

댐 건설이 하류하천 하상에 미치는 영향 분석

추 태 호* / 채 수 권**⁺

Influence Analysis for Natural River Bed with Dam Construction

Tai Ho Choo* / Soo Kwon Chae**⁺

요지 : 낙동강의 지류인 내성천의 회룡포는 섬 안의 섬으로 불리는 모래 백사장을 가지고 있는 매우 잘 알려진 관광 명소이다. 그러나 상류 지역 댐의 건설이 계획되었다. 따라서 상류로부터의 유사 유입이 차단되게 되었다. 이러한 상황에서 내성천의 지류로부터 유입되는 유사량 등을 통하여 회룡포의 모래 백사장에 미치는 영향을 1차원 및 2차원 모형을 사용하여 분석하였다. 유량-유사량은 댐의 유지유량과 지류에서 들어오는 유사량의 유역면적비에 의해서 산정된 값을 입력 자료로 활용 하였다. 1차원 모형은 HEC-6 모형을 사용하였고 2차원 모형은 SMS의 SED2D 모형을 사용하여 분석하였다. HEC-6 모형은 10년 전 하상에 데이터를 넣어 현재 하상과 가장 일치하는 공식인 Yang공식을 선정하여 현재 하상으로부터 20년 후를 모의하였다. SED-2D 모형은 현재 하상을 기준으로 20년 후를 모의하였고 두 모형 분석 결과 회룡포 구간에서는 동일한 양상이 나타나는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : HEC-6, SED2D, 퇴적, 침식, 댐 건설

Abstract : The Hoelyongpo in the Naeseong River as tributary basin of the Nakdong River is broadly well-known a tourist attraction, which is made of sandy beach, and is called "Island of Inland". But Construction of the Dam was planned at upstream of river. In other words, an influx of sediment is blocked from upstream of river. In this situation, through sediment discharge coming from tributary of the Naeseong river, the whether to go ahead of sand beach of the Hoelyongpo is analyzed by using 1-D and 2-D model. The sediment discharge is estimated through ratio raw with basin area, and the instream flow requirement of river coming from dam and the flow rate and sediment coming from tributary are inputted for model. The 1-D model uses HEC-6 and the 2-D model uses SMS(RMA2 and SED2D). The analysis using the HEC-6 is performed from cross section data 10 year ago to the present cross section. Consequently, Yang equation presenting similar result to the present cross section data is determined, using this, the prediction is conducted for the cross section after 20 years. The 2-D analysis is conducted for the present cross section data. The value of distinction between a deposition and erosion with the results presented in the 1, 2-D models is occur, however, the appearance between the deposition and the erosion is similar.

keywords : HEC-6, SED-2D, deposition, erosion, dam construction

1. 서 론

기후변화에 따른 이상기후 현상은 지구의 물 순환시스템에 변화를 초래하고 이는 결국 인류에 큰 영향을 미치게 된다. 특히 동고서저형의 지형

과 여름철 편중된 강수량 특성을 보여주는 우리나라는 수자원의 확보가 특히 중요한 문제로 다가오고 있다. 실제로 물을 확보하기 위한 방법은 많이 강구되어 왔으나 가장 안정적이고 확실한 방법은 댐을 건설하여 담수하여 물을 확보하는 것이다.

⁺ Corresponding author : cskwen@eulji.ac.kr

* 정희원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수 · E-mail : thchoo@pusan.ac.kr

