HEC-6 모형을 이용한 한탄강 홍수조절댐 상류의 하상변동 분석

Bed Change Analysis for the Upstream Channel of the Hantan River Flood Control Dam Using the Hec-6 Model

한승원[1], 임종철[2], 지 운[3], 여운광[4]

Han, Seung Won·Lim, Jong Chul·Ji, Un·Yeo, Woon Kwang

요 지

자연 상태의 하천의 하상은 흐름에 의해 끊임없이 변하지만 기록적인 홍수 등 특별한 자연 현상이 없는 한 유사이송에 평형을 이룬 상태라 할 수 있다. 하지만 유역 토지이용의 변화와 골재 채취, 댐과 저수지의 건설 등과 같은 인위적인 요인들은 하천의 평형 상태를 파괴하고 유사이송 문제 및 하상변화 등과 같은 문제점을 야기 시킨다. 따라서 홍수피해를 경감시키고 홍수조절을 목적으로 계획하는 홍수조절댐의 경우 홍수 발생 기간 외에는 상류와 하류 하천 간의 흐름 차단을 최대한 억제하고 상류로부터 유입되는 유사가 댐 상류부에 퇴적되는 것을 방지하기 위해 댐에 상시 개방되어 있는 배사관과 생태통로를 설치하도록 계획되기도 한다. 국내에서는 임진강 유역에서 홍수피해 저감을 위한 한탄강댐의 건설이 계획되었으며 유사이송문제와 생태환경 문제를 고려하여 배사관과 생태통로를 설치하도록 설계하였다.

본 연구에서는 1차원 HEC-6모형을 이용하여 대상 유역인 한탄강 홍수조절댐 상류하천에 대해 댐 건설 전과 후의 수위변화 및 하상변동 모의를 수행하였으며 지속 기간별 평수량과 연평균유량에 대한 장기하상변동을 분석하였다. 또한 과거유량수문자료를 이용하여 산출된 1년 동안의 대표 유량수문곡선을 HEC-6 모의에 적용하여 유량변화가 연속적으로 발생했을 경우의 하상변화를 1년과 100년 기간에 대해 각각 분석하였다.

그 결과 지속 기간이 길어짐에 따라 상류 7.8 km에서는 퇴적과 침식 작용이 활발히 일어남을 알 수 있었다. 하지만 댐 건설 전과 후의 하상 변화의 차이가 크지 않았다. 또한 연평균 유량 조건을 복합적으로 적용했을 때가 지속적인 연평균유량을 적용했을 때보다 하상변화가 더 크게 발생하였다.

핵심용어 : HEC-6 모형, 장기하상변동, 홍수조절댐, 한탄강댐

1. 서 론

우리나라의 수자원 특징은 여름 장마철에 강우가 집중되어 계절적 편차가 크며 지역별로도 강우의 편차가 큰 편이다. 이러한 강우특성 때문에 국내에서는 효율적인 물 관리가 반드시 필요하며 댐이나 저수지 등을 이용하여 계절적으로나 지역적으로 편중되어 있는 수자원 공급현상을 완화시키려는 노력을 기울여 왔다.

1) 정회원·명지대학교 토목환경공학과·석사과정·E-mail: wony723@mju.ac.kr

2) 정회원·서영엔지니어링·사원·공학석사·E-mail: jclim@seoyeong.co.kr

3) 정회원·명지대학교 토목환경공학과·연구교수·공학박사·E-mail: jiuncivil@gmail.com

4) 정회원·명지대학교 토목환경공학과·교수·공학박사·E-mail: yeo@mju.ac.kr

하지만 댐이나 저수지 등의 건설은 자연의 흐름을 방해하고 유사이송 문제 및 하상변화 등과 같은 문제를 발생시키게 되는데 최근 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 주로 홍수조절을 목적으로만 계획되는 홍수조절용댐의 경우 상류와 하류 하천 간의 흐름을 방해하는 요소를 최대한 억제하고 상류로부터 흘러오는 유사가 댐 상류부에 퇴적되는 것을 방지하기 위해 배사관과 생태통로를 설치하도록 하였다.

국내에서도 임진강 유역의 한탄강 지점에 홍수 문제를 개선하기 위해 홍수조절댐을 계획하고 설계하는데 있어 이러한 형태의 댐 건설로 인한 한탄강에서의 하상변동 및 지형학적 변화 등에 대한 검토가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구는 한탄강 홍수조절용댐의 설치에 따른 댐 건설 전과 후의 댐 상류에서의 하상변동에 대해 1차원 수치모형을 이용하여 분석하고자 한다.

