

저수지 비퇴사량 산정 방법에 관한 연구

A Study on Estimation Method of Sediment Deposition Rate of Reservoir

장선우*, 황필선**, 김경훈***, 신영호****

Sun Woo Jang, Phyll Sun Hwang, Kyoung Hun Kim, Young Ho Shin

요 지

댐의 비퇴사량 산정은 기능적 역할에 직접적인 영향을 주기 때문에 실측을 통해 정확하고 신뢰성 높은 자료 확보가 필요하다. 일반적으로 설계시 댐 비퇴사량은 상류 유역 내에서 관측한 유사량을 퇴사량으로 환산하는 방법을 적용하여야 하나, 현재 우리나라는 유사량 관측 자료가 충분치 않아 타 지역의 관측 자료를 사용하거나, 경험공식을 이용하여 비퇴사량을 추정하고 있다. 이러한 방법은 각 공식별 특성에 따라 산정결과 값에 많은 차이를 보이는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 용담댐에 실측 비퇴사량을 기준으로 가장 적절히 모의하는 경험공식의 순위를 결정하였으며, 천천 지점의 유량-유사량 관계식을 적용한 하상변동을 모의하기 위해 2차원 모형인 SMS 모형을 적용하여 하상변동의 특성을 분석하였다. 그 결과 용담댐의 비퇴사량 $472 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$ 을 기준으로 류시창과 민병형(1975) 경험공식이 가장 적절히 추정하였다. 또한 하상변동의 특성은 중방향 단면의 퇴적 높이가 수위에 비례하고 횡방향의 형태는 유입부에 퇴적이 많은 것으로 분석되었으며, 100년 후 댐체로 부터 22.1 km 지점에서는 최대 5.674 m 퇴적 되고 저수용량이 800.945 백만 m^3 으로 감소할 것으로 추정되었다.

핵심용어 : 비퇴사량, 비유사량, SMS 모형

1. 서론

댐의 건설은 자연하천에서 퇴적과 침식의 유사 순환과정에 영향을 주고 유역에서 침식되어져 발생하는 유사를 댐 저수지 내에 퇴적시키는 현상을 야기한다(Morris, G.L. and Fan, J., 2009, 황필선, 2001). 또한 이러한 현상은 댐의 건설이후 장기간 축적되면서 이수과 취수에 대한 영향을 가져오기 때문에 댐 관리와 설계를 위해 정확한 퇴사량 추정이 필요하다. 이에 한국수자원공사에서는 댐 관리 측면에서 건설 이후 10년 주기로 정밀측량 조사 및 분석을 통해 댐의 퇴사량을 실제로 산정하고 향후 영향에 대해 분석을 시행하여 각 댐의 비퇴사량 등 다양한 자료를 제공하고 있다. 하지만 댐 설계시에는 상류에서의 유사량 관측 자료가 미흡하여 일반적으로 타 유역의 유사량 관측 자료를 비퇴사량으로 환산하거나, 경험공식을 적용하여 활용하고 있다. 이러한 비퇴사량 추정 방법은 각 산정 방법별 많은 차이를 보이고 있기 때문에 적용성 판단에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 용담댐에 대해 실측 비퇴사량 자료를 기준으로 가장 적절히 모의하는 방법을 순위별로 정리하였고, 유량-유사량 관계식을 적용한 SMS 모형을 이용하여 장기 하상변동 특성을 분석하였다.

2. 대상지역

본 연구의 대상지역은 전라북도 진안군에 위치하고 있는 용담댐 유역으로 선정하였으며, 2001년 10월에 건설을 완공하여 담수를 시작하였다. 용담댐의 총 저수용량은 833 백만 m^3 , 연평균강우량은 1259.7 mm, 유

* 정회원 · K-water 물관리센터 연구원 · E-mail : swjang@kwater.or.kr

** 정회원 · K-water 물관리센터 센터장 · E-mail : jesus@kwater.or.kr

*** 비회원 · K-water 물관리센터 차장 · E-mail : steeing@kwater.or.kr

**** 정회원 · K-water 물관리센터 팀장 · E-mail : yhshin@kwater.or.kr

역 평균경사가 37.52%, 유로연장이 62.58 km이며, 설계시 비퇴사량은 유사량 자료가 없는 관계로 화천댐의 비퇴사량을 고려하여 392 m³/km²/yr로 산정하였다. 용담댐은 한국수자원공사에서 가장 최근에 퇴사량 조사를 실시(2010년에 측량조사 시행)하였고, 2010년도에 유역 상류의 유사량 관측 자료(천천 지점)를 확보할 수 있어 본 연구의 대상지역으로 선정하였다.

