

배사비 효율곡선 및 댐 운영기법을 이용한 퇴사량 장기 예측

Long-term Prediction of Dam Sedimentation Using Sluicing Efficiency Curve and Dam Operation Technique

이 광 만* / 이 우 석**

Lee, Gwang Man Lee, Woo Seok

Abstract

Dam sediment can be predicted from the two methods: the one is a physical analysis based on the hydraulic mechanism and the other is an empirical approach using observed data as a design factor. The former can be used to estimate short-term phenomena by mathematical methods, the latter can be used for deriving long-term design parameters such as dead storage calculation. Monthly reservoir operation is possible with the sluicing efficiency curve based on empirical data. The optimal sediment management can be carried out using the information variable which traces deposit sediments corresponding to the reservoir storage. The idea can provide an optimal operation strategy to save effective storage varying with time. This study presents a methodology for the long-term sediment prediction using sluicing efficiency curve. An application is conducted for estimating accumulated sediment deposit and water supply capability for the Fenhe dam in the Yellow river of China.

Keywords: dam sediment, capacity change, sluicing efficiency, optimal operation

요 지

댐 퇴사량 예측방법은 수리학적 메커니즘을 이용하는 방법과 실측자료를 설계치로 적용하는 경험적 방법으로 구분할 수 있다. 전자는 물리적 해석 방법으로 단기간에 이루어지는 현상을 규명하는데 적용할 수 있으며, 후자는 댐 사수량 결정 등 장기적인 설계변수 추정에 용이하게 이용할 수 있다. 이중 경험적 자료인 배사비 곡선식을 이용하면 월단위의 저수지 운영이 가능하며, 저류량에 대응하는 퇴사량을 정보변수로 추적하면 퇴사관리의 최적운영이 가능하다. 이와 같은 접근방법은 퇴사량에 의하여 시간적으로 변하는 댐 유효저수용량을 최적으로 관리할 수 있는 운영방안을 제공할 수 있다. 본 연구는 배사비 곡선을 이용한 장기 댐 퇴사량 예측방법을 제시하고 있다. 개발된 방법을 중국 황하유역에 위치한 분하댐을 대상으로 장기간의 댐 운영을 모의하여 예상되는 퇴사량과 용수공급능력 분석에 적용하였다.

핵심용어 : 댐 퇴사량, 용량변동, 배사비, 최적운영

* 한국수자원공사 조사처

** 한국수자원공사 계획처

1. 서 론

댐에서 잠재적 유사퇴적량의 효과를 예측하는 것은 댐 계획이나 운영에서 매우 중요한 사항중의 하나이다. 댐 내로 유입된 유사의 퇴적은 댐 기능에 여러 가지 장애를 초래한다. 경우에 따라서는 계획단계에서 댐 퇴사와 관련된 설계변수를 잘못 설정함으로써 운영단계에서 시설물의 건설목적은 달성하는데 많은 어려움이 따르고 있다. 특히 잘못된 퇴사량의 추정은 운영목적의 달성은 물론 배사시설 혹은 댐 운영방법의 재검토 등 경제적으로 큰 손해를 볼 수 있으며, 용수공급 목표달성을 어렵게 할 수 있다. 댐 퇴사와 관련된 문제는 댐의 유효저수용량을 감소시키고, 댐 인근의 수질을 변화시키며, 댐 상류의 삼각주 발달로 홍수위를 상승시킬 수 있다. 또한 댐 하류 하천의 안정에 영향을 미칠 수 있으며, 댐의 생태계를 파괴할 수 있다. 퇴사에 의한 수질변화는 댐 수변환경의 변화를 일으킬 수도 있다. 댐으로 유입된 유사는 배사과정에서 댐 시설물에도 영향을 미치는데 발전기 수차, 배수터널, 여수로 유입부 등의 마모를 일으킨다. 수리구조물 즉, 수문 및 운하에서 유사의 퇴적은 이들 시설물의 운영에 심각한 영향을 미친다.

