 의 농도를 나타내고 있으며, 강우에 민감하게 반응하는 경향을 나타내었다.

본 연구에서는 이러한 실측 자료를 이용하여 강우의 영향을 고려한 월별 가중 평균 농도를 산정하였다. 이를 위해 10 mm의 강우를 기준으로 10 mm 이상의 강우가 발생하였을 경우 유역의 표면유출 및 오염물질 농도가 심각하게 증가한다고 가정하여, 강우시 측정된 수질농도 측정치를 적용하였으며, 10 mm 이하의 강우가 발생한 경우에는 건기시에 측정된 수질 농도를 적용하였다.

산정된 월평균 수질농도는 수질모의를 위한 경계농도로 입력되어 용담호의 수질 모의를 실시하였다. 또한 건기시 측정된 수질 농도를 수질 모의에 그대로 적용하여 두 가지 조건에 대한 모의 결과를 비교하였으며, 모의 결과 BOD농도의 경우 강우에 의한 농도 증가를 고려하면 평균 농도는 약 70% 가량 증가하는 것으로 모의되었다. TP 농도의 경우는 약 27%가량 증가하였으며, 강우에 의한 유출량이 비교적 적은 TN농도의 경우는 약 5% 정도의 적은 농도 증가를 나타내었다.

우리나라는 기후 특성상 연중 강우의 약 70% 가량이 하절기에 집중되므로 이 기간 동안에 상당량의 오염물질이 수계 내로 유입되며 오염부하량 산정시 이에 대한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다. 그러나 실제 수질측정은 주로 건기시에 이루어지므로 수질 모의를 위한 입력자료로 사용될 때 정확한 모의 결과를 얻을 수 없다. 따라서 건기시와 우기시 수질 측정을 통한 가중 평균 농도의 산정은 모델 적용에 있어서 정확도의 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 기상청 (1990 ~ 1999). 기상자료
- 박석순, 김은정, 이용석, 김승우 (1999). “수질관리모델을 이용한 배수구역별 오염부하량 할당방안에 관한 연구”. 대한환경공학회지, Vol. 21, No. 11, pp. 2049 ~ 2058.
- 서동일 외 (2001). 용담 다목적댐 건설사업 상수원 보호구역지정 보고서-수질모델링, 한국수자원공사 보고서.
- 서동일, 최재훈, 이은형, 이해근 (2001). “EUTRO5를 이용한 시화호 수질모델 보정 및 검증”, 대한환경공학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 131~139
- 서동일, 이은형 (2002). “용담댐의 영향분석을 위한 대청호의 수질모델링”, 한국수자원학회 논문집, 제35권 제6호, pp. 737 ~ 751.
- 신재기, 임창수 (2000). “금강 중하류에서의 수질모의에 관한 연구”, 한국수자원학회 논문집, 제33권 제2호, pp. 145 ~ 157
- 이은형, 서동일 (2002). “용담댐의 영향분석을 위한 금강의 수질모델링”, 한국수자원학회 논문집, 제35권 제5호, pp. 525 ~ 539.
- 최지용, 신은성, 이동훈 (1999). “서울 도시지역의 비점오염원 유출 특성에 관한 연구”, 한국물환경학회지, 제15권 제3호, pp. 315 ~ 323
- 허인량, 이진호, 최지용, 정위호, 이용석 (1999). “한강상류 유역 수질보전에 관한 연구(II)”, 한국물환경학회지, 제15권 제3호, pp. 305 ~ 314
- 환경부 (1995). 비점오염원 조사연구사업 보고서
- 황병기, 조미영, 최경식 (2000). “지리정보체계를 이용한 마산만 수질관리 시스템 개발”, 한국물환경학회지, 제16권 제5호, pp. 573 ~ 583

(논문번호:03-01/접수:2002.11.06/심사완료:2003.05.26)