

장기적인 저수지 퇴사에측 및 저감방안에 관한 연구

윤용남¹⁾/○안재현²⁾/장수형³⁾/최원석⁴⁾/박민규⁵⁾

1. 서론

저수지내로 유입된 유사의 퇴적은 저수지 기능에 여러 가지 장애를 초래하므로, 장기적 퇴사의 예측은 저수지의 계획이나 운영에 있어서 매우 중요한 사항이다. 특히, 잘못된 퇴사의 예측은 저수지의 운영목적 달성은 물론 배사시설 또는 저수지의 운영방법의 재검토 등 경제적으로 막대한 손해를 볼 수 있으며, 용수공급을 어렵게 할 수 있다. 저수지 퇴사로 인한 가장 큰 문제점은 저류용량의 감소로 이는 각종 목적을 위한 가용수자원의 감소를 의미하며, 이외에도 상류하천의 하상상승, 하천수질 및 생태학적변화, 하류하상의 변화, 준설토의 처리 등과 같은 문제점이 발생한다(윤용남, 1988). 그러나 이러한 저수지퇴사로 인한 막대한 영향에도 불구하고 저수지 퇴사현상의 정확한 분석방법은 개발되어 있지 못한 실정이다(류희정 등, 1976; 안상진 등, 1984; 김진택 등, 1993; 이관만 등, 1998).

본 연구에서는 저수지내 장기간의 퇴사를 예측하기 위해 마코브 연쇄(Markov chain)와 NWS-PC 강우-유출 모형을 사용하여 저수지 유입 장기 유출량을 모의하였다. 또한, 하상재료 및 부유사량을 실측하여 유량-유사량 관계를 도출하고, 댐 준공 후 저수지내 경년별 퇴사분포를 SMS-SED2D 모형으로 모의하였다.

또한, 퇴사저감시설에 의한 배사효과 분석을 위해, 댐상류에 저사댐을 설치하여 퇴적토를 준설하는 상류소류사포착(Trapping), 홍수시 유입유사를 방류수로 배사하는 즉시배사(Slucicing), 수위저하로 자연흐름을 유도한 후 퇴적토사를 배사하는 강제배사(Flushing) 등 개별적인 퇴사저감시설에 의한 효과분석과 이러한 저감시설의 연계운용을 통한 효과분석을 비교·검토하였다. 이를 통해 저수지의 퇴사로 인한 저수지 용량감소에 대처하고, 댐의 이수기능을 확보할 수 있는 최적의 저수지 퇴사저감 시설의 운영방안을 제시하고자 하였다.

2. 저수지내 퇴사 예측

2.1 장기 유량 자료의 모의

본 연구의 대상유역은 임진강 유역내 한탄강에 계획되고 있는 유역면적 1,279km², 홍수조절용량 305백만m³, 계획홍수위 EL.116.8m인 한탄강댐을 대상유역으로 하였다.

한탄강댐 저수지내 퇴사 특성을 분석하기 위해서는 장기 일 유출량 자료가 필요하다. 일반적으로 장기 일 유출량의 모의에는 측정된 유출량 자료의 통계 특성을 이용하여 유출량을 직접 모의하는 방법과 강수량 등의 자료를 모의한 후 강우-유출 모형을 이용하여 유출량을 모의하는 방법이 적용된다. 본 연구에서는 대상유역에 가용한 유출량 자료의 기간이 3년으로 너무 짧기 때문에 전자의 방법을 적용하지 못하고 유역내에 위치한 철원관측소의 일 강수량과 일 증발량을 모의한 후 강우-유출 모형을 이용해서 장기 일 유출량 자료를 산정하는 방법을 이용하였다.

본 연구에서는 일 강수량과 일 증발량의 장기 모의를 위해 마코프 연쇄(Markov chain) 방법을 이용하였고 모의발생된 강수량과 증발량을 철원관측소의 실측(1988~2001년) 자료와 비교를 통하여 검정하였다. 마코프 연쇄는 일 강우와 무강우 사이의 전이확률(transition probability)에 근거하여 강우의 발생 유무를 결정해서

- 1) 고려대학교 토목환경공학과 교수
- 2) 서경대학교 토목공학과 교수
- 3) 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정
- 4) (주)현대엔지니어링 수자원부 과장
- 5) (주)유신코퍼레이션 수자원부 대리

강우를 모의하는 방법이다.

또한, 모의된 장기 일 강수량과 증발량 자료를 이용하여 대상유역의 장기 일 유출량을 산정하기 위해 미국 국립기상국(National Weather Service)에서 개발되어 일 유출량 산정에 주로 적용되고 있는 NWS-PC 모형을 이용하였으며, 모형의 검정을 위해 한탄강 본류에 위치한 전곡수위표에서 1999~2001년 기간동안 실측된 유출량 자료를 이용하였다.