퇴사에 의한 여러 장애요인 중 유효저수용량의 감소는 댐의 유입량 조절효과가 감소되어 용수공급에 지장을 초래할 수 있다. 하도상에 건설된 저류시설물은 강우에 의한 유출과 함께 유사의 유입을 피할 수 없는데 시설물의 규모가 커질 경우 지체시간이 길어져 많은 양의 유사가 댐 바닥에 침강하여 쌓이게 되며, 시간이 경과함에 따라 점차 조절기능이 감소된다. 따라서 퇴사현상이 심한 지역의 수자원 계획은 장래 예상되는 퇴적량을 미리 검토하여 적절한 대안을 찾아야 하는데 댐 퇴적량은 댐 운영과 밀접한 관련이 있다. 특히 유사가 많이 유입되는 우기의 댐 운영정책에 따라 퇴적량이 크게 변할 수 있다. 댐 퇴사량 예측방법은 여러 가지가 가능하나 장기간의 댐 운영방안을 고려한 퇴사량의 장기 예측은 유사가 댐 내에서 퇴적되는 양을 체류시간을 이용한 배사비 곡선 자료에 기초하여 구할 수 있다(Brune, 1950; IRTCES, 1985). 또한 댐 퇴사현상은 댐 운영방안과 밀접한 관련이 있으므로 수자원 시스템 평가변수로 고려할 수 있다. 이를 해결하기 위해 이광만 등(1995, 1997)과 Lee 등(1995)은 댐 퇴사를 하나의 댐 운영변수로 고려할 수 있는 Information Variable Dynamic Programming을 소개하였다. 이 방법은 댐 퇴사량을 저류량의 종속변수로 정의하고 저류량을 추적

할 때 저류량의 정보변수로 다루게 된다. 따라서 댐 상태변수로 고려할 수 있어 제약변수로 다룰 수 있으며, 방류량에 포함된 배사량을 평가함수의 변수로 이용할 수 있다. 이와 같은 방법론에 대해서는 중국 山西省 水利勘测设计院 水利电力部(1993)에서 중국 북부 3개 주요 댐을 대상으로 시도한 예가 있다. 이와 비슷한 방법으로 Fontan 등(1989)은 콜로라도 강의 염분농도 저감계획을 최적으로 수립하기 위한 문제에서 비용을 상태변수로, 염분농도를 제약조건으로 하는 동적계획기법을 이용하였다.

본 연구에서는 댐 개발 계획단계나 기존 시설물 운영 단계에서 댐 시스템 운영 목적을 최적으로 달성하기 위한 댐 퇴사관리 방법론을 경험적 자료에 기초하여 논하고 장래 예상되는 댐 퇴사량을 예측하는 방법을 제시하고 있다. 댐 퇴사 예측방법은 양적인 측면에서 장·단기 예측이 가능하나 퇴사에 의한 댐 수명을 월간 운영에 기초한 장기예측방법을 적용하였다. 중국 산서성 분하강 분하댐을 대상으로 과거 실측 유량 및 동시에 조사된 유사량 자료 계열을 이용하여 유입량 체류시간에 대응하는 배사비 곡선을 이용하여 장래 30년간의 모의 운영을 통하여 예상되는 퇴사량 및 용수공급능력을 추정하였다.

2. 경험적 방법에 의한 댐 퇴사량 추정 방법

2.1 체류시간에 따른 포착률

하천과 마찬가지로 댐 퇴사현상도 아직까지 정확한 추정방법이 개발되어 있지 못하다. 유사와 관련된 공학적 메커니즘은 매우 복잡하여 일반화된 계산방법 대신 경험적 방법을 많이 이용하고 있다. 일반적으로 댐으로 유입된 유사의 퇴적과정은 여러 가지 요인에 의하여 결정된다. 경험적 방법에서 댐에 퇴적되는 유사량은 포착률로 나타낼 수 있는데 유사 침강속도와 침강 허용시간의 함수로 정의할 수 있다. 물리적으로 댐의 상대적 크기, 댐 형태, 댐 운영, 그리고 유사입자의 크기 등이 댐 퇴사량을 결정하는데 주로 영향을 미치는 인자들이다. Brune(1950)는 댐 포착률을 결정할 수 있는 곡선을 경험적으로 개발하였는데 댐 퇴사량 추정에 많이 이용되고 있다. Brune가 개발한 유사 포착률은 그림 1에서 보여주듯이 저류량과 연간 총 유입량의 비로 정의되는 유입량 체류시간의 함수로 나타낼 수 있다.

위 곡선의 특징은 포착률을 댐에 퇴적된 유사량과 댐으로 유입된 총 유사량의 비로 정의하고 있다. 댐 저류량은 어느 일정기간의 상시만수위 저류량이며, 유입량은 이 기간 댐으로 유입된 총 유량을 말하며, 이들 변수의 비는 연간 유입량의 체류시간을 의미한다.

