

교량에서의 총세굴깊이 산정을 위한 장기하상변동분석

An Analysis of Long-Term Bed Elevation Changes to Estimate Total Scour Depth at Bridge Site

이 재 수*

Lee, Jae Soo

Abstract

Total scour depth at a bridge is comprised of three components: long-term changes, contraction scour and local scour. Therefore, the analysis of long-term bed elevation changes is very important in the estimation of total scour depth at bridge sites. In this research, long-term bed elevation changes at the Namhan River Bridge are analysed using CHARIMA and HEC-6 models. The results show that, for 5-year steady normal stream flow, the bed elevation is aggraded by 45cm for CHARIMA model but degraded by 5cm for HEC-6 model. For 5-year unsteady flow, the bed elevation is changed greatly and it has a great influence on the estimation of total scour depth. Therefore, to make a proper estimation of total scour depth, not only contraction scour and local scour, but also long-term bed elevation changes should be estimated precisely.

Keywords: CHARIMA model, contraction scour, HEC-6 model, local scour, long-term changes, scour depth,

요 지

교량지점에서의 총세굴깊이는 세가지 성분 즉, 장기하상변동, 단면축소세굴, 그리고 국부세굴로 구성된다. 그러므로 장기하상변동의 분석은 교량지점에서의 총세굴깊이를 산정하는데 있어 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 CHARIMA모형과 HEC-6모형을 사용하여 남한강교 지점에서의 장기하상변동을 분석하였다. 분석 결과, 5년 동안 정상류로 물이 흐를 경우 CHARIMA모형은 약 45cm의 하상고의 상승을 보여준 반면 HEC-6모형은 약 5cm정도 하상고가 저하되고 있음을 보여주었다. 5년 동안 부정류로 물이 흐를 경우 두 모형 모두 하상고가 심하게 변동됨을 보여주고 따라서 총세굴깊이 산정에 많은 영향을 미치고 있다. 그러므로 총세굴깊이를 적절하게 산정하기 위해서는 단면축소세굴과 국부세굴뿐만 아니라 장기하상변동 또한 정확히 산정해야 하겠다.

핵심어: CHARIMA 모형, 단면축소 세굴, HEC-6 모형, 국부세굴, 장기 하상변동, 세굴깊이

* 전주대학교 토목환경공학과 전임강사

1. 서 론

하천유출에 의한 하상고의 변동은 하천의 계획 및 관리면에서 중요할 뿐만 아니라 하천상에 설치되어져 있는 구조물의 안정에 상당한 영향을 미친다. 유사의 퇴적 및 세굴로 인한 하상고의 변동은 단기적으로는 취수, 배수 및 수운 등의 하천관리에 직접적으로 영향을 미치며 장기적으로는 하천구조물의 안정, 홍수위 및 지하수위 변화, 홍수터의 변화 등 하천 및 유역관리에 지대한 영향을 미치고 있다. 하천상의 교량지점에서도 이와 같은 하상고의 변동을 피할 수가 없는데 단기적인 하상고의 변화로서 통수단면축소로 인한 세굴 및 국부세굴로 나눌 수가 있다. 단면축소세굴은 교량 등 인공구조물에 의해 하천내의 통수단면적이 축소되어 발생하는 세굴이며 국부세굴은 흐름속에 설치된 구조물에 의한 흐름의 간섭 때문에 발생한다. 장기적인 변화는 하상의 상승(Aggradation)과 저하(Degradation)로 하천과 유역에 있어서의 수리특성 및 하천단면변화와 관련이 있다. 이들 장단기적인 변화를 합하여 총세굴깊이를 산정하게 된다(Richardson 등, 1993).

단기적인 유출로 인한 세굴깊이의 산정은 실험을 통해 도출한 공식을 사용하는데 단면축소세굴은 Laursen의 경험공식, 국부세굴은 Colorado State University 공식이 주로 사용되어지고 있다(Richardson 등, 1993). 교량지점에서의 장기적인 하상고의 변화는 HEC-6모형 등과 같은 수리모형을 사용하거나 현재의 변동추세를 사용한 선형외삽 또는 공학적인 판단을 하여 총세굴깊이를 고려하고 있다. 장기적인 하상고의 변화에 대한 연구는 de Vries(1975)의 연구로부터 시작하여 하상에서의 퇴적과 유사의 이동 등 복잡한 역학에 대한 이해의 부족에도 불구하고 부단한 노력을 한 결과 여러 유사모의 모형들이 개발되었는데 미국 공병단 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 처음 개발되어 보완되어온 HEC-6모형(U.S. Army Corps of Engineers, 1991)이 가장 널리 사용되어지고 있으며, IOWA대학에서 개발된 CHARIMA모형(Holly 등, 1990), 미국 샌디에고대학의 FLUVIAL-12모형(Chang, 1990) 등도 사용되어지고 있다. HEC-6모형은 수면곡선이나 하상세굴을 모의하기 위해 국내에서도 많이 적용되었으며(한국건설기술연구원, 1993), CHARIMA모형은 최근에 한강분류의 세굴예측을 하기위해 적용된바가 있다(이재수 등, 1995). 최근에는 미국 공병단과 Brigham Young대학에 의해 개발된 2차원 모형인

TABS모형(U.S. Army Corps of Engineers, 1990b)은 수리학적 모의 뿐만 아니라 유사 및 오염물질 이송도 모의 할 수가 있다.

