

저수지에서 퇴사저감을 위한 배사 (flushing sediment) 기술



장 창 래 |
충주대학교 토목공학과 교수
cljang@cjnu.ac.kr



임 광 섭 |
한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 선임연구원
oklim@kwater.or.kr



황 만 하 |
한국수자원공사 K-water연구원 수자원연구소 수석연구원
hwangmh@kwater.or.kr

1. 서론

최근에 댐 건설에 적합한 장소가 부족하고 하천 생태계에 대한 댐의 부정적인 영향 때문에 새로운 댐을 건설하기 어려운 실정이다. 댐은 하천의 연속성을 교란시키고, 유사의 이송과 흐름에 대한 연속성을 간섭한다. 댐 상류에서는 하상고가 상승하고, 하상경사가 감소하며, 저수지로 물이 유입될 때, 이송 능력이 크게 감소한다. 이것은 배수위 경계에서 델타의 발달을 촉진시키며, 저수지의 저류용량을

크게 감소시킨다 (장창래 등, 2008). 따라서 저수지의 생애주기를 증가시켜서 지속적으로 활용하기 위하여 저수지의 퇴사 저감에 대한 관심이 집중되고 있다. 이러한 방법에는 유역에서 저수지에 유입되는 유사를 저감시키기 위한 방법뿐만 아니라, 저수지 퇴사를 저감시키기 위하여 일반적으로, 1) 유사의 농도가 높은 홍수기간 동안에 저수지를 통하여 유사를 하류로 통과시켜 흘려보내거나, 2) 저수지를 통하여 저수지에 퇴적된 유사를 배사(flushing) 시키거나, 3) 저수지에 유입되는 유사를 홍수기에 우회(bypass) 시키거나, 4) 밀도류에 의해 저수지에서 유사를 배사시키거나, 5) 기계적 준설에 의하여 저수지 퇴사를 제거한다. 이들 방법 중에서 1), 2), 5)의 조합이 매력적인 방안이지만, 미국 등 여러 나라에서는 저수지에 유입되는 유사보다 더 많은 유사가 저수지에서 방류되는 것이 어류와 다른 생태계에 충격을 주기 때문에 금지되어 왔다 (Shen, 1999). 이런 경우에, 어느 정도까지는 저수지 퇴사를 준설해야 하고, 홍수기 동안에는 저수지를 통과시켜 배사시켜야 한다. 홍수기에 저수지에 유입되는 물과 유사를 우회시키는 것은 특별한 지형이나 흐름조건이 필요하며, 일반적으로 잘 쓰지 않고 있다. 본고에서는 저수지를 통하여 퇴적된 유사를 배사시키는 방법에 대하여 기술적인 부분을 검토한다.

2. 저수지의 퇴사 과정

유사 입자는 하천의 흐름에 의하여 저수지로 이동하며, 저수지에서 흐름의 단면적이 증가하고 유속이 감소하여 퇴적된다. 그림 1에서 보여준 것처럼, 델타의 퇴적은 전부구간(前部區間, front reach), 전부퇴적층(前部堆積層, frontset(foreset)), 상부퇴적층(上部堆積層, topset), 그리고 미부구간(尾部區間, tail reach) 등 4부분으로 구성된다.

저수지 운영에 의하여 유사 입자는 댐체쪽으로 이동할 수 있다. 저수지의 흐름에 의하여 유사 입자가 이동하여 삼각주(delta)의 퇴적 형태가 쐐기형태(wedged type)로 변하게 된다. 저수지의 폭이 총 방류구 폭 보다 큰 곳에서는 유사 입자의 측방향 분포가 균일하지 않다.