** 정희원 · 을지대학교 보건환경안전학과 교수 · E-mail : cskwen@eulji.ac.kr

하지만 댐의 최적지는 점차 감소하고 있으며 댐 건설을 위한 부지가 선정이 되더라도 환경단체와의 마찰, 지역주민과의 갈등 등 해결해야 할 요소가 매우 많으므로 현재 댐 건설은 활발하지 못하다. 그런 상황 속에서 낙동강의 제 1지류인 내성천의 상류에 다목적 댐이 건설되고 있다. 실제로 댐의 건설은 하천 환경을 호소환경으로 변화시키기 때문에 기존의 자연하천이 가지는 하도, 하중도, 범람원 등의 퇴적 및 침식과 관련된 제반 지형 형상 및 수생태계의 변화나 수질의 변화를 가져오며, 여기서 예상되는 여러 가지 상황을 댐 건설 전부터 관찰하여 댐 건설로 인해 발생할 수 있는 피해를 최소화하기 위한 기초조사를 실시하는 것이 필요하다. 더욱이 본 댐이 건설되는 내성천의 하류에는 회룡포가 위치하고 있다. 회룡포는 내성천 및 낙동강 상류일대에 나타나는 수많은 감입곡류 지형이 가장 전형적으로 나타나는 곳으로 하천의 맑은 물, 백사장과 그 외부를 둘러싸고 있는 가파른 경사의 산악지형 그리고 농경지와 마을이 어우러져 천혜의 비경을 연출하는 곳으로 경관적으로 혹은 예술적으로 그 가치가 매우 뛰어나며 하성단구, 하성도, 포인트바, 범람원을 한눈에 볼 수 있어 침식 및 퇴적 지형 연구의 매우 귀중한 기초자료로서 학문적, 학술적으로 그 가치가 매우 크다.



그림 1. 모래 해변을 가지고 있는 회룡포 전경

하지만 상류에 댐이 건설되므로 상류에서 유입되는 유사가 차단될 수 있기 때문에 댐 건설 후에

도 회룡포의 모래사장의 유지여부는 중요한 관심사가 되고 있다. 그러므로 내성천 상류의 댐 건설로 인하여 하류에 위치하고 있는 회룡포의 모래사장에 대한 영향성에 대하여 분석하였다.

이러한 유사거동에 대한 연구는 그 중요성에 맞게 국내외에서 활발하게 수행되어 왔다. 류권규와 우효섭 (1993)에서는 대청댐 하류의 75km구간에 대하여 HEC-6 1차원 모형을 이용하여 장래 40년 간의 하상변동을 모의하였으며, 장창래 등 (2000)에서는 횡성댐 건설에 따른 하류 하천구간의 하상변동을 예측하기 위해 HEC-6 모형을 이용하여 10간의 하상변동을 예측하였으며, 댐 건설 이후 유사 유입 저하 효과로 인한 퇴적량 감소보다는 댐의 유량조절 효과로 인해 침식이 줄어들어 하상저하가 작아지는 것을 확인하였다. 물론 본 연구결과는 모든 하도에 똑같이 적용되지는 않는다. 한편, Negm et al. (2010)에서는 CCHE2D 모형을 이용하여 Aswan High Dam 저수지의 퇴적에 의한 생애주기 분석을 수행한 바 있으며 Zeng과 Beck (2003)은 Sediment Transport Associated Nutrient Dynamics(STAND)를 이용하여 하상변동을 모의함과 동시에 그 결과를 HEC-6에 의한 결과와 비교하기도 하였다.

상기의 연구결과와 같이 하천의 하상변화를 시간적, 공간적으로 예측, 평가하기 위하여 1차원, 2차원 수치해석 모델을 이용하는 것이 필요하지만 현실적으로 1차원 해석은 횡단면 공간에 대한 변동의 해석이 어렵고 2차원의 경우 장기간 해석을 하기에는 많은 계산 시간이 요구되고 국소적인 범위에서 가능하므로 가능한 두 모델을 함께 분석하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 다목적 댐 건설로 인한 내성천의 유황 및 유사량의 변화가 회룡포에 미치는 영향에 대하여 분석한다. 하상변동을 예측하기 위하여 1차원 및 2차원 해석을 실시하였다. 1차원 해석모형은 미공병단의 HEC-6를 사용하였고, 2차원 모형은 SMS의 SED2D를 사용하여 분석하였다.