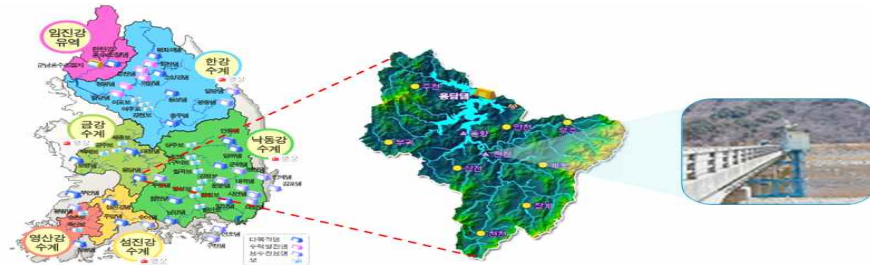


그림 1. 용담댐 및 천천 관측소 위치도

3. 비퇴사량 산정 방법

비퇴사량(sediment deposition rate)이란 하곡, 호수터 또는 저수지 등에 쌓인 퇴사량을 그 상류 유역의 면적(km²)과 퇴적 시간(year)으로 나누어준 것을 의미한다(우효섭, 2001). 이러한 비퇴사량은 크게 실측에 의한 방법, 상류에서의 비유사량을 측정하여 비퇴사량으로 환산하는 방법, 경험적 공식을 적용하는 방법으로 구분할 수가 있다. 우리나라는 댐 설계시 비유사량을 비퇴사량으로 환산하는 방법과 경험적 공식을 적용하는 방법을 주로 사용하지만, 하천에서의 유사량 실측자료 또한 충분하지 않아 댐 설계시 현재까지도 경험적 공식을 이용하여 비퇴사량을 추정하고 있다.

3.1 실측에 의한 방법

실측에 의한 방법은 저수지를 담수시점으로 부터 일정 기간 이후 정밀측량을 실시하여 저수용량을 산정하고, 이를 담수시점의 저수용량과의 차이를 통해 비퇴사량을 산정하는 방법이다. 이 방법은 측량을 통한 저수용량을 기초로 산정하기 때문에 정확한 저수용량 산정이 중요하며, 대부분 설계시 보다는 댐 건설이후 관리 측면에서 사용되는 방법이다. 다음 식 1과 같이 산정된다.

$$\frac{V_r - V_i}{A \times t} \quad (1)$$

여기서 V_i (m³)는 담수시점의 초기 저수용량, V_r (m³)는 일정 시간 이후 측량을 통해 산정한 저수용량이며, 이를 유역면적 A (km²)와 담수기간 t (year)로 나누어 비퇴사량으로 산정한다.

3.2 비유사량을 이용한 방법

비유사량을 이용하여 비퇴사량으로 환산하는 방법은 댐 상류에서 유사량을 관측하여 비유사량(ton/km²/yr)으로 산정하고 이를 다시 식 2와 같이 비퇴사량으로 환산하는 방법이다. 이 방법은 상류에서 실제로 유량과 유사량을 관측하여 유량-유사량 관계식을 생성하고, 지속적인 유량 관측을 통해 유사량을 추정한 후 비유사량으로 산정한다. 산정된 비유사량은 비퇴사량으로 환산하기 위해 저수지의 포착률을 곱하고, 퇴적토의 단위중량으로 나누어 비퇴사량으로 환산할 수 있다.

$$V_s = \frac{SS \times E_t}{\gamma_s} \quad (2)$$

여기서 V_s (m³/km²/yr)는 저수지의 비퇴사량, SS (ton/km²/yr)는 상류에서 측정된 비유사량, E_t (%)는 저수지 포착률이며 일반적으로 Brune(1953)의 저수용량과 유입량의 비로 산정한다. 퇴적토의 단위중량은 γ_s (m³/ton)이며, 퇴적토 조사 자료가 없을 경우 우리나라에서는 일반적으로 1.6을 적용한다.