본 연구에서는 영동고속도로상의 남한강교지점에서의 홍수로 인한 최대세굴깊이를 산정하는데 있어 총세굴깊이의 일부를 구성하는 교량지점에서의 장기적인 하상변동을 산정하기 위하여 과거의 최심하상고의 변화를 분석하고, '95년도의 하천단면측량자료를 바탕으로 CHARIMA모형 및 HEC-6모형을 사용하여 남한강의 일부구간인 섬강합류지점부터 여주수위표까지 장기적인 하상고의 변동을 분석하였다. 또한 이들 모형에서 사용되어지고 있는 각 유사량공식들에 의한 결과를 비교하고 남한강교지점에서의 장기적인 하상고의 변화가 총세굴깊이 산정에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 적용모형의 소개

2.1 CHARIMA모형

CHARIMA모형은 많은 지류 및 고리형하천망에 있어서의 준정류상태의 물과 유사의 이송 및 하상변화를 예측하기위해 1990년 미국 IOWA대학 수리연구소(IIHR)의 Holly와 Yang에 의해 개발되었는데 IALLUVIAL(Karim, 1985)과 CARIMA(Holly와 Cunge 등, 1978)를 조합하여 만들어졌다.

IALLUVIAL모형은 IIHR에서 개발된 모형으로 준정류상태의 물과 유사이송, 하상의 변동 등을 예측하며 하상의 장갑화 및 유사분류과정을 포함하고 있다.

CARIMA모형은 프랑스 SOGREAH의 Holly와 Cunge에 의해 개발된 부정류 모형으로 다지 및 고리형 하천망에 적용할 수가 있다.

2.1.1 지배방정식

CHARIMA모형은 다음과 같은 하도에 있어서의 부정류 흐름과 비균일 유사이동에 대한 1차원 지배 방정식들을 사용하고 있다.

- 물의 연속 방정식

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.1)$$

- 물의 운동량 방정식

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{\partial x} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} = 0 \quad (2.2)$$

- 유사량 예측 함수

$$F_1(Q_s, D_{50}, Q, A, d, S_f, ACF) = 0 \quad (2.3)$$

· 마찰계수 예측 함수

$$F_2(Q, A, D_{50}, S_f, d, ACF) = 0 \quad (2.4)$$

· 유사의 연속 방정식

$$(1-p)B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad (2.5)$$

· 하천의 기하학적 형태

$$A = A(d; x), \quad B = B(d; x) \quad (2.6)$$

· 하상재료의 수리학적 분류(sorting)

$$D_{50}^n \Rightarrow D_{50}^{n+1} \quad (2.7)$$

· 하상 표면의 장갑화(armoring)

$$ACF^n \Rightarrow ACF^{n+1} \quad (2.8)$$

여기서 Q 는 유량, A 는 하천단면적, y 는 수면표고, S_f 는 에너지경사, g_s 는 중력가속도, α 는 운동량 보정계수, z 은 하상표고, Q_s 는 유사량, D_{50} 은 하상재료의 중앙입경, B 는 수표면 폭, ACF 는 장갑화계수, p 는 공극률, K 는 통수능, d 는 수심을 의미한다.

2.1.2 유사량 예측공식

CHARIMA모형에서 사용되는 유사량 예측공식 중 본 연구에서 사용한 방법들은 수정 TLTM방법(Karim, 1985), Engulund-Hansen방법(Engelund와 Hansen 등, 1967), power-law방법으로 다음과 같다.

1) 수정TLTM방법

$$\text{Log}\left(\frac{q_s}{\sqrt{g(s-1)D_{50}^3}}\right) = a_0 + a_1 \log V_1 \quad (2.9)$$

$$+ a_2 \log V_1 \log V_3 + a_3 \log V_2 \log V_3$$

$$V_1 = \frac{U}{\sqrt{g(s-1)D_{50}}}; \quad V_2 = \frac{d}{D_{50}}; \quad V_3 = \frac{u_* - u_{*c}}{\sqrt{g(s-1)D_{50}}}$$

여기서 q_s 는 단위 폭당 전유사량, U 는 평균속도, d 는 평균 수심, s 는 유사의 비중, u_* 는 마찰속도, u_{*c} 는 한계마찰속도, 그리고 a_0, a_1, a_2, a_3 는 Karim과 Kennedy(1982)에 의해 구해진 계수이다.

2) Engelund-Hansen방법

$$g_s = 0.05 \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{D_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)}} \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}} \right]^{3/2} \quad (2.10)$$

여기서 g_s 는 단위폭당 유사량(중량), γ_s 및 γ 는 유사 및 물의 단위중량, $\tau_0 = \gamma d s$ 는 하상에서의 평균 전단응력을 나타낸다.

