

수치모형을 이용한 하상변동 연구

A Study on the Sediment Movement Using Numerical Models

임 창 수* / 손 광 익** / 이 재 준*** / 윤 세 의****

Rim, Chang Soo / Son, Kwang Ik / Lee, Jae Joon / Yoon, Sei Eui

Abstract

In this study, one and semi-two dimensional numerical models were applied to study on the hydraulic and sedimentologic characteristics of upstream and downstream channel section near the Buyeo intake towers. The HEC-6 model was applied for the simulation of one dimensional sediment movement from 1988 to 1996, and GSTARS model was applied for the simulation of semi-two dimensional sediment movement for the same period. After the verification of accuracy of HEC-6 and GSTARS models, the models were applied again to predict the sediment movement near intake towers from 1988 to 2001. In this case, measured channel section of 1988 was used as an initial channel condition, and used to predict the long-term variation of channel section of 2001 after 13 years since 1988. The simulation results show that the channel bed is sedimented and eroded repeatedly in the main channel of overall study area, and that channel bed is getting elevated in the near Buyeo intake towers.

Keywords: sediment movement, intake tower, HEC-6 model, GSTARS model

요 지

본 연구에서는 금강 부여취수구를 중심으로 한 금강본류의 상하류에 대한 수리적 특성 및 유사론적 특성을 파악하기 위하여 1차원 및 준 2차원 수치해석적 유사모의 분석을 실시하였다. 1차원 유사이동 수치모형 모의분석은 HEC-6를 사용하였으며 준 2차원 유사이동 수치모형 모의분석은 GSTARS를 이용하여 1988년부터 1996년까지에 대한 유사이동 수치모형 모의분석을 실시하여 프로그램의 현장 적용가능성을 분석한 후 1988년부터 2001년까지에 대한 예측을 통하여 금강 부여취수탑 주변에 대한 유사이동 현황분석을 실시하였다. 1988년 실측된 하상 실측 자료를 초기 하상 자료로 하여 13년 후인 2001년의 장기하상변동을 예측한 결과 전체적으로는 금강본류를 따라 퇴적 및 침식이 반복되는 현황을 보이고 있고 금강 부여취수구 주변 및 취수구 하류부근에서는 퇴적상고가 높아져 계속 퇴적되는 추세를 보여주고 있었다.

핵심용어 : 유사이동, 취수탑, HEC-6 모형, GSTARS 모형

- * 청운대학교 토목환경공학과 전임강사
Full-Time Lecturer, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Chungwoon University, Hongsung, Chungnam 350-800, Korea
- ** 영남대학교 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam University, Kyongsan, Kyongbuk 712-749, Korea
- *** 금오공과대학교 토목·환경시스템공학부 부교수
Associate Professor, School of Civil and Environmental System Engineering, Kumoh National University of Technology, Kumi, Kyongbuk 730-701, Korea
- **** 경기대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi 442-760, Korea

1. 서 론

국내·외적으로 하천 및 저수지의 많은 장소에서 상당량의 토사가 유동되고 있다. 이와 같은 현상은 토사가 소규모 저수지 및 취수보 등의 저수용량을 감소시키고 있기 때문에 취수, 관개 및 수력이용 등의 목적으로 지표수를 사용하고자 할 때 문제를 야기하게 된다. 우리 나라에서 운영중인 수도시설의 취수구중 일부는 취수구 상류에 유사의 퇴적으로 사주가 발달되고 취수구내에 유사가 유입되어 퇴사처리 문제가 빈번히 발생되고 있다. 또 일부 취수장은 상류에 댐이 건설되거나 하구둑 등의 건설로 인하여 하상의 상승 등 복합적인 원인에 의한 퇴사문제도 내포하고 있다.

하천 및 저수지에서 상수도 취수장 부근의 퇴사로 인한 취수장에 문제와 오염된 유사의 퇴적으로 인한 수질문제에 대한 연구조사(한국건설기술연구원, 1993)에 의하면 우리 나라 직할하천 취수장들의 36%가 퇴사문제를 안고 있으며, 이중 18%는 다소 심각한 것으로 조사되었다. 이로 인한 취수 및 수처리 과정 중에 발생하는 장애에 대하여 준설과 같은 일시적인 문제해결이 아닌 취수구 주변의 근본적인 퇴사 및 유사 유입 방지 대책의 수립이 요망된다.

자연수체내에서 토사-흐름 상호작용에 대한 공간적 및 시간적인 퇴적양상을 이해하기 위한 시도는 1950년대 Harrison (1952), Bates (1953) 및 Bondurant (1955)에 의해 시작되었으며, 이와 같은 노력에 기초하여 경험적 접근법을 사용한 공간적인 퇴적양상을 예측하기 위한 시도가 Cristofano (1953), Hobbs (1969), Swamee와 Gorde (1977)에 의해 이루어졌다. 그러나 토사이동과 하상변동 과정의 국지적 흐름 특성에 대한 의존성은 존재하여도 적절하게 표현되지는 못하였다. 결과적으로 퇴적양상의 평면적 2차원이나 종단분포는 전혀 예측되지 못하였거나 매우 미숙하게 예측되었을 뿐이었다.

1978년에 Croley 등은 퇴적된 토사의 다짐, 활동상태, 재분포를 다룰 수 있는 구체적이고 정교한 모형을 개발하였으며, 이 모형은 연직방향에서의 변화만을 고려하도록 하는 1차원적인 것이었다. 이 과정은 포착된 토사를 경험적으로 선택된 시간 간격에 대해서 산정하고 이 체적을 Borland와 Miller (1958)의 경험적인 면적감소방법의 변형식에 의한 높이에 대해서 분배시키게 된다. 한편 1차원 및 준 1차원 접근방법은 하천과 저수지에 있어서의 퇴적 및 침식을 예측하기 위하

여 널리 사용되어 왔으며 (Chang and Richards, 1971; Asda, 1973; Lopez, 1978), 지난 십여년은 2차원적 수체흐름, 토사이동 및 하상변동의 예측을 위한 수치적인 과정을 개발하는 시발점이 되었다. 많은 연구자들이 하천, 저수지 및 하구부에서 토사이동을 계산하기 위한 2차원 모형을 사용하였으며, Molinas와 Yang (1986)은 하천유관 방법을 도입한 준 2차원 하상변동 예측모형으로서 종방향 및 횡방향의 하상변동을 모의하도록 GSTARS 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 일반적인 취수구 유사유입 방지기법을 선정하기에 앞서 금강부여취수장을 연구대상지역으로 선정하여 취수장을 중심으로 한 상·하류의 유사이동에 따른 장기하상변동을 모의하기 위하여 수치모형으로 1차원모형인 HEC-6 모형과 준2차원 모형인 GSTARS 모형을 적용하였다.