2.2 저수지내 퇴사 예측

저수지내 퇴사량의 산정을 위해 2.2절의 강우-유출모형으로 모의한 100년 일 유출량과 전곡 수위관측소에서 실측을 통해 유도된 식 (1)과 같은 유량-유사량 관계곡선 식을 이용하였으며, 비퇴사량의 산정을 위해 필요한 퇴사의 단위중량은 1.4(ton/m³)을 적용하였다.

$$Q_s = 0.015109 \cdot Q^{2.27479} \quad (1)$$

여기서, Q_s 는 유사량(ton/day), Q 는 유량(m³/sec)을 나타낸다. 위 유량-유사량 관계곡선 식을 통해 100년 장기 일 유입유사량을 산정하였으며, 대상유역의 연평균 비퇴사량은 471(m³/km²/년)로 분석되었다. 이는 건설교통부(2002)에서 기존공식을 이용해서 산정한 값(290~800m³/km²/년)과 비교할 때 적절한 값으로 판단되었다.

그리고 저수지내 경년별 퇴적토사의 공간적 분포와 퇴사저감시설에 의한 배사효과의 검토를 위해 본 연구에서는 SMS-SED2D 모형을 이용하였다. SMS(Surface-water Modeling System)는 1차원, 2차원, 그리고 3차원 동수역학적 모형으로, GFGEN 모형, RMA-2 모형, RMA-4 모형, SED-2D 모형 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 이 중 오염원의 이송-확산 모형인 RMA-4 모형을 제외하고 지형에 대한 정보를 각 격점과 요소점으로 구성하여 RMA-2와 SED2D모형에서 사용 가능한 2진파일(binary file)을 구성하는 GFGEN모형, 2차원 수리분석 모형인 RMA-2모형, 그리고 GFGEN 및 RMA-2모형의 결과와 실측유사량 자료를 이용하여 2차원 정상 및 동수역학적인 유사이송-확산을 모의하는 SED-2D모형을 이용하였다. 모형의 검정을 위해 경기도(1998)에서 분석한 한탄강 계획홍수위와 비교·검토했으며, 장기적 퇴사예측을 위한 모형의 경계조건으로 100년 장기 일 유출량과 유사량을 입력하였다.

그림 1과 같이 100년 동안 모의된 저수지 퇴사의 경년별 변화특성을 살펴보면, 댐 지점 하상고는 원지반 고인 EL.41.0m에서 댐 건설 후 30년까지는 EL.46.8m(5.8m 상승)로 상승하나 저수위 EL.47.0m보다 낮아 댐의 이수 기능(수력발전 등)에 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 30년 이후부터는 추가 퇴적으로 인한 이수 기능의 상실 우려가 있어 별도의 퇴사저감 시설 계획이 필요한 것으로 분석되었다.

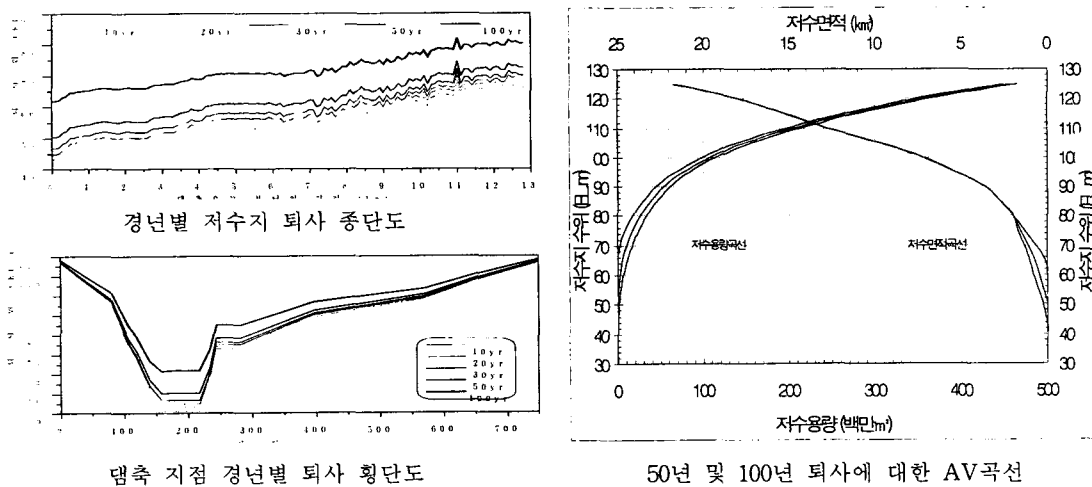


그림 1. 100년 장기 저수지 퇴사의 경년별 변화

3. 저수지 퇴사의 저감방법

유입토사로 인한 저수내 퇴적을 최대한 줄임으로서 최대한 저수지의 저수용량확보와 저수지운영이 가능하도록 본 연구에서는 다음과 같은 저수지퇴사 저감방법에 대해 검토하였다(Basson and Rooseboom, 1997).

