

중·소규모 저류시설의 장기간 하상변동 모의

Simulation of Long-term River Bed Variation on the Medium and Small Scale Reservoir

박영진*, 박용수**, 이진은***, 김상욱****

Young Jin Park, Yong Soo Park, Jin Eun Lee, Sang Ug Kim

요 지

저수지에서 퇴사가 저수지에 미치는 영향으로는 저수용량의 감소로 인한 용수공급량 저하, 상류하천 수위 상승에 따른 홍수소통능력 감소로 인한 배수위 상승, 퇴적토의 용출에 의한 부영양화 촉진 및 중금속 퇴적 등의 수질변화, 퇴사로 인한 어류서식처 환경의 변화 등이 있다. 또한, 저수지로 유입되는 유사에 대한 정확한 예측은 댐의 계획 및 운영과 관련된 저수지 퇴사관계를 이해하는데 필수 요소이다. 즉, 저수지 퇴사에 관한 예측 자료는 댐 설계시에 장래 50년 및 100년 후의 저수위-저수용량 관계곡선을 결정하고, 댐의 사수위를 결정하는데 중요한 기본자료이며, 또한 댐 건설후의 저수지내로 유입되는 유사의 공간적 퇴적분포를 예측하고, 기능별 저수지 용량배분, 본체 및 취수구 등 각종 수리구조물의 안정, 저수지 상류 퇴사로 인한 홍수위의 상승 등 저수지 제 기능의 적정 관리를 계획하는데 필요한 기본자료이기 때문이다.

본 연구에서는 저수지 내에서의 2차원적 하상변동을 해석하기 위한 퇴사 모델링 방법으로 2차원 정상 및 동수역학적 유사이송과 하상변동을 모의할 수 있으며, 침식과 포착 및 이송 그리고 퇴적의 각 단계에 따라 세부모의가 가능할 뿐만 아니라 RMA2와 SMS 프로그램과 상호 연계가 자유로운 SED-2D 모형을 이용하여 댐 축조로 인한 저수지 내의 퇴사거동을 모의한 후 하상변동을 분석하였다.

핵심용어 : 저수지 해석, 유사이송, 하상변동, SED-2D 모형

1. 서론

댐 축조에 따라 형성된 저수지 퇴사량 조사는 퇴사로 인한 저수지 내 지형변화를 조사함으로써 취수구 등을 비롯한 저수지 구조물에 미치는 영향, 저수용량 감소에 따른 용수공급능력, 저수지 상류 하상변동에 따른 배수위 영향 구간 변화 등을 분석하는데 필요한 저수지 운영의 기초자료를 확보하기 위해서 실시한다.

저수지에서 퇴사가 저수지에 미치는 영향으로는 저수용량의 감소로 인한 용수공급량 저하, 상류하천 수위 상승에 따른 홍수소통능력 감소로 인한 배수위 상승, 퇴적토의 용출에 의한 부영양화 촉진 및 중금속 퇴적 등의 수질변화, 퇴사로 인한 어류서식처 환경의 변화 등이 있다. 또한, 저수지로 유입되는 유사에 대한 정확한 예측은 댐의 계획 및 운영과 관련된 저수지 퇴사관계를 이해하는데 필수 요소이다. 즉, 저수지 퇴사에 관한 예측 자료는 댐 설계시에 장래 50년 및 100년 후의 저수위-저수용량 관계곡선을 결정하고, 댐의 사수위를 결정하는데 중요한 기본자료이며, 또한 댐 건설후의 저수지내로 유입되는 유사의 공간적 퇴적분포를 예측하고, 기능별 저수지 용량배분, 본체 및 취수구 등 각종 수리구조물의 안정, 저수지 상류 퇴사로 인한 홍수위의 상승 등 저수지 제 기능의 적정 관리를 계획하는데 필요한 기본자료이기 때문이다.

* 정회원 · 서일대학교 토목공학과 교수 · E-mail : profpark@seoil.ac.kr

** 정회원 · 건화엔지니어링 수자원부 부장 · E-mail : pysoo71@hanmail.net

*** 정회원 · 다산컨설턴트 수자원부 상무 · E-mail : etson1@naver.com

**** 정회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : sukim70@kangwon.ac.kr

본 연구에서는 저수지 내에서의 2차원적 하상변동을 해석하기 위한 퇴사 모델링 방법으로 2차원 정상 및 동수역학적인 유사이송과 하상변동을 모의할 수 있으며, 침식과 포착 및 이송 그리고 퇴적의 각 단계에 따라 세부모의가 가능할 뿐만 아니라 RMA2와 SMS 프로그램과 상호 연계가 자유로운 SED-2D 모형을 이용하여 댐 축조로 인한 저수지 내의 퇴사거동을 모의한 후 하상변동을 분석하였다.