3.3 경험적 공식에 의한 방법

대부분 측량을 통한 실측 자료가 없거나, 유역 상류에 유수량 관측 자료가 없을 경우 경험적 공식을 이용하여 비퇴사량을 추정한다. 우리나라는 1970년대 이후 저수지 퇴사량 자료를 활용하여 유역면적, 연평균강우량, 저수용량 등과의 관계를 이용한 경험적 공식을 제안하였다. 특히, 비퇴사량은 유역 면적과 밀접한 관계를 가지고 있으며 유역에서 침식된 유사가 저수지까지 도달하는 유사 전달률에 의해 결정된다(Burns and MacArthur, 1996). 유역면적이 작은 지역에서는 유역에서 침식된 유사가 저수지로 도달하는 유사 전달률이 커서 비퇴사량은 크게 산정되며, 이와 반대로 유역면적이 큰 지역에서는 저수지로 도달하는 유사 전달률이 작아 비퇴사량은 작게 산정되는 경향이 있다(Strand, R.I. and Pemberton, E.L., 1987). 이 처럼 댐 유역의 특성과 비퇴사량과의 관계를 통해 경험식을 도출한 것이며, 국내의 경험공식은 표 1과 같다

표 1. 경험적 공식 정리

구 분	내 용	적용지역
유시창과 민병형(1975)	$\log 0.179 + 0.108\log A - 6.72\log P + 2.2\log S$	소류지
류희정과 김시원(1976)	$D = 672.61P^{.024}$	삼교천
윤용남(1982)	$D = 1334.08A^{-0.2} E_t/100)^{6.2668}$	관계용 저수지
안상진과 이종형(1984)	$D = 1419.711A^{-0.174} (E_t/100)^{6.596}$	삼교천, 영산강, 남강
건교부(1992)	$D = 196A^{-0.174} C^{0.301}$	중·소규모 저수지

4. 비퇴사량 추정 및 비교

측량을 이용한 실측 비퇴사량을 기준으로 위에서 언급한 비유사량을 환산하는 방법과 경험적 공식을 적용하는 방법을 이용하여 추정된 비퇴사량을 비교하였다. 용담댐의 비퇴사량은 담수시점의 저수용량과 일정기간 이후 측량을 통해 산정된 저수용량과의 차이를 통해 퇴사량을 산정해야 하기 때문에 담수시점의 정확한 저수용량 산정이 필요하다. 이에 담수시점의 지형을 보정하여 정확한 저수용량을 산정하였으며, 2010년 용담댐의 저수지 정밀측량을 통해 저수용량을 산정하였다. 담수시점과의 10년 후(2010년) 저수용량의 비교를 통해 산정된 비퇴사량은 472 m³/km²/yr 값을 확인하였다. 비유사량을 환산하는 방법은 천천 지점의 유수량 관측자료를 통해 유량-유수량 관계식 ($Q_s = 4.8545Q^{1.6265}$, $R^2 = 0.9682$)을 확보하여(한국수자원공사, 2010) 담수시점 이후 2010년까지의 유입량을 공식에 적용하여 비유사량을 산정하고, 식 2를 이용하여 비퇴사량으로 환산하였다. 경험적 공식을 적용하는 방법은 표 1을 참고하여 산정하였다. 비유수량 환산 방법과 경험공식을 적용하는 방법을 이용하여 추정된 비퇴사량은 실측 비퇴사량과 비교하였으며, 이를 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 비퇴사량 산정 및 비교

구 분		비퇴사량(m ³ /km ² /yr)	오차(%)	순위
실측 보정	저수용량 비교	472.0	-	-
비유수량 환산	유수량 관측	404.4	85.7	3
경험공식	유시창과 민병형(1975)	437.7	92.7	1
	류희정과 김시원(1976)	798.3	169.1	5
	윤용남(1982)	328.9	69.7	4
	안상진과 이종형(1984)	432.0	91.5	2
	건교부(1992)	33.5	7.1	6