첫째, Sediment Trapping(상류 소류사포착)은 대규모 저수지의 상류 하천으로부터 홍수시 유출되는 다량의 토사를 저사댐을 통하여 분류시킴으로서 하류저수지의 퇴사를 방지가 가능한 방법이다. 본 연구에서는 Sediment Trapping의 효과를 검토하기 위해 저사댐과의 접근이 용이하고 기존시설물을 이용할 수 있는 본댐 상류 약 13km지점에 위치한 포천 소수력발전소 댐을 저사댐으로 활용하는 것으로 가정하여 검토하였다.

둘째, Sediment Sluicing(즉시배사)은 홍수시 저수지내로 유입하는 부유사를 댐의 여수로나 방수로를 통해 배사하는 방법으로 저수지내에 퇴적된 비점착성 토사는 일단 퇴적되어 압밀되면 다시 세척되기 어렵다. 따라서, 토사의 퇴적을 억제하려면 저수지로 유입하는 부유사가 퇴적하기 이전에 부유상태로 댐 하류로 방류될 수 있도록 하는 것이 중요하다.

셋째, Sediment Flushing(강제배사)은 저수지내 퇴적된 토사를 댐의 배사문을 통해 방류량과 함께 강제배사 시키는 방법으로 저수지의 수위가 낮을수록 좋은 것으로 알려져 있으며, 이는 낮은 저수위에서의 저수지 유입토사가 댐 배사문 가까이까지 유송되므로 배사문에 효과가 더욱 용이해지기 때문이다.

넷째, Sediment Bypassing(우회배사)은 홍수시 저수지로의 토사유입을 억제시키기 위해 수류를 우회시키는 방법으로 수류를 우회시키기 위해서는 산의 터널을 뚫는 등 건설에 소요되는 비용이 막대하기 때문에 특수한 경우를 제외하고는 경제성이 없는 것으로 알려져 있어 본 연구에서도 Sediment Bypassing에 대한 검토는 하지 않았다. 이외에, Mechanical Removal(준설)은 퇴적토사를 준설하여 저수용적을 확보하고자 하는 방법으로 아직까지 경제적 타당성이 없는 것으로 평가되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 퇴적토사의 저감을 위해 Sediment Trapping, Sediment Sluicing, Sediment Flushing과 이 세 방법을 연계운영 하는 것을 각각 분석하여 최적의 퇴사저감운영방안을 검토하였다.

4. 퇴사저감 시설에 의한 퇴사저감효과 분석

4.1 개별적 퇴사저감시설의 효과분석

퇴사저감시설의 개별적 효과분석으로 배사시설 미계획시, Sediment Trapping, Sediment Sluicing을 배사문과 상용여수로 수문조작률(gate operation rule)에 의해 실시한 결과 저사댐에 의한 소류사 포착 후 매년 준설시 댐 준공 30년 후에는 댐 지점 퇴사위가 EL.45.7m로 배사시설 미 계획시와 비교하면 퇴사용적의 저감률은 9.7%이며, 배사문을 통한 Sluicing에 의해 배사시 댐 준공 50년 후까지 댐지점 퇴사위는 EL.46.0m로 저수위 EL.47.0m보다 낮으면서, 퇴사용적의 저감률은 69.3%로 나타났다. 또한, 상용여수로를 통해 배사되는 효과를 100년 장기모의 한 결과 퇴사위는 EL.58.4m로 저사댐의 준설운영효과보다 조금 높았다. 개별적 퇴사저감시설을 100년 운영하였을 경우의 퇴사위를 그림 2에 나타내었다.