2. 적용모형의 개요

댐 축조로 인한 저수지 내의 흐름특성을 알아보기 위한 RMA2 모형은 2차원 수심 평균한 유한 요소 수치 모형으로서 2차원 흐름 영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes 방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds 방정식으로 유한요소의 해를 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되고, 와점성계수(eddy viscosity coefficient)는 난류의 특성을 정하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. RMA2 모형의 지배방정식은 수심 적분한 유체의 연속방정식과 2차원 운동량 방정식을 사용하며 다음 식과 같다.

- 연속방정식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

- 운동량 방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + g\frac{\partial a}{\partial x} + g\frac{\partial h}{\partial x} + \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + g\frac{\partial a}{\partial y} + g\frac{\partial h}{\partial y} + \tau_y = 0 \quad (3)$$

여기서 x, y, t : 좌표축과 시간 g : 중력가속도 u, v : x, y 방향의 수심 평균유속
 ρ : 물의 밀도 h : 수심 a : 하상표고 ϵ : 확산계수
 τ_x, τ_y : x, y 방향으로 작용하는 외부응력으로써, 각각 하상, 바람, coriolis 효과에 의한 응력

SED-2D 모형은 2차원적 퇴사 Modeling 방법으로 2차원 정상 및 동수역학적인 유사이송과 하상변동을 모의할 수 있는 모형으로써 이송-확산방정식을 주 지배방정식으로 하상변동을 모의한다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + v\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial C}{\partial y}\right) + a_1C + a_2 \quad (4)$$

여기서 C : 농도(kg/m³, ppm), x : 주 흐름방향(m), t : 시간(s), v : y 축 방향 유속(m/s)
 u : x 축 방향 유속(m/s), y : x 축에 수직인 방향(m), D_x : x 축 방향의 유효확산계수(m²/s)
 D_y : y 축 방향의 유효확산계수(m²/s), a_1 : 하상근원(Bed Source)에 대한 계수(1/s)
 a_2 : 하상근원의 평형농도부분(kg/m³/s)

3. 모형의 적용

3.1 대상유역 현황

본 연구의 대상 저수지는 울산광역시 울주군에 위치한 소규모 저수지로서 본 유역은 남쪽으로는 정족산(EL. 700.1 m), 동쪽으로는 문수산(EL. 599.8 m) 그리고 서쪽으로 취서산(EL. 1,058.9 m) 등으로 둘러싸여 있다. 또한 유입 하천으로는 지방2급인 둔기천, 보은천이 있으며, 대상유역의 표고분석도와 경사분석도는 그림 1과 그림 2와 같다.

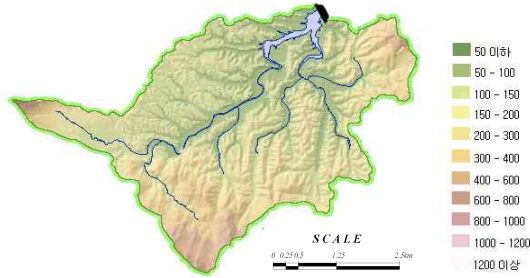


그림 1. 대상유역 표고 분석도

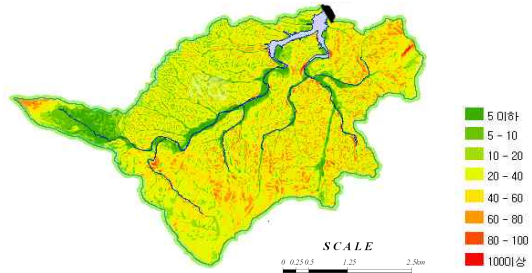


그림 2. 대상유역 경사 분석도

3.2 경계조건 및 지형자료 입력

저수지내의 흐름특성을 알아보기 위한 RMA2 모형을 수행하기 위해 기본적으로 필요한 항목들은 다음 표 1에 정리하여 나타내었으며, 이러한 조건들 이외에 모형을 수행하는데 필요한 조건들은 각각의 상황에 맞게 보정하여 입력하였다.

