

〈 論 文 〉

홍수시 한강 하류부의 하상변동에 관한 연구
 A Study of River-Bed Variation from Goan
 to Indogyo due to Flood in Han River

박 정 응* , 정 대 석**
 Park, Jung Eung·Jeoung, Dae Seouk

Abstract

The river-bed variation and the sediment transport in an alluvial stream are very complicated physical phenomena, especially in a stream where the dam construction prevents the supply of earth and sand from upper tributaries. Therefore, the mathematical modeling is needed to establish. The purpose of this study is to apply river-bed variation to the Han River downstream by the conception of gradually varied unsteady flow instead of that of steady flow in order to decrease errors. For the variation and forecast of river-bed, the numerical analysis has been made in this study by way of discharge variation and river-bed variation.

In conclusion, the numerical analysis shows that river-bed variation, sediment transport, and their forecast have similarity to natural phenomena and that river-bed variation is greatly affected in sediment transport by discharge variation and retention time (duration). Therefore, the errors of numerical analysis can be reduced by the application of flood data instead of continuous discharge data.

요 지

댐 건설로 인하여 상류로부터 토사공급이 중단 상태인 하천에 있어서의 하상변동이나 유사 이송 현상은 상당히 복잡한 물리적 현상이기 때문에 이에 관련된 수치모형의 설정이 필요하다. 본 연구에서는 하상변동에 대한 수치해석방법으로 정류개념보다는 점변부정류 개념을 적용하였으며, 홍수기록과 하상변동에 관한 자료가 비교적 풍부한 한강하류부에 이 수치모형을 적용하여 유량변화(홍수기록, 특정계획유량) 및 하상고 변동(기존, 계획)을 모의 하였다.

* 서울산업대학 토목공학과 교수

** 경희대학교 토목공학과 박사과정

1. 서론

최근에 있어서 국토 개발 사업, 공업단지 조성 사업 등 공공 토목사업의 급진적인 확대에 따라 하천에서의 골재 채취량은 토사이송량을 훨씬 초과하고 있다. 이로 인한 하상저하는 호안이나 교각 등에 피해가 예상되고 있으며^{1, 4)} 반면에 홍수의 소통 능력 증대와 천정천의 해소 및 내수 배제를 촉진시키는 일면도 있다.^{1, 4, 5)} 일반적으로 하천은 모두가 토사를 포함하고 있기 때문에 강물이 흐르는 부분에 퇴적되거나 세굴되어진다. 이러한 현상 때문에 예상했던 공사 기간에 차질이 생길 수도 있으므로 치수공정은 퇴적물 문제를 고려하여야 한다.^{1, 8)} 퇴적물 이송현상을 해석하고자 할 때에는 부정류의 관점에서 하천의 하상변동모형을 이용해야 하는데 이는 크게 물리적 모형과 수학적 모형으로 나눌 수 있다.

이동상 수로를 이용한 모형실험은 주요한 물리 모형의 하나이다. 그러나 물리모형을 갖추므로서 비교적 정확한 하상지형의 국부변화를 예견할 수 있으나, 적절한 모형척도는 결정하기가 매우 어렵다. 그뿐만 아니라 서로 다른 하도 및 퇴적물은 각기 별개의 모형을 만들어야 하므로 상당한 시간이 걸리며 번거롭다. 부정류의 수학적 모형은 지형변화와 하도 구간변형으로 인한 상이한 통계 자료의 적용 이외에는 모두 동일한 모형을 사용할 수 있으므로 응용에 있어서 비교적 편리하다.

본 연구는 하상변동에 대한 수치해석방법으로 종전에 이용한 정류개념보다는 점변부정류 개념을 적용하여 수치해석의 정도를 높이고 실용화함으로써 자연현상과의 오차를 줄일 수 있는 토사이송현상 및 하상변동에 대한 주요 특성 유사이송모형으로서 해석하는데 있다.

하상변동에 대한 수치해석을 하기 위하여 점변부정류의 정립된 기초이론을 한강하류부에 적용하여 유량변화에 따른 기존하상과 계획하상 사

이에 토사이송현상 및 하상변동 예측을 하였다. 본 연구에서 대상으로 한 지역은 한강 하류부 중에서도 고안 지점으로 부터 한강 인도교 까지로 제한하였다.