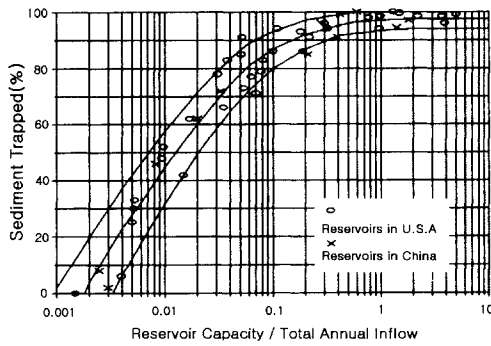


그림 1. 댐 유사 포착률 곡선 (IRTCES, 1985)

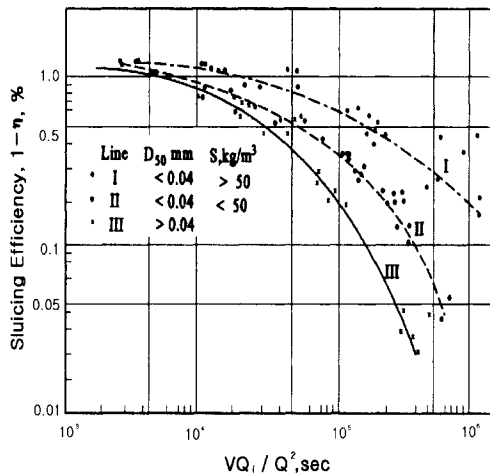


그림 2. 황하유역 배사비 곡선 (IRTCES, 1985)

따라서 댐 포착률은 댐 저류량이 유사의 퇴적량에 따라 변하므로 시간에 따라 변한다고 할 수 있다. 또한 점토와 같이 점착성 유사의 경우 퇴적후 시간에 따라서 다짐효과가 나타나 밀도가 변하므로 댐 용량을 변화시킨다. 보다 짧은 체류시간을 이용한 배사비 곡선식이 홍수기 댐 체류시간을 이용하여 그림 2와 같이 개발되었다. 이 그림은 황하유역에서 댐 퇴사량을 추정하는데 있어 매우 일반적인 현상을 보여주는 자료이다. 즉, 댐 수리 특성과 배사비의 관계를 도사한 것으로 댐 배사비는 어느 기간 댐으로 유입한 유사량으로 이 기간 배사된 양의 비를 구함으로써 얻을 수 있다. 반대로 퇴적량을 유입량으로 나눈 비가 퇴적률이 되며, 퇴적률은 저류량이 누적 퇴사로 인하여 시간적으로 변하게 된다. 경험적 방법은 유사의 특성을 고려할 때 계산 기법이나 모형에 의존하는 방법과 함께 댐 퇴사량을 추정하는데 많이 이용되고 있으며, Brune곡선이 년간 운영자

료를 이용하여 얻어진 결과라면 그림 2는 홍수시와 같은 짧은 시간단위의 배사비를 제공하고 있어 유입량의 계절적 특성을 고려한 저수지 운영기법에 이용할 수 있다.

2.2 댐 퇴사량 감소 방법

댐 퇴사량을 감소시키는 방법으로 여러 가지 대안이 제시되어 있다. Bruk(1985)와 Fan(1992)은 댐으로 유입하는 유사량을 감소시키는 방법을 제안하였다. 이중 지표토사보호 방법은 식물을 성장시켜 유사유출을 억제시키는 것으로 일반적으로 많이 이용되는 방법이며, 유사를 많이 함유한 유량을 댐으로 직접 유입시키지 않고 우회시켜 하류로 배사시키는 방법 등이다. 그러나 토양을 보호하기 위해서는 많은 노력과 시간을 필요로 하며, 식물차단막의 개발은 환경에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 우회시키는 방법은 비교적 좋은 효과를 볼 수 있으나 용수공급용댐의 경우 용수공급에 어려움이 따를 수 있다. 따라서 퇴사관리를 하나의 댐 운영목적으로 설정하는 방안이 연구되어 왔다(山西省 水利勘测队院 水利电力部, 1993; KOICA/KOWACO, 1996; 이광만 등, 1997). 이들 방법의 기본 이론은 댐 퇴사량을 상태변수로 추적하여 이를 최소화시키는 방법이다. 이를 위해서는 유사농도가 큰 유량이나 밀도류가 댐으로 유입할 때 다음 갈수기의 용수공급에 지장이 없는 범위 안에서 가능한 댐 수위를 낮게 유지하여 일시에 하류로 배출시키는 방법이 필요하다. 이와 같은 방법은 댐이나 댐체 바닥에 설치된 수문을 통하여 댐 밖으로 배사시키는 방법이다. 밀도류의 경우는 댐에 퇴적된 유사의 상부표면으로 흐르면서 전에 퇴적되었던 유사까지 세굴시켜 배사효과를 크게 증대시킬 수 있다.