2. 적용구간 및 하상변동을 위한 모의유량조건

2.1 적용구간

본 연구에서는 장기영향 평가를 위한 대상하천구간으로 금강부여취수구를 중심으로 취수구로부터 약 30.2 km 상류에 위치한 공주수위표지점 (St. 167+280)으로부터 취수구 하류 5.78km 지점에 위치한 금천 직하류(St. 94)까지 약 36km를 선정하였다. 금강 본류로 유입되는 해석대상구간 상류의 주요한 지천은 갑천과 미호천이 있고 해석대상구간내의 지천으로는 정안천, 지천, 금천이 있으며, 주로 미호천이 대청댐 건설 후 댐 하류의 주요 유사 공급원이 되어 온 것으로 추정된다(한국건설기술연구원, 1991). 본 연구대상 구간은 하상변동이 충분히 예상되는 구간이고, 신빙성이 있는 모형입력자료와 하상변동자료가 존재하여 모형적용에 적합한 대상하천인 것으로 사료된다. 그림 1은 공주수위표 하류부터 금천 직하류까지 본 과업의 해석 대상구간을 도식화하여 나타낸 그림이다. 본 그림에서 모의시점인 St. 94는 금강본류와 합류되는 백제대교 하류 약 2.2km 지점이며, 그림에서 보여주는 Station 번호는 1988년 건설부에서 작성한 금강수계종합정비 기본계획(1988)에서 언급되어진 하천단면 번호를 이용하였다.

금강 부여 취수장은 그림 1의 모의시점으로부터 5.78km에 위치하고 있으며 부여, 전주, 군산 및 익산 등지에 생활용수를 공급하기 위한 취수장이다. 부여취수장의 취수구가 위치한 지점은 유량의 급변 및 단면

급속소 구간이며 취수지점 직하류 좌안측은 정동 배수장의 취수탑 합류부(가중천 하구부)이므로 하천의 제반 수리 특성 및 유사특성이 상당히 불안정한 지점이다.

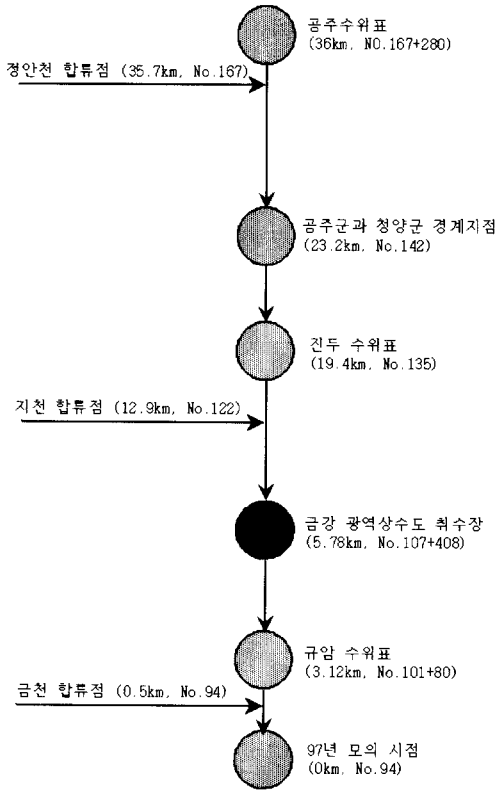


그림 1. 금강 해석구간의 개요도

2.2 하상변동 예측을 위한 유사 및 모의유량조건

2.2.1 하도 단면자료의 구성

금강 대청댐 하류구간에 대한 하도단면 자료로서 취득 및 사용 가능한 것으로는 1974년 자료(건설부, 1974), 1983년 자료(건설부, 1983), 1984년 자료(건설부, 1984), 1988년 자료(건설부, 1988), 그리고 금번 연구를 위해 실측한 일부구간에 대한 1996년 자료(한국수자원공사, 1996)가 있다. 1984년, 1988년, 그리고 1996년의 실측된 하천단면 자료로부터 최심선을 따라서 종방향 하상고의 변화를 비교 도시한 것이 그림 2이다.

그림 2로부터 금강 부여취수장 부근은 1984년부터 1988년까지는 세굴이 되었다가 1988년부터 1996년까지는 퇴적이 되고 있음을 개략적으로 알 수 있으며, 준2차원 모형인 GSTARS 모형에 입력되는 2차원 하도 단면자료는 모의 종류별로 초기하상이 되는 1988년도 실측 횡단면 자료를 추출하여 구성하였다. 이 때 인위적인 준설 등에 대한 영향을 구분할 수 없어 준설의 영향을 받았다고 생각되는 단면에도 원하상을 그대로 사용하였다.

