

호우발생시 저수지 유입 부유사농도의 변화특성 연구

A Study on the Variation of Suspended Sediment Concentration in the Reservoir due to a Rainstorm

장수형* / 박무종** / 윤용남***

Jang, Su Hyung / Park, Moo Jong / Yoon, Yong Nam

Abstract

The objective of this study is to propose reservoir operation method in relation to the suspended sediment concentration due to rainstorms. Present analysis is made for the Tamjin reservoir which is under construction. For the hydrologic computations the Huff rainfall distribution, Clark unit hydrograph method and Puls reservoir routing method are used. The variation of suspended sediment concentration is calculated by 2-dimensional RMA-4 model. As a result of this study, the possible intake time from the reservoir under low frequency flood is estimated and the rainfall - return period - possible intake time relationship is established, which is very important in maintaining the water quality standard when supplying water from the reservoir for different utilizations.

Keywords : USLE, Sediment Delivery Ratio, RMA-4, Suspended Sediment Concentration, Reservoir Management

요 지

본 연구의 목적은 호우시에 저수지로 유입되는 토사유출량을 산정하고 저수지내 부유사 농도의 변화특성을 분석하여 저수지의 정량적 관리를 위한 자료를 제안하기 위한 것이다. 연구는 탐진댐에 적용되었으며 강우유출관계는 Huff의 강우분포와 Clark의 유역추적법을 사용하였으며, 저수지 추적은 Puls방법을 이용하였다. 토사유출량의 산정은 범양토양손실공식을 분포형 개념을 이용 단일호우에 대해 적용하여, 적정 빈도에 대해서도 적용가능하도록 하였다. 또한, 저수지내에서의 부유사 농도는 2차원 수리모형인 RMA-4를 이용하였다. 연구 수행결과 호우발생시 저수지에서의 취수가능기간에 대한 계산이 가능하며, 이를 이용하여 재현기간 및 강우량에 따른 여러 측면에서 용수공급에 따른 일정 수질 유지를 위한 자료를 제시하였다. 이는 강우시 저수지 수질관리를 위한 기초자료로 사용 가능하다.

핵심용어 : 범양토양손실공식, 유사전달률, RMA-4, 부유사 농도, 저수지 관리

-
- * 고려대학교 토목환경공학과 박사과정
Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engr., Korea Univ., Seoul, 136-701, Korea
(E-mail: angel452@korea.ac.kr)
- ** 한서대학교 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil Engr., Hanseo Univ., Choongnam, 356-820, Korea
(E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)
- *** 고려대학교 토목환경공학과 교수
Professor, Dept. of Civil & Environmental Engr., Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(E-mail: ynyoon@korea.ac.kr)

1. 서론

생활 및 농업 용수공급을 위한 중소 규모의 댐이 전국적으로 산재되어 있으나, 홍수발생시에는 저수지로의 유입수질이 악화되어 취수 및 용수공급에 있어 장애요인으로 작용한다. 이러한 문제점은 저수지내 수질의 변화특성을 파악함으로써 적절한 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 저수지내 부유사 농도(suspended sediment)의 시·공간적 변화특성을 파악하기 위해서는 저수지로 유입되는 오염물 부하량 산정이 선행되어야 한다. 따라서 저수지관리 시스템은 수리·수문학적인 접근뿐만 아니라 환경적인 측면에서의 접근을 포함하고 있어 총괄적인 유역관리시스템이 필요하다.

국내·외에서 주로 이용되고 있는 토사침식량 산정모형은 주로 USLE, MUSLE, RUSLE 등이 있으며 이러한 모형에 대한 매개변수 및 국내 적용성에 대한 연구로서 박무종 등(1999)은 실 유역에 토사유출량 산정공식을 적용하여 현장조사에 의한 토사유출량과 비교하여 토사유출량 산정공식의 적용성과 개발현장에서의 토사유출량 발생 범위를 확인한 바 있으며, 송일준 등(2000)은 USLE모형 매개변수의 특성을 분석하여 우리나라의 개발양상에 적합한 계수의 결정방법을 제안한 바 있다. 또한 손광익 등(2000)은 RUSLE와 MUSLE모형의 국내적용성 검토를 위해 실측 토사유출량을 비교한 바 있다.

그리고 토사침식량 산정시 토사침식에 기인 하는 인자의 정확한 산정이 무엇보다도 중요하기 때문에 유역의 시·공간적특성을 고려하여야 한다. 최근에는 이러한 유역의 공간적 특성에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 신현석 등(2000)은 침식과 퇴적을 동시에 모의할 수 있는 USPED모형의 계산 결과와 비교하여 GIS를 이용한 (R)USLE의 적용시 주의사항을 분석하였으며, 김웅태 등(2001)은 유역의 공간적 이질성을 고려하기 위해 유역을 격자로 나누어 토사침식량을 산정하고 유사추적을 실시하여 산정된 토사유출량과 실측토사량을 비교하여 실제 유역의 적용가능성을 검토한 바 있다. 그러나 USLE모형과 같은 토사침식량 산정모형은 대부분 구곡 혹은 수로에서의 퇴적을 모의하지 못한다. 따라서 침식된 토사가 저수지내로 전량 유입되지는 않고 물과 함께 희석되어 흐르면서 감소되는 유사전달률(delivery ratio) 개념을 도입하여야 하지만 기존의 방법들은 통계적인 방법이나 도표에 의한 방법에 의해 산정하는게 대부분이다. Kothyari 등(1997)은 ILWIS라는 GIS 소프트웨어와 USLE 공식을 이용하여 인도외 Karso 유역의 특정 호우사상에 대한 토양 침식량을 추정하여 유역출구로의 유사추적(sediment routing)을

실시한 바 있다.

국내 하천이나 저수지에서의 부유사 농도 등 수질에 측 연구에 대한 연구를 살펴보면 임창수 등(1999)은 대청댐 하류의 수질예측을 HEC-2 모형과 WASP5 (EUTRO5)모형을 연계하여 분석한 바 있으며 이광호 등(2000)은 WASP5 모형을 통해 대청호의 수질을 분석한 바 있다. 또한 안상진 등(2000)은 보청천에 2차원 수치모형을 이용하여 하천에서의 부유사농도 분석을 한 바 있다. 그러나 저수지내 수질의 1차원 해석은 한계가 있으며 기존의 저수지내 부유사 농도의 시·공간적인 분석은 복잡한 유역전반의 특성으로 인해 토사침식량이나 부유사농도분포의 개별적인 분석을 통해서서는 부유사 특성을 재현하기는 불가능하다.