이와 같은 운영의 문제점은 가능한 빨리 많은 양의 물을 댐 밖으로 배출시키기 위해 수위를 낮게 유지하여야 한다. 특히 홍수기 배사를 위한 운영은 갈수기에 퇴적되었던 유사의 배사에도 좋은 것으로 연구되고 있으나 일반적으로 용수공급을 목적으로 하는 댐에서는 홍수기 유입량은 대부분 다음 갈수기의 용수공급을 위하여 저류 된다. 만약 댐 유사 배출을 위하여 홍수기 유입량을 방류시킬 경우 댐 퇴사량은 감소시킬 수 있으나 용수공급 목표달성은 불가능해지며, 때로는 댐 기능을 기대할 수 없게 된다. 특히 수자원의 한계성으로 인하여 공급이 수요를 겨우 충족시키는 경우의 댐 운영은 용수공급 목표달성에 심각한 영향을 초래할 수 있어 용수공급과 퇴사관리를 동시에 달성할 수 있는 운영방안이 필요하다. 배사구 등 수리 구조물을 이용하여 배사시키는 방법을 구조적 퇴사관리라고 한다면 저수지 운영 기법을 이용하는 방법은 비구조적 방법이라 할 수 있다.

시스템은 간단하다. 지표수의 경우 처리시설 문제로 음용수나 생활용수로 이용되는 양은 없으며, 일부 공업용수와 분하강을 따라 좌·우로 나누어져 있는 농경지에 농업용수를 공급하고 있다. 따라서 댐 운영도 비교적 간단한 편이다. 분하댐 운영실적을 분석해 보면 3월에 가장 높은 수위를 기록하고 있으며, 3~6월사이 가장 많은 용수를 공급하고 있다. 우기인 7~8월에 저류 하 있다가 다음 관개기의 용수공급에 이용하는 방안을 채택하고 있다. 이와 같은 운영방안은 표 1에서와 같이 우기에 유입된 유사량의 대부분을 댐에 포착시키는 결과를 가져왔으며, 과거 30년간('59~'88)의 운영실적을 살펴보면 유사량의 90%가 댐에 퇴적되었다.

표 1. 분하댐 과거 운영 실적

| 구 분 | 조 사 항 목 | 조 사 량 |
|-----------|-----------------|--------|
| 1. 설계 규모 | 설계저수용량(MCM) | 713.6 |
| | 설계퇴사용량(MCM) | 350.0 |
| 2. 유입량 | 년평균 유입량(MCM) | 391.9 |
| | 홍수기 유입량(MCM) | 274.3 |
| 3. 유사량 | 년평균 유입량(MCM) | 10.9 |
| | 홍수기 유입량(MCM) | 9.7 |
| 4. 포착 유사량 | 년평균 포착 유사량(ton) | 10.33 |
| | 년평균 배사량(ton) | 0.57 |
| | 년평균 포착효율(%) | 94.2 |
| 5. 현재 댐조건 | 총 포착유사량(MCM) | 349.85 |
| | 이용가능 저류량(MCM) | 363.75 |

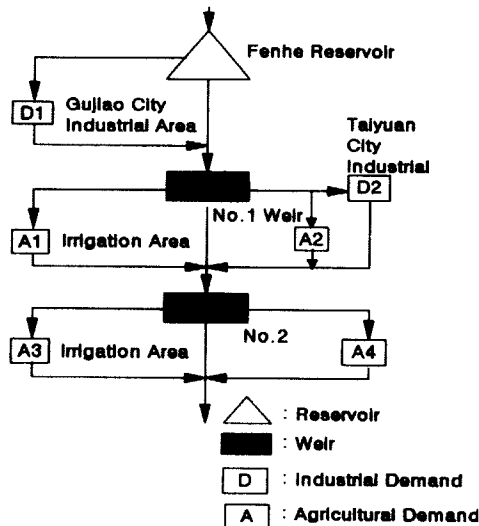


그림 5. 댐 운영 모형 개발을 위한 분하강 유역 시스템도

분하댐의 장래 댐 퇴사량 추정을 위한 시스템 구성은 그림 5와 같다. 모형에서는 댐 상태방정식의 변수로 누수량과 증발량을 손실항으로 고려하였고, 용수공급을 위한 직접 도수량이 포함되어 있다. 하천에서도 누수량이 고려되었으며, 폐수처리 시설이 건설되어 있는 태원시 하류지역에서는 회귀수를 농업용수공급원으로 고려하였다.