2.2.2 유사 및 모의유량조건

1984년도 및 1988년도에 금강 본류부 공주~강경 구간의 주요 지점에서 채취, 분석된 하상토의 입도분포 등에 대한 내용은 연구보고서(한국수자원공사, 1996)에 수록되어 있다. 표 1에서는 그림 1의 모의시점과 모의

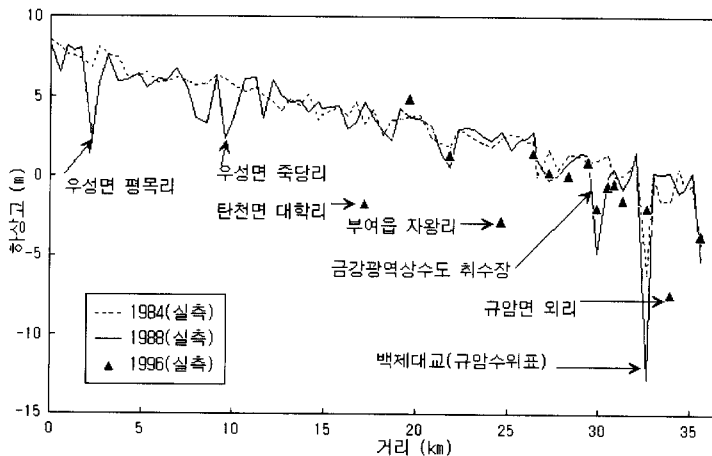


그림 2. 금강 해석대상구간의 연도별 실측된 하상고의 비교

표 1. 1996년도 강경-공주간의 하상토 입자 분포표

모의시점부터의 거리	D _m	D ₅₀	D ₁₀
0.00	0.508	0.390	0.170
3.10	1.059	0.510	0.240
5.31	1.304	1.000	0.420
7.44	1.476	0.950	0.300
9.13	1.448	0.710	0.480
11.08	1.395	1.200	0.300
18.50	0.901	0.450	0.220

시점으로부터 3.1km, 5.31km, 7.44km, 9.13km, 11.08km 그리고 18.5km 떨어진 지점에서의 하상토 입자분포도를 보여준다.

모의유량조건을 위해서 본 연구에서는 장래의 유량 모의를 준시계열성을 가진 유량을 통하여 시도하였다. 준시계열성 유량이란 연속적으로 변하는 1년간의 유량 변동을 특정 지속기간동안 유량이 변하지 않는 불연속 유량으로 나열시켜 시계열성을 지닌 유량을 대신하는 것을 말한다. 따라서 지속기간 및 유량을 어떻게 모의 하는가에 따라 하상변동 및 유사이동 형태는 달라질 수 있다. 특정일에 대한 과거 11년(1986-1996년)에 대한 일유량의 평균 및 표준편차 등의 통계학적 분석을 거친 뒤 1년 365일의 각일에 대한 통계적 대표치 (평균 또는 평균+표준편차 등등)가 1월 1일부터 12월 31일까지 계속적으로 발생한다고 가정하여 1월 1일부터 1일 단위의 하상변동을 계산하고 이에 따른 하상변동 특성 및 하천단면을 다음 날의 하상변동 예측을 위한 초기자료로 활용하며 365번을 반복하게 되면 1년간의 시계열적 하상변동을 지속기간을 1일로 하는 유량을 이용한 준시계열적 하상변동 예측이 될 것이다. 이와 같은 방법을 사용하면 유량의 변동성이 비교적 크기 때문에 지속기간을 14일로 하여 14일 평균값을 부여하는 두 가지 경우에 대해 분석하였다.

3. 1차원 및 준2차원 수치모형의 적용

본 과업의 해석대상 구간내의 하상변동 상황을 검토하기 위해 공주수위표 지점부터 금천이 금강 본류와 합류되는 백제대교 하류 약 2.2km 지점 사이의 약 36 km 구간에 대하여 1988년과 1996년의 실측결과를 이용하여 1996년까지의 하상변동 계산을 HEC-6 모형과 GSTARS모형을 통해 실시하였으며, 실제유량에 의한 하상변동 모의와 통계적 대표유량인 평균치 계열 (μ)과 특정치 계열($\mu+2\sigma$)에 대해 각각 모의하였다

(한국수자원공사, 1997).

이 때 통계적 대표유량의 지속기간으로는 1일인 경우와 14일인 경우에 대해 모의하였으며, 그림 3과 그림 4는 각각 지속기간 1일과 14일인 경우의 규압 수위표의 1년 365일의 각일에 대한 11년간(1986~1996년)의 통계적 대표치를 도시한 것이다.

3.1 HEC-6 모형의 적용

HEC-6 모형은 1973년 미 공병단의 수문연구센터 (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center)의 W. A. Thomas 등에 의해 개발되었으며, 하천과 저수지에서의 세굴과 퇴적계산을 위한 수치모형이다. HEC-6 모형은 상단기간에 걸친 세굴과 퇴적에 의해 하천의 종단 형태가 변화하는 것을 모의하고 추정하기 위해 개발된 1차원 이동상 개수로 흐름의 수치모형이다.

연속 수문자료는 여러 가지 유량과 지속기간을 지닌 일련의 정상흐름으로 나누어 적용하며, 각 횡단면 별로 에너지 경사, 유속, 수심 등을 계산하고, 이에 따라 각각의 흐름에 대한 수면곡선을 결정한다. 이 때 각 단면별로 유사운송능을 계산한다. 이 운송능과 흐름 사상의 지속 시간을 이용하여 각 구간별로 유사의 부피를 계산하고, 각 횡단면별로 세굴과 퇴적량을 계산하여 이에 따라 횡단면의 형태를 조절한다. 그 다음에는 주어진 일련의 수문사상의 다음 흐름 사상에 대하여 앞의 계산에서 수정된 하천단면을 이용하여 상기 과정을 반복한다.

본 연구에서는 HEC-6 모형을 이용한 하상 변동 예측을 위한 준비작업으로 고정상인 하천에 대하여 설계홍수량에 대한 지점별 수위분석을 수행하였다 (한국수자원공사, 1996). 조도계수 n 값의 보정을 위하여는 구간별 조도계수를 약간씩 조정하여 실제 수위와의 격차를 줄이려고 한 건설부(1988)의 조도계수를 인용하기로 하였다. 따라서 본 연구에서는 그림 1의 모의시점부터 상류 7.92km 지점까지는 $n=0.026$, 모의 시점 상류 7.92km 지점부터 공주수위표가 위치한 36km지점까지는 $n=0.027$ 을 적용하였다.

HEC-6 이동상 모형에 요구되는 자료로는 지형자료, 유사자료, 수문자료가 있으며, 유사량 공식으로는 Yang (1972)의 방법 (식 1)을 적용하였다. 기타 자세한 사항은 한국수자원공사의 취수구 유사유입 저감기법 개발연구보고서 (1차년도, 1996)에 자세하게 수록되어 있다.