2. 점변부정류의 기본이론

하천에서의 점변부정류(gradually varied unsteady flow)는 거시적인 역학의 관점에서 여러 가지 경계층 및 유체의 내재현상을 무시한 것으로 하나의 긴 파로 볼 수 있다.

점변부정류란 유속 및 수심의 함수이며 거리 및 시간의 변화에 따라 모두 상대적으로 작아진다. 점변부정류개념을 만족하기 위한 기본 가정은 기초로 그림 2-1과 같은 하상단면의 기하학적 성질을 고려하여 흐름방향의 변화 및 측류에 따른 기본방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.^{1, 8)}

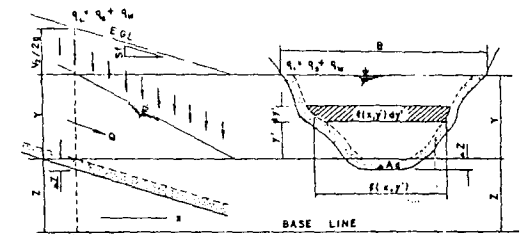


Fig. 2-1. River cross section

흐름의 연속방정식

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_L = 0 \quad (2-1)$$

흐름의 운동방정식

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\beta \rho Q V)}{\partial x} + g A \frac{\partial(\rho y)}{\partial x} + \rho g A \frac{\partial z}{\partial x} + \rho g A S_r = \rho q_L V_L \quad (2-2)$$

토사의 연속방정식

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + p \frac{\partial A_s}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_s = 0 \quad (2-3)$$

여기서,

x : 흐름방향의 수평거리 [L], t : 시간 [T]
 A : 통수단면적 [L²], Q : 유량 [L³T⁻¹]
 V : 평균유속 [LT⁻¹], y : 수심 [L]
 g : 중력가속도 [LT⁻²], β : 운동량 보정계수
 P : P_w/P_s , P_w : 윤변 [L]
 Q_s : 퇴적물통과량(유사량) [L³T⁻¹], g_s : 유사이송율 [WT⁻¹]
 A_s : 퇴적층(sediment layer) 또는 하상층(bed layer)의 면적 [L²]
 ρ : 유사를 함유한 물의 밀도 [ML⁻³]
 Z : 기준면으로 부터 수로 바닥까지의 높이 [L]
 q_L : 단위길이당 수로의 측방향에서 유입하는 합사수류 유입량 ($=q_s + q_w$) [L²T⁻¹]
 q_s, q_w : 단위길이당 수로의 측방향에서 유입하는 퇴적물의 유입량 및 유수량 [L²T⁻¹]
 한편 단면의 퇴적은 균등하다고 가정하면 시점의 하상고는 이미 알고, 퇴적으로 기인된 하상고의 변화량은 퇴적층 단면의 함수식으로 표시된다.

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} = P_w \frac{\partial Z}{\partial t} \quad (2-4)$$

부정류상태에서의 완전한 운동방정식은 없으므로 실측치를 토대로 경험식을 인용하여 유사이송율을 유량 및 수심의 함수 또는 유속 및 수심의 함수로 표시하였다.

$$g_s = f(yQ) \quad (2-5-1)$$

$$g_s = f(yV) \quad (2-5-2)$$

실제로 유사이송율은 유체성질, 퇴적물의 성질, 수로의 기하학적성질 및 통수조건에의 함수이다.⁶⁾
8. 18)

따라서 이송율 g_s 는 다음과 같이 E_s(2-6)으로 나타낼 수 있다.

$$g_s = f(\rho_w, \nu, \rho_s, d_s, \sigma_s, wBQ) \quad (2-6)$$

여기서,

ρ_w : 유체밀도 [ML⁻³]
 w : 퇴적물입자의 연직침강속도 [MT⁻¹]
 ν : 유체의 동점성계수 [L²T⁻¹]
 ρ_s : 퇴적물 밀도 [ML⁻³]
 d_s : 퇴적물의 기하평균입경 [L]
 B : 수면폭 [L]
 σ_s : 퇴적물 입경분포곡선의 기하표준편차
 이미 발표된 많은 공식들은 다음과 같이 y 및 V 의 역승 또는 y 및 Q 의 역승으로 표시하고 있다.^{17), 18), 20)}

$$g_s = ay^n V^n \quad (2-7-1)$$

$$g_s = ay^n Q^n \quad (2-7-2)$$

평형상태에 이르지 못한 하도는 정류상태에 있을 때도 하상은 여전히 퇴적 또는 세굴된다. 그러나 유사공식은 일반적으로 평형상태의 유사이송공식을 사용한다. 그러한 이유는 이미 Gessler⁸⁾의 해석에서와 같이 오차가 심각한 것은 아니며, 또 현재 비평형상태의 유사이송현상에 대한 이해가 부족한 까닭이다.