3.2 댐 운영 목적

앞에서 제시된 댐 퇴사량 추적방법과 대상지역의 수자원 시스템을 이용하여 댐 운영모형을 개발하였다. 시스템의 특징을 합리적으로 반영하기 위하여 용수부족과 댐 퇴사량 최소화를 위한 목적함수를 설정하였다. 여러 번 목적함수를 재 설정하여 시험한 후 가장 적절하다고 판단되는 목적함수를 제시하였다. 이 목적함수는 현재의 운영방안을 최적으로 달성하기 위한 방법으로 평가 기준의 달성여부를 확인한 후 모형의 수행능력을 검증하였다. 이용된 동적계획기법은 CSUDP(Labadie, 1990)를 이용하여 Information Variable 추적이 가능하도록 개발된 모형을 적용하였다(이광만 등, 1997).

목적함수의 설정은 용수수요량을 최대한 공급하면서 부족량을 분배하기 위하여 용수목표치에 대한 부족량의 자승의 합을 최소화하도록 하고 댐 수명을 연장하기 위한 퇴사량 관리는 매 운영 시점마다 퇴적되는 퇴적량을 최소화하는 것으로 하였다. 따라서 댐 운영은 두 가지 목적을 고려한 다목적 운영이 되므로 각각의 목적함수는 운영목적간의 경중을 조절하기 위하여 가중치 기법(weighting method) (Zadeh, 1963)을 적용하였다. 이를 위한 댐 운영의 기본방향으로는 우선 용수공급을 달성케 한 후 퇴사관리가 이루어지도록 적용할 수 있다. 이 모형은 댐 운영을 개발을 위하여 방류량을 결정변수로 하는 정보를 상태변수와 함께 제공할 수 있으며, 적용된 목적함수를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N \omega_1 F1_i + \omega_2 F2_i \quad (3)$$

$$F1_i = D_i \quad (4)$$

$$F2_i = \sum_{k=1}^{L_i} (AWS_{i,k} + IWS_{i,k})^2 \quad (5)$$

if $WSA_{i,k} < WDA_{i,k}$ then $AWS_{i,k} = WDA_{i,k} - WSA_{i,k}$, otherwise $AWS_{i,k} = 0.0$

if $WSI_{i,k} < WDI_{i,k}$ then $IWS_{i,k} = WDI_{i,k} - WSI_{i,k}$, otherwise $IWS_{i,k} = 0.0$

Subject to:

$$U_i = X_{i-1} - X_i + I_i - T_i - E_i - R_i \quad (6)$$

$$D_i = D_{i-1} + S_i \mu_i \quad (7)$$

$$\mu_i = f(X_{i-1}, X_i, I_i, U_i) \quad (8)$$

$$X_i \geq D_i \quad (9)$$

$$X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max} \quad (10)$$

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max} \quad (11)$$

여기서 F 는 평가함수, $F1$ 은 댐 퇴사관리를 위한 목적함수, $F2$ 는 용수 공급량 평가를 위한 목적함수, ω_1 , 및 ω_2 는 각각의 목적함수에 적용되는 가중치, $WDI_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 수요량, $WDA_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 수요량, $WSI_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 공급량, $WSA_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 공급량, $IWS_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 부족치, $AWS_{i,k}$ 는 계산단계 i 의 k 번째 용수공급 지점에서의 농업용수 부족치, N 은 댐 운영 단계, L 은 용수공급 지점 수이다. 상태방정식에서 X_{i-1} 은 계산단계 i 의 초기 저류량, X_i 는 계산단계 i 의 말기 저류량, U_i 는 계산단계 i 의 방류량, I_i 는 계산단계 i 의 유입량, T_i 는 계산단계 i 의 직접 도수량, E_i 는 계산단계 i 의 증발 손실량, R_i 는 계산단계 i 의 침투 손실량, D_{i-1} 은 계산단계 i 의 초기 저류량에 대응하는 퇴사량, D_i 는 계산단계 i 의 말기 저류량에 대응하는 퇴사량. (이 상태벡터는 최적의 대안으로 추정되는 각각의 저류량에 대응하는 누적 퇴사량 값), S_i 는 계산단계 i 의 유사 유입량, μ_i 는 계산단계 i 의 유사 포착률이다.

