

저수지내 수리구조물에 의한 퇴사량 제어 효과 Effects of Control of Dam Sedimentation by a Hydraulic Structure in a Reservoir

조 홍 제* / 강 호 선**

Cho, Hong Je / Kang, Ho Seon

Abstract

Sayeon dam is the one that is structured in 1965 and supplying residential water in Ulsan. The hill located within the reservoir near the entrance of the dam spillway plays a role as a natural Dike. According to the recent surveys on change of sediment and effective volume of water kept in store, the latter that decreased 2.92% from twenty million tons and the former increased just 1.65m. In this survey we examined the application of SED-2D model using measured data of Sayeon dam sediment. In addition we surveyed the inflow control and the water depth to be kept when installing small hydraulic structure similar to Dike around the dam reservoir entrance. To do this, we simulated the hydraulic effects and sediment on the conditions eliminating the hill or installing the structure higher than it. The controlling effects of present hill or adding small hydraulic structure on it was found, though the changes of the measure was not large.

Keywords : Sayeon dam, sedimentation, hydraulic structure (Dike), SED-2D model

요 지

1965년 축조된 사연댐은 울산시의 중요한 생활용수 공급댐이며, 댐 여수로 입구 부근 저수지 내에 위치한 야산은 자연상태의 도수제(Dike) 역할을 하고 있다. 최근 두 차례에 걸쳐 조사하였던 퇴사량과 유효저수량 변화에 따르면, 유효저수량은 2,000만 톤에서 2.92% 감소하였고 여수로 부근에서의 퇴적수심은 평균 1.65m 증가에 불과한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 사연댐 퇴사량 실측자료를 이용하여 SED-2D 모형의 적용성을 검토하고, 야산을 이용하여 취수탑이 있는 댐 주변의 저수지 입구에 도수제와 유사한 소규모 수리구조물을 설치할 때 퇴사의 유입억제와 취수에 필요한 수심 확보 가능성을 검토하였다. 이를 위해 야산이 있는 현상태를 기준으로, 야산을 철거할 때와 추가로 구조물을 더 높게 설치할 때 등을 고려하여 수리학적 효과와 그에 따른 퇴사량 감소 등을 모의 하였다. 그 결과 장기유출에 의한 50년 후 저수지내 퇴사 깊이는 평균 2.335~5.847m 발생하는 것으로 나타났으며, 그 값의 변화는 현재의 야산이나 소규모 수리구조물의 추가 설치시에 퇴사량의 제어효과가 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 사연댐, 퇴사량, 수리구조물(Dike), SED-2D 모형

* 울산대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(e-mail: hjcho@mail.ulsan.ac.kr)
Professor, Dept. of Civil & Environmental Eng. Ulsan Univ., Ulsan 680-749, Korea

** 교신저자, 울산대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정(e-mail: kang1h1s1@mail.ulsan.ac.kr, Tel: 052-259-1675)
Corresponding Author, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil & Environmental Eng. Ulsan Univ., Ulsan 680-749, Korea

1. 서 론

용수공급댐을 건설하는 경우 댐의 저수량과 유효저수량을 정확히 산정해야 한다. 댐의 건설은 자연하천과 댐유역 내 하도 및 사면에서 반복되는 침식과 퇴적에 의한 유사의 순환과정에 영향을 주게 되며, 저수지 내로 유입된 유사의 퇴적은 저수지 기능에 여러 가지 장애를 초래하게 된다. 이러한 현상은 이수 및 치수와 수질관리에 영향을 주기 때문에 댐 운영 및 관리와 설계를 위해서는 퇴사량에 대한 정확한 추정이 필요하다. 퇴사를 지배하는 인자로는 댐저수지 요인과 유역요인으로 구분할 수 있다. 유역요인으로 유역의 지형, 지질, 면적크기, 형상, 피복조건, 토양 및 수계특성과 수문조건 등이 있다. 저수지요인은 저수지에 담수되는 물의 작용에 의해 발생되며, 저수지의 규모, 형상, 지질, 지형, 수리특성, 토사포착률, 운영 및 관리조건, 저수위 변동 등이 있다. 댐으로 유입된 유사의 퇴사거동은 아직 명확히 구명되지 못한 상태이며, 유사입자의 크기 및 종류와 그에 따른 침강속도, 댐의 상대적 크기 및 형태, 댐의 운영실태 그리고 댐유역이 가지는 수리·수문학적 특성 등이 연계되어 있다. 저수지내 퇴사의 거동은 유사입경이 큰 경우에는 주로 상류쪽에 퇴적되어 단구를 형성하면서 점차 댐 부근으로 확산되며, 입경이 작은 점토 성분이 미립자들은 저수지내로 이동하여 밀도류를 형성하고 하상과 거의 평형하게 퇴적되거나 댐과 가까운 상류에 삼각주를 발달시킨다. 저수지 퇴사로 인한 가장 큰 문제점은 가용수자원의 감소이며, 상류하천의 수위상승, 하천수질 및 생태학적 변화, 하류하상의 변화, 준설토의 처리 등과 같은 문제점이 발생하게 된다(Yoon, 1988). 저수지 퇴사로 인한 문제점이 크지만 퇴사문제를 쉽게 해결할 수 있는 방안은 아직 개발되지 못한 상태이다. 그리고 댐에서 효과적으로 퇴사를 저감시키는 방법으로 배사원리 이용법, Dike 설치법, 저사(貯砂)댐 설치법 그리고 준설 등이 있다. 댐의 퇴사량 추정은 주로 경험적 방법이 이용되고 있다. 배사비 효율곡선 및 댐 운영기법을 이용하여 중국 황화유역에 위치한 분하댐의 퇴사량과 용수공급능력을 장기예측한 바 있으며(Lee and Lee, 1998), 댐 퇴사현상을 댐 운영변수로 고려하는 방법을 소개한 바 있다(Lee et al., 1997). 용담댐의 실측 비퇴사량 자료를 이용하여 유량-유사량 관계식을 적용한 SMS모형으로 저수지의 비퇴사량 산정방법을 제안하였다(Jang et al., 2012). 장기유출에 근거한 저수지 장기운영을 위한 저수지 퇴사량 산정 및 퇴사분포 저감방안 수립을 위해 2차원 수치모형을 적용하였으며(Ahn et al., 2006), Kim (2012)은 SED-2D 모형을 이용하여 저수