따라서 본 연구에서 저수지내 정량적 수질관리방안의 제안을 위해 유역내 토사침식량 산정은 유역의 공간적 특성을 고려하기 위해 분포형 개념을 도입하였다. 그리고 실제 유역 출구까지 도달하는 토사유출량은 각 격자망에서의 유사전달률을 고려하여 산정 하였다. 또한, 실제 호우 발생시 침식된 토사가 저수지내로 유입되어 취수탑과 같은 특정지점에서의 강우지속시간별 수질특성을 정량적으로 분석을 위해 2차원 수리모형(RMA-2)과 오염물 이송·확산모형(RMA-4)을 적용하였다. 즉, 토사침식량 및 유출량산정 그리고 부유사의 저수지내 시·공간적 특성을 연계 분석하는 방법을 제안함으로써 강우시 저수지 내에서의 적절한 관리를 할 수 있도록 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 토사유출량 산정 방법

유역의 토사침식량산정은 토사침식에 기인하는 인자의 정확한 산정이 무엇보다도 중요하며 유역의 시·공간적특성을 고려하기위해 유역을 일정한 격자망으로 구성하였다. 이러한 분포형 개념을 도입하여 USLE모형을 적용하였으며 산정된 토사가 저수지내로 전량 유입되지는 않기 때문에 강우와 함께 침식된 토사가 물과 함께 희석되어 흐르면서 감소되어 저수지내로 유입되는 토사유출량은 유사전달률 개념을 도입하여 산정하였다.

2.1.1 유사전달률

USLE모형을 이용한 토사침식량 산정은 퇴적을 고려하지 않은 모형으로써 토사침식량과 토사유출량사이에는 경우에 따라 많은 차이가 발생하게 된다. Kothyari (1997)등에 따르면 각 격자망에서의 유사전달률(DR_i)는 격자망에서 침식된 토사의 전달을 방해하는 인자의 비와 모형의 보정계수 C_1 의 곱으로 식 (1)과 같이 정

의하였다.

$$DR_i = C_i(1 - FA_i) \quad (1)$$

여기서 FA_i 는 i 번째 격자망에서의 숲의 비율이고 C_i 은 모형의 모정을 통해 결정된 계수로 토사의 유역출구로의 이동에 복잡하게 얽혀있는 중요한 인자이다.

유사전달률 DR_i 은 격자망에서의 유사전달률을 뜻하므로 이러한 격자망의 흐름경로에 따라 유사전달률은 달라지게 된다. Kothyari(1996) 등은 다음과 같은 식 (2)와 같이 격자망에 따라 흐르는 유사전달률을 모의하였다.

$$DR'_i = DR_i \cdot DR_{i-1} \cdot DR_{i-2} \cdot \dots \cdot DR_{i-n} \quad (2)$$

여기서, DR'_i 는 각 격자망 출구에서의 유사전달률이며 n 은 전체 격자망의 개수를 나타낸다.

김용태(1999)등은 우리나라의 저수지 유역에 유사전달률을 적용하여 실측 토사량과 비교·검증하였다. 그리고 식(1)의 숲의 비인 FA와 실측치와 모형의 보정을 통해 결정될 C 값을 다중회귀 분석을 통해 대상유역의 유역면적과 유사전달률의 관계를 식(3)과 같이 수립하였다.

따라서 본 연구에서는 김용태(1999)등이 다중회귀분석을 통해 산정한 유역면적과 유사전달률의 관계 식 (3)을 이용하여 적용하였다.

$$DR = 152.581 \times A^{-0.577} \quad (3)$$

여기서 DR는 유역의 유사전달률이며 A는 유역면적 (km^2)이다.

2.1.2 USLE 모형

USLE는 식(4)와 같이 매개변수들의 단순한 곱으로 이루어져 있어 적용이 상대적으로 용이하다는 장점이 있지만 큰 유역에 적용할 때는 균일한 소구역으로 나누어 적용하는 것이 바람직하다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (4)$$

여기서, A는 강우침식능 R의 해당기간 중 단위면적에서 침식되어 손실되는 토사량(tons/ha), R은 강우침식지수 ($10^7 \text{J/ha} \cdot \text{mm/hr}$), K는 토양 침식인자(tons/ha/R), LS는 무차원 지형인자(L - 침식사면의 길이 인자, S - 침식사면의 경사인자), C는 작물형태, 피복상태 등 경작종류와 형태에 따른 경작인자, 그리고 P는 등고선 경작 등에 따른 토양보전 대책인자이다.

본 연구에서는 유역내 여러 가지 유역특성인자의 공간적인 분포를 고려하기 위해 유역을 일정한 크기의 격

자로 나누어 토사침식량을 계산하였다. 또한 저수지의 정량적인 관리를 위해서는 연평균개념의 토사침식량 산정보다는 호우사상에 따른 시간별 토사침식량의 산정이 필요하다. 따라서 특정한 호우사상에 대한 R값을 산정하기 위해 빈도별 24시간 지속 확률강우량을 HUFF분포에의해 단일 호우사상에 대한 30분 최대강우강도인 EI_{30} 지수를 산정하는 방법을 적용하였다. 호우사상에 대한 구간별 총 강우에너지는 식(5)에 의해 계산된다. USLE모형 및 강우침식지수 R의 배경이론은 국립방재연구소(1998)의 개발에 따른 토사유출량산정에 관한 연구(1)에 자세히 설명되어 있다.

$$R = \frac{(\sum E)I_{30}\max}{100} \quad (5)$$

여기서 R은 강우 침식지수 ($10^7 \text{J/ha} \cdot \text{mm/hr}$), $I_{30}\max$ 는 지속시간 30분 최대 강우강도(cm/hr)이다.

2.2 저수지내 수리 및 부유사 농도의 분석 방법

저수지의 수질은 1차원 해석을 통해서 정량적인 분석이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 2차원 수리모형인 RMA-2와 RMA-4모형을 적용하여 강우발생시 예상되는 저수지내 수리 및 유입 부유사 분포특성을 분석하였다.

2.2.1 RMA-2 모형

RMA-2모형은 동수역학 문제를 해석위한 2차원 유한요소 프로그램으로 하천, 하구 또는 항구와 같은 수역을 대표하는 유한요소망의 각 격점에서 수위 및 유속을 계산할 수 있으며, 정상류 뿐만아니라 부정류 상태까지 모의할 수 있으며 지배방정식으로는 연속방정식과 운동량 방정식이 이용된다. 수심평균된 RMA-2 모형의 지배방정식은 다음과 같다.