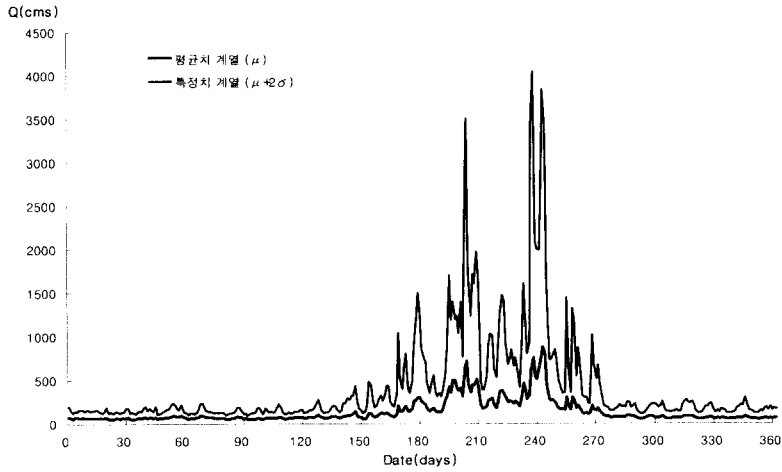


그림 3. 규암 수위표 일평균 통계적 대표유량

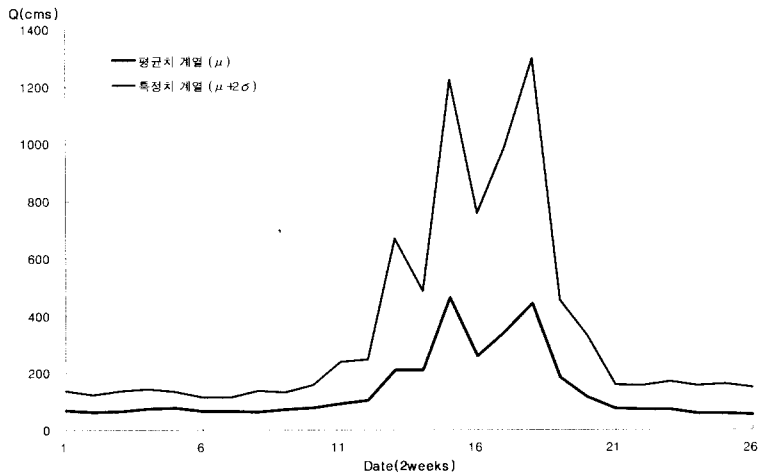


그림 4. 규암수위표의 14일 평균 통계적 대표유량

$$\begin{aligned} \log C_t = & 5.435 - 0.286 \log \frac{wd}{\nu} - 0.457 \log \frac{U_*}{w} \\ & + (1.799 - 0.409 \log \frac{wd}{\nu} - 0.314 \log \frac{U_*}{w}) \\ & \times \log \left(\frac{VS}{w} - \frac{V_{cr}S}{w} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, C_t 는 미립부유사를 제외한 총 유사농도, VS 는 단위 소류동력, V 는 평균 유속, S 는 에너지경사, U_* 는 전단속도, ν 는 동점성계수, w 는 유사의 침강 속도, 그리고 d 는 중위입자 직경이다.

또한, V_{cr} 은 초기이동을 나타내는 한계유속으로 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \frac{V_{cr}}{w} = & \frac{2.5}{\log(U_*d/\nu) - 0.66} + 0.66 : \text{If } 1.2 < \frac{U_*d}{\nu} < 70 \\ \frac{V_{cr}}{w} = & 2.05 : \text{If } 70 < \frac{U_*d}{\nu} \end{aligned}$$

3.2 GSTARS 모형의 적용

층적 하천 모의를 위한 범용 유관 모형 (Generalized Stream Tube for Alluvial River

Simulation, 이하 GSTARS)은 두 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계로 Molinas와 Yang (1986)은 고정 하폭을 갖는 총적 하천의 유관 모형을 개발하였으며, 개발의 두 번째 단계에서는 최소 에너지 소모론 또는 이 이론의 단순화된 전체소류력 최소이론에서의 매개 변수로서 수로 폭을 사용하였다. 에너지 방정식과 운동량 방정식이 GSTARS 모형에 사용되었으며, 흐름이 연속적으로 상류와 하류가 혼합되어 있는 경우에도 수면형 계산을 수행할 수 있다. 유관 이론은 준 2차원적인 방법으로 수리 계산에 사용되었다. 각 유관에서의 수리 변수가 계산되면 각 유관에서의 세굴이나 퇴적은 수로의 연직방향으로 지형 변화를 일으키며 유사 추적에 의해 결정된다.

3.2.1 수리량 입력자료

GSTARS 모형의 입력자료로서 규암지점의 유량자료(평균치계열, 특정치계열)와 수위-유량곡선을 하류단 경계조건으로 사용하였다. 수온은 유사의 운동 및 물의 점성 등에 상당한 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나이다. 본 해석 대상 구간의 경우, 대청댐의 방류량 자료에 81년부터 85년까지의 5개년간의 자료가 있어서 이를 모형의 입력자료로서 사용하였으며 월별 평균수온은 15.5 °C 이었다(한국건설기술연구원, 1991).

GSTARS 모형의 입력자료로서 하천의 조도계수 즉, Manning 계수 n 은 물의 흐름 및 유사의 운동을 지배하는 가장 중요한 인자이다. Manning 계수 n 은 하천의 지형과 유량 그리고 수위 등에 따라 변화하므로 정확하고 적합한 조도계수의 산정은 매우 중요하다. 본 과업에서는 건설부(1988)가 제안한 값을 채택하여 모형에 입력하였다. 금강 해석 대상구간 전체에 걸쳐서 n 은 일정한 값 (= 0.025)을 갖는 것으로 가정하고 금강하구둑부터 상류 약 48.97km 지점부터 상류 약 56.89km 지점 사이의 구간은 0.026, 금강하구둑부터 상류 57.27km에 위치한 지천 합류점부터 상류 약 84.7km 지점인 정안천 합류후 사이의 구간은 0.027을 모형에 입력하였다.