부정류 유사이송과정 중에 수리조건이 변화하면 유사량도 변화하므로 수리조건이 정류상태에서 갖추어야 할 이송율로 조정되어야 하므로 이때 지체시간은 없게 되지만, Grithiths¹⁶⁾와 Gee¹⁵⁾의 실험결과에 의하면 실제로 지체시간이 존재하는 것으로 알려졌다. 그러나 자연하천의 유량 변화는 연속적이고 점차적으로 변하는 것이다. 역시 자연하천 중에 유량이 Q_1 으로 부터 점차적으로 Q_2 에 이를때 경과된 시간은 결코 Q_1 의 하상형태에 부합하는 조정까지 소요되는 시간보다 더 짧은 것이 아니다. 그러므로 유량이 Q_2 로 변할 때 하상형태도 거의 Q_2 의 형태로 부합하게 된다. 다시 말해서 이송율도 거의 Q_2 의 이송율에 부합되게 되므로 지체시간은 무시할 수 있다.

3. 수치 해석

하천의 점변부정류 해석에 사용된 기본 방정식인 유사방정식의 수치해석은 특성법^{8), 11), 12), 19)}이나 차분법⁹⁾으로 해결된다.¹⁾

특성법은 다시 2특성곡선법과 3특성곡선법으로 나누며 편미분 방정식인 Eq. (2-1), (2-2), (2-3)을 이용하는 유한 차분법은 직접법과 간접법으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 특정단면의 수리조건을 구하여야 하는 점을 고려하여 유한 차분법^{9), 10), 14)}으로 부정류 상태에서의 유사이송을 연산하였다.

유한 차분법 중 간접법은 Δt 시간내의 기준면으로부터 수로바닥까지의 높이 변화를 무시한 후, Δt 종료시에 수리조건을 구하고, 그 다음이 수리조건으로 Δt 종료시의 기준면에서부터 수로바닥까지의 높이를 계산하여 이 높이에 따라 Δt 종료시의 수리조건을 수정한 후, 곧 다음 차례에 단위시간의 연산을 진행한다. 그러나, 수로바닥까지의 높이 변화량이 비교적 클 때는 많은 오차가 발생된다. 홍수와 같이 흐름상태의 변화가 비교적 심한 경우는 이러한 오차의 수정이 필요하다. 그래서 본 연구에서는 연산과정 중에 수정 절차를 추가하였으며, 이를 수정 간접법이라 하였다.

수정간접법은 기본적으로 간접법이다. 그러나, 상술한 바와 같이 연산과정 중 Δt 종료시에 수리조건 및 기준면에서부터 수로바닥까지의 높이를 구한 후 다시 이 높이에서 높이의 차분함에 관한 것을 수정하여 재차 연산하여 더욱 정확한 수리조건 및 기준면에서 수로바닥까지의 높이를 구한 후에 다음 연산을 진행한다.

연산의 흐름도는 그림 3-1에 나타냈으며 진행절차는 다음과 같다.

1) 입력자료 : 수로의 기하조건, 저항계수, 하상재료 대표입경, 경계조건(유량 혹은 수위곡선 또는 수위-유량곡선)