2. 대상유역 및 입력자료

2.1 유역현황

강원도 평강군 백자산(북방산) 북쪽 기슭에서 발원한 임진강의 제1지류인 한탄강의 유역은 경위도 상으로 동경 126° 57～127° 36, 북위 37° 45～38° 34의 범위로 한반도의 중부에 위치하고 있으며 한탄강의 유로연장은 141 km, 유역면적이 2,436.4 km²인 임진강 최대 지류로서 수계의 상당부분(약 16.5%)이 휴전선이 북에 위치한다. 본 유역의 행정구역별 구성은 강원도 철원군이 657.24 km²(27.0%), 경기도 포천군 774.18 km²(31.8%), 연천군이 312.32 km²(12.8%), 동두천시 95.41 km²(3.9%), 양주군 193.76 km²(8.0%)이고 이북지역인 평강군, 회양군이 403.48 km²(16.5%)을 점유하고 있다.(건설교통부, 2003)

2.2 입력자료

본 연구에서는 유량변동을 고려한 하상변동 수치모의를 위해 HEC-6 1차원 모형을 이용하였으며 지형자료는 한탄강수계 하천정비기본계획(건설교통부, 1998)의 도면을 활용하였다. HEC-6의 1차원 수치모의를 위한 자료는 No. 248 단면부터 No. 379 단면까지의 횡단면자료와 단면간의 거리를 이용하였으며 총 13.1 km 구간에 대해 모의를 실시하였다.

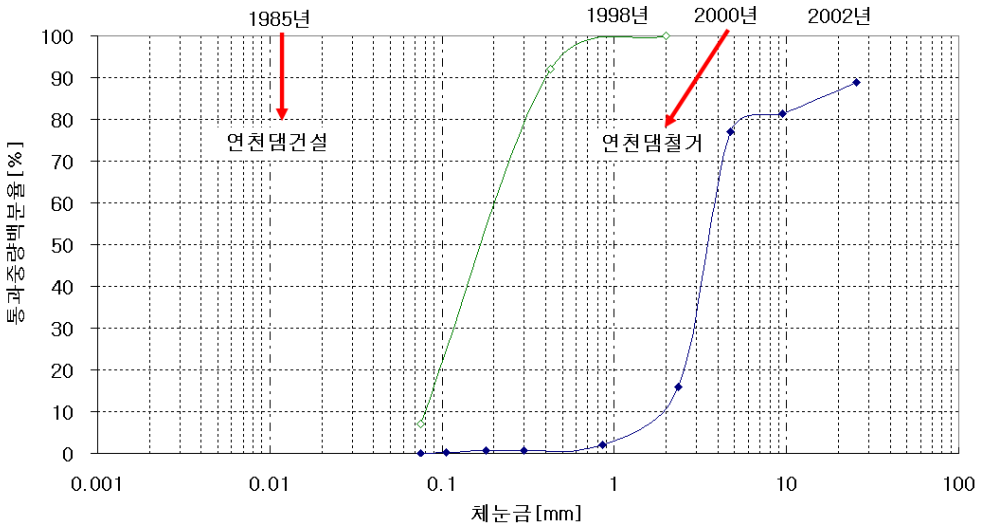

그림 1. Bed material distribution changes by time

1차원 수치모의를 위한 필수자료인 하상토 입도분포는 1998년의 한탄강수계 하천정비기본계획보고서(건설교통부, 1998)와 2002년의 임진강유역 홍수피해 원인조사 및 항구대책 수립 보고서(건설교통부, 2002) 자료를 활용하였으며 한탄강홍수조절댐이 건설되는 위치(248번과 249번 단면 사이)와 근접한 단면인 240번 단면에서 채취한 하상토 입도분석 결과를 보면 그림 1과 같다. 한탄강홍수조절댐이 건설되는 지점에서의 하상토 입도는 시간이 지남에 따라 입도가 커졌음을 알 수 있으며 본 연구에서는 2002년 자료를 이용하였고 중앙입경은 3.5 mm 그리고 하상토 단위중량은 26000 N/m^{3}을 사용하였다.

한탄강 유역의 유사량 측정은 한탄강의 하류에 위치하고 있는 전곡 지점에서만 1998년부터 실시되어왔으며 그림 2는 전곡지점의 유량-유사량 관계 그래프를 나타내고 있다. 이 유량-유사량 관계 곡선식은 HEC-6을 이용한 1차원 하상변동 모의에서 유입유사량 입력 자료로 활용하였다.

