

수위하강 배사기법의 효율성 제고

Enhancement for Efficiency of Flushing Sediment Using Drawdown in Reservoir

최성욱* · 이환우** · 최성욱***

Choi, Seongwook · Lee, Hwanwoo · Choi, Sung-Uk

1. 서 론

댐이나 보의 상류에서 유입된 유사는 댐이나 보에 가까워질수록 증가한 수심과 느려진 유속에 의해 정수압이 커지고 소류력이 감소하여 댐이나 보 근처에서 퇴적된다. 이를 저수지 퇴사현상이라 하며 퇴사현상이 장기화될 경우 댐이나 보의 저수기능을 상실하게 된다. 우리나라의 댐에서는 퇴사량이 많지 않았으나 4대강 사업을 포함한 하천개발, 하천유역 개발사업 등을 거치며 하천에서 유입되는 유사량이 크게 증가하는 추세이다. 우리나라에서 댐을 개발할 만한 적지는 이미 개발이 완료된 상태이고, 4대강 사업을 통하여 다수의 다기능보를 설치하였기 때문에 추가로 댐을 건설하기가 여윌틈이 없다. 따라서 댐이나 다기능보 상류에 퇴적된 토사를 장기적으로 관리할 필요성이 대두되고 있다.

저수지 퇴사현상의 영향을 감소시키는 방법으로는 하천에 유입되는 유사량 감소나 퇴적된 토사의 준설 및 배사가 있는데 준설의 경우 골재채취를 통한 경제적 이득과 퇴적토 제거능력이 좋은 장점이 있지만 주변 수체의 탁도를 증가시켜 수질을 악화시킬 수 있다. 반면 배사를 이용하여 퇴적토를 처리하는 경우, 준설만큼의 퇴적토 제거 효과를 보기는 어려우나 댐이나 보에서 자체적으로 관리할 수 있고 하류에 유사를 공급할 수 있기 때문에 유용한 방법이 될 수 있다. 댐의 퇴적토를 배사시키는 방법은 크게 저수지를 비워서 배사시키는 방법과 저수상태에서 수문을 개방하여 배사시키는 방법이 있다. 후자의 경우는 다시 수위를 하강시키면서 방류하는 방법과 배수곡선을 유지시키는 방법으로 구분할 수 있다.

본 연구의 목적은 준정류 모형을 이용하여 저수지 배사에 있어 수문 조작에 따른 부정류 발생에 의한 하상변동 모의를 하는 것이다. 선행 실험자료를 이용하여 준정류모형의 적용성을 검증하고 수위하강 배사기법의 배사 효율성을 검토하고자 한다.

2. 지배방정식 및 수치모형

2.1 지배방정식

본 연구에서 채택하고 있는 저수지 유동에 관한 지배방정식은 1차원 부정류에 관한 수심적분 형태의 연속방정식과 운동량방정식으로 각각 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - C_f \frac{U^2}{H} \quad (2)$$

여기서 t 는 시간, x 는 흐름방향 거리, H 는 수심, U 는 수심평균유속, g 는 중력가속도, η 는 하상고, C_f 는 하상저항계수 이다. 한편, 하상변동의 지배방정식은 하상토 보존방정식 (Exner 방정식)으로 다음과 같다.

* 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석·박사 통합과정 · E-mail: csu1220@hotmail.com - 발표자

** 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석·박사 통합과정 · E-mail: iam0a0rock@naver.com

*** 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail: schoi@yonsei.ac.kr

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda_p} \frac{\partial q_t}{\partial x} \quad (3)$$

여기서 λ_p 는 공극률, q_t 는 단위 폭당 총유사량이다.

대부분의 경우 하상변동의 특성시간은 흐름에 비해 매우 길기 때문에 하상이 지속적으로 변동한다 하더라도 흐름을 정상류로 가정할 수 있다. 따라서 연속방정식과 운동량방정식은 각각 다음 식으로 대체될 수 있다.

$$q = Uh \quad (4)$$

$$U \frac{dU}{dx} = -g \frac{d}{dx} (\eta + H) - C_f \frac{U^2}{H} \quad (5)$$

이와 같이 하상은 시간에 따라 변하지만 흐름이 정상상태로 가정하는 것을 준정류 모형이라고 한다. 준정류 모형은 급변류 혹은 한계류 (혹은 한계류에 근접한 흐름)에 의한 하상변동에는 바로 적용하기 어렵기 때문에 이에 대한 보정을 해 줄 필요가 있다.