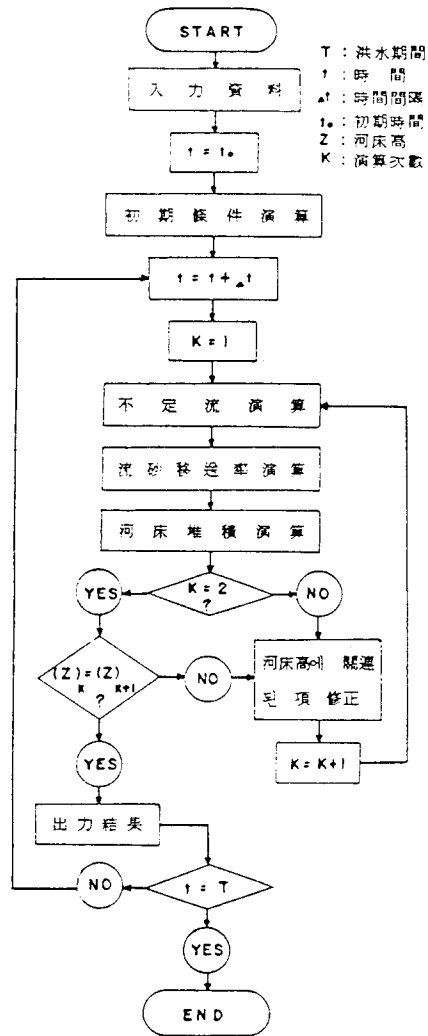


Fig. 3-1. Flow chart of modified indirect method.

2) 초기조건의 연산 : 실측한 각 단면의 초기조건을 이용.

3) 제 1차 : 부정류연산 : Δt 시간 중 기준면에서부터 수로바닥까지의 높이가 불변한다고 가정하였으며 Eq. (2-1), (2-2)의 두 방정식 중에 단지 Q 및 y 의 미지수만 존재하므로 점변부정류연산으로 Δt 종료시의 수리조건을 선형완전음해법으로 구한다.

4) 제 1차 유사이송연산 : 제 1차 부정류연산에서 구한 Δt 종료시의 수리조건을 이용, 실측

유사이송을곡선 혹은 유사이송공식을 사용하여 연산한다.

5) 하상퇴적물연산 : 제 1차 유사이송을 연산에서 구한 유사이송율과 Eq.(2-3), (2-4)로부터 Δt 종료시의 퇴적량은 기준면에서 부터 수로바닥까지의 높이의 변화량으로 산출할 수 있다.

6) 재차 단위시간 Δt 의 부정류연산 : 하상퇴적물 연산에서 구한 기준면으로 부터 수로바닥까지의 높이는 Eq.(2-1), (2-2)에서 높이에 관련되는 항의 차분식을 수정할 수 있으므로 재차 단위시간의 부정류연산을 진행하여 Δt 종료시의 수리조건을 구할 수 있다.

7) 재차 단위시간의 유사이송 및 하상퇴적물 연산 : 재차 단위시간 Δt 의 부정류연산에서 구한 수리조건에 의하여 네째 및 다섯째의 두 절차와 동일한 방법으로 Δt 종료시의 유사이송율, 수로바닥의 퇴적량 및 기준면에서 부터 수로바닥까지의 높이를 산출할 수 있다.

8) 수리특성조정 : 재차 단위시간의 유사이송 및 하상퇴적물 연산에서 구한 수로바닥의 퇴적량 및 높이와 앞의 절차에서 구한 퇴적량 및 높이와 비교하여 차이가 크면 재차 연산에서 얻은 기준면으로 부터 수로바닥까지의 높이로 Eq.(2-1), (2-2) 중에 높이에 관련되는 항을 수정하고 여섯째, 일곱째 절차를 되풀이하여 전후 두차례의 퇴적량의 차가 미소할 때 까지 반복한다.

9) 차기 연산 : 상기 절차에서 얻은 수리 특성으로 세번째 부터 여덟번째 까지의 절차를 되풀이하여 부정류연산이 끝날 때까지 반복한다.

4. 모형 검증

유사이송율은 유체의 성질, 퇴적물의 성질, 수로의 기하학적 성질 및 통수조건에 함수로 알려져 있고,^{6, 8, 18)} 수심 및 유속의 멱승 또는 수심 및 유량의 멱승으로 표시할 수 있다.^{17, 18)} 그래서, 본 연구에서는 댐 건설로 인하여

상류로 부터 토사공급이 중단된 하도에서 초기 조건의 고안지점은 점정구간으로 선정하기에는 불합리하므로 연산결과의 검증으로는 하류부인 인도교지점을 택하여 유량검정과 적용된 유사공식의 검증으로 나누어 검증을 실시하였다.

홍수 I(1981년 7월 1일 6시 ~ 7월 8일 0시)에 대한 인도교 지점의 관측된 침투유량은 10,150 CMS와 9,000 CMS이고 연산된 침투유량은 9,800 CMS와 7,300 CMS로서 오차는 각각 3.4%와 18.9% 정도로 연산된 결과가 더 적게 나타났다(그림 4-1).