GSTARS 모형에서는 Ackers와 White 공식, Engelund와 Hansen 공식, Yang 공식의 세 가지 유사량 공식을 사용하여 유사량을 산정할 수 있다. 본 연구에서 세 가지 유사량 공식을 사용하여 각각에 대해 모형의 모의결과를 비교한 결과 하상고 변동의 전체적인 경향과 침식·퇴적량이 예측에 있어서 매우 흡사한 결과를 보이고 있었다. 그래서 그 공식중의 하나

인 Ackers와 White 방법 (식 2)을 이용하여 나머지 계산을 수행하였다.

$$G_{gr} = C \left\{ \frac{F_{gr}}{A} - 1 \right\}^m \quad (2)$$

여기서, G_{gr} 는 무차원 유사이송합수, U_* 는 전단속도, V 는 평균 유속, n 는 유사입경에 따른 천이지수, d 는 유사입경, D 는 수심, g 는 중력가속도, s 는 유사와 물의 단위중량비 (γ_s/γ)이며 F_{gr} 은 다음과 같다.

$$F_{gr} = \frac{U_*^n}{\sqrt{gd(s-1)}} \left\{ \frac{V}{\sqrt{32 \log(10D/d)}} \right\}^{1-n}$$

이때 계수 m , C , A , n 은 다음과 같다.

$$A = \frac{0.23}{\sqrt{d_{gr}}} + 0.14 \quad \text{If } 1 < d_{gr} \leq 60$$

$$A = 0.17 \quad \text{If } 60 < d_{gr}$$

$$\log C = 2.86 \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2 - 3.53 \quad \text{If } 1 < d_{gr} \leq 60$$

$$C = 0.025 \quad \text{If } 60 < d_{gr}$$

$$n = 1 - 0.56 \log d_{gr} \quad \text{If } 1 < d_{gr} \leq 60$$

$$n = 0.0 \quad \text{If } 60 < d_{gr}$$

$$m = \frac{9.66}{d_{gr}} + 1.34 \quad \text{If } 1 < d_{gr} \leq 60$$

$$m = 1.50 \quad \text{If } 60 < d_{gr}$$

여기서, d_{gr} 은 Ackers와 White (1973)에 의해서 제안된 무차원 유사입경을 나타낸다.

3.2.2 유사 유입 농도

하상재료 자료는 1984년 금강 하상변동 조사보고서(건설부, 1984)와 금강수계종합정비계획(건설부, 1988)에서 수집하였다. 금강 해석대상구간 주요지점의 1984년과 1988년의 하상재료 입경분포 누가곡선 검토에 따르면, 이 구간의 하상재료는 중앙입경이 0.5mm 내외의 세사 및 중사로 이루어져 있음을 알 수 있다. 상류 부근의 하상재료가 하류지점의 하상재료보다 약간 크기는 하지만, 뚜렷한 장강화 현상은 거의 발견되지 않고 있다. 그런데 한국건설기술연구원(1991)은 대청댐의 조정지점부터 규암수위표 구간에 대한 하상변동 연구 시 현지조사를 수행한 결과, 1991년 당시에는 하상장

갑화가 상당히 진전되어 조정지댐 직하류에서는 하상의 직경이 10cm인 호박돌과 자갈로 덮여 있으나, 공주수위표 부근의 하상은 모래로만 이루어져 있다고 보고하였다.

금강의 유수량 측정자료는 건설부에서 1965년 및 1968년 금강 유역 조사 사업시 금강의 용담, 옥천, 수통, 송포, 공주, 규암 수위표의 6개 지점에서 유수량을 실측하여 유하량과 부유수량과의 관계식 (식 3)을 작성한 것이 있으며 이들 자료의 상태가 양호하다고 하였다 (건설부, 1992).

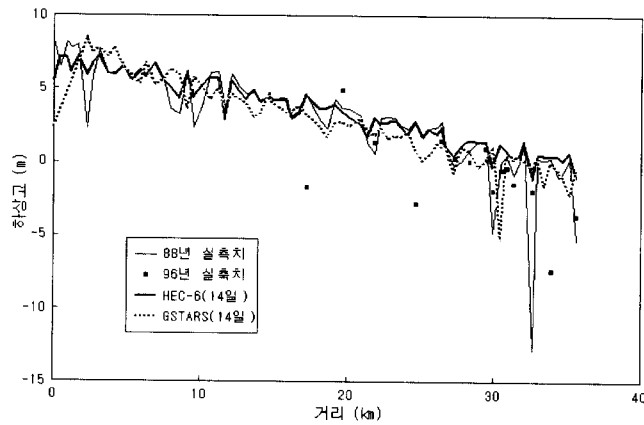
$$Q_s = 1.738 Q_w^{1.43} \quad (\text{단, } A \geq 937 \text{ km}^2) \quad (3)$$

여기서, Q_s 는 부유수량(tons/day)이고 Q_w 는 유하량 (m^3/s)이며 A 는 유역면적(km^2)이다.

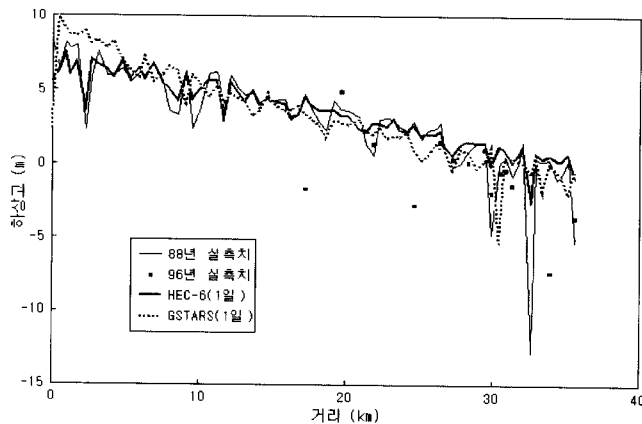
따라서 GSTARS 모형을 이용한 하상변동 모의에 있어서 상류단의 유사유입농도에 대한 경계조건으로서 는 입력유량계열(평균치계열 및 특정치계열)을 근거로 식 (1)에서 주어지는 값을 입력하여 사용하였다.