2.2 수치해석기법

유동에 관한 지배방정식은 Newton's iteration method를 이용하여 전체 구간의 유속과 수심을 풀었다 (Fread and Harbaugh, 1971). Exner 방정식의 경우 시간의 미분항은 전방차분법을 이용하고 공간의 미분항은 후방차분법을 이용하여 차분식을 구성하였다.

3. 수치모형의 검증

준정류모형의 부정류에 의한 배사모의 검증을 위하여 Lai and Shen (1980)의 실내실험에 준정류 모형을 적용하였다. Lai and Shen의 실험조건은 표 1에 제시하였다. 실험수로의 바닥을 기준면으로 하여 하상재를 포설하여 길이 9 m 이상, 높이 0.1 m의 이동상(移動床)을 제작하였다. 하상재는 입자의 운동성을 높이기 위해 비중이 작은 파쇄된 호두껍질을 사용하여 실험을 진행하였다. 입자의 특성속도 (\sqrt{RgD})는 0.0691 m/s 이다. 본 실내실험에서는 수위하강 배사재현을 위하여 실험시작 후 5분간 일정한 속도로 수문을 올려 방류량을 증가시켰다. 그림 1은 시간에 따른 방류량, 유사량, 그리고 실험수로 상류 및 하류에서 수위를 도시한 그래프이다. 유입되는 유량은 0.00487 cms이나 방류량은 시간에 따라 약 2배정도까지 증가하다 감소한다. 수위 역시 크게 감소하는데 배사에 의하여 하상고가 내려가면서 초기하상고보다 더 낮은 값을 보인다. 하폭은 2.44 m이지만 방류되는 유출량의 증가와 수위의 감소에 따라 소류력이 크게 작용할 수문의 폭이 0.15 m이기 때문에 이를 고려하여 모형을 적용하였다.

준정류모형에서 그림1의 정보를 이용하여 시간에 따라 변동하는 유량과 수위를 모형에 입력하여 모의한 결과를 실내실험 측정결과와 비교하여 적용성을 검토하였다. 또한, 유량과 수위를 변동하지 않는 고정값으로 모형에 입력하여 모의한 결과와 비교하여 수위하강 배사기법의 효율성을 검토하였다. 배사의 효율성의 비교이므로 두 모의조건에서 총 유출량이 동일하도록 그림 1에서 도시된 유량의 평균치 0.0055 cms를 고정된 유량의 값으로 사용하였다.

그림 2에는 실험 시작 후 30분이 경과했을 때 하상고를 나타낸다. 두 모의결과가 상류에서 하상고가 과소산정되는 경향을 보이는데 이는 실제 하폭은 2.44 m이기 때문에 상류로 갈수록 수문의 폭에 의한 영향이 감소하는 것을 고려하지 않았기 때문이다. 수문근처에서는 유량이 고정될 경우 실험 후 하상고를 과다산정하나 유량과 수위가 변동할 경우는 어느 정도 실험결과에 잘 맞는 것을 알 수 있다.

그림 3에는 시간에 따른 수로에서의 최대 무차원 전단응력 (소류력)을 도시하였다. 유량과 수위가 변동할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 2배 이상으로 큰 것을 보인다. 그림 2와 3을 통해 동일한 유량을 사용하여도 수문조작을 통해 수위하강을 일으켰을 경우 배사 효율이 큰 것을 확인할 수 있다.