홍수 II(1981년 7월 11일 10시 ~ 7월 15일 19시)에 대한 인도교 지점의 경우 관측유량이 9,400 CMS, 연산유량이 9,000 CMS로서 연산유량이 2.1% 더 작게 나타났다(그림 4-2). 상대적으로 초기조건으로 사용된 고안 지점보다 인도교 지점의 침투유량이 적게 나타난 것은 수로에 의한 홍수조절의 효과로 사료된다.

총 유사량은 부유사량, 소유사량으로 각각 분리하여 연산하였다. 연산된 유사량과 기존에 조사된 유량과 비교검증하기 위하여 산업기재개발공사^{2, 3)}에서 인도교 지점에 유사량을 적용하여 산정한 바가 있는 Brown 공식^{6, 7)}, Einstein 공식¹³⁾, Toffaleti 공식 및 건설부에서 1964~1972년에 걸쳐 실측된 자료와 비교 검증하였다.

하상변동의 상황 및 예측을 하기 위하여, 유사이송모델로 부터 인도교 지점에서 연산된 유사량을 입력자료에 따라 홍수 I, II와 특정유량(Q=25,000 & 12,000 CMS)에 대하여 그림 4-3, 4-4에 나타내었다.

그림 4-3, 4-4에 나타난 기존 하상에서의 유량에 따른 유사량 분포도를 보면 홍수 I, II 및 특정유량에서는 총 유사량이 Brown식에 접근하였으나 계획 하상고에 특정유량 통과시에는 Toffaleti 공식과 실측치의 중간에 접근하였다. 이는 국립건설시험소³⁾에서 계획 하상고에 대해 한강 하류부 이동상 수리모형실험에 적용한

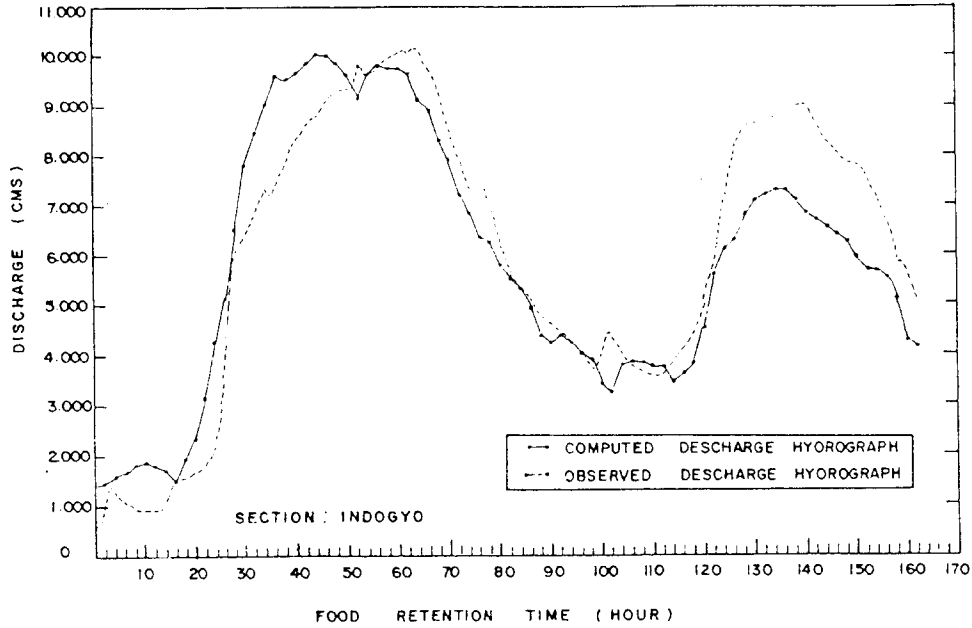


Fig. 4-1. Observed and computed discharges at INDOGYO. (Flood of 06:00, July 1~00:00, July 8, 1981)

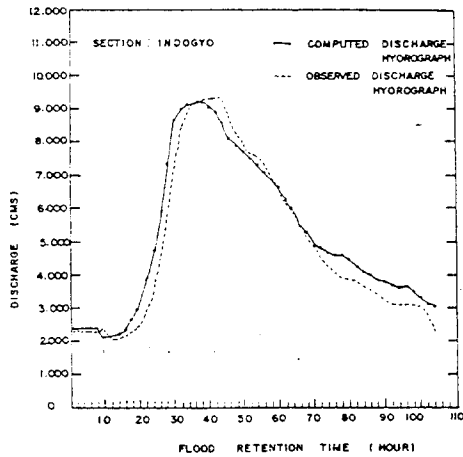


Fig. 4-2. Observed and computed discharges at INDOGYO (Flood of 10:00, July 11~19:00, July 15, 1981)