지내 퇴사거동을 위한 모의시간 간격이 모의결과에 미치는 영향을 분석하였다. 댐 주변 저수지내 퇴사량을 감소시킬 수 있는 연구로서 Bruk (1985)는 식생을 이용하여 지표의 토사를 보호하여 댐으로 유입되는 유사량 저감방안을 제안하였으며, 홍수시 유입되는 물을 직접 유입시키지 않고 댐을 우회시켜 토사를 하류로 배출시키는 방안을 제안한 바 있다(Fan and Morris, 1992). KWRC (2005)에서는 사연댐의 퇴사량 조사 및 지형도 제작 보고서에서 저사댐과 도수제 그리고 준설 및 배사원리를 이용한 저수지 퇴사대책을 수립하였던 국·내외 사례를 소개하고, 사연댐에 대해 이에 대한 적용 방안을 검토한 바 있다. 퇴사량 저감방안으로 토사가 많이 포함된 물이나 퇴적된 토사를 일시적으로 배사시키는 방법이 비교적 효과적인 것으로 알려져 있으나, 용수공급 댐에서는 댐 운영상의 문제점에 의해 댐기능을 상실할 우려가 있다. 용수공급 댐의 기능 유지 관점에서 살펴보면, 저수지 내로의 퇴사량 유입저감과 유효저수량 유지, 취수구 부근에서의 취수수심 유지와 그에 따른 수질확보 등이 필요하다. 본 연구에서는 퇴사량 실측자료를 이용하여 SED-2D 모형의 적용성을 검토하고, 취수구가 있는 댐 주변의 저수지 입구에 도수제와 유사한 소규모 수리구조물을 설치할 때 퇴사의 유입 억제와 취수에 필요한 수심확보 가능성을 검토하였다. 이를 위해 울산시 생활용수공급 댐인 사연댐을 대상으로 하였으며, 2013년 6월 사연댐의 퇴사량과 유효저수량 산정을 위해 울산광역시에서 40×40m로 실측하였던 자료와 2005년 한국수자원공사에서 200m 간격으로 실시하였던 중·횡단 측량성과를 이용하였다. 사연댐 건설당시 제거하지 않고 유지시켰던 ‘야산’이 여수로 입구 부근의 저수지 내에 잠겨있다. 이 ‘야산’은 자연상태의 도수제(Dike) 역할을 하고 있어 저수지 내로의 토사유입 억제와 취수 수심유지에 어느 정도 역할을 할 것으로 판단하였다. ‘야산’이 있는 현상태를 기준으로 철거할 때와 추가로 구조물을 더 높게 설치할 때 등을 고려하여 수리학적 효과와 그에 따른 퇴사의 거동을 모의하였다.

2. 연구대상 지역

2.1 사연댐의 개요

사연댐은 울산광역시 울주군 범서읍 사연리 일원에 위치하고 있으며, 울산공업지역에 대한 공업용수 공급과 산업인구 증가로 인한 생활용수 수요를 충족시키기 위해 1962년 10월 착공하여 1965년 12월에 준공된 중앙 치수벽형 사력댐이다. 십여년 전 울산시 생활용수 수요의 증가에

따라 사연댐 수계내 상류에 저수용량이 사연댐보다 더 큰 대곡댐이 추가로 건설된 바 있다. 기존 사연댐의 유역면적이 124.5km²이지만 대곡댐 건설 후 사연댐의 실질적 유역면적은 67.0km²로 축소된 상태이다. 사연댐의 만수면적은 1.98km², 총저수용량은 2,500만 m³, 유효저수량은 2,000만 m³, 상시만수위와 여수로 마루표고는 EL. 60m이며, 저수위는 EL. 45m이다. 그리고 댐부근에 설치된 취수탑은 높이 33m와 내경이 5m이고, 직경 1,000mm의 취수공 4개가 EL. 42, 44, 50 및 56m에 설치되어 있다. 댐의 운영 시스템은 대곡댐과 사연댐을 연계하여 용수공급을 하고 있는 구조이다. 연구대상 지역의 위치는 Fig. 1과 같고, 본 연구의 주된 관심대상인 사연댐 부근의 저수지 현황과 저수지 입구 부근에 위치하고 있는 ‘야산’의 모습과 취수탑의 위치를 나타내었다. Fig. 1에서 구조물 설치의 현 야산보다 높은 도수제 설치를 가정하여 모의하기 위한 위치를 의미하며, 야산의 측면 모습은 Fig. 2와 같다.