표 1. 모형 기본항목 입력값

기본 변수 항목	입력 값	비 고
Eddy-Viscosity	20	
X, Y Diffusion Coefficient	1.5	
Settling Velocity	0.01 m/s	

표 2. 유입하천의 경계조건

하천명	유역면적 (km ²)	평수기 경계조건(m ³ /s)	홍수기 경계조건(m ³ /s)
둔기천	47.7	10.00	31.3
보은천	29.4	6.1	82.2

RMA2 모형을 수행하기 위해서는 유입되는 하천의 유황을 파악해야 하는데, 저수지로 유입되는 하천은 둔기천과 보은천이다. 유입하천의 경계조건자료를 얻기 위하여 기본계획상의 수치를 사용하지 않고 수자원 정보 시스템에서 2년간 저수지 유입량 및 필요한 자료를 조사한 후 평균하여 사용하였으며, 이와 같은 방법으로 얻은 저수지의 평수기 경계조건과 홍수기 경계조건은 표 2에 나타내었다. 저수지내 흐름을 계산하기 위한 모형구축을 위해 각각의 조건에 대해서 수동으로 격자를 생성하여 격자망을 구축하였다. 유한요소 격자망은 경계조건이 원활하게 구성되는 삼각형 형태의 요소만을 가지고 구축하였으며, 저수지 내에서 4,061개의 삼각형 요소와 8,700개의 노드를 이용하였다. 이와 같은 요소와 노드를 이용하여 최종적으로 구축된 저수지내에서의 격자망은 그림 3에 나타내었다.

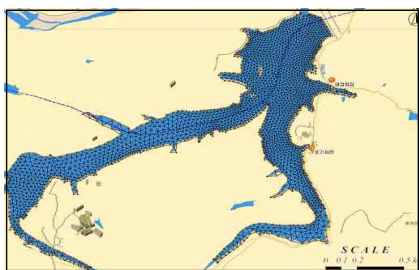


그림 3. 저수지내에서의 유한요소 격자망의 생성

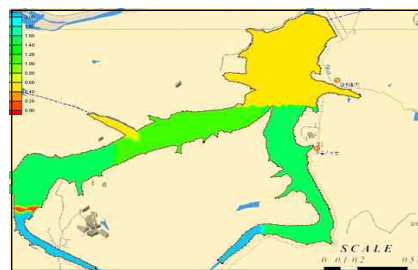


그림 4. RMA-2 모형수행을 위한 초기수위 설정

RMA2 모형을 수행하기 전에 반드시 모든 요소 및 노드에서 건조조건(Dry Condition)이 발생하지 않도록 초기 수위를 설정해 주어야 하며, 초기 수위에서 건조 조건이 발생하였는데도 불구하고 모형을 수행하면 수행결과에 심각한 부정확성을 내포하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 건조 조건의 발생을 방지하기 위하여 시행착오법을 이용하여 초기수위를 결정하였으며 그림 4에 나타내었다.

4. 분석 및 결과

4.1 흐름특성 변화

얻어진 기본자료를 이용하여 홍수기와 평수기를 분할하여 각각의 흐름상태가 정상류상태가 될 때까지 RMA2 모형을 수행하였다. 모형 수행결과는 각각 그림에 나타내었으며, Pentium IV급을 이용하여 모의하면 홍수기 모의시 정상류상태까지 도달하는데 걸린 모의시간은 약 23시간이 소요되며, 평수기 모의시 정상류상태까지 도달하는데 걸린 모의시간은 약 18시간이 소요되었다.

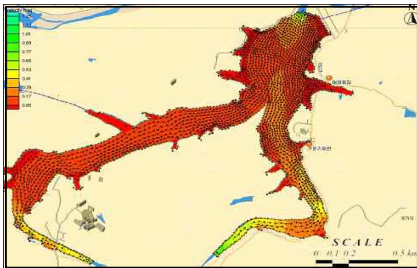


그림 5. 저수지 유속분포도(평수기)

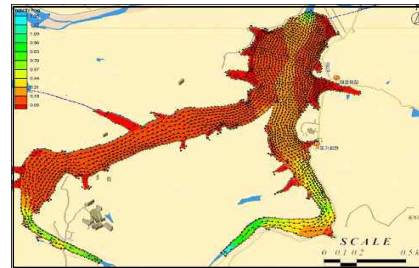


그림 6. 저수지 유속분포도(홍수기)

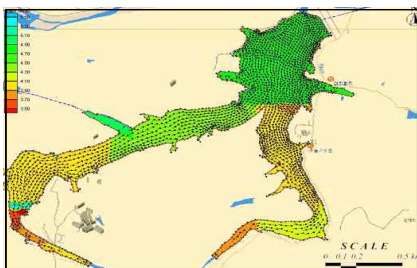


그림 7. 저수지 수심분포도(평수기)