4. 퇴사량 및 용수공급능력 평가

4.1 과거 퇴사량 분석

분석 대상지역인 분하강 상류 유역은 황토고원의 중심부로 반건조지대에 속하며, 연간 강수량이 500 mm 이내이다. 지층을 구성하고 있는 토양은 점토질이 대부분이며, 산악지역은 강우-유출에 의한 침식이 심한 지역이다. 해발 800 m 이상의 평지는 대부분이 충적토로 구성되어 있어 하천은 유량에 따라 사행이 심하며 작은 유속에도 세굴이 잘 발달된다. 따라서 평상시에도 많은 양의 유사를 함유하고 있어 평균 36 kg/m^3 의 유사를 함유하고 있는 것으로 조사되었고 유사의 단위중량도 1.2 g/cm^3 으로 비교적 가벼운 편이다.

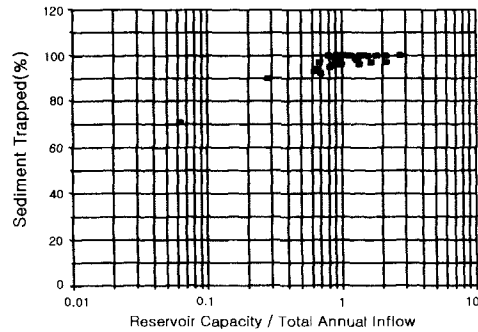


그림 6. 분하댐 유사 포착률

산서성 성도인 태원시를 비롯하여 중·하류 지역의 농업용수 공급을 위하여 건설된 분하댐은 지난 35년('59~'93) 동안 350MCM의 퇴사량이 퇴적된 것으로 조사되어 전체 유효저수용량의 절반을 상실하였다. 이 기간의 연간 유사 포착률을 그림 6에 도시하였다. 분하댐의 경우 실질적인 댐 운영이 '61년부터 시작되었으며, 댐으로 유입된 유사의 94%가 퇴적된 것으로 나타났다. 위 그림중 포착률이 가장 적었던 해는 1959년으로 체류시간이 0.06년을 기록해 72%의 포착률을 보이고 있다. 이 해부터 체계적인 유사량 측정이 이루어졌으며, 담수초기에 비교적 많은 유사량이 유입되어 배사 위주로 운영한 결과로 나타났다. 이 그림을 살펴보면 대부분 매년 90% 이상의 포착률을 보여주고 있다.

4.2 장래 퇴사량 및 용수공급능력 분석

제2장 및 3장에서는 경험적 자료에 기초한 연간개념의 댐 퇴사량 예측 방법과 장래 퇴사량을 예측하기 위한 댐 운영모형을 소개하였다. 이들 이론과 개발된 모형을 이용하여 월간 댐 모의를 통해 장래 분하댐의 퇴사량을 예측하였다. 모형 적용 입력자료는 1994년을 모형적용 시작시점으로 하고 향후 30년간의 분하댐 퇴사량을 예측하였다. 유사량은 유량과 밀접한 관계가 있어 지난 30년간의 월간 유량 및 유사량 실측 자료를 이용하여 모의하였다. 이들 자료는 분하강 주요지점에서 일 유량을 측정할 때 유사량도 같이 조사된 자료이다.

댐 운영은 개발된 모형이 최적화 기법중의 하나인 Information Variable 동적계획기법을 이용하고 있어 용수공급을 우선적으로 달성하고 댐 수명 연장을 위해 배사량을 증대시키는 방법으로 적용하였다. 따라서 가

표 2. 분하댐 저류량 제약조건

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 월 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 |
| 최 대 | 363.6 | 363.6 | 363.6 | 363.6 | 363.6 | 277.3 |
| 최 소 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 |
| 최 대 | 277.3 | 277.3 | 277.3 | 363.6 | 363.6 | 363.6 |
| 최 소 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

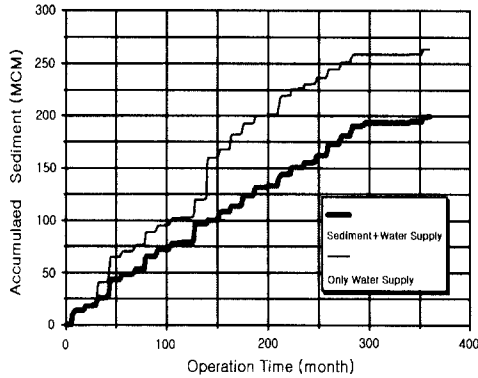


그림 7. 장기 누계 퇴사량 비교

능한 용수공급을 최적화시키고 수량에 여유가 있을 경우 배사량을 증대시키게 된다. 또한 배사를 고려하지 않는 경우에 대해서도 모의하여 배사를 고려한 경우와 퇴사량 및 용수공급능력을 비교하였다. 댐 운영은 태원시 홍수방제를 위해 하절기 제한수위를 적용하고 있어 저류량 제약조건은 표 2와 같으며, 퇴사를 위한 사수용량은 배분되어 있지 않다.