2.2 사연댐 퇴사량 조사

사연댐 건설 후 퇴사량에 대한 조사는 2회에 걸쳐 이루어졌다. 처음은 2005년 6월 한국수자원공사에서 퇴사량을 실측하여 그에 따른 기존의 용수공급능력을 재검토하고, 저수지의 효율적 운영 및 관리상의 대책을 수립한 바 있다. 두 번째는 2013년 6월 울산광역시에서 퇴사량에 의한 유효저수량 및 용수공급능력 감소여부를 확인하였다. 한국수자원공사에서 실시하였던 퇴사량 조사는 200m 간격의 하상횡단측량을 실시한 후, 경험적 면적감소법과 2차원 SED-2D 해석에 의한 방법으로 장기 퇴적에 의한 유효저수량 감소와 여수로 부근에서의 표고를 예측하였으며, 그 결과는 Tables 1 and 2와 같다.

울산광역시에서 실시하였던 퇴사량 조사는 40m간격으로 GPS를 이용한 수심측량을 하였고, 표고별 저수면적과 저수용량을 산정한 후 퇴사량을 추정하는 방법을 사용

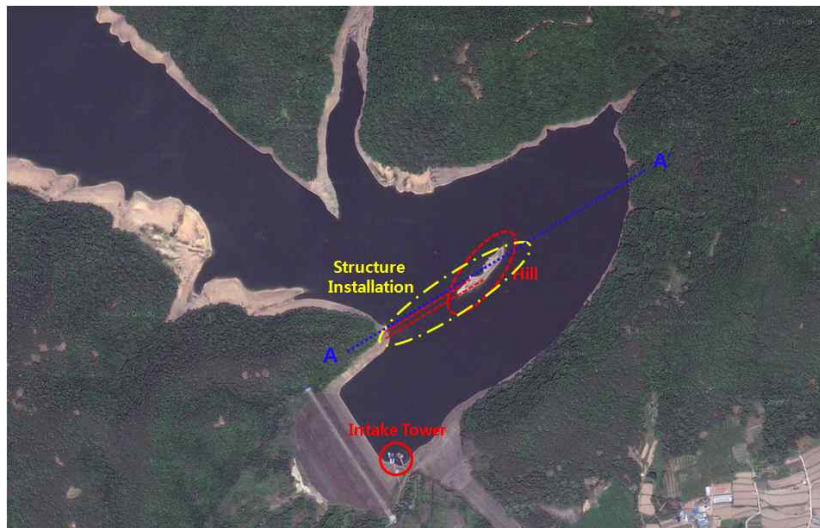


Fig. 1. Reservoir State near Sayeon Dam

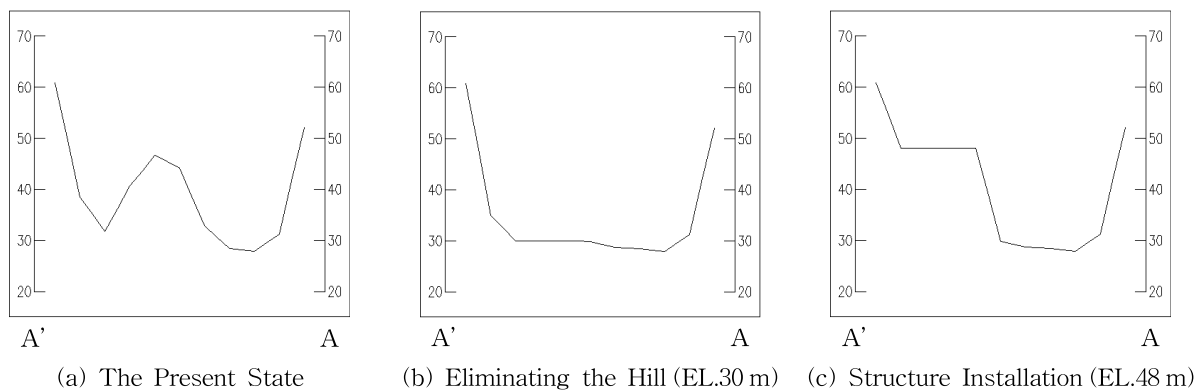


Fig. 2. A-A' Cross Section

하였다. 그 성과는 Table 3과 같다.

댐 부근에서 울산광역시에서 수행하였던 퇴사량 조사 및 측정성과를 Fig. 3에 나타내었으며, 1965년 댐 건설당시와 1.65m 정도 퇴적이 발생한 것으로 나타났다. 1965년 댐 건설 후 약 50년이 경과된 현재 댐과 여수로 부근에서의 퇴적량이 많지 않은 점은 다소 의외인 것으로 판단되었다. 이에 대한 원인을 살펴보면, 현재 사연댐의 상류하상은 토사의 퇴적으로 형성된 삼각주가 발달하여 배사현상이 나타나고 있는 상태이다. 댐으로 유입되는 주된 하천의 유로형상은 중간부의 단면이 좁고 사행이 발달되어 있으며, 하류부에 지천이 유입된 후 단면이 크게 확대되므로 부근에서 퇴적현상이 많이 나타나고 있다. 이는 전체 퇴사량 중에서 많은 부분이 하류부에 퇴적이 발생하는 요인이 되므로 실질적으로 댐 부근으로 유입되는 퇴사량은 적은 것으로 나타났다. 그리고 RMA-2의 모의에 따르면 홍수시에도 저수지 하류부에서는 유속이 급격히 감소하며, 야산에 의해 유속저감이 가중되어 야산에 의한 퇴사

량의 저감효과가 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 댐 유입부에 존재하는 야산에 의한 수리현상이 주된 원인일 것으로 추정하였으며, 본 연구의 주된 동기가 되었다.