2. 1-2차원 모델 분석

다목적댐 건설로 인한 내성천 유황 및 유사량의 변화가 회룡포에 미치는 영향을 조사하고 분석하였다. 하상변동을 예측하기 위한 1차원 및 2차원 해석 방법으로 여러 모형이 개발되어 있으나 본 연구에서는 미육군공병단에서 개발한 1차원 해석모형인 HEC-6모형과 SMS SED-2D 2차원 모형을 이용하였으며, 댐 건설 전과 건설 후로 나누어 하상변동 모의를 수행하였다. HEC-6는 댐 건설지역 상류 유역의 유사량을 조사하고 내성천으로 유입되는 지류들의 유량과 유사량을 산정하며 과거와 현재 자료를 이용하여 모형의 신뢰성 검증 후 장래하상변동 예측 한 후 댐 건설 전과 건설 후로 나누어 장래 하상변동 예측하였다. 또한 SED-2D의 경우에는 회룡포 구간 시작지점의 정확한 유사농도 조사와 함께 내성천 상류로부터 유입되는 유량을 조사하고 댐 건설전과 건설후로 나누어 회룡포 만곡부 구간의 2차원 하상변동 예측 수행하였다.

2.1 1차원 모델 분석

그림 2와 같이 회룡포는 다목적댐 하류 약 50 km 지점에 위치하고 있으며 약 2.5km의 만곡부 구간에 있다. 모형적용 구간은 내성천 국가하천 구간으로 낙동강 합류점으로부터 상류 27km구간

으로 하며, 모형의 입력 자료구성은 다음과 같이 구성하였다. 우선 월포 지점의 유황분석 결과를 토대로 내성천 하류단의 수위-유량곡선을 사용하여 수문자료를 입력하였으며, 비유량 개념을 도입하여 상류단 유입 유량 및 지류 유입 유량을 결정하였다. 또한 하상재료 입력 자료에는 본 연구 대상인 내성천 국가하천 하류부터 상류로 4km구간 마다 8개 지점에서 채취된 시료를 입도 분석한 결과를 적용하였다. 그 결과는 표 1과 같다.

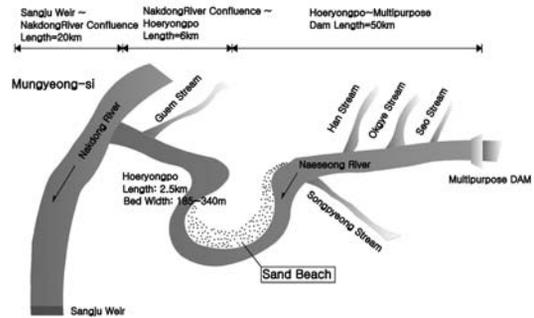


그림 2. 연구 지역의 모식도

또한 유역조사에서 본 연구 대상구간의 유사량은 그림 3과 같이 『댐 설계를 위한 유역단위 비 유사량 조사연구. 1992.12 건교부』에서 조사된 내성천 송리원교 지점의 유량-유사량 곡선을 이용하되 유역 면적비에 따른 비유사량으로 산정하였다.

표 1. 내성천 채취된 시료 입도분석 결과

시료 (No)	측점 (No)	거리 (Km)	총중량 (g)	통과백분율				
				No.4	No.10	No.40	No.200	0.005mm
1	No.0	0.0	3483	100.0	98.9	33.0	0.5	
2	No.8	4.0	3758	97.1	70.2	2.8	0.1	
3	No.16	8.0	3551	91.4	75.4	9.5	0.5	
4	No.24	12.0	3257	99.5	96.4	48.4	0.2	
5	No.32	16.0	3280	97.6	83.4	10.0	6.8	
6	No.40	20.0	3389	100.0	96.7	16.3	0.5	
7	No.48	24.0	3736	99.7	96.1	10.4	0.4	
8	No.54	27.0	3710	93.7	85.8	10.8	0.2	

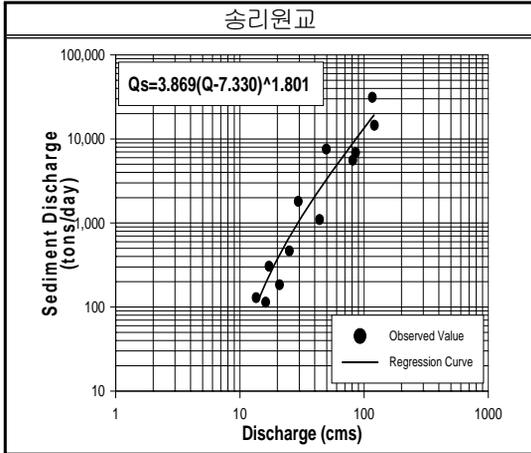


그림 3. 송리원교 지점의 유량-유사량 곡선

그리고 댐 건설 후에는 댐에서 모든 유사가 포착된다고 가정하여 댐의 유역면적인 $500km^2$ 상류의 유입유사는 없는 것으로 가정하였으며, 지류의 유입 유사량은 유역단위별 비유사량으로 산정