Brown 공식과는 상이하게 나타났다 이러한 차이점은 유량과 유사량과의 관계에 있어 유사이송율이 유체성질, 퇴적물의 성질, 수로의 기하학적 성질 및 통수조건의 함수임을 감안할 때, 본 모형에 적용한 Tsai⁸⁾의 부유사공식과 수정한 Schocklitsch의 소유사공식과의 차이는 있었으나, 근본적으로 인도교 지점의 수정

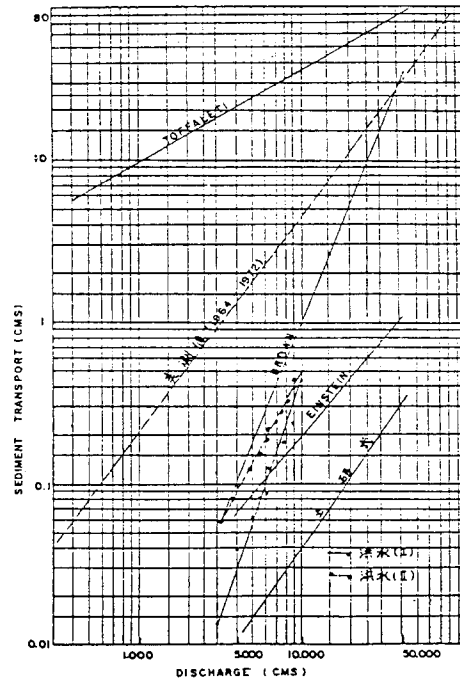


Fig. 4-3. Discharge and sediment transport at existing river bed in INDOGYO (Flood I, II)

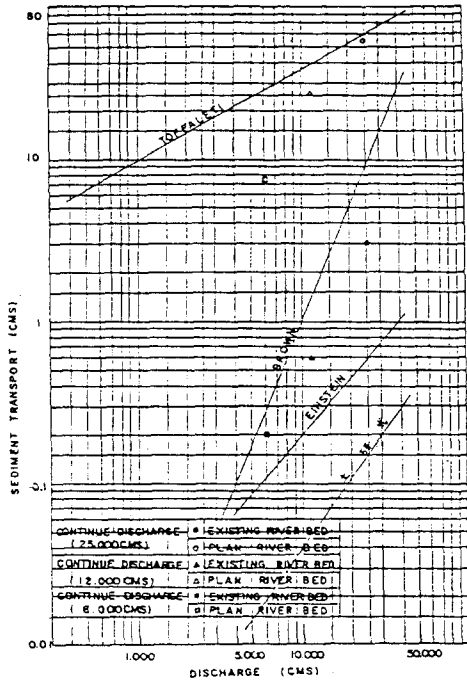


Fig. 4-1. Observed and computed discharges at INDOGYO (Flood of 06:00, July 1 ~00:00, July 8, 1981)

하상고(최심하상고 : 1981년 6월에 관측)와 계획하상고의 차이에 의한 통수조건(유사단면적, 수로경사, 유속 등)의 변화가 유사량에 미치지 되므로 이러한 현상이 발생되는 것으로 판단된다.

5. 수치모형의 적용

본 연구는 홍수입력이 제공되는 고안수위표 지

점에서 홍수출력을 주는 인도교 수위표지점까지의 34.5km에 이르는 하도를 조사구간으로 하여 여러 홍수기간 동안의 퇴적물 이송현상 및 하상 변동상황의 주요특성을 유사이송모형으로 파악하였다.

그림 5-1에 나타낸 바와 같이 하도구간 내에는 중랑천, 왕숙천, 탄천의 지류가 한강 본류에 유입하여 고안인도교에 자기수위기 및 광장, 뚝도에 보통 수위기록기가 설치되어 있어 주요 수위 자료를 제공하고 있다.