3) power-law방법

이 방법은 하천에 있어 흐름상태와 유사이송간의 경험적인 관계를 이용한 방법으로 유사가 이동되기위해 필요한 유속보다 초과하는 유효속도(effective velocity)를 사용한다.

$$q_s = a(U - U_c)^b \quad (2.11)$$

여기서 a, b 는 자료로부터 구한 회귀상수, U_c (ft/sec)는 한계유속이다.

2.2 HEC-6모형

HEC-6모형은 미국 공병단 수문공학센터(HEC)에서 Thomas 등에 의해 처음 개발되어 수정보완 되어 오다가 1991년에 미국 수로실험국(Waterway Experimental Station)과 공동으로 보완된 모형으로 상당 기간에 걸친 세굴과 퇴적에 의해 하천의 종단 형태가 변화하는 것을 모의 및 추정하기 위해 개발된 일차원 이동상 개수로 흐름의 수치모형이다. HEC-6모형은 저수지의 퇴적의 평가, 수문 수심을 유지하거나 유지준설량을 줄이기 위해 필요한 하도 축소의 설계, 준설이 퇴적에 미치는 영향의 예측, 대홍수동안의 최대세굴의 예측, 고정상하도의 퇴적의 평가 등에 이용된다.

2.2.1 지배방정식

HEC-6에서 사용되고 있는 지배방정식들은 다음과 같다.

· 물의 연속 방정식

$$\frac{dQ}{dx} = ql \quad (2.12)$$

· 물의 에너지 방정식

$$\left(y + \frac{aQ^2}{2gA^2}\right)_{i-1} = \left(y + \frac{aQ^2}{2gA^2}\right)_i + H_L \quad (2.13)$$

· 유사의 연속 방정식

$$\frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial Q_s}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2.14)$$

여기서 Q 는 유량, q_l 은 단위폭당 측방유량, Q_s 는 부피로 표시된 유사량, B 는 이동상 하상의 하폭, h 는 이동상 하상의 표고, z 은 하상고, a 는 속도수두 보정계수, A 는 단면적, H_L 은 단면간의 수두손실, λ 는 하상토의 공극률을 나타낸다.

2.2.2 유사량 예측공식

HEC-6에서는 11가지의 유사량 예측공식들에 대하여 하상변동을 모의 할 수가 있다. 본 연구에서는 Yang의 공식(Yang, 1973), Ackers-White공식(Ackers와 White 등, 1973) 그리고 Meyer-Peter 와 Muller의 공식(Meyer-Peter와 Muller 등, 1948)에 대하여 모의를 하였으며 각 유사량 예측공식은 다음과 같다.

1) Yang의 공식

$$\log C = 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega D_{50}}{\nu} - 0.457 \log \frac{u_*}{\omega} + \left[1.799 - 0.409 \log \frac{\omega D_{50}}{\nu} - 0.314 \log \frac{u_*}{\omega} \right] * \log \left[\frac{US}{\omega} - \frac{u_* c S}{\omega} \right] \quad (2.15)$$

여기서 C 는 유사의 농도, ω 는 D_{50} 에 대한 평균침강 속도, ν 는 동점성계수, S 는 에너지 경사를 의미한다.

2) Ackers-White공식

$$C = 10^6 \frac{G_{gr} S_g D_{50} \left(\frac{U}{u_*} \right)^n}{d} \quad (2.16)$$

여기서 C 는 유사의 농도, G_{gr} 은 Ackers와 White의 이송함수, S_g 는 유사의 비중, n 은 입자크기에 따른 변환지수를 말한다.

3) Meyer-Peter 와 Muller공식

$$g_s = \left[0.368 \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{D_{90}^{1/6}}{n_s} \right)^{3/2} dS - 0.0698 D_m \right]^{3/2} \quad (2.17)$$

여기서 g_s 는 단위폭당 유사량, Q 및 Q_s 는 총유량 및 하상부분에 해당되는 유량, D_{90} 및 D_m 은 90%통과 하상재료입경 및 유효입경을 의미하고 n_s 는 Manning의 조도계수를 말한다.

3. 모형의 적용 및 분석

남한강교지점에서의 총세굴깊이는 먼저 장기적인 하상고의 변동을 산정한 후 단기적인 홍수로 인한 단면축소세굴깊이와 국부세굴깊이를 산정하여 이들을 합하여 구하게 된다. 본 연구에서는 남한강교지점에서의 총세굴깊이의 일부분인 장기적인 하상고의 변동을 섬강합류지점부터 여주수위표까지 약 15km구간에 대해 앞에서 설명한 CHARIMA모형과 HEC-6모형을 적용하여 구한 뒤 두 모형 및 각 유사량공식에 의한 결과를 비교하여 보고 총세굴깊이에 미치는 영향을 알아 보았다.