하였다. 마지막으로 하천 유지를 위한 상시 방류량은 저수지 모의 운영결과와 홍수시 유입량에 따른 결과를 반영하고 댐의 상류단에서부터 유사 유입은 없는 것으로 가정하였다. 과업구간 상류단과 댐 사이구간의 지류는 유역면적당 비유량으로 고려하여 나타내었다. 장래 하상변동을 예측하기 앞서 모형의 검증은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 댐 건설전의 하상변동은 기 수립된 기본계획(2001)의 측량성과를 지형자료로 사용하여 약 10년 후의 하상변동을 모의하며 2010년 측량성과와 비교를 하였고, HEC-6를 이용한 예측 결과에서는 유사이송 모의로 Yang(1973), Madden(1963), Ackers & White(1973), Copeland(1990)등 8개의 공식을 사용하며 그 중 대부분의 구간이 2010년 측량성과와 유사한 결과를 나타내는 Yang공식을 채택하여 사용하였다. 그래서 2010년 측량성과를 검증된 공식을 사용하여 20년 뒤를 예측하며 결과는 중단면도로 그림 4와 같이 나타내었다.

표 2. HEC-6 모형 분석 결과 최심하상고의 변동치

하천명	측점(No)	누가거리(m)	최심 하상고					비고	
			실측값	하상변동		변동치			
				2010년	10년 후	20년 후	②-①		③-①
				①	②	③			
	12	6000	55.44	55.49	55.45	0.05	0.01	회랑포	
	12.125	6125	55.93	55.66	55.60	-0.27	-0.33		
	12.25	6250	55.67	55.75	55.70	0.08	0.02		
	12.375	6375	56.13	55.67	55.63	-0.46	-0.50		
	13	6500	56.01	55.90	55.89	-0.11	-0.12		
	13.125	6625	55.96	56.06	56.02	0.10	0.06		
	13.25	6750	56.28	56.19	56.18	-0.09	-0.11		
	13.375	6875	56.01	56.34	56.29	0.33	0.28		
	14	7000	56.01	56.45	56.44	0.44	0.43		
	14.125	7125	55.7	56.60	56.55	0.89	0.85		
	14.25	7250	56.42	56.55	56.58	0.13	0.16		
	14.375	7375	56.78	56.75	56.71	-0.03	-0.07		
	15	7500	56.61	56.98	56.96	0.37	0.35		
	15.125	7625	56.65	56.99	56.96	0.34	0.31		
	15.25	7750	57.01	57.37	57.34	0.36	0.33		
	16	8000	57.22	57.37	57.36	0.15	0.13		