■ 연속방정식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

■ 운동량 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

$$+ g \frac{\partial a}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

$$+ g \frac{\partial a}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0$$

여기서 x 와 y 는 좌표축, t 는 시간, g 는 중력가속도, u 와 v 는 x 와 y 방향의 수심 평균유속, ρ 는 물의 밀도, h 는 수심, a 는 하상표고, τ_x 와 τ_y 는 x 와 y 방향으로

작용하는 외부응력, ϵ 는 확산계수이다.

2.2.2 RMA-4 모형

RMA-4모형은 오염물의 확산·이송을 계산하는 모형으로 기본방정식은 다음과 같다.

$$h \left[\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right] = 0 \quad (6)$$

여기서 c 는 오염물의 농도, u 와 v 는 x 와 y 방향으로의 평균유속, h 는 수심, D_x 와 D_y 는 x 와 y 방향으로의 난류확산계수, σ 는 오염원의 생성 또는 소멸, k 는 감소계수이다.

3. 모형의 적용 및 분석

모형의 적용은 2000년대 탐진강 중·하류와 전라남도

서남부지역에 예상되는 극심한 용수 부족난을 해결하고 홍수피해 방지를 위해 건설중인 탐진댐유역을 대상으로 선정하여 호우발생시 탐진댐 저수지의 정량적인 관리방안을 제시하고자 하였다.

3.1 대상유역의 특성

탐진댐 총 저수용량은 183백만 m^3 (계획홍수위 EL. 82.8m), 상시만수위 EL. 82.0m, 저수위 EL. 55.0m이고 유역면적은 193 km^2 , 저수지면적은 10.27 km^2 이다.

본 연구에서는 토사침식량 및 토사유출량 산정을 위해 유역을 그림 1과 같이 탐진강, 움천천, 유치천의 3개 중유역과 저수지 인근 19개 소유역으로 구분하였다. 탐진댐 중유역별 유역면적 및 유로연장은 표 1, 그리고 각 소유역별 유역특성은 표 2와 같다.

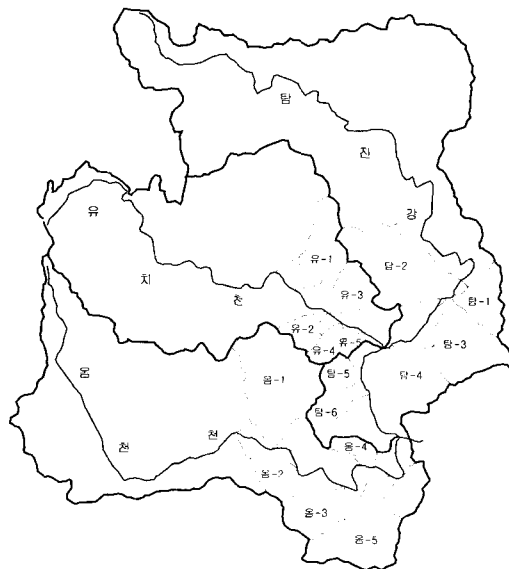


그림 1. 탐진댐 유역도

여기서, 탐 - : 탐진강유역을 뜻하며 뒤의 번호는 각 지류의 번호
 유 - : 유치천유역을 뜻하며 뒤의 번호는 각 지류의 번호
 움 - : 움천천유역유역을 뜻하며 번호는 각 지류의 번호

표 1. 탐진댐 중유역별 유역면적 및 유로연장

소유역	유역면적 A(km^2)	유로연장 L(km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L ²
탐진강	79.4	27.3	2.9	0.11
유치천	52.9	15.5	3.4	0.22
움천천	60.7	21.0	2.9	0.14
전 체	193.0	27.3	7.1	0.26

표 2. 탐진댐 소유역별 유역특성

지점명*	유역면적 A(km ²)		유로연장 L(km)		고도 EL.(m)
	지점별	누가별	지점별	누가별	
탐진강상류	55.6	55.6	20.1	20.1	350
탐-1	3.1	58.7	20.1	20.1	80
탐-2	6.6	65.3	0.4	20.5	70
탐-3	5.1	70.4	0.3	20.8	70
탐-4	4.2	74.6	2.1	22.9	60
유치천 합류점	52.9	127.5	2.1	22.9	60
탐-5	2.0	129.5	1.8	24.7	52
탐-6	2.8	132.3	0.4	25.1	50
옴천천 합류점	60.7	193.0	2.2	27.3	46
유치천상류	45.7	45.7	12.0	12.0	400
유-1	3.1	48.8	12.0	12.0	75
유-2	1.1	49.9	1.3	13.3	65
유-3	1.7	51.6	0.4	13.7	65
유-4	0.9	52.5	0.2	13.9	64
유-5	0.4	52.9	1.6	15.5	60
옴천천상류	34.3	34.3	13.5	13.5	350
옴-1	10.4	44.7	13.5	13.5	85
옴-2	3.4	48.1	3.1	16.6	60
옴-3	1.9	50.0	0.6	17.2	55
옴-4	6.0	56.0	1.9	19.1	55
옴-5	4.7	60.7	1.9	21.0	55

주) * 탐 - 탐진강유역을 뜻하며 뒤의 번호는 각 지류의 번호
 유 - 유치천유역을 뜻하며 뒤의 번호는 각 지류의 번호
 옴 - 옴천천유역을 뜻하며 뒤의 번호는 각 지류의 번호

3.2 모형의 적용

3.2.1 유사전달률을 고려한 소유역별 토사유입량

분포형 개념을 도입하기 위해 탐진댐 유역을 그림 2와 같이 격자망으로 구성하고 각 격자망에서의 토사침식량을 USLE 모형을 적용하여 산정하였다. 또한 토사침식량의 유사추적(sediment routing)을 위해 인근 8개의 격자망의 고도를 비교하여 물과 혼합된 토사는 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다고 가정하여 흐름방향을 결정된 후 유사전달률 개념을 도입하였다.

저수지의 정량적인 관리를 위해서는 연평균 개념의 토사침식량이 아닌 호우사상에 대한 토사침식량의 산정이 필요하다. 따라서 탐진댐 인근에 위치한 도암, 장흥, 오류 우량관측소의 62년간(1939~2000) 강우자료를 분석하여 빈도분석을 수행하고 식 (5)를 이용하여 빈도별-지속기간별 강우침식지수 R을 표 3과 같이 산정하였다. 표 3과 그림 3의 토양침식량 산정인자를 식 (3)의

유사전달률을 적용하여 각 소유역별 토사유입량을 산정한 결과는 표 4와 같다.