3.1 모형의 검정

하상고의 변동에 대한 모의를 하기전에 각 모형을 검정하기 위하여 HEC-2모형(U.S. Army Corps of Engineers, 1990a) 및 WSPRO모형(Shearman, 1990)의 결과와 비교하여 보기로 한다. 고정하상에 대한 수리량을 계산하기 위해 '95년 8월 25일에 발생한 홍수량 17145m³/sec을 HEC-2모형과 WSPRO모형에 적용하였다. 같은 홍수량을 CHARIMA모형과 HEC-6모형에 적용하여 남한강교가 위치한 지점에서의 수위를 산정한 결과 47.21m와 47.39 m로 나왔다. 같은 유량과 같은 지점에 대해서 HEC-2모형은 47.37m, WSPRO모형은 47.4m로 나왔으므로 고정하상에 대한 CHARIMA모형과 HEC-6모형의 결과가 양호하다고 판단할 수가 있다. 참고로 이 홍수가 발생하였을 당시의 교량지점에서의 관측된 수위는 47.3m 였다.

3.2 과거의 하상변화 양상

남한강 구간내의 최심하상고의 변화에 대한 조사를 보면 1965년부터 1982년까지는 세굴 및 퇴적이 반복되다가 1985년에 충주댐이 건설됨으로 인해 상류로부터의 유사의 공급이 차단되고 부분적으로 하상골재를 채취하여 1982년부터 1992년까지는 전반적으로 하상이 저하되었음을 알 수가 있다. 그림 1은 1982, 1992 및 1995년도에 실측한 최심하상고의 변화 양상을 보여주고 있는데 측정거리 53.3km는 여주수위표지점, 60.6km는 남한강교지점 그리고 67.7km는 섬강합류부를 나타낸다.

측점거리 54.5~55, 57.8, 59.3 60.5km 지점에서는 '92년의 하상고와 비교해 볼 때 현저히 저하되고 있는데 이는 장기적인 하상고의 저하라기보다는 이 지점에서 집중적으로 골재 채취가 이루어졌다고 볼 수가 있다.

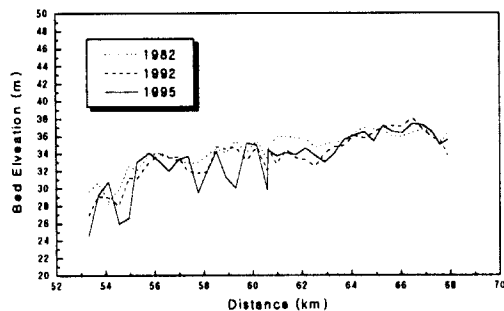


그림 1. 최심하상고의 변화

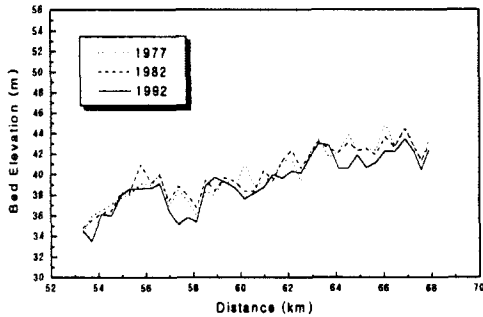


그림 2. 평균하상고의 변화

특히 60.6km 지점이 남한강교가 위치하고 있는 곳인데 바로 하류지점에서 상당한 양의 골재 채취가 이루어진 것으로 보아 교량지점의 세굴에 영향을 많이 미치리라고 생각한다. 평균하상고는 1977년부터 1982년까지는 국부적으로 세굴 및 퇴적이 발생하였으나 전반적으로 큰변화는 없으며 1982년부터 1992년사이에는 전반적으로 저하되고 있음을 알 수가 있다(그림 2).

3.3 장기하상변동 분석

장기적인 하상의 변동을 모의하기 위해 상류경계지점에서의 유입유량과 유사량을 먼저 결정하여야 한다. 섬강합류점 부근에서의 수위-유량관계가 수립되어 있지 않아 유입유량 파악이 곤란하므로 유입유량으로는 여주수위표지점의 평수량을 채택하였다. 여주수위표지점에서의 평수량은 건설부(1992)에서 시행한 '한강수계치수기본계획'으로 부터 충주댐의 축조후인 1985년부터 1991년까지 7년간의 평균이 $164.7\text{m}^3/\text{sec}$ 로 나와 있다. 이와 같은 평수량에 해당하는 하류경계지점의 수위는 여주수위표지점에서의 수심을 수위-유량관계곡선으로부터 구한 2.2m에 여주수위표지점의 영점표고인 33.01m를 더해 약 35.21m가 됨을 알 수가 있다.

이동하상모의를 하기 위해서는 또한 상류경계조건인 하나인 유입유사량의 결정이 필요하다. 본 연구에서는 상류경계지점인 섬강합류지점에서의 유량-유사량관계가 아직 정립되어 있지 않으므로 부득이 여주수위표 지점에서 충주댐 축조후인 1985년부터 1991년까지의 수위관측자료와 수위-유량 곡선도를 사용하고, 유사량 공식으로는 Rijn공식을 적용하여 계산된 유량-유사량관계(건설부, 1992)를 이용하여 상류경계조건으로 사용하였다(표 1). 남한강에 대한 입도분석결과를 보면 전반적으로 자갈이 29.9%이고 모래가 70%이며 실트와 점

표 1. 여주수위표지점의 유사량

유량구간 (m^3/sec)	평균유량 (m^3/sec)	기간 (day)	유사량 (ton/day)	유사량계 (ton)
70~100	85	65	1,260	81,900
100~150	125	100	2,260	226,000
150~200	175	60	3,660	219,600
200~320	260	73	6,460	471,580
320~750	535	41	16,600	680,600
750~1,500	1,125	13	44,800	582,400
1,500~4,370	2,935	13	147,000	1,911,000
계		365		4,173,080

토는 0.1%로 나와 있다. 그러나 본 연구의 대상구간인 여주교로부터 섬강합류지점까지는 자갈이 20.3% 모래가 79.7%로 실트 및 점토는 거의 없는 것으로 나타나 있다.