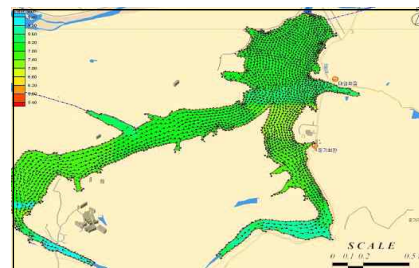


그림 8. 저수지 수심분포도(홍수기)

RMA2 모의결과 경험상 예측했던 흐름양상을 나타내었다. 평수기 흐름 양상의 특징은 유입량이 큰 둔기천과 댐 합류부에서의 유속이 가장 빠른 것으로 나타났으나 전반적으로 저수지내 유속이 0.05 m/s 정도로 흐름이 천천히 일어나는 것을 알 수 있었으며, 홍수기 흐름은 전반적으로 평수기 흐름과 비슷한 양상을 보이지만 유속이 평균 0.30~0.44 m/s 정도로 빠르게 증가됨을 알 수 있었다.

4.2 퇴사 모의

댐 축조로 인한 퇴사 모의를 위해 SED-2D 모형의 적용 결과는 그림 9와 그림 10에 나타내었으며, 전반적인 퇴적양상은 일반적인 저수지내 퇴적양상과 비슷한 것으로 보여진다. 즉, 댐으로 유입되는 하천과 댐의 합류부내에서는 조립토의 침강에 의하여 삼각주가 형성되고 저수지내 흐름에 따라 하상을 따라 발생한 밀도류로 인하여 댐 인근에는 세립토에 의한 퇴적이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 50년 후와 100년 후는 퇴적양상은 동일하고 퇴적심만 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 현실을 완벽하게 재현할 수 없는 수학적 모형의 한계로 판단된다.

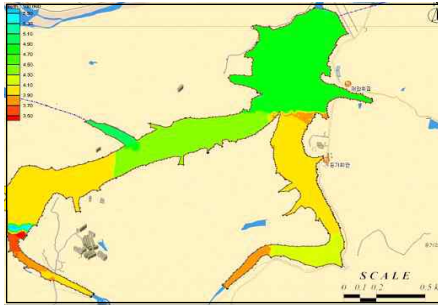


그림 9. 저수지의 퇴사분포(50년 후)

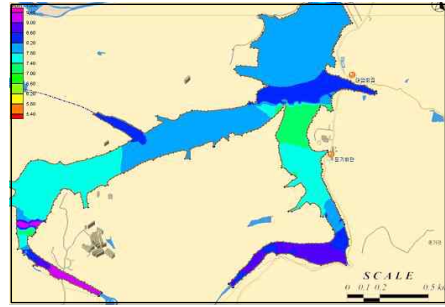


그림 10. 저수지의 퇴사분포(100년 후)

5. 결과

본 연구에서 댐 축조로 인한 저수지의 흐름특성 변화 및 퇴사량 추정 모의를 RMA2 모형과 SED-2D 모형을 이용하여 저수지 내의 2차원 흐름분석을 수행한 결과, 둔기천은 대상 저수지로 유입되는 양이 가장 큰 하천이고, 둔기천의 유입량과 흐름에 의해 많이 교란될 뿐 아니라 지형적으로도 흐름의 병목현상이 생길 만큼 저수지 내로 이어지는 폭이 좁아 퇴적의 영향을 가장 심하게 받는 구역으로 볼 수 있다. 또한, 2차원 해석모형은 퇴적되는 양 이외에도 하천의 유입부 및 댐 인근과 저수지내에서의 퇴사량을 2차원적으로 검토함으로써 준설위치 등을 효과적으로 결정할 수 있음을 알 수 있다. 자료의 신뢰도 한계 및 모형적용을 위한 여러 가정 등에서 어느 정도의 불확실성이 존재하기 때문에, 결과에 더 높은 신뢰도를 부여하기 위해서는 유입 유사량 측정 자료 확보가 절대적으로 필요하고, 이를 위해서 유입 지천에 대해서도 유사량을 측정하기 위한 수위·우량관측소가 필요하다.

참고 문헌

1. 김영한, 오정선, 서일원 (2003). “수치모형을 이용한 댐 상류 및 여수로 수리현상 해석”, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제5호, pp. 761-776.
2. 박민서, 박종화, 신용희 (2003). “댐 저수지의 퇴사요인과 토사관리 방법”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(2), pp. 895-898.
3. Brigham Young University, SMS(Surface-Water Modeling System) User's manual, 2000.
4. Barbara P. Donnell, User Guide to RMA2 WES Version 4.3, WexTech System, Inc, 1997.