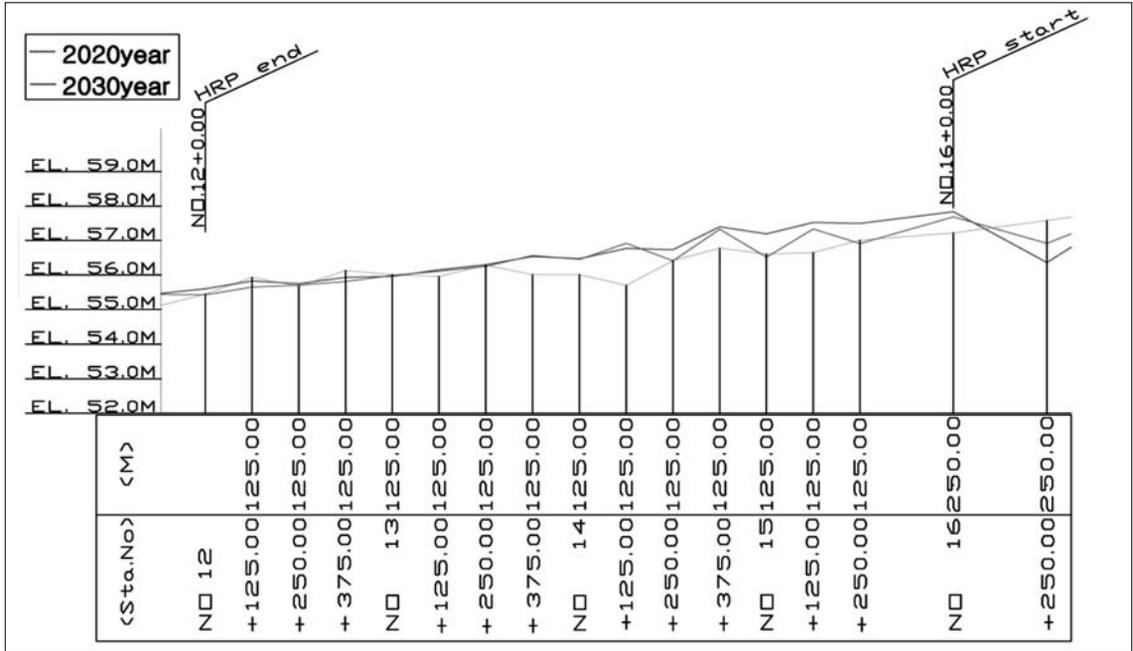


그림 4. 회룡포 구간의 최심 하상고 퇴적 및 침식여부 도식

지점번호 12-16까지가 회룡포 구간으로서 댐이 설치된 이후에도 회룡포 구간은 약간의 퇴적이 발생할 것으로 모의 되었다. 이러한 결과는 상류의 댐에 의해 유사이동이 통제되었지만 지류에서 내려오는 유사의 존재 때문인 것으로 보인다. 결과는 표 2와 그림 4와 같이 정리하였다.

2.2 2차원 모델 분석

2차원 모델분석은 SMS상의 SED2D를 사용하였다. 모형 구축을 위해 측량 자료 및 1: 5000 수치지도를 적용(RMA-2 2차원 지형구성)하고 SED-2D프로그램의 격자수 제한(10,000개)에 유의하여 격자망을 구축하였다. 유사이송과정은 기본적으로 유사의 침식, 유입, 이송, 퇴적으로 이루어진다. SED-2D 모형의 기본적인 가정은 유수는

유사의 존재여부에 관계없이 기본적으로 침식, 유입, 이송, 퇴적능력이 있고 하상에서의 유사는 흐름에너지에 대한 힘이 침식에 대한 한계전단응력보다 작으면 움직이지 않으며 유사의 침식과 퇴적은 독립적으로 일어나기 때문에 침식률과 이송률이 같으면 모래입자가 움직일지라도 수위의 변화는 없다는 것을 전제로 하고 있다. 유사량 산정을 위하여 「송리원다목적댐 건설사업 타당성조사 보고서」(2004)에서 제시한 과업지점 유량-유사량 관계식을 이용하여 유사농도를 산정하였고 장기 호우사상 적용에 따른 장기하상변동 해석을 10년과 20년으로 나누어 실시하였다. 그리고 Rubey공식을 이용하여 부유사 침강속도를 산정하여 각각 입력 하였다. 입력조건은 아래의 표 3과 같고 우선 RMA2 분석을 실시하였다.