3.2.3 초기 및 경계조건

본 연구를 위해서 1988년 자료를 초기조건으로 하여 1996년까지 장기 하상변동을 모의하였다. 본 연구에서 사용된 하류단 경계조건으로서의 유량자료는 본 연구가 시작된 1996년 이전의 11년간의 자료인 1986



(a)



(b)

그림 5. HEC-6 모형과 GSTARS 모형에 의한 최심하상고 비교 (a) 평균치계열의 14일 평균유량
(b) 평균치계열의 1일 평균유량

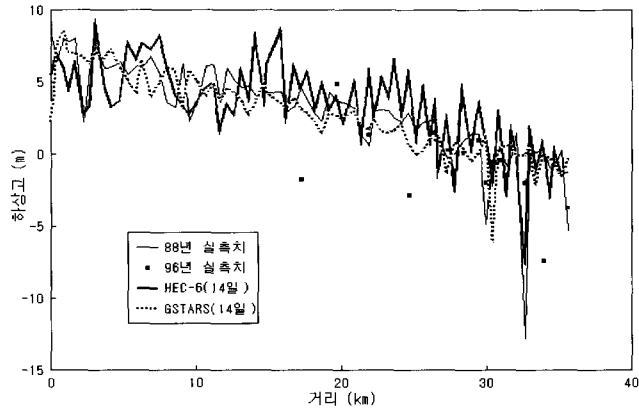
년부터 1996년까지의 규암의 일 수위 및 유량 자료를 이용하였으며, 1년 365일의 각일에 대한 평균치(μ) 계열과 특정치($\mu+2\sigma$) 계열을 적용하여 각 두 가지 계열에 대해 과거 11년에 대한 일평균 유량을 이용하는 경우와 과거 11년에 대한 14일 평균유량을 이용하는 경우의 두 가지로 나누어 모의하였다. 또한, 상류단 경계조건으로서의 유사량-유량 관계곡선식은 건설부(1992)가 제시한 식 (1)을 이용하였다.

3.3 HEC-6 모형과 GSTARS 모형에 의한 결과 비교

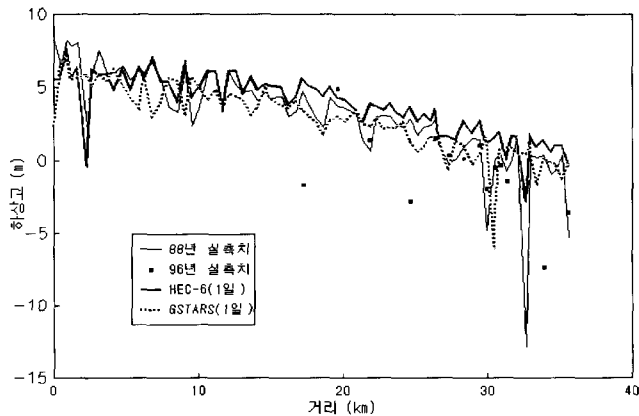
그림 5와 그림 6은 1차원 모형인 HEC-6 모형과 2차원 모형인 GSTARS 모형에 의한 최심하상고의 계산치와 실측치를 비교하여 도시한 것이다. 그림 5는

입력유량으로 평균치 계열을 적용한 경우이고, 그림 6은 입력유량으로 특정치 계열을 적용한 경우이다.

이 그림에서 보면, 하상고 변동의 전체적인 경향에 있어서는 GSTARS 모형의 모의결과와 HEC-6 모형의 모의결과가 유사한 거동을 보이고 있으며 실측치에 근사하게 모의하고 있음을 알 수 있다. 그러나 정량적으로 비교하여 보면 침식량과 퇴적량 모두 두 모형이 똑같이 과소 예측하고 있음이 밝혀졌다. 이러한 과소 예측에 대한 이유는 첫째, 모형이 안고있는 지류의 유사 유입량을 충분히 고려하지 못하는 점과, 둘째, 연구구 간전체에 걸쳐서 1988년까지 수행된 대규모 골재채취를 두 모형 모두 고려하지 못하였기 때문이라고 생각된다.



(a)



(b)

그림 6. HEC-6 모형과 GSTARS 모형에 의한 최심하상고 비교 (a) 특정치계열의 14일 평균유량 (b) 특정치계열의 1일 평균유량

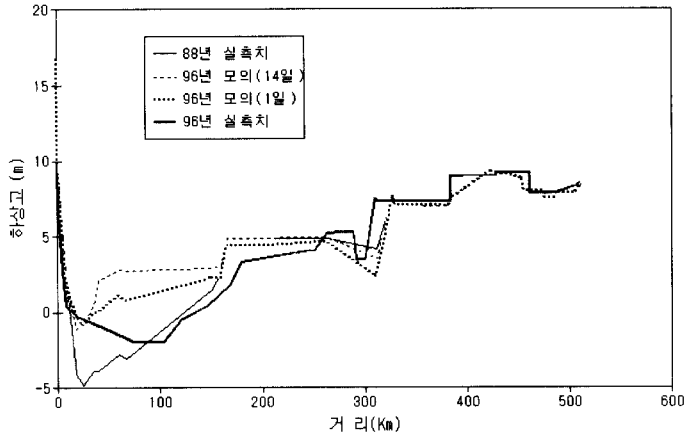


그림 7. 취수구 부근에서의 GSTARS 모형에 의한 횡단하상변동 검토(평균치계열)

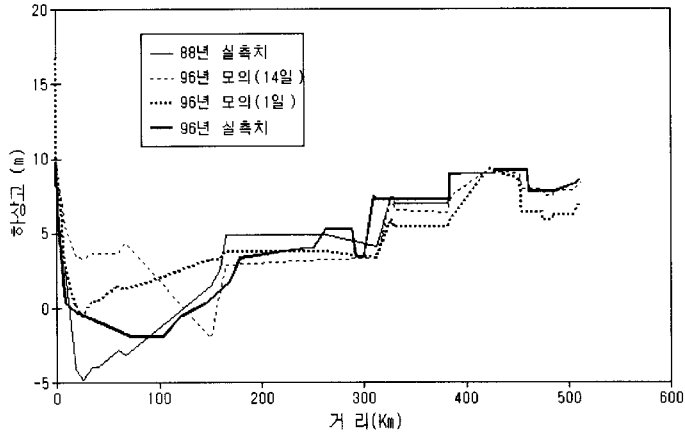


그림 8. 취수구 부근에서의 GSTARS 모형을 이용한 횡단하상변동 검토(특정치계열)