토사침식량에 비해 실제 저수지로 유입되는 규모는 상대적으로 작았다(표 4, 그림 4참조). 즉, 상대적으로 유역면적이 큰 중유역(탐-상류, 유-상류, 옴-상류)에서 발생된 토사침식량 대비 저수지 유입 양은 15~20%에 불과하지만 저수지 인근 소유역의 경우는 토사침식량 대비 저수지 유입량이 41~90%로 저수지유입 토사량은 유역면적보다는 유사전달률의 영향이 크다는 것을 의미한다.

따라서 저수지내에서 부유사 농도의 거동은 저수지 주변 유역의 토사 침식이 지배적이기 때문에 저수지내의 부유사 농도를 감소시키기 위해서는 유역의 전반적인 관리보다는 저수지 주변의 관리가 더 중요하며 만일 토지이용 변경 등을 통해 토사침식량을 억제할 수 없을 때에는 저수지 유입부에 침사지와 같은 토사유입억제 대책을 세워야 할 것으로 판단된다.

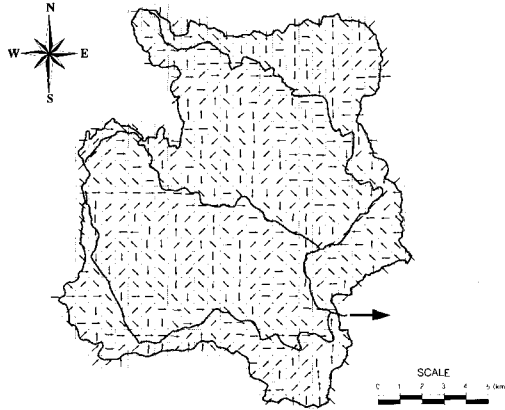


그림 2. 탐진댐 유역의 격자망구성 및 흐름방향도

표 3. 빈도별-지속시간(24시간)별 R 값

빈도(년)	2	5	10	15	20	30	50
강우량(mm)	179.70	211.50	251.60	274.50	290.70	313.80	342.10
$R(10^7 J/ha \cdot mm/hr)$	35.98	77.43	112.51	136.75	154.06	182.65	219.32



(a) 토양침식인자, $K(\text{tons/ha/R})$

(b) 무차원 지형인자, LS

(c) 경작종류와 형태에 따른 경작인자, C

(d) 토양보전 대책인자, P

그림 3. 각 격점별 탐진댐 유역의 토양침식량 산정 인자 값

표 4. 소유역별 토사유입량(지속기간 24시간)

구분 유역구분	면적 (km ²)	유사 전달률(%)	빈도별 토사유입량(tons/24hours)						
			2년	5년	10년	15년	20년	30년	50년
탐상류	55.6	15.0	2,363.8	5,087.0	7,391.6	8,984.1	10,121.4	11,999.6	14,408.8
1	3.1	77.4	381.3	820.6	1,192.3	1,449.2	1,632.7	1,935.7	2,324.3
2	6.6	65.6	358.1	770.7	1,119.8	1,361.1	1,533.4	1,818.0	2,183.0
3	5.1	51.9	484.6	1,042.8	1,515.2	1,841.6	2,074.8	2,459.8	2,953.6
4	4.2	57.7	589.9	1,269.5	1,844.7	2,242.2	2,526.0	2,994.7	3,596.0
5	2	90.0	158.4	341.0	495.5	602.2	678.4	804.3	965.8
6	2.8	69.0	741.2	1,595.0	2,317.6	2,817.0	3,173.5	3,762.5	4,517.9
소계	79.4		5,077.3	10,926.6	15,876.7	19,297.4	21,740.2	25,774.6	30,949.4
유상류	45.7	16.7	1,885.4	4,057.5	5,895.7	7,165.9	8,073.0	9,571.2	11,492.7
1	3.1	77.4	995.5	2,142.4	3,113.0	3,783.7	4,262.7	5,053.8	6,068.4
2	1.1	90.0	263.4	566.9	823.8	1,001.3	1,128.0	1,337.4	1,605.8
3	1.7	69.0	788.6	1,697.1	2,465.9	2,997.2	3,376.6	4,003.2	4,806.9
4	0.9	90.0	83.6	180.0	261.6	317.9	358.2	424.6	509.9
5	0.4	90.0	51.9	111.6	162.2	197.2	222.1	263.4	316.2
소계	52.9		4,068.4	8,755.5	12,722.2	15,463.2	17,420.6	20,653.6	24,799.9
옴상류	34.3	19.8	1,407.1	3,028.2	4,400.2	5,348.2	6,025.2	7,143.3	8,577.4
1	10.4	44.0	914.8	1,968.7	2,860.6	3,476.9	3,917.0	4,643.9	5,576.2
2	3.4	82.9	1,182.6	2,545.0	3,698.0	4,494.7	5,063.6	6,003.3	7,208.6
3	1.9	72.9	1,405.1	3,023.8	4,393.8	5,340.4	6,016.4	7,132.9	8,565.0
4	6	89.5	1,353.2	2,912.1	4,231.4	5,143.1	5,794.1	6,869.4	8,248.5
5	4.7	41.1	1,020.2	2,195.4	3,190.1	3,877.4	4,368.2	5,178.8	6,218.5
소계	60.7		7,283.0	15,673.2	22,774.1	27,680.7	31,184.5	36,971.6	44,394.2
총 계	193.0		16,428.7	35,355.3	51,373.0	62,441.3	70,345.3	83,399.8	100,143.5