3. 기본이론 및 분석방법

3.1 RMA-2 모형

RMA-2 모형은 1973년에 개발되었고 현재 Ver. 10.0이 사용되고 있으며, WES (Waterways Experiment Station) 에서 모형의 개발 및 공급을 담당하고 있다. 하천과 호수에서의 수리학적 해석과 수로의 확장 및 축소부, 섬 및 교각 주위의 흐름 등을 모델링할 수 있다. RMA-2 모형은 정수압을 가정하므로 연직방향 흐름이나 와류 등이 주요한 관심대상인 영역에서는 사용될 수 없으며, 연직방향으로 성층화 된 흐름은 고려할 수 있다. 또한 RMA-2 모형은 자유수면을 가지는 상류에 대한 모의만 가능하다.

Table 1. The Change of Effective Storage

	2005 year	2015 year	2065 year
Effective Storage (m ³)	20,000,000	19,725,345	18,364,070

Table 2. Altitude Near the Spillway

	2005 year	2015 year	2065 year
Empirical Area-Reduction Method		EL. 25.57m	EL. 30.27m
SED-2D		EL. 27.90m	EL. 32.19m

Table 3. Sediment Calculation

Altitude (m)	Water Surface Area (m ³)	Total Storage (m ³)	Sediment (m ³)	Remarks
24	-	-		
25.65	0	0		Min. Altitude
26	535	94	16,628	
30	62,597	126,358	76,104	
35	174,555	719,238	118,749	
40	371,717	2,084,918	268,514	
45	633,240	4,597,311	486,902	L.W.L
50	1,128,344	9,001,271	814,555	
52	1,294,627	11,424,242	771,545	
55	1,567,297	15,717,128	843,564	
60	1,961,394	24,538,856	376,788	M.W.L
63.2	2,208,411	31,210,544	210,411	F.W.L

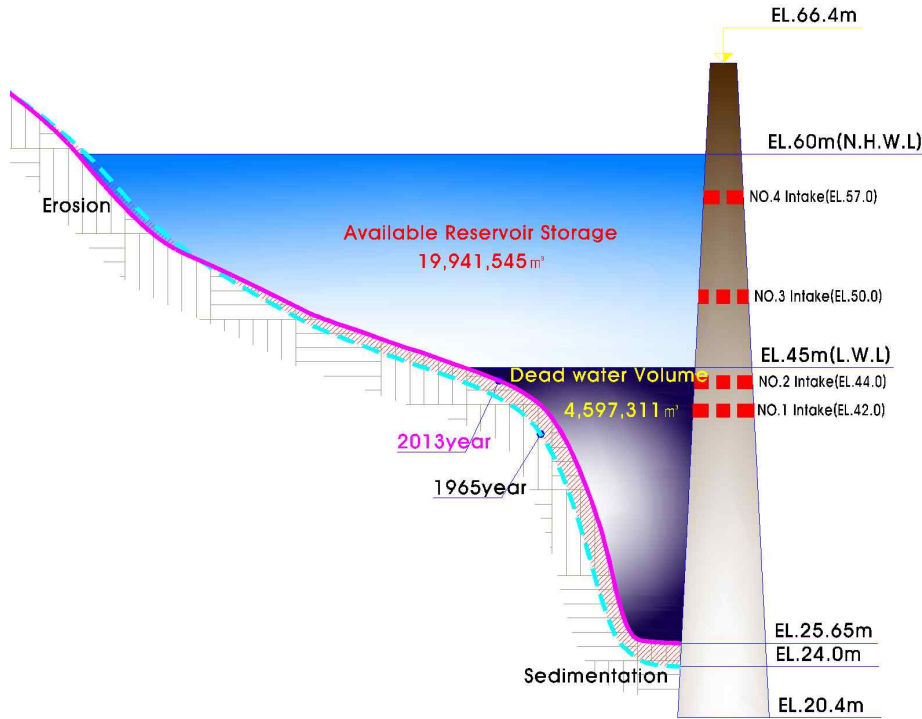


Fig. 3. Result Comparison of Sediment Survey near the Dam

RMA-2 모형에서 흐름을 계산하는 지배방정식은 2차원 천수방정식이다. RMA-2 모형에서 사용되는 지배방정식은 다음과 같다.

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

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gn^2}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (1.b)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gn^2}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi + 2h\omega u \sin \phi = 0 \quad (1.c)$$

h : 수심, u, v : 직교좌표계에서의 유속, x, y, t : 직교좌표와 시간, ρ : 밀도, E_x : x 방향의 와점성계수, E_y : y 방향의 와점성계수, g : 중력가속도, a : 바닥면의 높이, n : Manning의 조도계수, ζ : 바람에 의한 전단응력계수, V_a : 풍속, Ψ : 풍향, w : 지구의 자전각속도, ϕ : 위도

3.2 SED-2D 모형

저수지 내에서의 2차원 하상변동 해석은 상용적으로

사용되고 있는 SED-2D 모형을 이용하였다. SED-2D 모형은 유사이송과 하상변동을 모의할 수 있는 2차원 모델로서 FEM 기법을 이용하고 있으며, 이송-확산 방정식을 주 지배방정식으로 하상변동을 모의한다. 특히 SED-2D에서 흐름장은 RMA-2 모형에서 수위와 유속을 계산한 후, 이를 이용하여 하상변동을 모의하게 된다. 그리고 유사이송은 부유사의 형태로 이루어진다는 가정에 기초하며, 모래하상과 점토질하상의 두 가지 유사에 대한 모의를 수행할 수 있다. SED-2D 모형의 기본방정식인 이송-확산 방정식은 Eq. (2)와 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (2)$$

여기서, t 는 시간, C 는 농도, u, v 는 각각 x, y 방향의 수심 평균유속, x 는 주 흐름방향, y 는 x 방향과 직각인 방향, D_x 는 x 방향의 유효확산계수, D_y 는 y 방향의 유효확산계수, α_1 은 하상제원(bed source)에 대한 상수 그리고 α_2 는 하상제원의 평형농도이다.