또한 1차원 모형인 HEC-6 모형에서는 세굴구간으로 나타난 구간이 GSTARS 모형에서는 퇴적구간으로 나타나기도 하고 혹은 그 반대의 상황이 나타나는 곳도 있음을 볼 수 있다. 이는 GSTARS 모형에 의한 모의결과에서 일부 단면들의 횡단하상변동 결과(그림 7-그림10)를 보면, 최심하상고는 낮아지더라도 다른 부분의 하상이 높아져 전체적으로 통수단면적은 거의 같아지는 결과를 볼 수 있다. 이와 같이 최심하상고의 변동만으로 세굴·퇴적 구간임을 단정짓는 것은 무리이며 2차원 거동 등을 고려하여 종합적으로 판단하여야 함을 암시해 주고 있는 것이라고 생각된다.

3.4 GSTARS를 이용한 장래의 하상변동 예측

GSTARS모형의 검증 결과를 바탕으로 금강 부여 취수장 취수구를 중심으로 하는 상하류구간에 대해 장래의 하상변동을 예측하기 위하여 1996년 실측시점의 5년후가 되는 2001년까지의 하상변동모의를 수행하였다. 이 때 초기하상으로서 1996년 실측단면을 사용하는 것이 바람직하겠지만 일부 구간에만 실측 단면이 존재하는 관계로 여기서는 해식구간 전 단면에 대해 실측단면을 갖고 있는 1988년도 실측된 하상 실측 자료를 초기 하상 자료로 하여 13년 후인 2001년도의

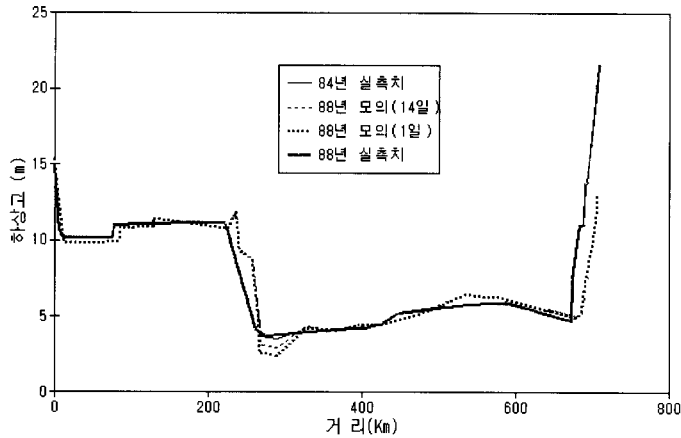


그림 9. 모의 시점 상류 16.1km 지점의 횡단하상변동 (평균치계열)

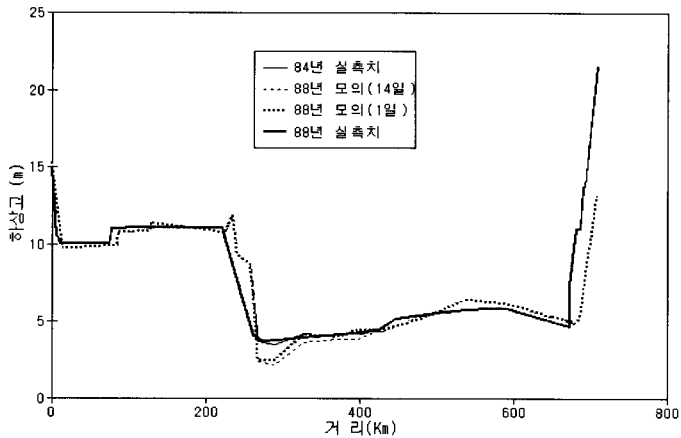


그림 10. 모의시점 상류 약 16.1km 지점의 횡단하상변동 (특정치계열)

장기하상변동을 예측하였다. 입력유량의 지속기간은 1 일보다 14일의 경우가 양호한 결과를 보였으므로 여기서는 14일 평균유량에 대해 평균치 계열과 특정치 계열을 적용하여 분석하였다.

그림 11은 2001년의 하상고의 변동 결과를 도시한 것이다. 기준년인 1988년으로부터 13년 후인 2001년의 하상변동은 그림 11에서 볼 수 있듯이 비교적 하상변동이 크게 나타나지 않고 있다. 또한 그림 12는 취수구 직하류 지점에서의 횡단하상 변동상황을 도시한 것으로 최심하상고가 높아져 계속 퇴적되는 추세를 보여주고 있다.

4. 결 론

본 과업에서는 하상변동의 장기경향에 대한 평가를 예측하기 위한 모형으로서 1차원 모형인 HEC-6 모형과 준2차원 모형인 GSTARS 모형을 대상하천구간인 금강의 공주수위표 하류부터 금천 직하류까지 약 36km를 선정하여 모의한 결과 다음과 같은 사실을 발견하였다. GSTARS 모형에 의한 모의결과와 HEC-6 모형에 의한 모의결과를 비교·분석한 결과 하상고 변동의 전체적인 경향에 있어서는 GSTARS 모형의 모의결과와 HEC-6 모형의 모의결과가 유사한 거동을 보이고 있으며 근사함을 알 수 있었다. 그러나 정량적

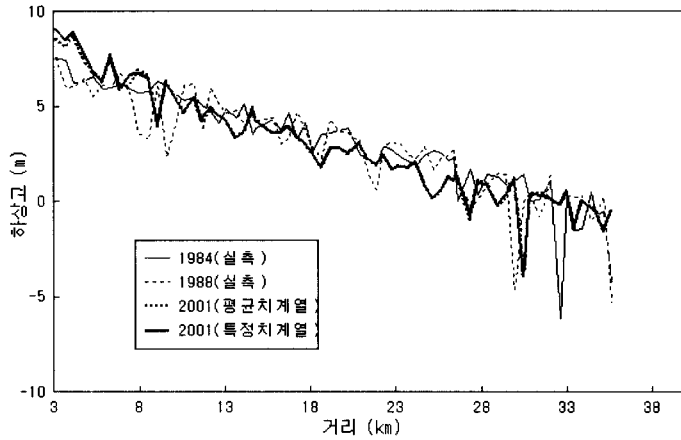


그림 11. GSTARS 모형을 이용한 장래하상변동 예측결과 (14일 평균유량)