※오차 : (추정 비퇴사량/실측 비퇴사량)×100

5. 장래 하상변동 및 특성 분석

용담댐의 하상변동을 분석하기 위해 2차원 SMS(Surface Water Modeling System) 모형을 활용하였다. 유입 유사량을 산정하기 위해 용담댐 상류에 위치하고 있는 천천 지점의 유량-유사량 관계식을 적용하였으며, 유역면적비를 이용하여 본류 뿐만 아니라 지류의 까지도 고려하여 분석하였다. 또한 기존 연구 자료들을 검토하여 국내 적용에 적절한 입력변수를 선택하였으며, 표 3과 같이 정리하였고 장래 하상변동의 모의 결과는 표 4와 그림 2~5와 같다. 종 방향의 하상변동을 살펴보면 퇴적높이는 수위에 비례하는 것을 알 수 있고, 횡방향의 하상변동 형태는 하천에서 유속이 빠르게 진행되다가 저수지로 유입되면서 저수지 내 유속(0.01 m/s 이하)이 매우 작아지기 때문에 저수지 유입부에서 퇴적이 시작되는 형태를 보이고 있으며, 지류의 합류 부분에서는 유속이 빨라지면서 퇴적도 적어지는 것으로 분석되었다.

표 3. SMS 입력변수 정리

구 분	댐지점	주자천	신지천	정자천	진안천
조도계수	0.33	0.33	0.33	0.32	0.35
유역면적비	0.58	0.14	0.03	0.15	0.10
이송공식	Ackers and White(1973)				
확산계수	3000(N-sec /m ²)				
침강속도	1.107m/s(Rubey(1933) 공식)				

표 4. 하상변동 결과

구 분	10년	50년	100년	
퇴사위 (m)	댐 직상류	0.139	0.691	1.254
	댐 유입부	0.524	2.875	5.674
저수용량(백만m ³)	829.911	816.718	800.945	

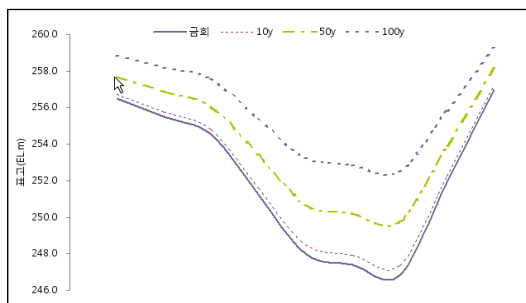


그림 2. 종방향 하상변동(댐으로부터 22.1km 지점)

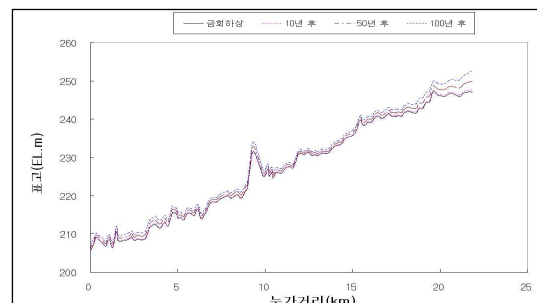


그림 3. 횡방향 하상변동

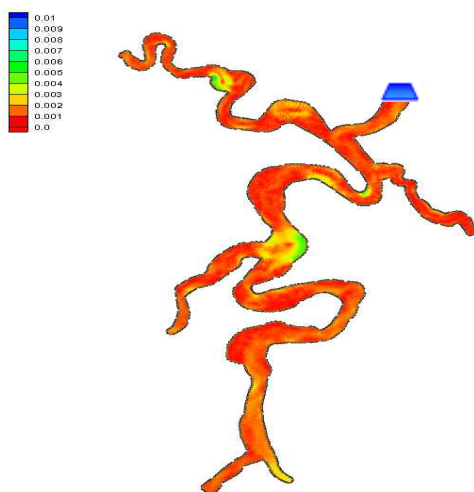


그림 4. 유속 분포도(m/s)