본 연구에서 단면별 하상재료분포는 하상입경가적곡선이 있는 여주수위표지점, 남한강교지점 그리고 섬강합류지점의 자료를 사용하였고 그 이외의 지점에 대해서는 HEC-6모형에서 이들 값으로부터 보간하여 사용하게 된다. 또한 입력자료로서 각각의 유입유량에 해당하는 유입유사량의 입도크기별 분포가 필요한데 이러한 자료가 구비되어 있지 않으므로 섬강합류지점의 하상재료의 입도분포를 사용하였다.

장기하상변동을 모의하기 위해 상류경계지점에서의 유입유량을 두가지 방법으로 적용하였다. 첫번째는 여주수위표지점에서의 평수량인 $164.7\text{m}^3/\text{sec}$ 를 1년 및 5년동안 정상류로 적용하였고 두 번째는 87년부터 91년까지 5년동안의 유출자료(그림 3)를 사용하여 1년 및 5년 후의 하상고 변화를 알아보았다.

장기하상변동을 모의하기 위해서는 여러유사량 예측 공식중 적절한 유사량공식을 선택하여야 한다. 어떠한 공식을 사용하는가에 따라서 실측 하상변동값과 상당한 차이를 보이게 된다. 하지만 본 연구대상구간인 남한

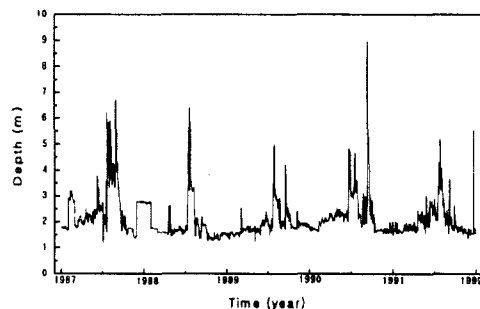


그림 3. 여주수위표지점에서의 5년간 수심

강고지점에 대해 특정한 공식이 적절하다고 판단할 기준이 아직 없고 검증할 실측자료도 미비하므로 본 연구에서는 일반적으로 많이 알려진 예측공식들을 선택하여 분석하기로 한다. CHARIMA모형에서는 TLTM방법, Engelund-Hansen방법, power law방법을 선택하였고, HEC-6모형에서는 Yang, Ackers 와 White, Meyer-Peter 와 Muller공식을 선택하였다.

먼저 CHARIMA모형을 적용하여 평수량을 1년 및 5년동안 유출시켰을 경우에 대한 하상고의 변화가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4(a)를 보면 TLTM방법과 Engelund-Hansen방법은 비슷한 하상고의 변동양상을 보여주고 있는데 power-law방법은 상당히 차이를 보이고 있다. 전반적으로 남한강고지점 하류부에서는 power-law방법을 제외하고는 하상고의 변동이 별로 없는 것으로 나타나 있으나 상류부에서는 다소의 변동이 생겨 최심하상고가 낮은 지점은 상승을 하였고 높은 지점은 하강을 하여 평형상태로 변화하는 양상을 보여주고 있다. 이러한 추세는 그림 4(b)와 같이 평수량을 5년동안 유출시킨 경우 더욱 뚜렷해지고 있다.

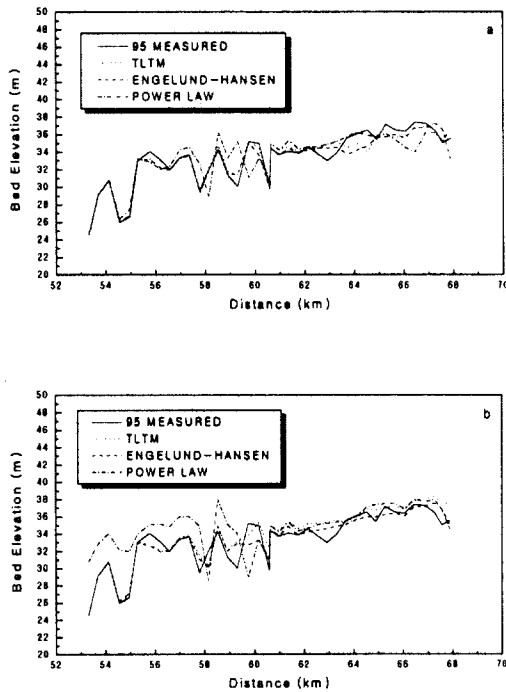


그림 4. CHARIMA모형을 사용하여 평수량을 적용한 경우: (a) 1년간 유출시킨 경우, (b) 5년간 유출시킨 경우

HEC-6모형을 사용하여 평수량을 유출시킨 결과가 그림 5에 나타나 있다. CHARIMA모형과는 달리 적용된 세가지의 유사량 측정방법들이 차이를 보이고 있지 않으며 하상고의 변화가 거의 없게 나타나고 있다. 이는 그다지 크지 않은 평수량을 적용한 것으로 생각할 때 CHARIMA모형보다는 타당성 있는 결과라고 생각할 수가 있겠다.