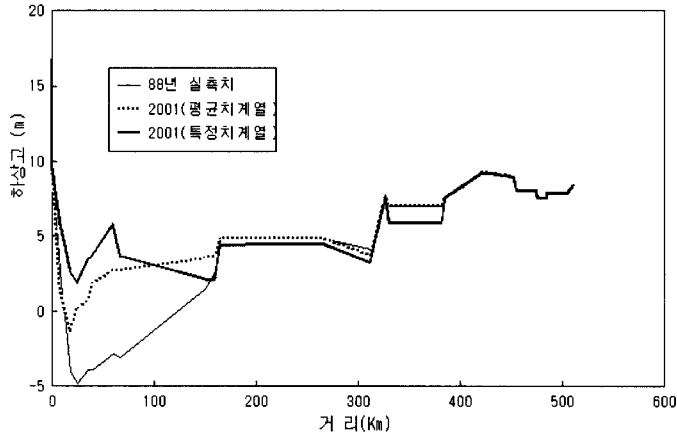


그림 12. 취수구 직하류지점에서의 GSTARS 모형에 의한 장래 횡단하상의 예측 (14일 평균유량)

으로 비교하여 보면 침식량과 퇴적량 모두 두 모형이 똑같이 과소 예측하고 있었다.

장기적인 하상변동을 예측하는 경우에는 골재채취 등에 의한 인위적인 하상변동을 모두 정확하게 고려하여야만 하상의 장기적인 변동을 제대로 모의할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 하상변동의 장기예측의 경우에는 지천의 유량 및 유사량 유입에 대한 정확한 고려가 이루어져야 함을 알 수 있었다.

GSTARS 모형을 사용하여 세굴과 퇴적의 단면내에서의 횡방향 분포를 모의한 결과, 일부 국부적인 하상의 퇴적 및 세굴을 제외하고는 하상의 횡방향 변화의 전체적인 경향에 있어서 GSTARS 모형에 의한

계산치가 실측치에 매우 근사함을 알 수 있었다. 그러나 정량적으로 비교하여 보면, 최심하상고의 종단도 비교시와 마찬가지로 연구구간 전체에 걸쳐서의 침식 및 퇴적량을 모형은 과소 예측하고 있었다. 또한 모의 결과나 관측결과에 의하면 취수구부근에서는 퇴적양상이 진행되고 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1983). 금강 하상변동 조사보고서.
- 건설부 (1984). 금강 하상변동 조사보고서.
- 건설부 (1988). 금강수계 종합정비계획 보고서.
- 한국건설기술연구원 (1991). 하상변동 예측모형의 비

- 교분석, 건설연 91-WR-112.
- 한국건설기술연구원 (1992). 댐설계를 위한 유역단위 비유수량 조사연구 보고서. 건설부.
- 한국건설기술연구원 (1993). 하도환경정비 기초조사 연구. 건설부.
- 한국수자원공사 (1996). 취수구 유사유입 저감기법 개발연구 보고서(1차년도).
- 한국수자원공사 (1997). 취수구 유사유입 저감기법 개발연구 보고서(2차년도).
- Ackers, P. and White, W.R. (1973). "Sediment transport: New approach and analysis," *J. of Hy. Div., ASCE*, Vol. 99, HY11, pp. 2041-2060.
- Asda, H. (1973). "Prediction of sediment bed profile in reservoir and river bed deformation: A practical method and some example of calculation." *Trans., 11th International Congress on Large Dams*, Quest 40-43 Pap., and Geo. Rep., Vol. 1, pp. 381-402.
- Bates, C.C. (1953). "Ration theory of delta formation." *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 37, pp. 2119-2162.
- Bondurant, D.C. (1955). *Report on reservoir delta reconnaissance*. MRD Sediment Series, No. 6, U.S. Army Corps of Engineers, Missouri River Division, Omaha, NE.
- Borland, W.M., and Miller, C.R. (1958). "Distribution of sediment in large reservoirs." *Proceedings, ASCE*, Vol. 84, No. 2, paper 1587.
- Chang, F.E.M., and Richards, D.L. (1971). "Deposition of sediment in transient flow." *Proceedings of ASCE*, Vol. 97 No. HY6.
- Cristofano, E.A. (1953). *Area increment method for distributing sediment in a reservoir*. U.S. Bureau of Reclamation, Albuquerque, New Mexico.
- Croley, T.E., and Karim, F. (1979). *Sedimentation in the Coraville reservoir*. Iowa Institute of Hydraulic Research, Report No. 63, University of Iowa, Iowa, January, pp. 113.
- Harrison, A.S. (1952). "Deposition of heads of reservoir." *Proceeding, Fifth Hydraulics Conference*, University of Iowa, Bulletin 34, pp. 199-225.
- Hobbs, B.L. (1969). *Forecasting distribution of sediment deposits in large reservoirs*. Engineer Technical Letter, No. 1110-2-64.
- Lopez, J.L. (1978). *Mathematical modeling of sediment deposition in reservoirs*. Ph. D. dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collons, Colorado.
- Molinas, A. and Yang, C.T. (1986). *Computer program user's manual for GSTARS*.
- Swamee, P.K. and Garde, R.J. (1977). *Progressive dimunition of reservoir capacity due to sedimentation*. Research Report of the Hydraulic Engineering Section of the Department of Civil Engineering, University of Roorkee, India.
- Yang, C.T. (1973). "Incipient motion and sediment transport," *J. of Hyd. Div., ASCE*, Vol. 99, HY10, pp. 1679-1704.

(논문번호:98-054/접수:1998.08.11/심사완료:1999.02.18)