3. 배사과정(flushing processes)

일반적으로 배사 과정은 다음 2가지 형태를 포함하고 있다 (Shen and Lai, 1996). 첫 번째 형태는 이전에 퇴적된 저수지 퇴사를 제거하는데 흐름을 이용하는 것이며, 두 번째 형태는 홍수기 동안 저수지를 통하여 유사 입자 집중된 흐름을 통과시키는 것이다. 그림 1에서 보여주고 있는 것처럼, 저수지 수위가 높을 때는 배사구 주변에서 배사 원각(圓角, flushing cone)이 형성되며, 배사(sediment flushing)가 효율적으로 진행되지 않는다. 그러나

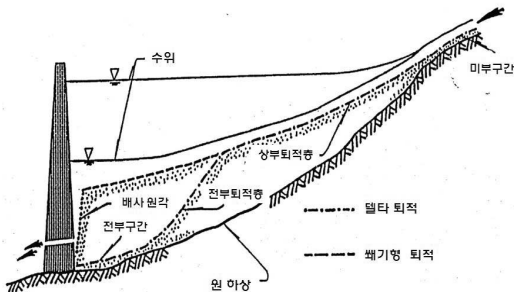


그림 1. 저수지에서 종방향 퇴적 형태 모식도(Shen, 1999)

수위가 낮을 때 상부퇴적층이 수위에 가까워지면, 이전에 저수지에 퇴적된 유사 입자를 배사시키는데 매우 효율적이다. 또한 퇴적된 전부퇴적층이 댐에 가까이 도달해 있으면, 흐름에 의하여 유사 입자를 하류로 통과시키는데 효과적이며, 일반적으로 저하 배사(drawdown flushing)와 후퇴(역행) 침식(retrogressive erosion)이 발생한다.

배사 하도(flushing channel)는 일반적으로 저수지 폭이 넓은 곳에서 저하 배사(drawdown flushing)가 진행되는 동안에 발생하며, 그림 2는 배사 하도가 발달하는 과정을 보여주고 있다.

저하 배사의 초기에 흐름의 수면이 배사구 위에 있으며, 압력 흐름(pressurized flushing flow)이 발생한다. 이때, 배사 효율은 실질적으로 높지 않다. 배사 흐름의 수면이 배사의 상단(top) 아래로 낮아졌을 때, 개수로 흐름이 발생하며, 배사의 효율이 크게 증가된다. 현장과 실내실험 자료를 통하여 배사 하도에서 유사 입자의 배출량과 흐름의 특성 사이의 관계가 서로 다른 유사입경 크기에 대하여 3가지 곡선으로 정리될 수 있다(그림 3). 그림 4는 유사 입자의 유출량이 배사구에서 개수로 흐름이 형성되는 것보다 압력 흐름이 형성된 것에서 크게 감소되는 것을 보여주고 있다.

배사 흐름을 해석하기 위하여 수치모형을 이용한

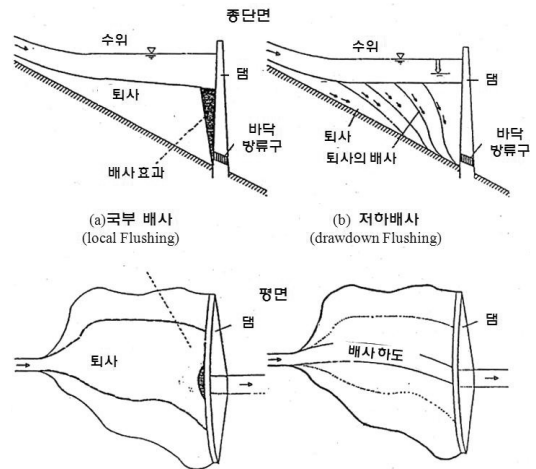


그림 2. 저수지 퇴사의 침식(Shen, 1999)

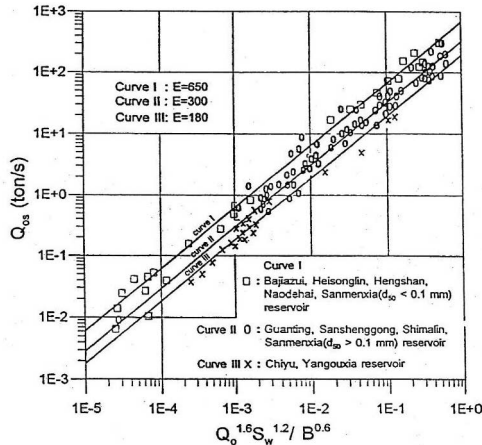


그림 3. 저수지에서 유사의 방류와 흐름 특성의 관계 (Shen, 1999)

다면, 폭이 넓은 저수지에서 배사 하도가 존재하는 것을 고려해야 한다. 배사 하도 폭은 배사 하도에 대한 만제유량의 제공근 함수로 근사화 될 수 있다 (Lai and Shen, 1996; Atkinson 1996) (그림 5).