하상제원의 형태는 $S = \alpha_1 C + \alpha_2$ 으로 모래 이송의 경우 하상으로 부터의 유사의 공급은 흐름의 잠재 이송능력과 하상에서의 유사물질의 존재여부에 의해 제어되며, 하상 제원에 관한 식은 다음 Eq. (3)과 같다.

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (3)$$

여기서, S 는 하상제원, C_{eq} 는 평형농도(잠재이송), C 는 유사농도, t_c 는 이송에 영향을 미치는 특성시간이다. SED-2D에서 하상변동 모의시 사용하는 유사량 공식은 Ackers-White (1973) 공식으로 다음 Eq. (4)와 같다.

$$q_s = C \frac{gd_s}{d} \left(\frac{V}{u_*} \right)^n \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^n \quad (4)$$

여기서, q_s 는 총유사량이며, C 는 D_* 의 크기에 따른 상수 (≈ 0.25), V 는 평균유속, d 는 평균수심, F_{gr} 는 입자 이동성 수(전단응력과 입자의 수중무게의 함수), d_s 는 유사입경, A 는 F_{gr} 의 한계치 크기, u_* 는 하상 전단속도이고 n 은 D_* 의 크기에 따른 상수이다.

3.3 모의조건 및 모형구축

대상지역에 대한 저수지내 퇴사의 거동을 모의하기 위해서는 하상토 및 부유사의 입도분포 자료가 필요하다. KWRC(2005)는 사연댐 퇴사량 및 지형도제작 보고서에서 유입하천에 대한 입경가적곡선을 작성하였으며, Fig. 4와 같다. 본 연구에서는 이를 이용하였고 최소 및 최대 입경은 0.0434mm를 적용하였다. 이외에 SED-2D의 Global Sand의 입력 값들은 국내에서 측정이나 분석할 수 없는 자료들로 SED-2D에서 자동으로 제공하여 주는 값을 사용하였으며, 이는 Table 4에 나타내었다. 또한 모형에 아주 민감하지 않은 국부 매개변수(Local Parameter)도 SED-2D에서 제공하는 기본값을 사용하여 모의를 수행하였다.

SED-2D 해석에 선행된 RMA-2 모형 수행하기 위해 필요한 기본적인 변수는 Table 5와 같고 사연댐으로 유입

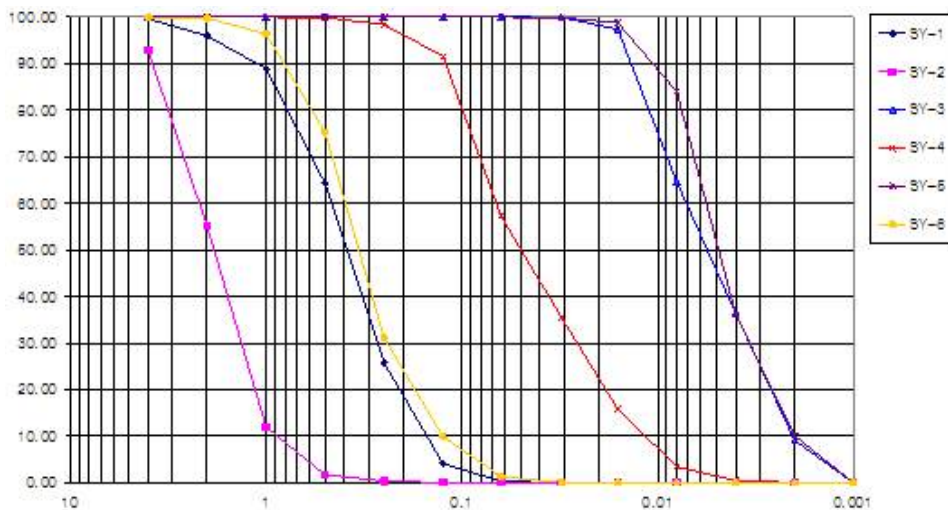


Fig. 4. Grain Size Accumulation Curve of Sayeon Dam

Table 4. Input Value in General Information of SED-2D

Items	Input Value	Remarks
CLASSA grain size (mm)	0.0434	
Specific gravity	2.76	
Grain shape factor	0.67	
Characteristic deposition length factor	1.00	
Characteristic erosion length factor	10.00	
Thickness	1.00	
Sand grain roughness	1.00	
Sand grain size (mm)	1.10	

되는 하천인 대곡천과 지천인 반곡천에 대한 유입량 자료는 Table 6과 같다.

4. 모형적용 및 결과분석

댐 저수지에서의 퇴사저감 대책으로 준설이나 저사댐 설치 등 여러 가지가 있으나 도수제와 같은 수리구조물을 설치하는 사례는 흔하지 않다. 도수제는 댐 상류부 지천의 하구나 유입부 또는 하천 수로 내에 설치하여 유수폭을 제한하고 유속을 일정하게 유지시켜 토사의 침전을 제어하게 된다. 따라서 도수제의 위치나 규모 및 방향 등 배치되는 형태에 따라 퇴사량 저감효과가 달라지게 된다. 본 연구에서는 Fig. 5에 위치한 야산을 대상으로 퇴사량 저감효과를 검토하였으므로, 현 야산이 설치되어 있는 방향을 기준으로 하여 도수제 추가 설치 및 야산철거 등의 경우에 대해 퇴사의 제어효과를 모의 하였다. 대상지역에 RMA-2에 의한 수리현상과 SED-2D에 의한 퇴사량 모의를 위해 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 5개 횡단지점을 선정하

여 ‘야산’과 ‘도수제’의 효과를 검토하였다. 현상태와 야산을 철거할 때 그리고 도수제 추가 설치 등 3가지 경우를 선정하여, 모의 전·후의 수리현상 및 퇴사거동을 분석하고 비교하였다.