다음은 상류경계단면에서의 유량 및 유사량을 부정류 상태로 유입시킨 경우인데, 이때 충주댐 축조 후인 1987년부터 1991년까지의 수심(그림 3)에 해당하는 유출량과 이에 상응하는 유사량(표 1)을 적용하여 1년 및 5년 후의 두 모형에 의한 하상고의 변동을 모의 하였다.

그림 6은 CHARIMA모형을 적용한 결과를 보여주고 있다. 그림 4의 정상류를 적용하였을 때와는 달리 전반적으로 하상고가 저하되고 있음을 알 수가 있다. 이 경우 역시 TLTM방법 및 Engelund-Hansen방법은 비슷한 결과를 보여주고 있는데 power-law방법은 두 방법과 상당한 차이를 보이고 있다. 5년 동안 유출시킨 경우 변화폭이 더욱 심화되고 있다.

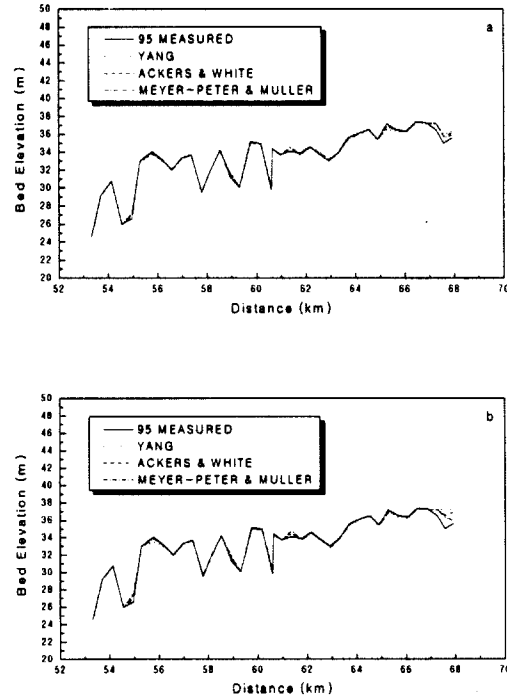


그림 5. HEC-6모형을 사용하여 평수량을 적용한 경우: (a) 1년간 유출시킨 경우, (b) 5년간 유출시킨 경우

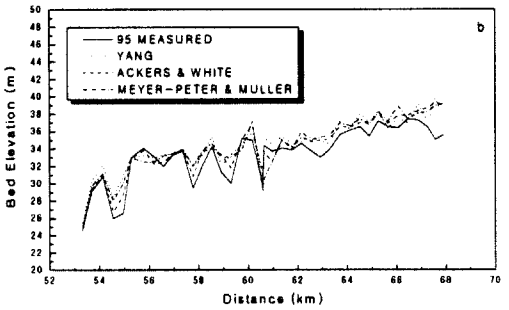
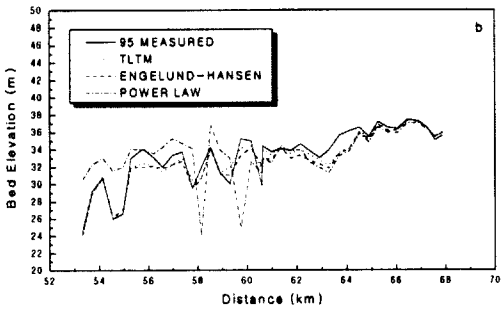
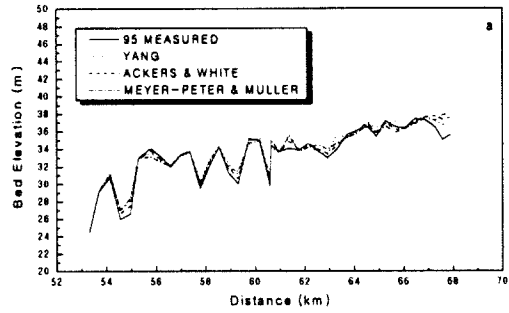
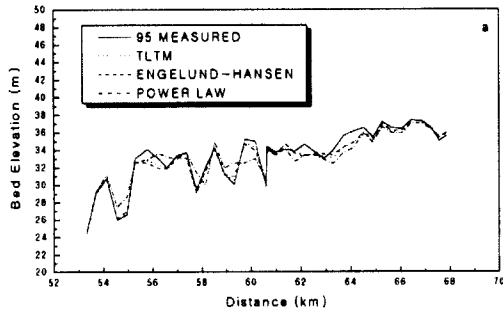


그림 6. CHARIMA모형을 사용하여 부정류를 적용한 경우: (a) 1년간의 유출에 의한 경우, (b) 5년간 유출에 의한 경우

그림 7. HEC-6모형을 사용하여 부정류를 적용한 경우: (a) 1년간의 유출에 의한 경우, (b) 5년간 유출에 의한 경우

HEC-6모형을 사용하여 부정류를 적용한 경우가 그림 7에 나타나 있다. 정상류를 적용하였을 경우와 마찬가지로 1년동안 부정류를 유출시킨 경우도 하상고의 변화가 별로 없으며 3가지 방법 모두 비슷한 결과를 보여주고 있다.