표 3. 모형의 입력조건

구 분	상류경계 홍수량(m ³ /s)	하류경계 수위(EL.m)	Peclet 수	조도계수
50년	3,570	61.04	20	0.025

입력 조건을 바탕으로 분석한 결과 회룡포 구간 과 같다.
 간의 유속분포 및 수위분포는 아래의 그림 5, 6

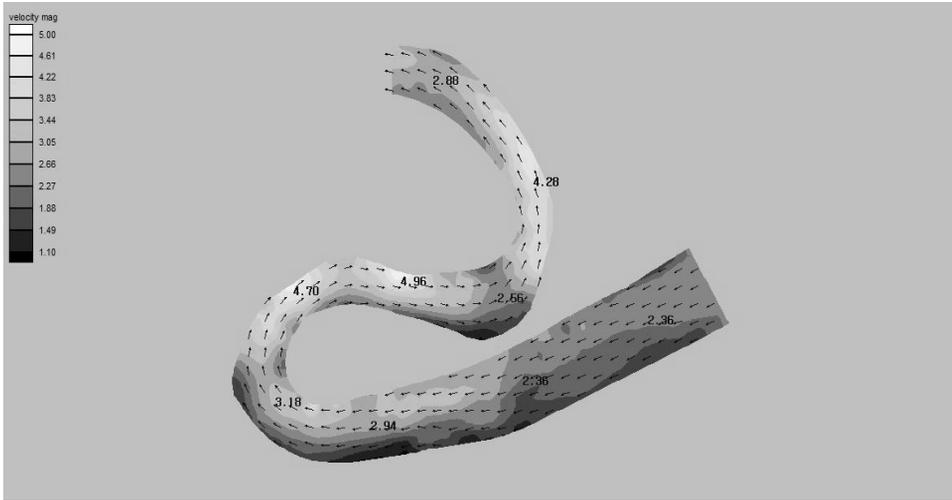


그림. 5 회룡포 구간 RMA-2 수행결과에 의한 유속분포

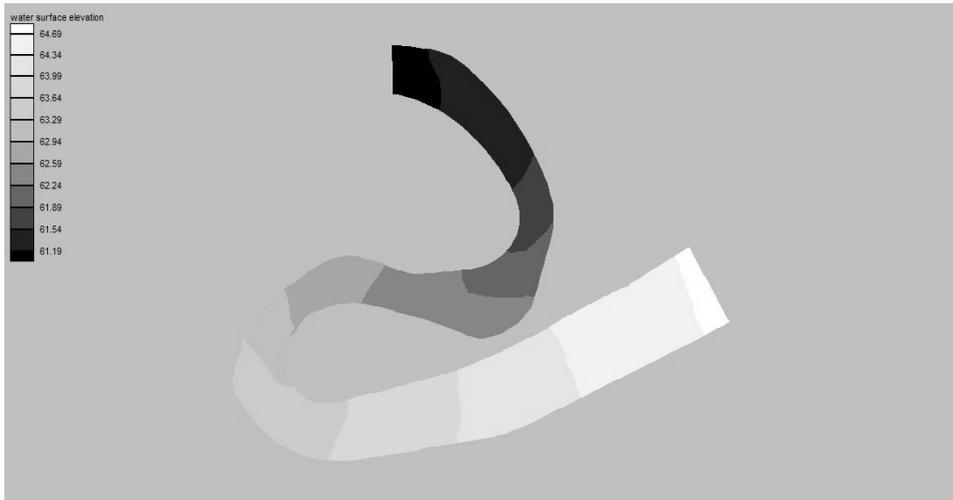


그림. 6 회룡포 구간 RMA-2 수행결과에 의한 수위분포

본 결과를 바탕으로 유사이송 및 퇴사위 분석이 수행되었다. 장기 호우사상에 따른 장기하상변동 해석은 10년과 20년에 나누어 실시하였다. 또한 Rubey공식을 사용하여 부유사 침강속도를 결정하였고 값은 0.0075m/s이다. HEC-6 모형과

동일하게 댐 건설전과 실행 건설 후로 나누어 모의를 실시하였다. 현재 지반고는 그림 7에 나타나 있고 프로그램 모의 결과로써 댐 건설이 없다는 가정하의 20년 후 모의결과는 그림 8과 같고, 댐 건설후의 20년 후 모의 결과는 그림 9와 같다.