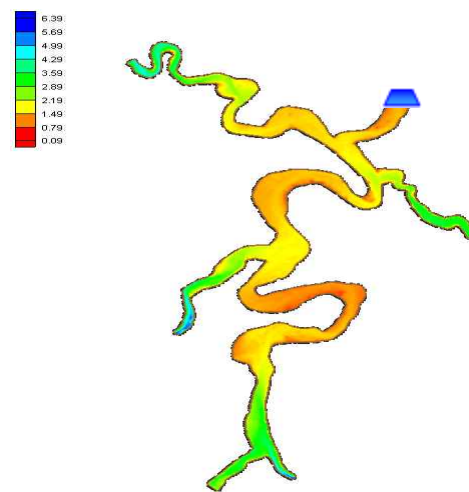


그림 5. 100년간 하상변동량(m)

6. 결론

본 연구에서는 측량을 통한 실측 비퇴사량을 기준으로 용담댐 유역에 가장 잘 모의하는 경험적 공식을 순위별로 정리하였고, 2차원 SMS 모형을 이용하여 하상변동을 모의 하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 용담댐의 저수용량의 비교를 통한 실측 비퇴사량은 $472 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$ 로 산정되었다.
2. 경험적 공식을 적용한 결과 유시창과 민병형(1975) 공식이 $437.7 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}$ (실측 비퇴사량의 92.7% 수준)으로 가장 적절하게 산정되었다.
3. SMS 모형을 적용하여 장래 하상변동 모의 결과, 댐 유입부에서 먼저 퇴적이 되면서 댐체 지역보다 많은 양이 퇴적되었고, 횡방향의 퇴적양은 수위에 비례하는 형태를 보이고 있다.
4. 100년 후 댐 유입부에서 5.674 m가 퇴적되었고, 저수용량은 800.945 백만 m^3 으로 감소할 것으로 분석되었다. 하지만, 댐 설계 당시에 비퇴사량을 고려하여 건설하였기 때문에 100년 후에도 용수공급 및 홍수조절에 문제가 없을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 건설부(1992). 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사 연구.
2. 류희정, 김시원 (1976). “저수지의 퇴사에 관한 연구” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제9권, 제2호, pp. 67-75
3. 안상진, 이종형 (1984). “저수지 퇴사량과 유역인자와의 상관” 한국수문학회지, 한국수문학회, 제17권, 제2호, pp. 107-112
4. 우효섭(2001), 하천수리학, chap. 12.1, pp. 647 청문각
5. 유시창, 민병형 (1975). “저수지의 퇴사에 관한 연구-진양지구를 중심으로” 한국농공학회지, 한국농공학회, 제17권, 제3호, pp. 46-53
6. 윤용남 (1981). “관개용 저수지의 연평균 퇴사량과 저수 용량 감소율의 산정” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제1권, 제1호, pp. 69-76
7. 한국수자원공사(2010). 2010년도 수자원·환경기초조사 보고서.
8. 황필선(2001). “다목적댐 퇴사관리 현황” 제24회 한·일 하천 및 수자원 개발 기술협력회의, 한국건설교통부-일본 국토교통성
9. Ackers, P. and White, W.R.(1973) "Sediment Transport : A New Approach and Anlysis" *J. of the Hydraulics Division, ASCE*, vol. 99, no. HY11, Nov.
10. Brune, G.N.(1953) "Trap Efficiency of Reservoirs", *Transactions of American Geophysical Union*, vol. 34, no. 3, pp 1953.
11. Burns, M., and MacArthur, R(1996). "Sediment deposition in Jennings Randolph Reservoir, Maryland and West Virginia", Proc., 6th *Federal interagency Sedimentation Conf*, Lasvegas, 10.16-1021.
12. Morris, G.L. and Fan, J.(2009) Reservoir Sedimentation Handbook.
13. Rubey, W.W.(1933). "Settling Velocities of Gravel, Sand and Silt Particles", *American J. of Science*, 5th series, vol. 25, no. 148
14. Strand, R.I. and Pemberton, E.L.(1987) "Reservoir Sedimentation", In *Design of Small Dams*. U.S. Bureau of Reclamation, Denver.