CHARIMA모형의 경우 최심하상고가 전반적으로 저하되고 있으나 이와는 반대로 HEC-6의 경우 전반적으로 하상고가 상승하고 있다.

3.4 총세굴깊이에 미치는 영향

앞에서 CHARIMA모형과 HEC-6모형을 사용하여 섬강합류지점부터 여주수위표지점까지의 장기적인 하상고의 변동을 살펴보았다. 본 연구의 목적이 남한강교지점에서의 총세굴깊이를 산정하는데 있어 장기하상변동이 미치는 영향을 분석하는 것이므로 각 모형과 유사량측정방법에 대한 남한강교지점에서의 장기적인 하상고의 변동에 관심이 있으며 이러한 변동치들이 표 2에 기록되어 있다. 표 2에서 보인 바와 같이 평수량인 $164.7\text{m}^3/\text{sec}$ 를 1년과 5년동안 유출시켰을 경우

CHARIMA모형과 HEC-6모형 모두 하상고의 변화가 그다지 크다고 볼 수는 없다. 하지만 '87년부터 '91년까지 5년간의 유량을 부정류상태로 유출시켰을 경우에는 교량지점에서도 하상고의 변동이 심하게 나타나고 있다. 남한강교에서의 단면축소세굴 및 국부세굴에 관한 연구(윤용남 등, 1997)로부터 산정된 남한강교 지점에서의

표 2. 각 모형에 대한 남한강교지점에서의 장기하상변동(단위 m)

모형	유출	정상류		부정류	
		1년	5년	1년	5년
CHARIMA	TLTM	+0.55	+0.60	-0.49	-0.38
	E - H	+0.08	+0.19	-0.34	-1.45
	P - L	+0.56	+0.56	-0.20	-1.45
HEC-6	YANG	-0.05	-0.05	-0.25	+0.91
	A - W	-0.04	-0.04	+0.01	-0.75
	M-P-M	-0.02	-0.04	+0.64	-3.86

+ : 하상상승, - : 하상저하

표 3. 남한강교 각 교각별 세굴깊이

교각		교각별 세굴깊이 (m)				
		4년	5년	6년	7년	
단면 축소 세굴	WSPRO	2.24	2.24	2.24	2.24	
	HEC-2	2.53	2.53	2.53	2.53	
	TABS	2.05	2.05	2.05	2.05	
교각 국부 세굴	WSPRO	a	5.51	5.71	5.75	5.66
		b	10.14	10.13	9.72	9.47
	HEC-2	a	5.34	5.34	5.34	5.34
		b	9.62	9.37	8.95	8.87
	TABS	a	5.32	5.41	5.16	5.06
		b	9.52	9.54	8.74	8.53

a: 교각노출 고려안함, b: 교각노출 고려함

단면축소세굴깊이와 교각에서의 국부세굴깊이(표 3)를 참조하면, HEC-2모형을 사용하여 수리량을 구한 후 경험공식에 의해 세굴깊이를 구한 결과 교각폭을 2m로 하였을 경우 단면축소세굴 깊이는 약 2.5m 그리고 교각에서의 국부세굴깊이는 약 5.3m로 산정되었다. 또한 우물통기초가 노출되어 이를 고려하면 교각에서의 국부 세굴깊이는 약 8.9 ~ 9.6m로 산정되었다. 이와 같은 값들과 비교해볼 때 평수량을 유출시켰을 경우의 장기 하상변동은 총세굴깊이 산정에 그렇게 큰 영향을 미친다고 보이지는 않는다. 하지만 실제유출인 부정류인 경우 장기하상변동은 총세굴깊이에 상당한 영향을 미치므로 정확한 하상고의 변동을 산정해야 한다.

4. 결 론

이상과 같이 남한강교지점에서의 총세굴깊이를 예측하기 위해 총세굴깊이를 구성하고 있는 장기하상변동을 CHARIMA모형과 HEC-6모형을 사용하여 산정하여 보았다. 대상지점인 남한강교지점에서의 장기적인 하상고는 평수량을 5년 동안 유출시킬 경우 CHARIMA모형은 평균 45cm의 하상고의 증가를 보이고 HEC-6모형은 평균 5cm의 저하를 보이고 있어 단면축소세굴 및 국부세굴과 비교할 때 큰 영향을 미친다고 볼 수는 없으나 5년간의 실제유량을 유출시킬 경우 상당한 변화를 보여 총세굴깊이 산정에 있어 중요한 영향을 미치고 있다. 남한강지점에서는 CHARIMA모형이나 HEC-6모형 모두 장기적으로 볼 때 상당히 세굴되고 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 주목할 결과는 전반적으로 볼 때 CHARIMA모형의 경우 주로 하상의 저하가 발생하는 것으로 모의 되었는데 HEC-6모형은 이와 반대로 하상이 상승하는 것으로 모의 되었다. 이러한 결과는

