

## 저수지 퇴사 현상에서 퇴적층의 두께

## Thickness of Deposited Delta in Reservoir Sedimentation

최성욱\* · 최성욱\*\*

Choi, Sung-Uk · Choi, Seongwook

## 1. 서 론

20세기에 수자원의 확보를 위해 댐을 건설하는 것이 중요했다면, 21세기에는 댐의 기능 즉 저수용량을 유지시키는 것이 화두라고 하겠다. 이는 댐을 개발할 만한 적지는 이미 개발이 완료되었으며 여러 가지 환경문제로 말미암아 추가로 댐을 새롭게 건설할 수 있는 나라가 많지 않기 때문이다.

Morris et al. (2007)에 의하면 전세계적으로 각국의 댐은 저수지 퇴사에 의해 매년 1% 정도 저수용량이 줄어든다고 설명하고 있다. 우리나라의 경우도 류태상 등 (2010)에 의하면 담수 후 20년 이상된 9개 댐의 경우 지난 10년간 퇴사량이 346백만  $m^3$ 으로 현재 건설 중인 부항댐과 화북댐 저수량의 6-7배에 해당하는 것이라 한다. 또한, 대청댐의 경우 비사량이 91년 114  $m^3/km^2/yr$ 에서 06년에는 616  $m^3/km^2/yr$ 으로 5.4배 증가한 것으로 나타나고 있다.

일반적으로 하류방향으로 갈수록 배수효과에 의해 수심이 증가하게 되며 이에 따라 유속 (수심적분 유속)은 감소하게 된다. 하상의 전단응력은 유속의 제곱에 비례한다고 볼 수 있으므로 댐에 가까워질수록 소류력이 줄어든다. 따라서 상류에서 이동한 유사는 댐체 부근에 퇴적되는데, 이것이 저수지 퇴사현상의 핵심 메커니즘이다.

저수지 퇴사현상을 해결하여 저수지의 생애주기를 연장하는 공학적 방법으로는 준설 및 배사를 들 수 있는데 준설의 경우 주변수체의 탁도를 증가시켜 수질을 악화시키는 단점이 있고, 배사의 경우 국내에는 따로 배사문이 있는 댐이 많지 않기 때문에 적용하기 곤란한 실정이다.

본 연구의 목적은 저수지에서 발생하는 퇴사 현상을 모의할 수 있는 1차원 준정류 모형을 제시하고 선행 실험자료를 이용하여 모형을 검증하여 퇴사의 두께와 이동속도를 결정하는 요인을 알아보는 것이다. 이를 위하여 수치모형을 수리실험에 적용하고 도출된 모의 결과를 실험 실측치와 비교하여 수치모형의 적용성을 확인하고, 분석해 보고자 한다.

## 2. 지배방정식 및 수치모형

## 2.1 지배방정식

본 연구에서 채택하고 있는 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,  $\eta$ 는 하상고,  $C_f$ 는 하상저항계수 이다. 한편, 하상변동을 고려하기 위한 하상토 보존방정식 (Exner 방정식)은 다음과 같다.

\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : [schoi@yonsei.ac.kr](mailto:schoi@yonsei.ac.kr) - 발표자

\*\* 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : [csu1220@hotmail.com](mailto:csu1220@hotmail.com)

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

여기서  $\lambda_p$ 는 공극률,  $q_t$ 는 단위 폭당 총유수량이다.

대부분의 경우 하상변동의 특성시간은 흐름에 비해 매우 길기 때문에 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 모형이다. 준정류모형은 급변류 혹은 한계류 (혹은 한계류에 근접한 흐름)에 의한 하상변동에는 적용하기 어렵다. 특히, 한계류에 의한 하상변동 시 흐름과 하상변동의 특성속도가 비슷한 것으로 알려져 있다. 준정류 가정을 하지 않고 부정류 모형을 해석하는 경우 장기하상변동을 모의하는데 시간적인 제약으로 적합하지 않으므로 요즘에도 준정류모형은 많이 사용되고 있다 (Fasolato et al., 2011).

## 2.2 수치해석기법

준정류 모형 해석을 위하여 흐름방향으로 각 구간마다 노드를 지정한다. 주어진 초기 하천조건과 수문앞 수심을 이용하여 각 노드의 수심과 수심평균유속을 산정한다. 하상변동 모의를 위하여 각 노드간의 평균유속을 구하고 유사이동속도를 산정하여, 이를 하상도 보존방정식에 대입한다. 이 과정을 비교대상 실험의 측정 시간에 도달하기까지 반복하여 결과값을 도출한다.