표 1. 실험수로의 조건

Exp	Q (m ³ /s)	B (m)	L (m)	D (mm)	λ_p	s.g.	S	Water depth at sluice gate (m)	Sediment feed rate (kg/min)
Lai and Shen (1980)	0.00487	2.44	9	1.25	0.55	1.39	0	0.7	0

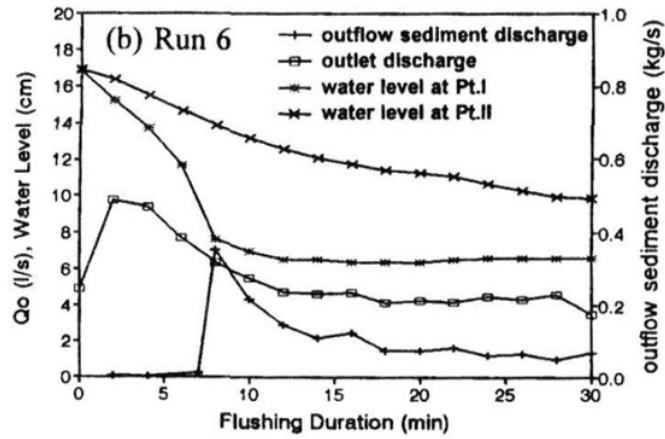


그림 1. Lai and Shen (1980)의 실험에서 측정된 유출량과 수위 그래프

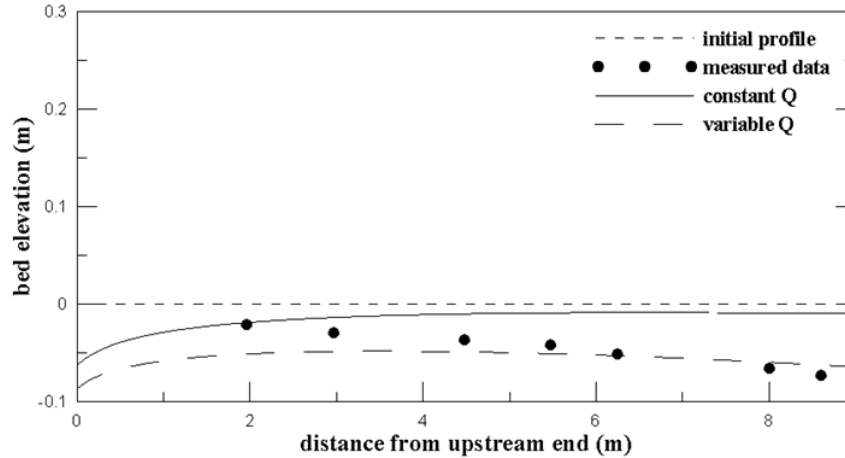


그림 2. Lai and Shen (1980)의 실험시작 30분 후의 하상고

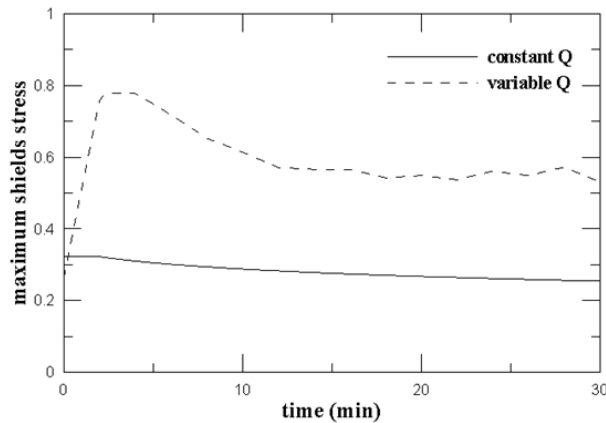


그림 3. 시간에 따른 최대 무차원 전단응력

4. 결 론

본 연구에서는 수문조작을 통해 발생시킨 부정류 조건에서 저수지 배사현상을 모의하기 위한 1차원 준정류모형의 적용성을 검토하였다. 준정류모형을 기존의 선행 실내실험에 적용하였고 유량과 수위가 시간에 따라 변화하는 경우와 고정된 경우의 결과를 비교하였다. 시간에 따라 유량과 수위가 변동할 때 실측결과와 좀 더 잘 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 유량증가에 의한 수위하강기법을 통해 배사를 수행할 경우 최종 방류량이 같다 하더라도 유량이나 수위가 변동하지 않으며 수행하는 배사에 비하여 배사 효율성이 큰 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Fread, D.L. and Harbaugh, T.E. (1971). Open-channel profiles by Newton's iteration technique. *Journal of Hydrology*, 13(1), 70-80.
2. Lai, Jihn-Sung, Shen, H.W. (1980). Flushing sediment through reservoirs. *Journal of hydraulic research*, 34(2), 237-255.