4.1 유속변화

장기유출 및 재현기간 50년, 100년 그리고 200년 빈도 홍수량에 대한 최대유속 변화를 비교하였으며, Tables 7~9와 같다. 3가지의 경우 모두 5개 지점에서의 유속변화는 거의 없는 것으로 나타나 야산이나 도수제의 유무에 따른

Table 5. Input in Basic Variable

Basic Items	Input value
Eddy-viscosity	2000
X, Y Diffusion coefficient	1.5
Settling velocity	0.01 m/s
n	0.031

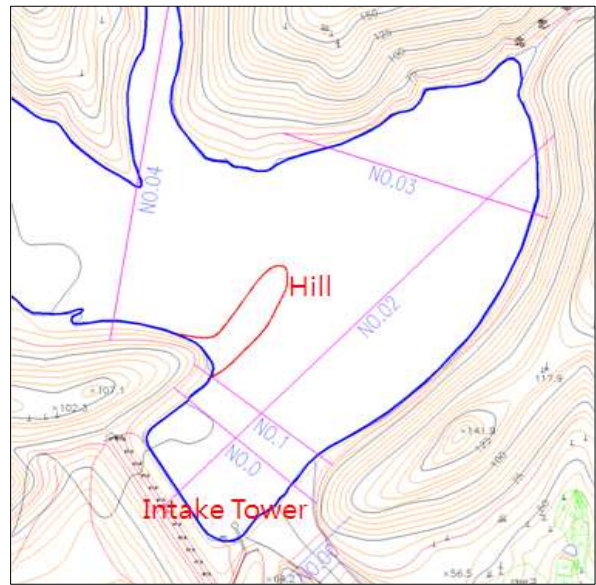


Fig. 5. Comparison Positions of Simulation

Table 6. Boundary Condition of Inflow River to Sayeon Dam

River	Basin Area (km ²)	Normal Season Boundary Condition (m ³ /w)	Flood Season Boundary Condition (m ³ /s)
Bangok	12.0	3.0	28.5
Deagok	113.0	28.1	267.8

Table 7. Maximum Velocity of Cross Sectional Present State

Cross Section	Maximum Velocity for each Frequency(m/s)			
	Long-term Runoff (267.8 m ³ /s)	50 yr (723.0 m ³ /s)	100 yr (779.1 m ³ /s)	200 yr (833.2 m ³ /s)
No. 0	0.419	1.259	1.325	1.385
No. 1	0.081	0.222	0.238	0.252
No. 2	0.071	0.172	0.186	0.260
No. 3	0.006	0.093	0.086	0.068
No. 4	0.051	0.147	0.155	0.164

수리현상 변화는 크지 않은 것으로 보인다. 하지만 No. 0 지점은 여수로 부근으로 타 지점보다 유속이 크게 나타나고 있어 Fig. 2와 같은 야산의 구조 등과 연계되어 취수구 부근의 퇴적현상이 적게 형성된 것으로 판단된다.

4.2 퇴사량 분석

1965년 댐 건설 후 2013년 퇴사량에 대한 정밀조사가 이루어 졌다. 실측자료와의 간접적 비교를 위해 장기유출에 대한 퇴사량 거동을 50년을 기준으로 하여 SED-2D 모형으로 모의하였다. SED-2D 모형은 유사이송과 하상 변동을 모의할 수 있는 2차원 모델로 알려져 있으며, 유사 이송은 부유사 형태로 이루어진다는 가정 하에 모래하상과 점토질하상의 두 가지 유사에 대한 모의를 수행할 수 있다. 그런데 장기하상변동의 모의 과정 중에 확인된 바에 따르면 전체 하상의 변동량이 25%를 넘지 못하는 제약조건이 있어 지속적인 하상 변동모의를 수행하기 위해서는 지형자료를 다시 구축해야하는 문제점이 확인되었다. 현상태를 비롯한 3가지 경우에 대해 Fig. 5에 나타난 5개 지점에 대한 퇴사량을 모의 하였으며, 그 결과는 Figs. 6~8 및 Tables 10~12와 같다. 댐 저수지 하류부에 도수제와 같은 수리구조물을 설치하는 경우 퇴사량 제어

효과가 있는 것으로 나타났으나, 구조물 설치비용 대비 퇴사 저감효과는 작은 것으로 판단된다. 하지만 댐 취수구 부근의 취수수심 유지나 확보 등 특정한 목적을 위해서는 효과적인 것으로 판단된다.

4.2.1 현상태에 대한 퇴사량 모의

Figs. 1 and 2에 나타난 바와 같이 저수지내에 야산이 있는 현 상태에 대한 50년 후 장기유출에 의한 퇴사량을 모의 하였으며, 그 결과는 Fig. 6 및 Table 10과 같다. Table 10에 따르면 평균 3.812~6.727m 높이의 퇴적이 발생하는 것으로 예측되었다. 1965년 댐 축조 당시와 2013년 정밀조사 하였던 자료에 의하면 댐 여수로 부근에서 약 1.65m의 퇴적이 발생하였는데, 앞으로 50년 뒤에는 약 4.40m의 퇴적이 발생할 것으로 예상되지만 지난 50년 동안의 퇴적량에 비해서는 다소 많은 것으로 판단된다. 그리고 No. 2 지점은 야산을 통과한 다음 저수지의 전반적인 단면으로 5.847m의 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 No. 0 및 No.1 그리고 No. 3 및 No. 4 등 취수구와 월류부 부근이나 댐 유입 전·후 보다는 퇴적이 약 두 배 이상 발생하는 것으로 나타나 야산 전·후의 수리현상에 의한 결과로 추정된다.