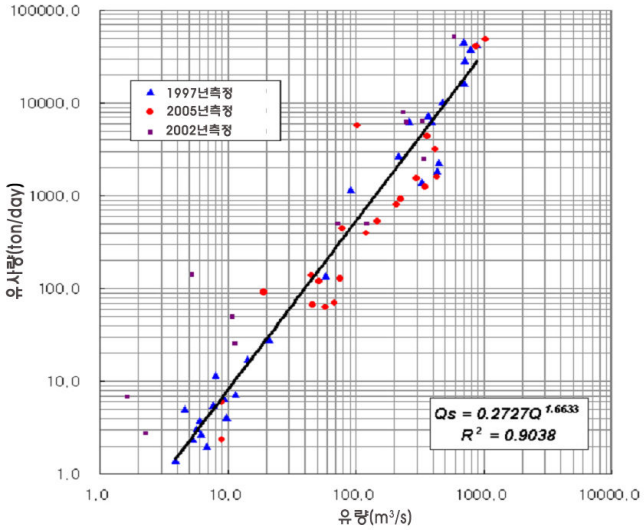

그림 2. 전곡지점의 유량-유사량 관계 곡선(건설교통부, 2002)

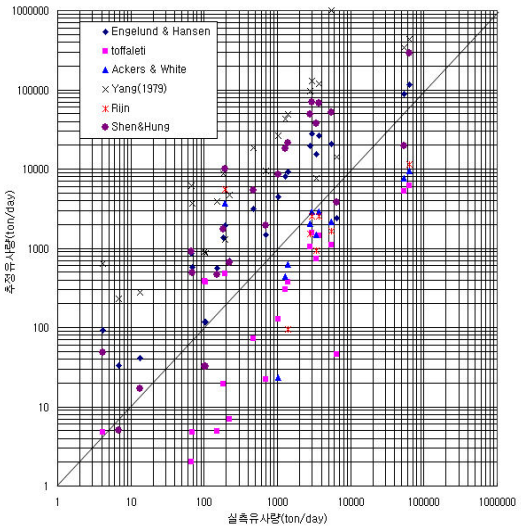

그림 3. 전곡지점의 측정된 유사자료와 유사이송공식의 비교(건설교통부, 2002)

HEC-6에서 사용하게 될 유사량 산정 공식은 HEC-6 모형에서 선택할 수 있는 공식들 중 한국건설기술연구원(1989)에서 비교적 우리나라에 적합하다고 제시된 공식들을 포함하는 Engelund & Hansen공식(1967), Ackers and White공식(1973), Yang공식(1979), Toffaleti공식(1969), van Rijn공식(1984) 및 Shen & Hung공식(1972)을 이용하여 총유사량을 계산한 값과 전곡지점의 실측한 총유사량 값을 비교·검토 하였다(그림 3). 유량이 작은 경우(200 m^3/s 미만)는 공식별 편차가 심하거나 추정이 안 되는 경우가 많았고, 유량이 큰 경우(200 m^3/s 이상)에는 Ackers and White 공식 및 van Rijn공식이 실측치와 유사한 값을 나타내는 것으로 분석되었다(건설교통부, 2002). 본 과업에서의 모의 조건들인 연평균 유량(28.3 m^3/s)은 200 m^3/s 미만인 조건이며 200년 빈도 홍수 및 계획방류량(5,943 m^3/s)은 200 m^3/s를 넘는 조건에 해당된다. 200 m^3/s 미만의 유량에 대해서는 확실한 공식별 특성을 찾아보기 힘들 뿐만 아니라 유량에 따라 유사량 공식을 다르게 사용하면 유사량 산정 및 퇴사량 산정에 일관성이 결여되기 때문에 Ackers and White 공식을 기본공식으로 선정하였다.

본 연구에서 수행된 HEC-6모형의 하상변동 경계조건은 아래 표 1과 같다. 그리고 연평균 대표 유량 수문 곡선은 1년(365일)과 100년 모의 조건으로 하상변동 모의를 수행하였다. 대표 수문곡선 산정

을 위해 1968년부터 1999년까지의 연도별 일평균 유량분석 자료가 활용되었다.