그림 4는 저수지에서 퇴적된 토사가 댐체에 가까운 곳에 도달하고 퇴사가 켜기 형태일 때 사용할 수 있다. 저수지 퇴사의 전부퇴적층이 저수지 상류에서 멀리 떨어져 있을 때, 유사의 유출량은 그림 4에서 나타난 것보다 훨씬 적다. 저수지 퇴사가 주로 댐에서 멀리 발생할 때, 저수지에서 유사를 배사하는 것은 어렵다. 저수지 퇴사가 점착성 재료 혹은 제거하기 어려운 물질을 포함하고 있다면, 유사의

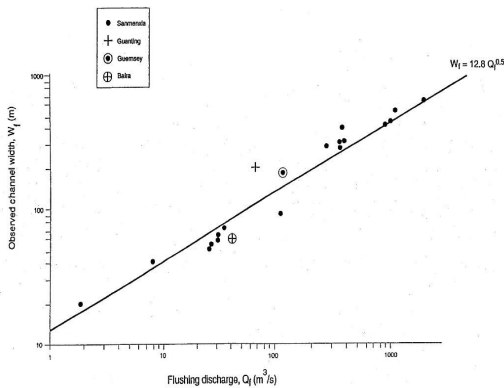


그림 5. 배사 방류에 의하여 저수지 퇴적층에서 형성된 하폭 (Atkinson, 1996)

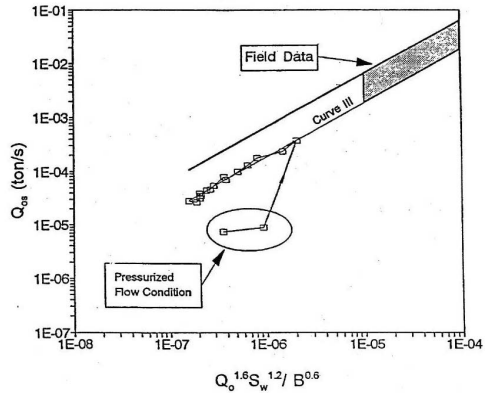


그림 4. 실험 자료에 의한 유사의 방류와 흐름 특성 관계 (Lai and Shen, 1996)

유출량은 상당히 감소된다. Atkinson(1996)은 현장의 사례를 통하여 유사의 유출량은 그림 4에서 보여주고 있는 것보다 훨씬 적다고 하였다. 이러한 이유는 퇴적층이 댐에서 멀리 떨어져 있으므로, 배사 효율이 낮기 때문이다.

4. 배사 운영(flushing operation)의 규칙

다양한 저수지에서 배사 운영이 매우 복잡하지만, 이들 저수지에 적용할 수 있는 일반적인 규칙은 다음과 같다.

- (1) 배사의 효율을 높이기 위하여 저수지에서 수위는 낮아야 한다.
- (2) 배사 효율은 하폭이 넓은 저수지 보다 하폭이 좁은 저수지에서 훨씬 좋다.
- (3) 폭이 넓은 저수지나, 혹은 배사 방류구의 총 횡방향 폭이 저수지 폭보다 상당히 적을 때, 배사 하도가 확실하게 형성되고, 후퇴침식 (retrogressive erosion)은 주로 배사 하도 안에서 발생하며, 유사 배사 하도 외측에 퇴적된다.
- (4) 배사 하도의 하폭은 배사 하도의 만제유량 제공근의 11배에서 12배의 계수이다(Atkinson,

1996; Lai and Shen, 1996).

저수지의 배사에 대한 타당성을 해석하기 위해서는 다음 조건을 만족해야 한다 (Atkinson, 1996).