모형 운영 결과를 상세히 분석해 보면, 그림 7에서 알 수 있듯이 배사를 고려하는 경우가 배사를 고려하지 않는 경우보다 저류량 보호 측면에서 월등히 유리한 것으로 나타났다. 배사를 고려하지 않을 경우 장래 예상되는 댐 퇴사량은 향후 30년동안 과거와 비슷한 수문사상이 발생한다면 30년후에는 262MCM의 퇴사량이 댐에 포착될 것으로 나타났다. 그러나 배사를 고려할 경우 204MCM에 불과하여 22%정도의 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 나타났다.

이는 그림 8에서 알 수 있듯이 배사를 고려하는 경우가 장기적 측면에서 용수공급에도 유리한 것으로 나타났다. 이 그림은 과거 30년간의 유량 및 유수량 자료를 이용하여 모의한 결과를 발생확률에 대응하는 부족량의 크기로 도시한 것이다. 댐 퇴사를 고려하지 않는 경우가 퇴사를 고려하는 경우보다 같은 확률에서 용수부족량이 큰 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 그림 9를

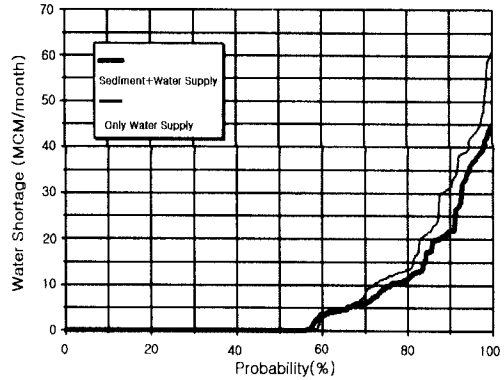


그림 8. 장기 용수부족량 비교

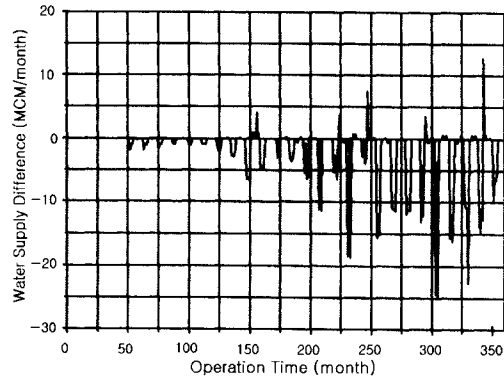


그림 9. 퇴사를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우의 용수공급 차이 비교

통하여 구체적으로 이해할 수 있는데 이 그림은 댐 퇴사를 고려하지 않는 경우와 고려하는 경우의 용수공급능력의 차이(퇴사를 고려하지 않을 시 용수공급량 - 퇴사고려시 용수공급량)를 운영시간계열에 대하여 도시한 것이다. 음수쪽의 값이 시간이 경과할수록 커지고 있는데 이는 퇴사를 고려하지 않을 경우 용수공급 능력이 떨어지는 것을 의미하며, 그림 7의 누계퇴사량에 의한 저수량의 감소에 의한 결과라고 할 수 있다. 이상의 결과로부터 댐의 퇴사량이 증가함에 따라 저수량이 감소하고, 따라서 용수공급능력이 감소하고 있음을 알 수 있었다. 그림 10에서는 댐 퇴사를 고려하는 댐 운영에 대하여 연간 유입량과 유효저수량을 가용 용수공급량으로 정의하여 독립변수로 적용하고 용수부족량을 종속변수로 하는 관계를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 가용 용수공급량이 줄어들면 용수부족량은 커지고 있다. 용수공급능력은 댐 규모 외에 수문조건과도