Table 8. Cross Sectional Maximum Velocity in Eliminating the Hill

Cross Section	Maximum Velocity of Flow by Frequency (m/s)			
	Long-term Runoff (267.8 m ³ /s)	50 yr (723.0 m ³ /s)	100 yr (779.1 m ³ /s)	200 yr (833.2 m ³ /s)
No. 0	0.394	1.251	1.315	1.375
No. 1	0.074	0.214	0.228	0.243
No. 2	0.072	0.166	0.179	0.250
No. 3	0.014	0.096	0.089	0.073
No. 4	0.050	0.144	0.157	0.163

Table 9. Cross Sectional Maximum Velocity in Installing Structure EL.48m at the Hill

Cross Section	Maximum Velocity of Flow by Frequency(m/s)			
	Long-term Runoff (267.8 m ³ /s)	50 yr (723.0 m ³ /s)	100 yr (779.1 m ³ /s)	200 yr (833.2 m ³ /s)
No. 0	0.420	1.264	1.330	1.391
No. 1	0.083	0.227	0.231	0.258
No. 2	0.060	0.177	0.190	0.267
No. 3	0.008	0.019	0.082	0.069
No. 4	0.051	0.143	0.154	0.164

4.2.2 야산제거(EL. 30 m)시 50년 후 퇴사량

Figs. 1 and 2의 야산을 제거하고 주변 지형의 높이와 비슷한 EL.30m에 대해 50년 후 장기유출에 의한 퇴사량을 모의 하였으며, 그 결과는 Fig. 7 및 Table 11과 같다. 현상태와 비교할 때 No. 2 지점은 평균 6.227m로서 0.38m 더

퇴적되며, 다른 지점도 0.131~0.804m 더 퇴적되는 것으로 나타났다. 이는 그 효과는 크지 않지만 야산에 의해 현저수지 내 퇴사량이 다소 감소하였음을 의미한다.

4.2.3 구조물 설치(EL.48 m)시 50년 후 퇴사량

Figs. 1 and 2의 야산 위치에 소규모 수리구조물(EL.48

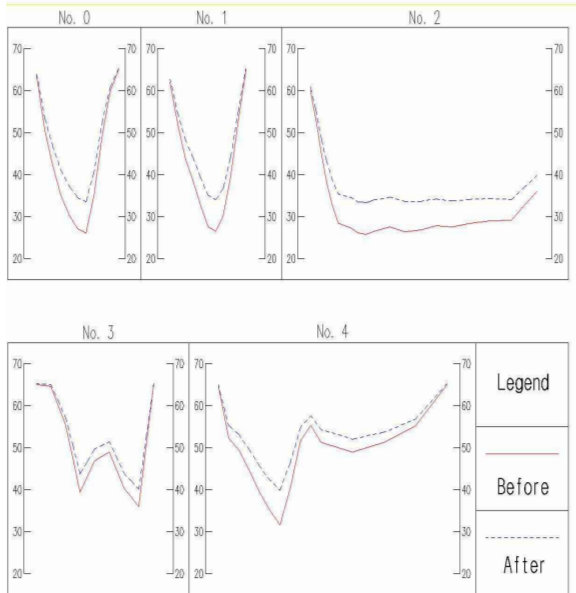


Fig. 6. Sediment after 50 Years from the Present State

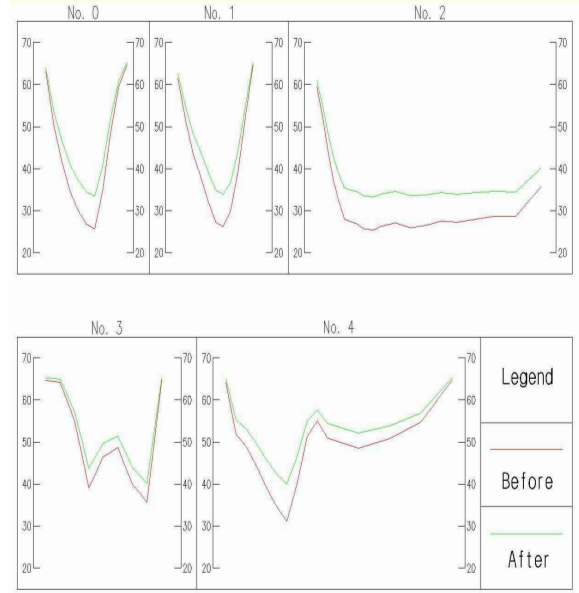


Fig. 7. Sediment after 50 Years in Eliminating the Hill (EL.30m)

Table 10. Comparison of river bed Changes after 50 years from the Present State

Cross Section	Comparison of Change on Simulation (m)			
	Minimum	Maximum	Mean	Remarks
No. 0	0.272	7.425	4.128	
No. 1	0.269	7.430	4.402	
No. 2	0.950	7.457	5.847	
No. 3	0.213	4.317	2.335	
No. 4	0.261	8.355	3.808	

Table 11. Comparison of River Bed Changes after 50 Years in Eliminating the Hill (EL.30 m)

Cross Section	Comparison of Change on Simulation (m)			
	Minimum	Maximum	Mean	Remarks
No. 0	0.286	7.670	4.260	
No. 1	0.284	7.661	4.536	
No. 2	0.983	7.762	6.227	
No. 3	0.231	4.674	2.527	
No. 4	0.262	8.361	3.812	