주) 탐상류 : 탐진댐 담수면 유입 탐진강상류
 유상류 : 탐진댐 담수면 유입 유치천상류
 옴상류 : 탐진댐 담수면 유입 옴천상류

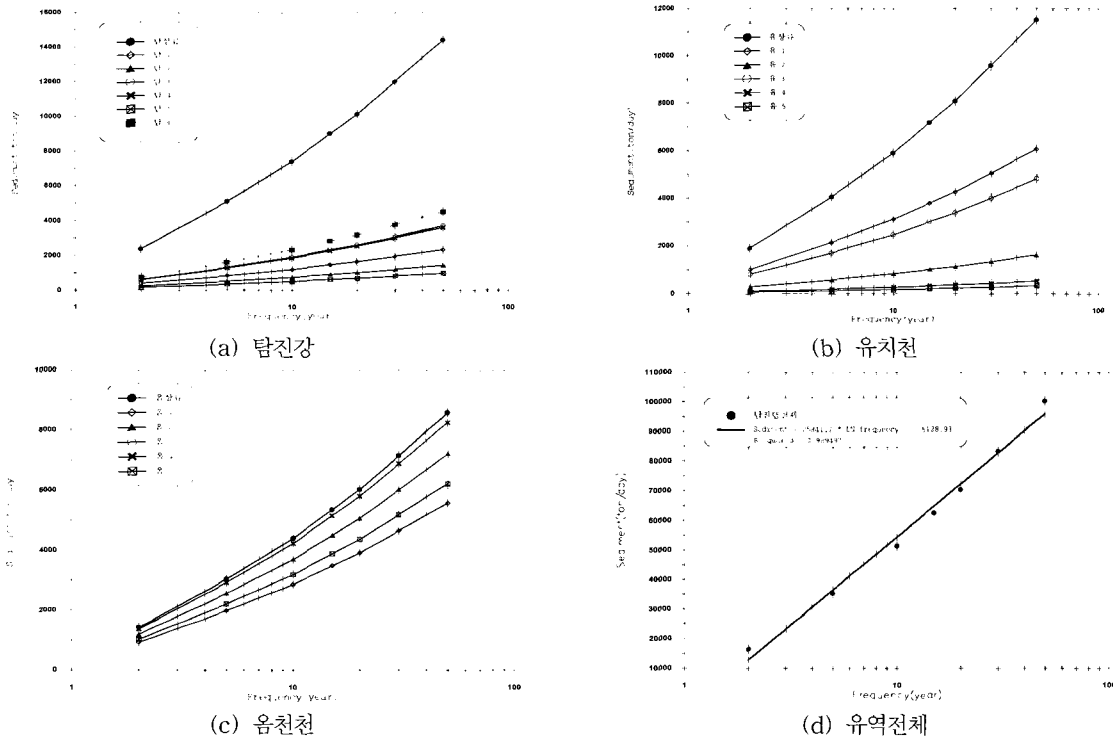
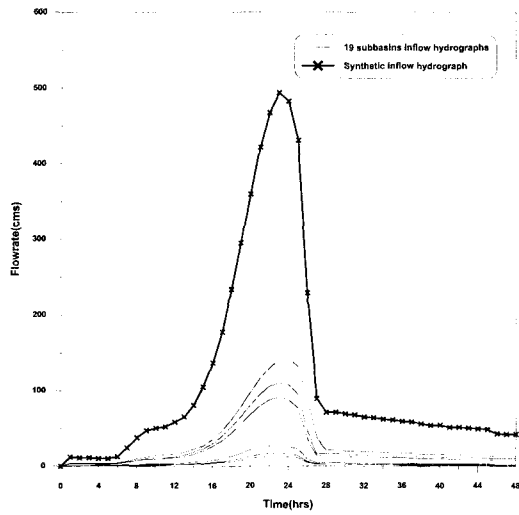
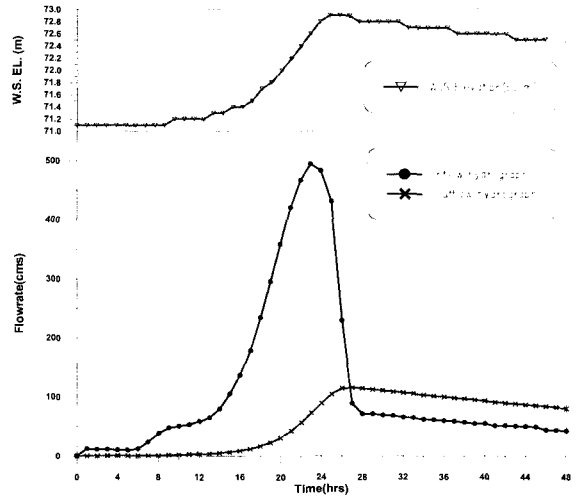


그림 4. 탐진댐 빈도별-유역별 토사유입량



(a) 유입수문곡선(Clark)



(b) 유입·유출수문곡선 및 여수로 월류수위(Puls)

그림 5. 탐진댐 저수지 유입·유출수문곡선(2년빈도, 지속기간 24시간 강우 발생시)

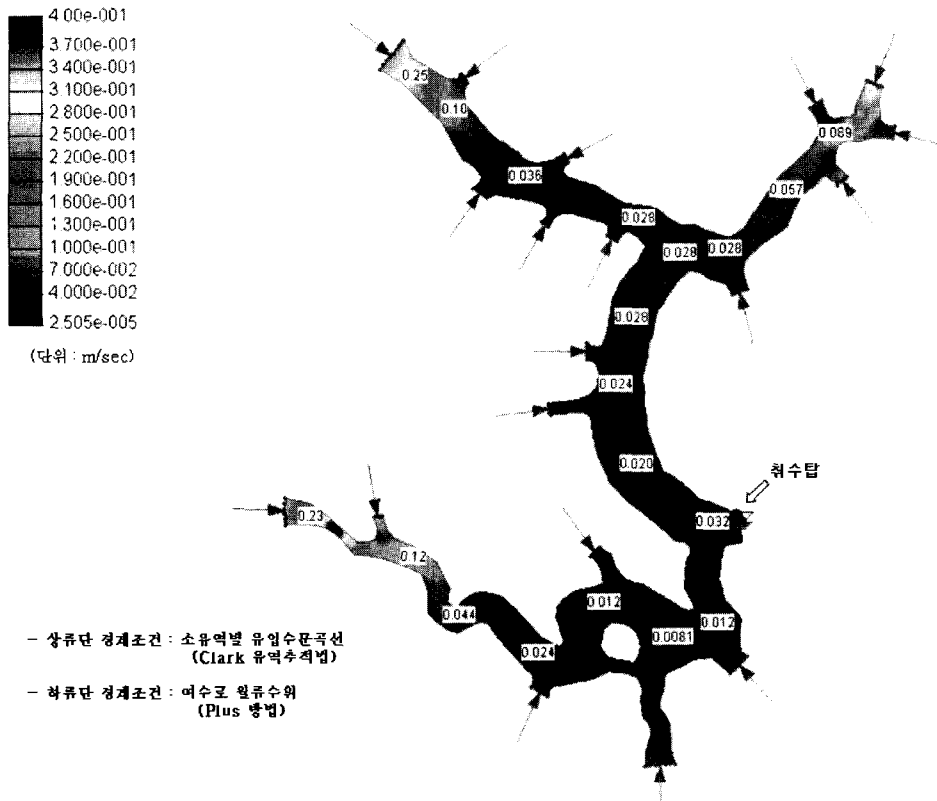


그림 6. 탐진댐 저수지의 유속분포특성(2년빈도, 지속기간 24시간 강우 발생시)