- (1) 배사 하도의 수심은 저류된 수위에 대하여 수심의 30%를 초과하지 않아야 한다.
- (2) 연간 배사되는 유사량은 연간 퇴적되는 양을 초과해야 한다.
- (3) 예측되는 배사 하도 폭은 저수지의 바닥 폭보다 훨씬 작고, 배사 하도 폭은 중요한 상수로 고려되어야 한다.
- (4) 세굴된 하도의 수면 폭(top width)는 만약 (3)이 상수라면 만수 상태(full storage)에서 실제 저수지의 하곡 폭은 2배이어야만 하고, 만약 (3)이 상수가 아니라면 실제 수면 폭에 접근하는 세굴된 배사 하도의 수면 폭은 충분하다.

그림 1에서 보여주고 있는 것처럼, 미부 구간과 배사 방류구에서 2가지 화살표가 있다. 배사를 위한 방류에 의하여 두 화살표 사이에서 가상의 선 위에서 퇴적된 유사가 배출된다. 물론 이것은 미부 구간에서 퇴적된 유사보다 방류구 근처에서 퇴적된 유사를 배출시키는 것이 더 쉽다. 따라서 첫째, 퇴적된 유사는 댐 근처에 있어야 한다. 두 번째, 저하 방류(drawdown discharge)의 범위로써, 저수지 등류 수심상 상태에서 수면보다도 원래 하도의 수심과 관련이 있다. 저하 수심(drawdown of water depth)은 원래 하도 수심을 초과하지 않아야 한다. 세 번째, 저수지의 주요 기능이 홍수조절이라면, 배사의 가능성과 홍수 저류량을 철저히 조사해야 한다. 네 번째, 저수지의 폭과 총 배사구의 폭을 고

려해야 한다. 왜냐하면 후퇴 침식은 일반적으로 배사 하도에서 발생하고, 배사 효율은 배사 하도의 폭과 저수지 폭의 비에 대한 함수이기 때문이다. 다섯 번째, 유량의 손실이며, 배사에 의하여 단기간 손실되는 유량은 저수지에서 장기간에 걸쳐서 증가하는 저류량과 비교하여 자세하게 조사되어야 한다 (White, 2001). 만약에 저수지의 목적이 홍수조절을 위하여 유량을 저류하는 것이라면, 댐 운영 절차는 홍수조절과 배사의 조합을 고려하여 철저히 검토되어야 한다.

5. 맺음말

최근에 댐 건설에 적합한 장소가 부족하고, 하천에서 하천환경에 대한 인식이 변하면서 새로운 댐을 건설하기 어려운 실정이므로, 기존에 건설된 댐을 지속적으로 활용하거나, 댐 하류 하천의 물리적 생태환경적인 영향을 저감시키기 위하여 배사를 위한 다양한 방법이 계획되거나 시도되고 있다. 또한 신규 댐이나 하천을 횡단하여 대규모 수리조물 건설 시에 퇴사관리를 위한 기술이 개발되고 있다. 따라서 본고에서는 저수지에서 퇴적된 토사를 배출시키는 배사(flushing sediment) 기술을 소개하였다. 댐이나 하천의 횡단하는 대규모 수리구조물(보)에서 배사의 효율을 극대화하기 위해서는 수리수문학적 특성, 하도 특성, 기상 특성, 댐 혹은 보의 목적 등을 고려하여 숙련된 기술자 혹은 연구자에 의하여 저수지 혹은 보의 운영율이 개발되어야 하며, 이를 위해서는 많은 자료와 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다. 🍷

참고문헌

1. 장창래, 조강현, 김기홍(2008). 하천교란백서(ECORIVER21), 기술 보고서 ER2008-4-1.
2. Atkinson, E. (1996), The feasibility of flushing sediment from reservoirs, Report OD 137, HR Wallingford.
3. Lai, H.S., and Shen, H. W. (1996), "Flushing sediment through reservoirs." Journal of Hydraulic Research, Vol. 34, No. 2, pp. 237-255.
4. Shen, H.W., and Lai, J. S. (1996), "Sustain reservoir useful life by flushing sediment." International Journal of Sediment Research, IRTCES, Vol.11, No.3.
5. Shen, H. W. (1999), "Flushing sediment through reservoirs." Journal of Hydraulic Research, Vol. 37, No. 6, pp. 743-758.
6. White, R. (2001), Evacuation of sediment from reservoirs, Thomas Telford.