표 1. 수치모의를 위한 경계조건

구 분		구간	경계조건		문비개폐조건			모의 기간	분석 내용
			유량	하류 수위 조건	배사관	생태 통로	상용 여수로		
1 차원 모의	댐 건설전	댐 상류	평수량: 10.6 ㎥/s 연평균유량: 28.3 ㎥/s	댐 수위(평수량): 41.8 EL.m 댐 수위(연평균유량): 42.03 EL.m	Closed	Closed	Closed	10년,20년 30년,50년 100년	수면곡선 하상변동
	댐 건설후			댐 수위(평수량): 47.16 EL.m 댐 수위(연평균유량): 47.31 EL.m					
			연평균 대표 유량수문곡선	유량변동에 따른 댐 수위	조건별	조건별	조건별	1년, 100년	수면곡선 하상변동

표 2. 유량변동을 고려한 수치모의 조건

NO.	유량 평균값 (m^3/s)	댐 수위 (EL.m)	모의 기간 (day)
1	23.2	47.2	316
2	67.6	47.5	24
3	111.8	47.9	9
4	156.1	48.3	5
5	200.3	48.8	3
6	244.6	49.5	1
7	288.8	50.2	2
8	377.3	52.0	2
9	465.8	54.1	1
10	642.8	59.6	1
11	864.0	68.8	1

3. 모형의 적용 및 분석

3.1 평수량 및 연평균유량 발생시 댐 건설 전 후의 하상변동 모의

본 연구에서는 HEC-6 모형(Version 4.1)을 이용하여 평수량 및 연평균 유량 발생시 댐 건설 전의 하상변동을 모의한 결과 댐에서 상류 7.8 km 까지는 모의기간이 길어져도 눈에 띄는 변화가 없지만 댐에서 상류 7.8 km 이후로는 퇴적과 침식의 작용이 활발히 진행되는 것을 알 수 있다. 최대 침식위치는 댐에서 상류 8 km지점으로 1.99 m의 침식이 발생하였으며 최대 퇴적위치는 댐에서 상류 7.4 km지점에서 2.02 m의 퇴적이 발생하였다(그림 4). 이러한 최대 퇴적고와 그 위치는 댐 건설 후 모의 결과와 동일한 것으로 나타났으며 연평균 유량의 결과는 그림 5와 같다.

1차원 하상변동 모형인 HEC-6모형을 이용하여 한탄강홍수조절댐 지점에서의 10년, 20년, 30

년, 50년, 100년 동안의 하상변동을 모의한 결과 한탄강홍수조절 댐 설치 전과 설치 후의 수위는 댐 설치와 상관없이 변화가 크지 않은 것으로 나타났으며 댐 상류 7.8 km 까지는 댐 건설 전에 비해 하상고 변화가 적게 발생하였다. 특히 댐 건설로 인한 하류단 수위 변화가 있어도 하상변동의 영향은 댐에서 상류 2 km 구간을 넘지 않는 것으로 나타났으며 모의기간이 길어지더라도 이러한 현상은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

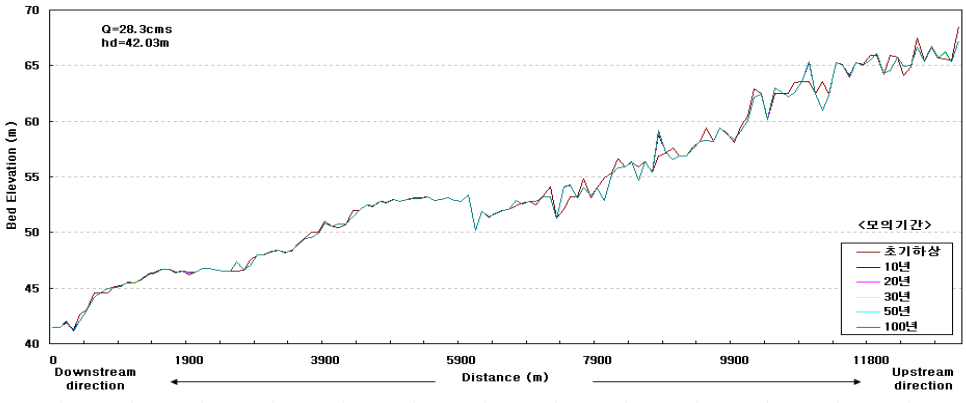

그림 4. 댐 건설 전 하상변동 모의 (Q = 28.3 m^3/s)