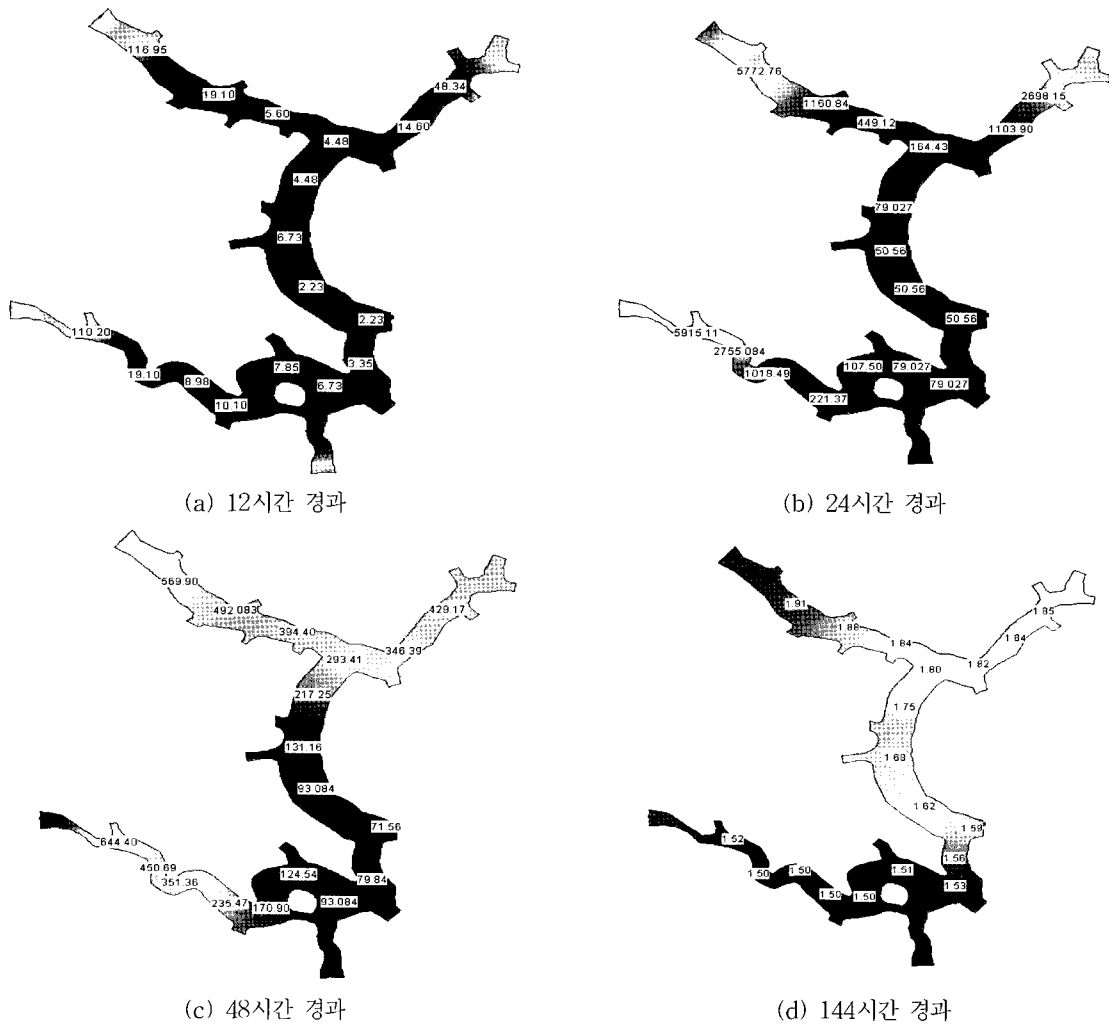


그림 7. 탐진댐 저수지의 부유사 농도분포(2년빈도, 지속기간 24시간인 강우 발생시, mg/l)

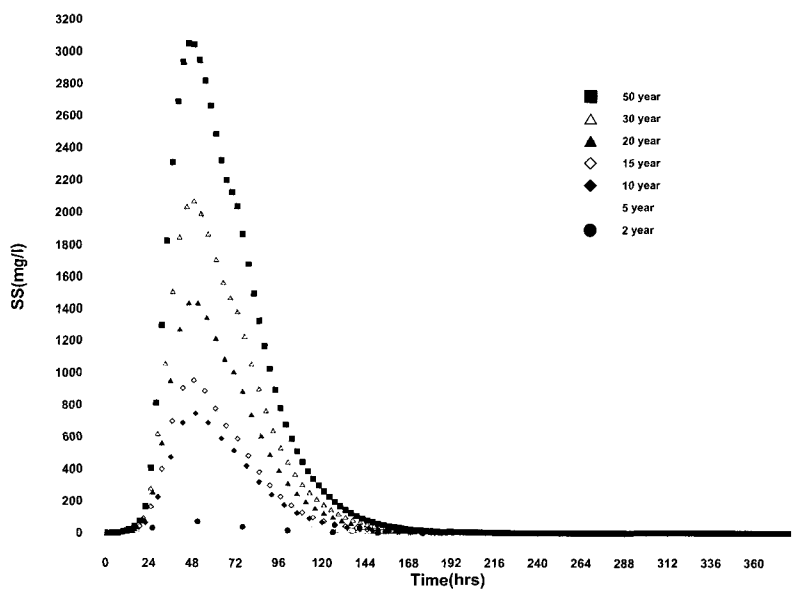


그림 8. 취수탑 지점의 시간별, 빈도별 부유사농도(강우지속기간 24시간)

3.2.2 RMA-2모형을 이용한 저수내 수리특성 분석

본 연구에 적용된 유한요소망은 4,080개 절점과 1,212개의 요소망으로 구성하였으며 하도의 특성을 고려하여 조도계수는 0.025~0.035, 난류확산계수는 “깊은 하구”의 경우에 가까울 것으로 판단하여 하천의 재료특성과 수심을 고려하여 $2,000N \cdot \text{sec}/\text{m}^2$ 을 적용하였다.

RMA-2 모형의 경계조건을 위해 탐진댐 인근에 위치한 도암, 장흥, 오류 우량관측소의 62년간(1939~2000) 강우자료를 이용 지점확률강우량을 산정한 후 Thiessen의 가중평균법으로 탐진댐 저수지 유입 19개 소유역에 대한 면적확률강우량을 산정하였다. 그리고 Huff방법으로 면적확률강우량을 시간분포한 후 Clark의 유역추적법으로 유입수문곡선을 산정하여 RMA-2 모형의 상류단 경계조건으로 사용하였다(그림 5(a) 참조). 하류단 경계조건인 여수로의 월류수위 계산을 위해 상류단 경계조건으로 산정한 19개 소유역의 유입수문곡선을 합성하여 저수지 유입수문곡선으로 이용하고 이에 상응하는 여수로의 월류수위를 Puls 방법을 이용 저수지추적을 실시하여 그림 5(b)와 같이 산정하였다.