## 3. 수치모형의 검증

본 논문에서 제시된 준정류모형의 검증을 위하여 Soni et al. (1980)과 Hotchkiss and Parker (1991)의 실내 실험에 적용하였다. 각각의 실험조건은 표 1에 제시하였다. 두 실험 모두 비슷한 수리조건 하에 실시되었으나 Soni et al.의 실험에 비해 Parker and Hotchkiss 실험에서 입자의 크기는 두 배 이상이며 입자의 운동성을 높이기 위해 비중이 작은 파쇄된 호두껍질을 사용한 특징이 있다. 그러나 입자의 특성속도는 각각 0.072와 0.048 m/s로서 비슷한 크기정도임을 알 수 있다.

Soni et al. (1980)의 실험에서 40분 경과 후 하상 및 수면형을 그림 1에 도시하였다. 그림에 실측치와 계산결과를 함께 그려 비교하였다. 상류단의 유사공급으로 인하여 상류부 하상 (0-7 m 사이 구간)에 유사 퇴적이 진행되는 것을 알 수 있다. 모의결과가 실측결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 상류부의 하상상승으로 인해 수위도 동반하여 상승하는 것으로 나타났다.

그림 2에는 Hotchkiss and Parker (1991)의 실험결과와 모의결과를 함께 도시하였다. 그림 2(a)와 2(b)는 각각 실험 시작 후 1시간과 7시간 경과했을 때 하상과 수면형을 나타낸다. Soni et al.의 실험과는 달리 하상에 델타(삼각주)가 형성되어 하류로 전파되는 것을 알 수 있다. 이는 깊은 수심에 의한 느린 평균유속으로 유입되는 유사량에 비해 이동하는 유사량이 작기 때문이다. 따라서 퇴적에 의한 삼각주가 형성되고, 이에 의해 수심이 작아져 평균유속이 빨라지게 된다. 이 삼각주는 유입되는 유사량과 이동하는 유사량이 같아질때까지 계속 커지게 된다. 그림 2(a)에서 델타의 선단부 위치가 모의된 값이나 실측치 전부 1시간에 비해 비정상적으로 전진해있는 것을 볼 수 있는데, 이것은 실험하기 전 2시간동안 유사공급을 통해 델타가 안정적인 형태로 형성된 후에 실험을 시작하였기 때문이다.

그림 2(b)에는 동일 실험에서 7시간 후의 하상과 수면형을 도시하였다. 이 선단부가 하류 방향으로 상당히 이동하였으며 수치모형이 선단부의 위치를 잘 예측하는 것으로 나타났다. 수치모의에 의하면 선단부의 이동속도는 1.1 m/hr 정도이다. 주어진 유량에 대한 등류수심은 0.0585 m로서 상류로부터 등류를 만족시킬 때까지 퇴적이 진행되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 상류측 퇴적층의 두께는 등류수심에 관여하는 흐름조건에 의해 결정되는 것으로 나타났다.

표 1. Experimental Condition of Reservoir Sedimentation

Exp	Q ( $m^3/s$ )	B (m)	L (m)	D (mm)	$\lambda_p$	s.g.	S	Water depth at sluice gate (m)	Sediment feed rate (kg/min)
Soni et al. (1980)	0.004	0.2	30	0.32	0.4	2.65	0.00356	0.05	4.454
Hotchkiss and Parker (1991)	0.003	0.15	12	0.53	1.35	0.0017	0.175	0.227	

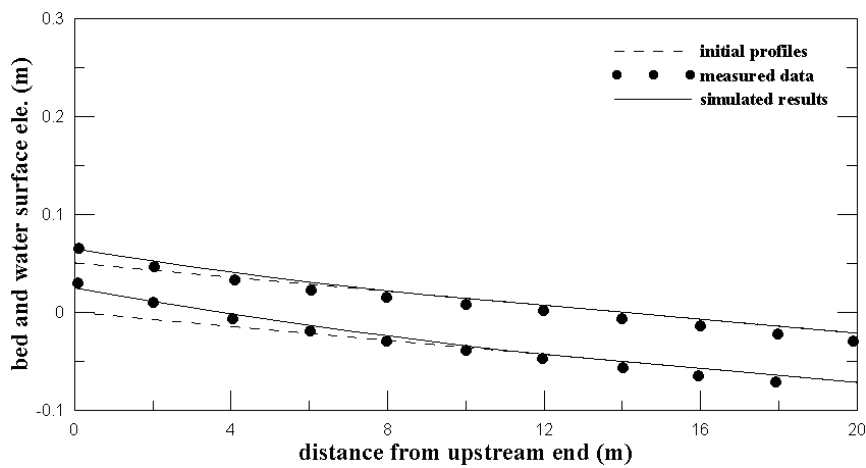


그림 1. Bed and Water Surface Profiles at 40 min. (Soni et al.'s Exp)