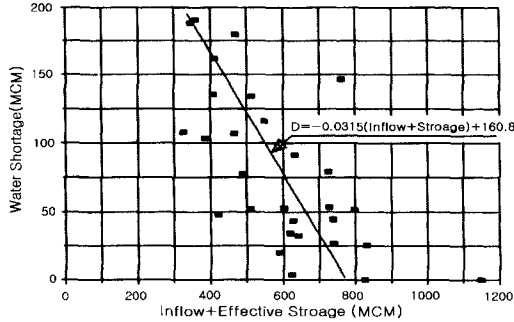


그림 10. 댐 용량감소에 의한 용수공급능력 변화

밀접한 관련이 있으나 그림 9와 같이 유효저수용량이 감소함에 따라 용수공급능력이 감소하는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 댐 퇴사량 관리방법 중의 하나로 다량의 퇴사발생지역에서 일반적으로 이용되고 있는 댐 운영방법에 퇴사량 추적 기법을 적용하였다. 댐 퇴사량 장기 예측은 댐내에서 이루어지는 퇴사진행과정에 대한 이해와 함께 댐 계획을 수립하거나 실제 댐 운영에서 경제수명을 예측하는데 필요하다. 우리 나라의 경우 비유사량을 이용하여 퇴적량을 추정하고 장래 유효운영기간에 해당하는 사수용량을 결정하여 총 저수용량의 한 부분으로 할당하여 설계하고 있다. 그러나 황하유역과 같이 유사가 다량으로 발생하는 지역에서는 댐 수명을 연장시키고자 우기의 댐 운영방안에 유사 혹은 갈수기에 퇴적된 퇴사를 배출하는 것이 포함되어 있다. 이를 적절히 수행하기 위해서는 댐 운영 기법을 이용하여 수자원 시설물의 관리목적을 달성하고 주어진 여건내에서 최대한의 배사가 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.

이를 목적으로 중국 산서성 분하댐을 대상으로 댐 퇴사량을 상태변수로 고려할 수 있는 Information Variable 동적계획기법을 이용하여 월별 댐 운영모형을 개발하였고 이 모형을 통하여 장래 30년간의 댐 퇴사량을 예측하였다. 예측된 결과는 20년 이후 유효저수용량의 50% 정도가 퇴사로 매몰될 것으로 추정되며 하절기 제한수위를 고려하면 25년 이후에는 댐 기능이 급격히 떨어져 댐 수명은 25년 정도가 될 것으로 추정된다. 결론적으로 본 연구는 장기 댐 퇴사량 예측을 댐 시스템 운영기법을 이용하여 수행할 수 있는 방법론을 제시하고 있으며, 배사를 고려한 운영이 장래 용수공급에도 유리한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 이광만, Fontane, D.G., 유양수 (1997). "저수지 퇴사 관리를 위한 Information Variable 동적계획기법." *대한토목학회 논문집*, 제17권, 제II-2호, pp. 119-128.
- 이광만, 유양수, 이우석 (1995). "분하강 수자원 평가를 위한 모의-최적화 모형의 이용." 1995년도 대한 토목학회 학술발표회 논문집, pp. 53-56.
- 山西省 水利勘测设计院 水利电力部 (1993). *山西省汾河二庫初步设计报告 第二分册 工程 地质 勘察与工程测量*, pp. 42-45.
- Bruk, S. (1985). *Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs*. UNESCO International Hydrological Programme, Paris.
- Brune, G.M. (1950). "Trap efficiency of reservoirs." *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 34, No. 3, pp. 407-418.
- Fan, J. and Morris G.L. (1992). "Reservoir sedimentation II: Reservoir desiltation and long-term storage capacity." *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 118, No. 3, pp. 370-384.
- Fontane, D.G., Labadie J.W., Loftis B. and Merritt D.H. (1989). "Implementation strategies for salinity projects." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 115, No. 5, pp. 671-683.
- IRTCES (1985). *Lecture notes of the training course on reservoir sedimentation*. International Research and Training Centre on Erosion and Sedimentation, Beijing, China.
- KOICA/KOWACO (1996). *The comprehensive management study of upper Fenhe river basin and pre-feasibility study of No.3 Fenhe multi-purpose dam project*. pp. II-6-2~II-6-4.
- Labadie, J.W. (1990). *Dynamic programming with the microcomputer: Program CSUDP*. Encyclopedia of Microcomputers, Vol. V, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lee, G.M., Fontane, D.G., Lee, J.G. and Zheng,

H. (1995). "Development of information variable dynamic programming considering reservoir sediment management." *1995 Annual Symposium, Korea Water Resources Association*, pp. 378-383.

Zadeh, L.A. (1963). "Optimality and non-scalar-valued performance criteria." *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. AC-8, No. 1, pp. 59-60.

〈최종본 접수일 : 1997년 12월 29일〉