그림 6은 지속기간 24시간 강우에 의한 2년 빈도의 취수탑지점유속이 최대일 때 탐진댐 저수지의 유속분포 특성을 나타내고 있다. 저수지의 중류부 하류부의 유속이 상대적으로 작고 특히, 움천천의 경우 중류부 유속이 하류부보다 작은 유속특성을 보이고 있는데 이는 움천천 중류부의 지형특성이 만곡부와 다른 지천보다 넓은 하천 폭의 영향인 것으로 판단된다. 이와 같이 재현기간에 따른 2차원 수리특성은 저수지내 부유사농도의 거동특성 분석을 위한 입력

자료로 이용된다.

3.2.3 RMA-4 모형을 이용한 저수지내 유입 부유사 농도 분포특성 분석

부유사 농도의 거동특성의 분석을 위해 RMA-4 모형을 이용하였으며, 모형의 경계조건으로는 표 4에서 산정한 19개 소유역의 저수지 토사유입량과 RMA-2에서 계산된 수리결과를 이용하였다. 분석결과는 그림 7, 그림 8과 같다.

그림 7은 재현기간 2년, 강우지속기간 24시간인 강우발생시 탐진댐 저수지내 부유사 농도의 거동특성을 나타내고 있으며 유치천 합류점 하류부터 취수탑지점과 움천천의 중·하류부의 농도변화는 다른 지점에 비해 변화 폭이 작았다. 이러한 이유는 저수지 중·하류부의 유속의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 8은 취수탑지점의 빈도별 부유사농도를 나타내며, 최대 부유사농도 발생시점은 강우시작 48시간 전·후에 나타나고 있다. 취수탑지점에서의 빈도별 최대농도의 차이는 크게 나타나지만 강우시작 48시간 이후 급격히 감소하다가 일정한 시간이후 일정하게 나타나고 있어 취수탑지점에서 부유사농도가 빈도별 강우에 따라 뚜렷한 변화양상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3.3 강우발생시 취수 특성분석

강우발생시에는 저수지의 수질오염이 가중되며 주로 부유사의 증가에 의해 발생하게 된다. 따라서, 환경기준 I 등급 SS 농도(25mg/l)를 기준으로 저수지 수질특성을 분석하였다. 그림 9와 같이 2년 빈도의 강우로 인해 발생하게 될 취수탑지점에서의 시간에 따른 부유사의 농도분포 곡선에서 환경기준 SS 농도 25mg/l 이상이 발생하게 될 시간은 강우시작 25시간 후부터

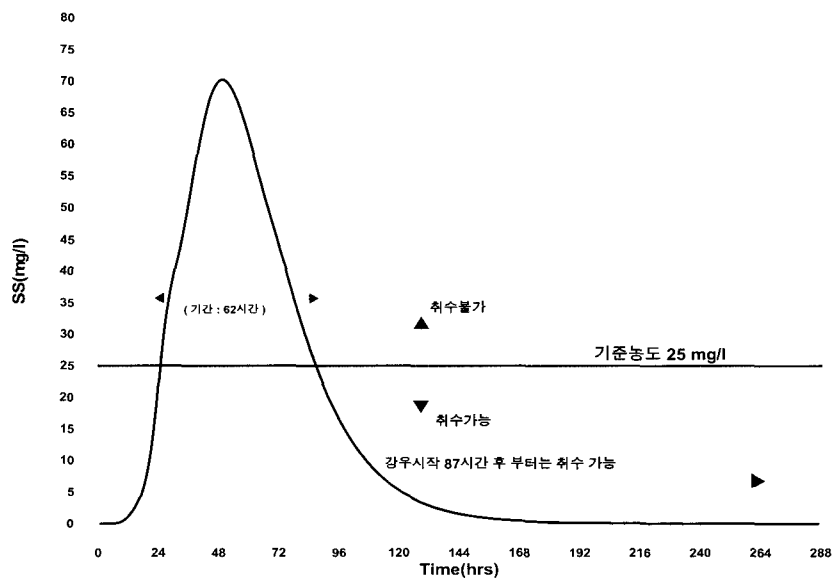


그림 9. 취수탑 지점의 취수기준(2년빈도)

표 5. 취수탑지점에서의 빈도별 부유사 농도 특성

분석내용	빈도	2년	5년	10년	15년	20년	30년	50년
농도 회복기간		288hr (12day)	312hr (13day)	336hr (14day)	353hr (14.7day)	364hr (15.2day)	371hr (15.5day)	379hr (15.8day)
25mg/l 이상 지속기간		62hr (2.6day)	102hr (4.3day)	122hr (5.1day)	126hr (5.3day)	138hr (5.8day)	146hr (6.1day)	155hr (6.5day)
취수 불가능시점		25hr	21hr	18hr	17hr	16hr	15hr	14hr
취수 가능시점		87hr (3.6day)	123hr (5.1day)	140hr (5.8day)	143hr (6.0day)	154hr (6.4day)	161hr (6.7day)	169hr (7.0day)
최대농도 발생시점		49hr	50hr	49hr	48hr	48hr	48hr	47hr
최대농도(mg/l)		70.2	335.1	746.2	954.8	1452.8	2075.7	3062.6