두 모형의 구조와 입력자료구성 및 유사량 예측방법이 서로 다르기 때문인 것으로 생각된다. 또한 입력자료로서의 상류경계조건인 유입유사량이 구비되어 있지 않기 때문에 여주수위표에서의 유량-유사량관계를 사용하고 유입유사량의 입도분포는 상류경계지점의 하상재료 분포를 사용한 것이 결과에 대한 신뢰도를 줄인다고 할 수 있다. 본 연구로부터 어느 모형이 적용성이 높은지에 대해 속단하기는 어렵지만 본 연구구간인 남한강교 지점에 대해 HEC-6모형은 평수량인 경우 유량, 유속 및 한계유속 등을 고려할 때 타당성있는 결과를 보여주고 있으나 CHARIMA모형은 변동성이 크고 특히 사용된 유사량 예측공식에 따라서도 많은 변동을 보이고 있어 신뢰도가 낮아진다고 할 수 있다.

하천 특히 교량지점에서의 하상의 장기변화는 수심, 유량, 하천폭, 유사량, 하상재료 등 많은 변수가 관계되기 때문에 정확히 예측하기가 어렵다. 또한 여러 유사량 예측공식마다 서로 차이가 많이 있으므로 아직까지는 절대적인 수치보다 변화경향정도를 예측하는 정도이다. 이와 같은 관점에서 볼 때 연구결과로부터 교량지점에서의 총세굴깊이를 산정할 때에는 장기적인 하상고의 변화를 무시할 수가 없으며 보다 정확한 모의를 할 수 있도록 국내상황에 적합한 모형을 개발할 필요성이 있다고 하겠다. 또한 이에 수반하여 지속적인 하상고 변동의 실측, 입도분포 및 주요지점에서의 정확한 유량-유사량관계가 정립되어야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 전주대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었음을 밝히며 이에 감사의 뜻을 표한다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1992). 한강수계치수기본계획(하천정비 기본 계획).
- 한국건설기술연구원 (1993). 평형하상경사 추정방법의 개발.
- 윤용남, 이재수, 호정석 (1997). "교량에서의 세굴깊이 산정 및 산정치와 실측치의 비교분석." 한국수자원 학회논문집, 제30권, 제5호, pp. 477-485.
- 이재수, 윤용남 (1995). "한강분류의 하상변동에 관한 연구." 대한토목학회논문집, 제15권, 제4호, pp. 875-884.
- Ackers, P. and White, W.R. (1973). "Sediment transport: New approach and analy-

- sis." *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 99, HY-11.
- Chang, H.H. (1990). *Generalized computer program FLUVIAL-12 mathematical model for erodible channels*. User's Manual.
- de Vries, M. (1975). *Solving river problems by hydraulic and mathematical models*. Delft Hydraulic Laboratory, Publication No. 76 II.
- Engelund, F. and Hansen, E. (1967). *A monograph on sediment transport in alluvial streams*. Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark.
- Holly, F.M.Jr. and Cunge, J.A. (1978). *Unsteady flow simulation in looped river system*. SOGREAH Report, Grenoble, France.
- Holly Jr., J.C. Yang, P.Schwarz, J. Schaefer, S.H. Hsu and R. Einhellig. (1990). *Numerical simulation of unsteady water and sediment movement in multiply connected networks of mobile-bed channels*. Iowa Institute of Hydraulic Research, Report No. 343, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, July.
- Karim, M.F. and Kennedy, J.F. (1982). *Computer-based predictors for sediment discharge and friction factor of alluvial streams*. Iowa Institute of Hydraulic Research, Report No. 242, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, December.
- Karim, M.F. (1985). *IALLUVIAL : Analysis of sediment continuity and application to the Missouri river*. Iowa, Institute of Hydraulic Research, Report No. 292, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, December.
- Meyer-Peter, E. and Muller, R. (1948). "Formulas for bed-load transport." *Report on 2nd Meeting of International Association for Hydraulic Research*, Stockholm, Sweden.
- Richardson, E.V., Harrison, L.J., and Davis, S.R. (1993). *Evaluating scour at bridges*. 2nd edition. Hydraulic Engineering Circular No. 18, Federal Highway Administration.
- Shearman, J.O. (1990). *User's manual for WSPRO-A computer model for water surface profile computation*. Federal Highway Administration, FHWA-IP-89-027.
- U.S. Army Corps of Engineers (1990a). *Waterway surface profile, User's manual: HEC-2*. Hydraulic Engineering Center.
- U.S. Army Corps of Engineers (1990b). *Generalized computer program system for open-channel flow and sedimentation, TABS system, Volumes 1-2*. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- U.S. Army Corps of Engineers (1991). *Scour and deposition in rivers and reservoirs, User's manual: HEC-6*. Hydraulic Engineering Center.
- Yang, C.T. (1973). "Incipient motion and sediment transport." *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 99, HY10.

〈최종본 접수일 : 1997년 11월 19일〉