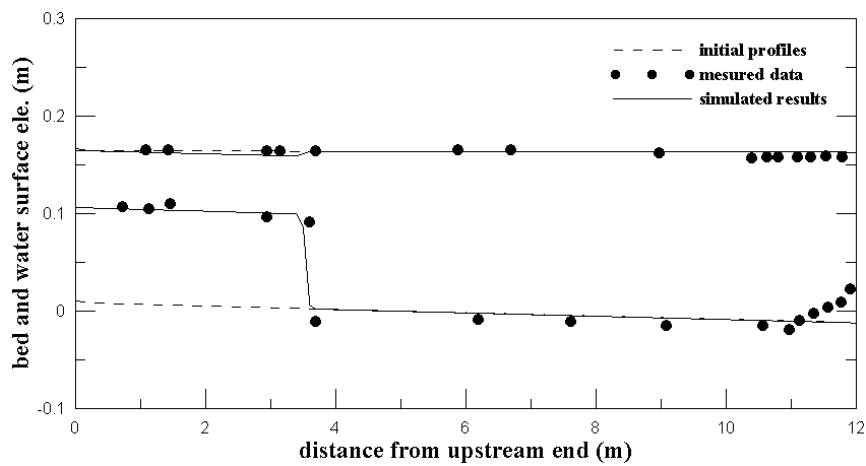


그림 2(a). Bed and Water Surface Profiles at 1 hr. (Hotchkiss and Parker's Exp)

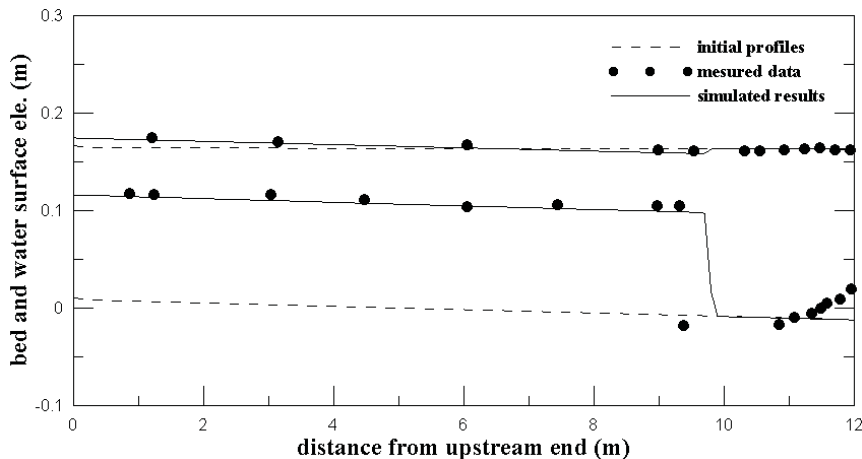


그림 2(b). Bed and Water Surface Profiles at 7 hr. (Hotchkiss and Parker's Exp)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 저수지 퇴사현상을 모의하기 위한 1차원 준정류모형을 제시하였다. 준정류 모형은 유동을 정상류로 하상변동을 시간에 따라 변한다고 가정하는 모형이다. 이는 하상변동의 특성 속도가 유동보다 훨씬 느리기 때문에 타당하다. 제시된 1차원 준정류모형을 기존의 선행 실험에 적용하였다. 모의결과와 실측결과가 대체적으로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 저수지 퇴사현상에서 퇴적두께는 흐름조건에 의해 결정되는 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. 류태상, 윤용진, 이규탁 (2010). 기존댐 생애주기 연장사업 및 저사댐 소개, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 43권, 제 4호, pp.84-88
2. Fasolato, G., Ronco, P., Langendoen, E.J., and Di Silvio, G. (2011). Validity of uniform flow hypothesis in one-dimensional morphodynamic models. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 137(2), 183-195.
3. Hotchkiss, R. and Parker, G. (1991). Shock fitting of aggradational profiles due to backwater. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(9), 1129-1144.
4. Morris, G.L., Annandale, G., and Hotchkiss, R. (2007). Chapter 12. Reservoir Sedimentation, *Sedimentation Engineering* (edited by M.H. Garcia), American Society of Civil Engineers, Reston, VI.
5. Soni, J.P., Garde, R.J., and Ranga Raju, K.G. (1980). Aggradation in stream due to overloading. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 106(1), 117-132.