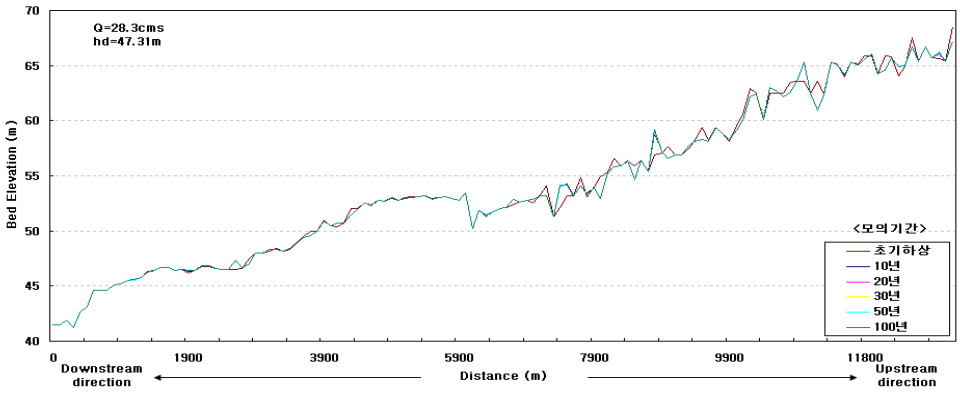

그림 5. 댐 건설 후 하상변동 모의 (Q = 28.3 m^3/s)

3.2 댐 건설 후 유량변동시 모의 기간에 따른 하상변동 모의

한탄강댐 지점에서의 유량변동을 고려한 하상변동 모의 결과와 연평균유량이 지속적으로 발생했을 경우의 HEC-6 모형을 이용한 하상변동 모의 결과를 그림 6과 같이 비교하였으며 두 경우 모두 모의 기간은 100년이다. 또한 그림 7은 1년 동안의 유량변동을 고려하여 모의 지속기간을 1년과 100년으로 했을 경우의 하상변동 결과와 지속적으로 연평균 유량(28.3 m^3/s)이 100년 동안 발생했을 경우의 하상변동 결과를 비교한 그래프이다.

유량변동을 고려한 조건의 경우는 홍수에 발생할 수 있는 유량 조건들이 복합적으로 고려가 되어 있기 때문에 지속적인 연평균 유량이 발생을 경우의 하상고 변화보다 하상고의 변화가 더 크게 발생하였다. 특히 유량변동 100년 후 조건일 경우 6 km 지점을 전후로 하상이 상류부분은 침식되고 하류부분은 퇴적된 성향이 확실히 나타남을 알 수 있다. 또한 100년 모의의 경우 유량변

동을 고려한 조건과 연평균 유량(28.3 m^3/s) 조건 모두 댐 상류 8.8 km 지점에서 하상고가 상승하였다. 댐 상류 8.8 km 지점인 338번 단면의 하폭이 급격히 증가함에 따라 유속이 감소하여 상류로부터 유입되는 유사가 이 지점에서 퇴적되기 때문인 것으로 판단된다.