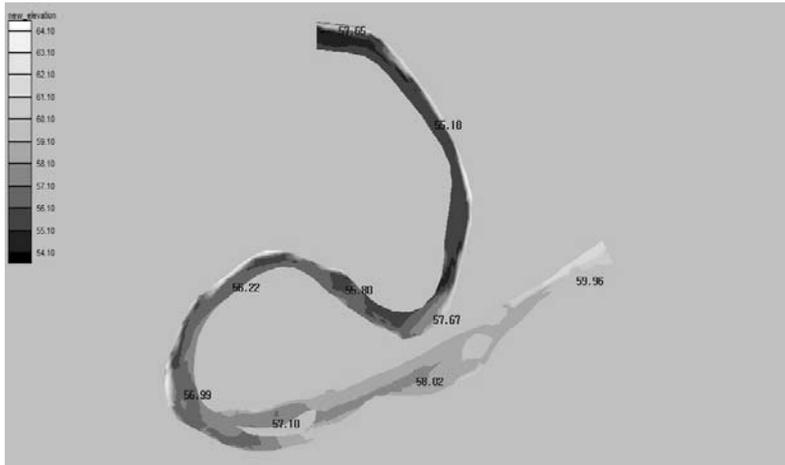


그림 7. 현재의 지반고

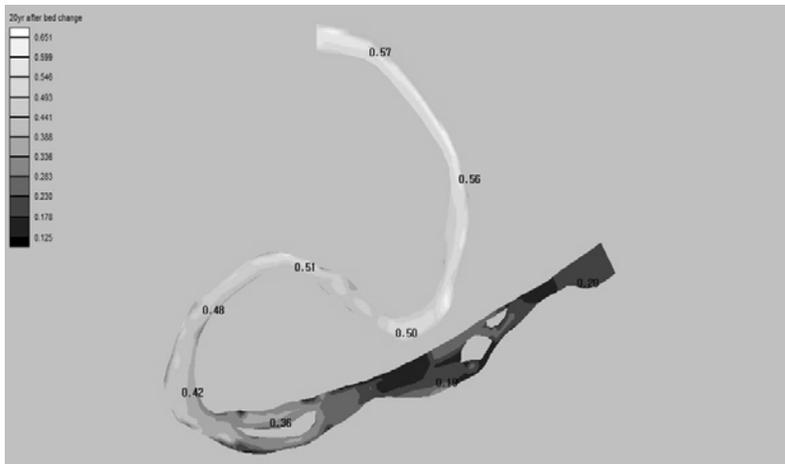


그림 8. 댐 건설이 없다는 가정하의 20년 후의 하상고



그림 9. 댐 건설 후 20년 후의 하상고

3. 하상변동 분석 결과

한정된 실측자료 범위 내에서 실시한 1차원 모형인 HEC-6로 댐 건설 전 모의결과는 전반적으로 약간의 퇴적양상을 보였으며, 다목적 댐이 있는 경우는 전체적으로 침식이 일어나지만 회룡포 구간은 약간의 퇴적이 일어나는 결과 값을 보인다. 이는 댐 건설 후 유량과 유사량이 감소하지만, 낙동강합류부의 배수영향과 회룡포의 급격한 만곡영향 등으로 보인다. 그리고 부정류 해석한 결과파일을 사용하여 RMA-2에서와 동일한 시간 간격으로 SED-2D를 모의한 결과도 1차원 모의 결과와 유사한 결과를 보였다.

그러나 이 수치들은 저수지 모의 운영결과를 기준으로 유량조건과 유사량 조건을 입력한 결과이므로 실제의 저수지 운영결과와는 큰 차이가 있을 수 있다. 또한 본 연구 구간의 실측된 자료가 매우 부족하고 댐 하류 지방하천의 최신측량자료 등의 미비로 모형적용에 한계성 등으로 인하여 실제 결과와는 많은 차이를 보일 수 있다. 그리고 1차원과 2차원의 수치값이 상이한데 이는 정상적인 결과로 보여진다. HEC-6는 1차원 모형으로써 하천 횡단면을 하도와 좌우 고수부의 3개의 부단면으로 나누어 1차원 모의의 한계를 어느 정도 극복하고자 하였으나, 2차원 모형과 비교하여 유사의 횡방향 분포 등은 모의 할 수 없는 한계가 있다. 그리고 2차원 모형인 SED-2D인 경우에는 격자망의 망수 제한으로 인하여 과업구간 전체구간의 모의는 불가능하며 회룡포 구간에 국한하여 모의를 실시하였으므로 수치 값의 차이가 불가피하다. 또한 1차원 모형과 2차원 모형의 지배 방정식의 차이에 따른 영향도 기인할 것으로 생각된다. 1차원인 HEC-6의 지배 방정식은 물의 연속 방정식과 에너지 방정식, 유사의 Exner 방정식을 사용한다. 물의 연속 방정식과 에너지 방정식을 이용하여 표준 측차법으로 풀어 각 단면의 수심, 하폭, 에너지경사 등 기본적인 수리량을 계산하며 Exner방정식으로 각 단면별 유사량을 계산하고 이 값과 그 단면에 유입된 유사량을 비교하여, 단