Table 12. Comparison of River Bed Changes after 50 Years in Installing the Structure (EL.48 m)

Cross Section	Comparison of Change on Simulation(m)			
	Minimum	Maximum	Mean	Remarks
No. 0	0.273	7.381	4.122	
No. 1	0.270	7.345	4.372	
No. 2	0.956	7.454	5.925	
No. 3	0.220	4.420	2.534	
No. 4	0.249	8.182	3.722	

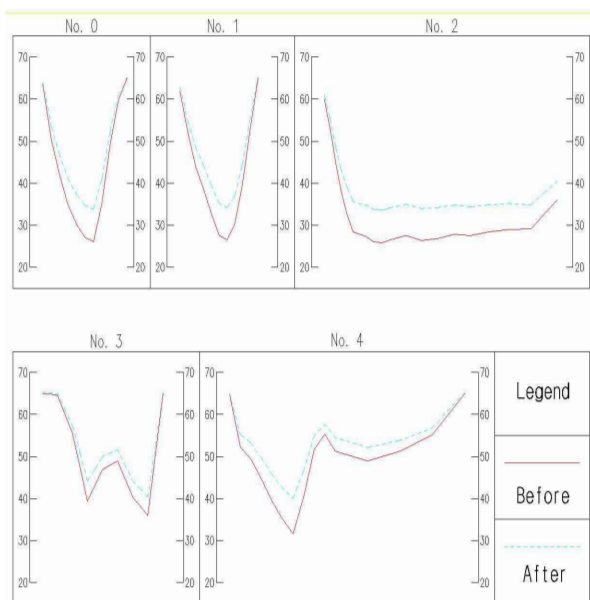


Fig. 8. Sediment after 50 Years in Installing the Structure (EL. 48 m)

m)을 추가로 설치하는 것으로 가정하여 50년 후 장기유출에 대한 퇴사량을 모의하였으며, 그 결과는 Fig. 8 및 Table 12와 같다. 현 상태와 비교할 때 No. 2 지점은 평균 5.925m로서 0.08 m 더 퇴적이 발생하지만 그 외 지점은 0.06~0.86 m 오히려 더 적게 퇴적이 발생하는 것으로 나타났다. 이것은 미미하지만 도수제와 같은 수리구조물에 의해 퇴사량의 거동을 조절할 수 있음을 의미하며, 수리구조물의 위치에 따라 그 효과가 증대할 것으로 판단된다.

5. 결 론

댐 저수지내에 위치한 야산의 도수제와 같은 수리구조물 역할 여부와 그에 따른 저수지 내 수리현상과 퇴사량에 대한 거동에 미치는 영향을 검토하였다.

사연댐 건설 후 48년 만에 최근 정밀하게 실측하였던

댐 여수로 부근의 퇴사량에 따르면 그 평균 깊이가 1.65 m에 불과하며, 이는 댐 유입부에 위치한 야산 효과와 여수로의 수리적 현상에 기인하는 것으로 판단된다.

야산에 대한 효과를 분석하기 위해 현상태와 야산철거 및 도수제 추가설치 등을 가정하여 모의한 결과, 그 값의 변화는 크지 않지만 야산에 의한 퇴사량 제어 효과가 있는 것으로 나타났다.

장기유출에 의한 50년 후 저수지내 퇴사 깊이는 평균 2.335~5.847 m 발생하는 것으로 나타났으며, 실측자료와 비교할 때 모의된 퇴적량이 보다 감소할 수 있을 것으로 판단된다.

SED-2D 모형에 의한 저수지 내 퇴사량의 모의는 모형이 가지고 있는 제약조건 등에 의해 많은 한계점을 가지고 있는 것을 확인하였으며, 저수지내 퇴사량 추정을 위한 경험공식이나 보다 합리적 모형의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

References

- Ahn, J.H., Jang, S.H., Choi, W.S., and Yoon, Y.N. (2006). "An efficient management of sediment deposit for reservoir long-term operation (1)-Reservoir sediment estimation." *J. of Korean Society on Water Quality*, Vol. 22, No. 6, pp. 1088-1093.
- Bruk, S. (1985). *Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs*, UNESCO international hydrological programme. Paris.
- Fan, J., and Morris, G.L. (1992). "Reservoir sedimentation II : Reservoir desiltation and long-term storage capacity." *J. Hydraul. Eng.*, Vol. 118, No. 3, pp. 370-384.
- Jang, S.W., Hwang, P.S., Kim, K.H., and Shin, Y.H. (2012). A study on estimation method of sediment

- deposition rate of reservoir, 2012 Conference of Korea Water Resources Association, pp. 523-527.
- Kim, D.S. (2012). "Simulation of sediment deposition behavior in a reservoir using a SED2D model: Focusing on sensitivity of simulation time step." *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 26, No. 1, pp. 87-95.
- Korea Water Resources Corporation (KWRC). (2005). Dam sediment survey and topographic map production.
- Lee, G.M., Darrell G., Fontane., and Yoo, Y.S. (1997). "Information variable dynamic programming for re-servoir sedimentation management." *J. of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 17, No. II-2, pp. 119-128.
- Lee, G.M., and Lee, W.S. (1998). "Long-term prediction of dam sedimentation using sluicing efficiency curve and dam operation technique." *J. of Korea Water Resources Association*, Vol. 31, No. 1, pp. 95-103.
- Yoon, Y.N. (1988). "Reservoir sedimentation." *J. of Korea Water Resources Association*, Vol. 21, No. 1, pp. 9-15.

논문번호: 13-075	접수: 2013.09.23
수정일자: 2013.10.25	심사완료: 2013.10.25