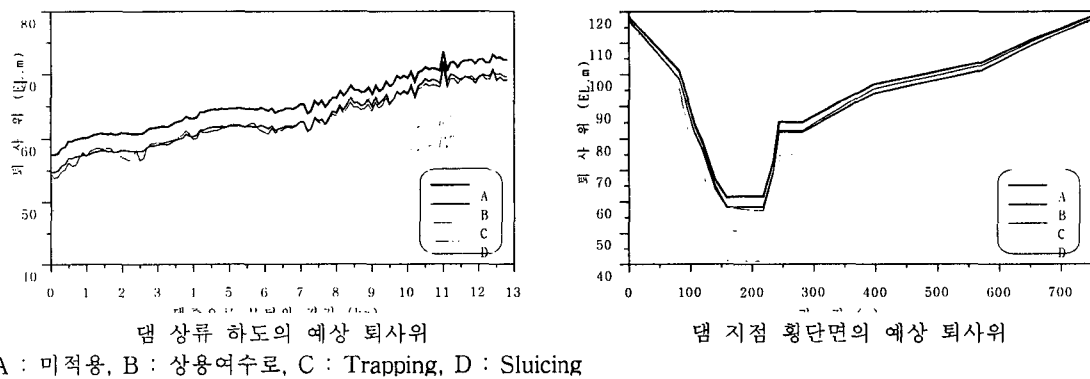


그림 2. 퇴사저감시설에 따른 퇴사위의 변화(100년 모의시)

4.2 퇴사저감시설의 연계운영 효과분석

개별적인 퇴사저감시설의 효과는 Sluicing으로 배사할 경우 댐 준공 50년 후까지 저수지의 이수기능 확보가 가능하였지만, 50년 이후부터는 저수위 EL.47.0m를 초과하여 저수지의 운영이 어려워진다. 따라서, 퇴사저감시설의 연계운영으로 Sediment Sluicing과 Sediment Trapping, Sediment Flushing을 검토하였다.

퇴사저감시설의 연계운영분석 결과는 표 1과 같으며, 검토결과 최적의 저수지운영방안은 댐 준공 후 50년까지는 저사댐에 의한 소류사포착과 배사문을 통한 Sluicing으로 배사하고 50년 이후에는 연 1회정도 배사문을 통해 Flushing Operation을 시행할 경우 댐 준공 후 100년까지도 댐 지점 퇴사위를 EL.44.9m로 유지 가능하므로 댐의 이수기능 확보가 가능하였다.

표 1. 퇴사저감시설의 연계운영 효과

구 분	경과년도	댐 지점의 하상 변화(EL.m)					저 감 효 과		
		원지반	10년	20년	30년	50년	100년	포착효율	배사효율
저감방안 미도입	41.0		43.3	44.9	46.8	50.5	61.9	-	-
Trapping+Sluicing			41.9	42.8	43.7	44.6	49.7	27.4	72.6
Trapping+Sluicing (50년이후 Flushing)			41.9	42.8	43.7	44.6	44.9	18.5	81.5

5. 결 론

저수지 퇴사의 장기예측을 위해 마코브 연쇄(Markov chain)와 NWS-PC 강우-유출 모형을 사용하여 저수지 유입 장기 유출량을 모의한 후 실측자료를 이용 유량-유사량 관계를 도출하고 댐 준공 후 저수지내 경년별 공간적 퇴사분포를 SMS-SED2D 모형으로 모의하였다. 저수지내 퇴사저감방법으로 Sediment Trapping(저사댐에 의한 소류사포착), Sediment Sluicing(즉시배사), Sediment Flushing(강제배사)과 이의 연계운영을 검토한 결과 댐 준공 후 50년까지는 홍수시 수문조작률에 따라 Sediment Trapping과 Sediment Sluicing 운영으로 퇴사를 저감시키고, 50년 이후에는 간헐적인 Sediment Flushing 운영으로 댐 지점 퇴사위를 배사문 바닥표고인 EL.45.0m 이하로 유지토록 함으로서 저수지 퇴사로 인한 저수지 용량감소를 저감시키고 댐의 이수기능 확보가 가능하였다.

이와 같은 연구를 통해 댐 건설시 예상되는 저수지내 퇴사를 예측하고, 적절한 대책방안들에 대한 검토를 통해 퇴사로 인한 저수용량 감소문제에 대한 대처가 가능함을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- 건설교통부(2002). 한탄강댐 기본설계보고서.
 경기도(1998). 한탄강수계 하천정비기본계획.
 김진택, 박승우(1993). "관개용 저수지의 퇴사량과 포착효율의 측정." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제26권, 제3호, pp.63-74.
 류희정, 김치원(1976). "저수지의 퇴사에 관한 연구." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제9권, 제2호, pp.67-75
 안상진, 이종형(1984). "저수지 퇴사량과 유역인자와의 상관." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제17권, 제2호, pp.107-112.
 윤용남(1988). "저수지 퇴사." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제21권, 제1호, pp.9-15.
 이관만, 이우석(1998). "배사비 효율곡선 및 댐 운영기법을 이용한 퇴사량 장기예측." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제31권, 제1호, pp.95-103.
 Basson, G.R. and A. Rooseboom(1997). *Dealing with Reservoir Sedimentation*, WRC Report, No. TT 91/97, South Africa.