면의 침식 또는 퇴적을 결정한다. 2차원 모형인 RMA-2 모형은 연속방정식과 운동량 방정식을 지배방정식으로 하는 2차원 천수방정식을 Galerkin의 가중잔차법(Weighted Residual Method)에 의하여 해석하는 유한요소모형이며, SED-2D는 1차원 모형과 달리 x, y축 방향의 유속을 고려하고 유사의 유입량이 아닌 농도를 고려하여 하천단면의 형상에 따른 퇴적현상을 모의한다. 이와 같이 1차원 모형과 2차원 모형은 기본 알고리즘부터 다르므로 일치하는 값이 나오기 어려울 것으로 보이며, 본 연구 구간의 경우 실측자료의 부재로 인해 유역면적당 비유량법으로 유입유사량과 유사농도를 산정하였으므로, 이에 따른 오차도 상당 부분 기인하였으리라 생각된다.

4. 결 론

낙동강 1지류인 내성천 상류지점의 다목적 댐 건설로 인해 회룡포에 미치는 영향을 1차원 및 2차원 모형을 이용하여 분석하였다. 본 연구의 결과를 보면 상류에 댐이 건설되더라도 회룡포 구간은 본래의 모습을 유지하는 것으로 분석되었으나 내성천의 하류는 현재 완공된 상주보의 영향을 직접 받는 구간으로 회룡포의 하상변동에 직접적으로 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 댐 건설로 인한 사회적 지역적 영향을 최소화 하려면 보다 근원적이며 지속적인 분석과 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구 구간이 가지는 여러 가지 사회적 과장을 고려해 볼 때 다음과 같은 후속연구가 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

1. 지속적인 단기 및 장기 하상변동 모의가 필요하며 보다 정확한 하상변동 모의를 위하여 댐 하류 주요지점인 회룡포, 경진교, 보문교, 수도교 등의 유량 및 유사량, 지형 등의 실측을 매년 실시하여야한다.
2. 상주보 건설로 인한 결과가 회룡포 하상변동에 미치는 영향분석을 실시하여야한다.

3. 지자체에서 시행중인 대규모 준설공사 중단 및 인허가 등을 불허하여야 한다.
4. 타 댐 하류에서 발생하는 하류하도 관목화, 육립화 등으로 인한 하도의 습지화예방과 홍수소통 및 하도흐름개선을 위하여 영주댐 직 하류에서 하구까지 복 단면사업 등의 하도정비사업을 실시하여야 한다.
5. 내성천은 낙동강 본류의 대표적인 유사 공급원으로서의 본래의 역할을 수행할 수 있도록 다목적 댐 직하류에 유사 공급지 설치 등을 적극적으로 고려하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

류권규, 우효섭. 1993. HEC-6를 이용한 대청댐 하류의 하상변동예측. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 13(5) : 157-163.

송리원다목적댐 건설사업 타당성조사 보고서. 2004. 한국수자원공사.

우효섭. 2002. 하천수리학. 1판. 청문각

예천군, 경상북도, 한국, www.ycg.kr

장창래, 정관수, 김재한, 양동윤. 2000. 댐 건설에 의한 하상변동 예측. 2000년도 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회 3 : 175-178.

4대강살리기 마스터 플랜. 2009. 국토해양부 .

Negm, M. A., Abdulaziz, T., Nassar, M., Farthy, I. 2010. Prediction of life time span of high Aswan dam reservoir using CCHE2D simulation model. Proceeding 14th International Water Technology Conference. pp. 611-626.

Yang, C. T. 1998. Simulation and prediction of river morphology changes using Gstars 2.0. International Conference on Hydro-Science and Engineering, Cottbus/Berlin. Germany.

Zeng, W. and Beck, M.B. 2003. STAND, a Dynamic model for sediment transport and water quality. Journal of Hydrology, Elsevier, 277 : 125-133.

- 논문접수일 : 2012년 08월 06일
- 심사의뢰일 : 2012년 08월 08일
- 심사완료일 : 2012년 11월 21일