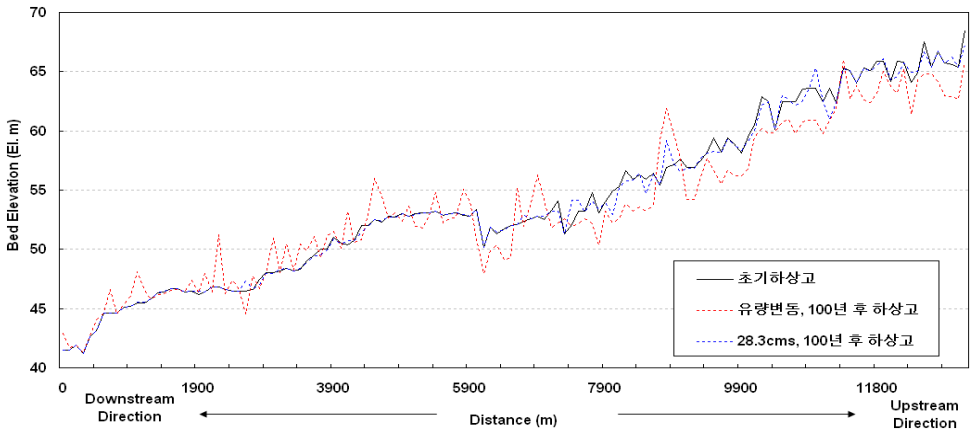

그림 6. 연평균유량(28.3 m^3/s) 조건과 유량변동을 고려한 100년 후 하상변동

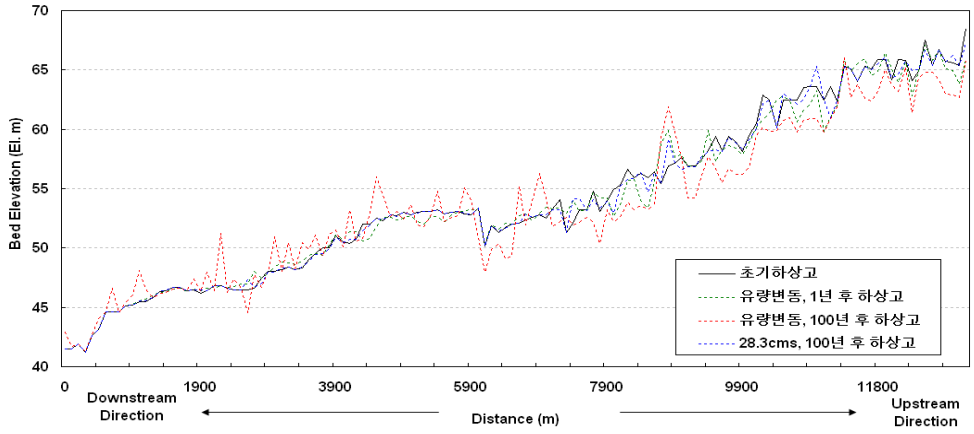

그림 7. 연평균유량(28.3 m^3/s) 조건 100년 후 그리고 유량변동을 고려한 1년과 100년 후 하상변동

4. 결 론

본 연구에서는 1차원 모형인 HEC-6를 이용하여 한탄강 홍수조절댐 설치 전·후의 하상변동과 지형학적 변화 분석을 실시하였으며 그 결론은 다음과 같다.

평수량 및 연평균 유량 발생시 댐 건설 전·후의 하상변동을 모의한 결과 댐에서 상류 7.8 km 이후로는 퇴적과 침식의 작용이 활발히 진행됨을 알 수 있었고 최대 침식과 퇴적은 댐건설 전·후가 동일하다는 것으로 나타났다. 즉, 댐 건설로 인해 하류단 수위의 변화는 발생하더라도 하상변동에는 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

또 연간 유량변동 조건에서의 수치 모의 결과에서는 지속적인 연평균 유량이 발생했을 때보다

하상변동이 더 크게 발생하였으며 상류 부분에서는 침식이 일어나고 하류 부분에서는 퇴적이 일어나는 경향이 뚜렷이 나타났다. 또 하천 폭의 확대 및 축소가 발생하는 지점에서 유사 퇴적 및 침식이 활발히 이루어짐을 수치모의를 통해 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1998, 2003). 한탄강 하천정비기본계획.
2. 건설교통부(2002). 임진강유역 홍수피해 원인조사 및 항구대책 수립 요약보고서.
3. 영남대학교(2009). 한탄강홍수조절댐 본댐 및 부대시설공사 설계변경 배사설비 수치해석.
4. 한국수자원학회(2005). 제14회 수공학 웍샵 교재.
5. Ackers, P. and White, W.R.(1973). Sediment transport: New approach and analysis. J. Hyd. Div. ASCE, 99, no. HY11: pp. 2041-2060.
6. Engelund, F. and Hansen, E.(1967). A Monograph on Sediment Transport to Alluvial Streams. Copenhagen, Teknik Vorlag.
7. HEC(1995). HEC-6 Scour and Deposition in River and Reservoirs User`s Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
8. Shen, H.W. and Hung, C.S.(1972). An engineering approach to total bed-material load by regression analysis. Proc. sedimentation Symposium, ed. H.W. Shen. Berkeley, Calif.: Water Resources Pub.
9. Toffaleti, F.B.(1969). Definitive Computations of Sand Discharge in Rivers. J. Hyd. Div. ASCE, vol. 95, no HY1, pp. 225-246.
10. USACE(1959). Backwater Curves in Open Channel, EM1110-2-1409.
11. van Rijn, L.C.(1984). Sediment transport, Part I: Bed load transport. J. Hydraulic Engineering, ASCE, vol 110, no 10, pp. 1431-1456.
12. Yang, C.T.(1979). Unit Stream Power Equation for Total Load. J. Hyd. Div. ASCE, vol. 40: pp. 123-138.