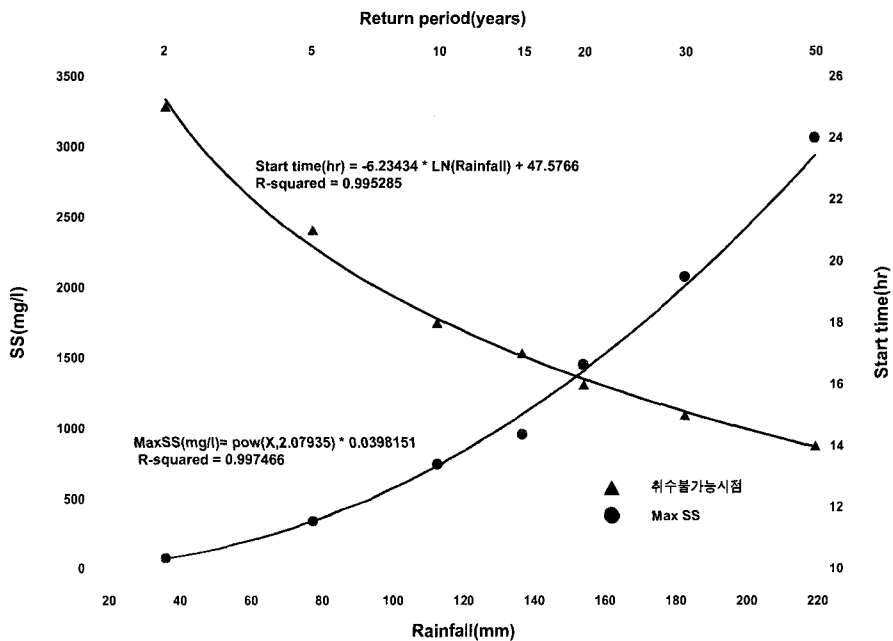


그림 10. 강우량별-최대농도, 취수불가능시점 관계

이며 기준이상의 농도 지속기간은 62시간(약 3일), 기준 이하로 돌아가는 시간은 강우시작 후 87(약 4일)시간이다. 즉, 강우시작 후 약 4일이 경과한 후부터는 취수가 가능하다는 것이 된다. 그리고 취수탑지점에서의 강우이전의 농도가 0(영)이었다고 가정하면 2년빈도 강우로 인해 농도가 증가해서 다시 원래의 농도인 0(영)이 되는데 소요되는데 걸리는 시간은 288시간(12일)이다. 이와 같은 취수탑지점에서의 빈도별 부유사 농도의 분포 특성을 정리하면 표 5와 같다.

표 5에서와 같은 부유사농도로 인한 취수탑지점의 여러 특성분석도 중요하지만 취수탑의 정량적인 관리를 위해서는 무엇보다도 취수탑지점에서의 부유사농도 변화와 환경기준농도인 25mg/l를 초과하여 취수탑을 운영할 수 없는 시점을 정확하게 파악하는 것이 중요하다.

따라서 탐진댐 저수지유역에 특정 호우사상을 갖는 강우 발생시 취수탑 지점에서의 부유사 농도와 취수탑을 운영할 수 없는 시점의 관계를 분석(그림 10 참조)하고 이러한 관계를 이용하여 저수지의 정량적인 관리를 할 수 있도록 하였다.

4. 결론

저수지의 정량적 관리를 위해 유사전달률을 고려한 분포형 개념으로 범용토양손실공식(USLE)를 사용하여 저수지 토사유입량을 계산하고 저수지내 부유사농도의 시간에 따른 거동특성을 파악하기 위해 2차원 수리모형인 RMA-4를 이용하였으며 분석결과는 다음과 같다.

- (1) 탐진댐 저수지의 취수탑 지점에서 2년빈도 지속기간 24시간 강우가 발생할 경우 SS 농도

25mg/l 이상이 발생하게 될 시간은 강우시작 25 시간 후부터이며 기준이상의 농도 지속기간은 62시간(약 3일), 기준 이하로 돌아가는 시간은 강우시작 후 87(약 4일)시간으로 저수지에서의 취수가능기간에 대한 계산이 가능하여 재현기간 및 강우량에 따른 여러 측면에서 용수공급에 따른 일정 수질의 유지를 위한 관리자료 설정이 가능하였다. 또한 강우량과 최대 부유사농도, 취수불능 시점의 관계를 도출하여 유역에 특정 강우사상이 발생할 경우 저수지의 정량적 관리가 가능하도록 하였다.

- (2) 특정 호우사상에 대한 유역의 토사침식량 및 유출량과 저수지 내로 유입된 부유사에 의한 취수탑 등과 같은 특정 수리구조물에서의 수리 및 수질특성을 연계함으로써 수리구조물에 대한 관리운영 방안을 제시한 본 연구의 분석방법은 호우시 저수지뿐 아니라 일반하천 내 취수장 등과 같은 수리구조물에서 수리구조물의 관리·운영 방안으로서 이용이 가능하다고 판단된다.
- (3) 저수지 부유사농도의 보다 정확한 분석을 하기 위해서는 호우시 일정한 시간에 따라 지속된 오염물 부하량의 실측 자료가 필요하며 또한 분포형 개념을 사용하여 토사침식인자 산정을 GIS와 같은 프로그램을 이용한다면 보다 정량적인 분석이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 한서대학교 연구비에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

권혁현, 손광익 (2000). "MUSLE모형의 국내 개발현장에 대한 적용성 검토.", 2000년 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp.199~202

김웅태, 윤용남, 박무중, 유철상 (2001). "분포형 개념을 이용한 토사유출량 산정에 관한 연구.", 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제34권, 제2호 pp.131-140

김동희, 손광익 (2000). "RUSLE를 중심으로 한 토사유출량 산정방법에 관한 연구.", 2000년 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp.195~198

박무중, 손광익 (1999). "토사유출량 산정기법의 적용가능성 검토.", 1999년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp.644~650

심명필, 이용관 (2000). "GIS를 이용한 범용토양손실공식의 활용에 관한 연구.", 2000년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp.371~376

안상진, 김진국, 전계원, 백남대 (2000). "수치모형을 이용한 소하천 수계의 부유사농도분포 모의.", 2000년 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp.203~206

오종민, 성기원, 정관수, 심명필 (2000). "댐건설과 환경보존대책 : 다목적댐 저수지의 수질관리와 기술현황." 2000년 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp.437~440

임재영, 서규우, 송일준 (2000). "USLE 계열모형의 매개변수 산정에 관한 연구.", 2000년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp.275~280

정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅 (1983). "토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석.", 한국토양비료학회지, 한국토양비료학회, 제16권, 제2호 pp.112-118

정희철, 장종경, 신현석 (2000). "GIS 및 USLE를 이용한 연 토사침식량 산정에의 LS인자 영향분석.", 2000년 대한토목학회 학술발표회논문집, 대한토목학회, pp.179~182

최광희, 이광호 (2000). "WASP5 모형을 이용한 성층화 호수의 수질모의.", 2000년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp.703~708

국립방제연구소(1998). 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).

Kothyari, U.C., and Jain, S.K. (1997). "Sediment yield estimation using GIS." *Hydrological Science Journal*, Vol. 42, No. 6, pp.833~843.

Tiwari, A.K. & Ranvir Singh(1997). "Temporal variation of sediment yield", *J. Hydrol. Eng., ASCE*, 1(4), pp.169-176

(논문번호:02-96/접수:2003.12.23/심사완료:2003.12.16)