홍수 입력자료로는 건설부가 한강하상변동 조사를 수행한 1981년의 하천 실측자료를 이용하기 위하여 홍수 I과 홍수 II의 자료를 사용하였다. 홍수 I의 고안 및 인도교수위를 각각 2시간 간격으로 나는 후 82개 석의 입력수위를 구하였고, 홍수 II의 고안 및 인도교 수위도 동일한 방법으로 하여 53개 석의 입력수위를 구하였다. 단면 자료는 고안으로 부터 인도교에 이르는 34.5km의 하도구간을 500m 간격으로 총 70 개의 절편으로 나누었고, 각 절편의 단면은 건설부가 한강 하상변동조사를 수행한 1981년의 하천 실측자료로 부터 취하였다.²⁾

하상구성재료는 1981년 한강 하상변동조사²⁾에 약 53km 구간으로 유로의 양안측에서 시료를 채취하여 이들을 혼합한 후 대표시료로 취한 d_{10} , d_{25} , d_{50} (중앙입경), d_{75} , d_n (평균입경)을 이용하여 반대수지에 입경가적분포도를 그린 후

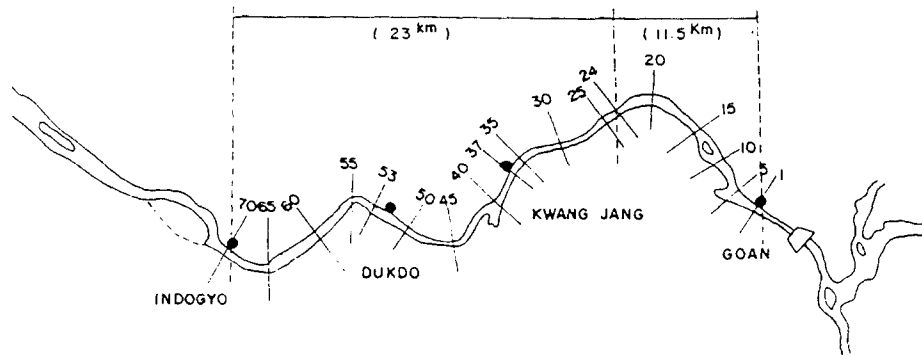


Fig. 5-1. Schematic existing river for sediment transport model.

구하였다. 또한 각 단면의 하상재료의 크기를 5 개군으로 나누어 DBM(1)= d_{90} , DBM(2)= d_{70} , DBM(3)= d_{50} , DBM(4)= d_{30} , DBM(5)= d_{10} 을 입력자료로 사용하였다.

수위와 유량 어느 것으로도 경계조건을 택할 수 있으나 본 연산에서는 산출된 유량을 수위-유량 곡선에 의해 구해진 유량과 비교하기 위해 상·하류단의 수위기록을 경계조건으로 하였다. 한편 지류유입량은 없는 것으로 가정하고 조도계수는 자연수로의 재료 및 운반의 상태에 따라 저수로 및 고수부지를 각각 분리하여 0.025~0.045의 값을 취하였다.

연속된 홍수에 대한 하상변동 상황을 알기 위하여 초기조건을 매번 바꾸는 대신에 일회의 홍수가 지나가고 나면 그 유속을 가지고 다음 홍수의 수위도 계속 연산되도록 하였다.

6. 결과 및 고찰

홍수기간 중 고안과 인도교지점의 하상변동을 살펴보면, 홍수 수위가 증가하기 시작하여 침두 유량에 도달하는 과정 중에 대부분 하상퇴적 및 세굴이 진행되는 것을 관찰할 수 있는데, 특히, 유량이 급격히 증가하는 부분보다는 오히려

침두유량의 주변에서 하상변동의 정도가 더 큰 것을 알 수 있다.

홍수 I, II의 기간동안 전체 단면(고안에서 인도교에 이르는 500m 간격의 70개 구간)에 걸쳐 연산된 하상변동 결과를 그림 6-1에 나타내었다. 홍수 I이 통과하기 이전의 전체 단면에 대한 평균 하상고는 0.282m였고, 홍수 I이 통과한 후의 평균 하상고는 0.303m로 약 0.022m가 상승하였다. 또한 홍수 II에 대하여는 각각 0.303m와 0.298m로 약 0.005m에 해당하는 하상 구성 재료가 이송되어 갔다. 이러한 현상은 홍수 I이 통과하기 이전의 하상고는 최심 하상고를 모식화한 입력 하상고이지만 홍수 II가 통과하기 이전의 하상고는 홍수 I의 연산된 하상고이기 때문에 대체적으로 퇴적 및 세굴의 진행 과정이 하류 방향으로 약간씩 전진하여 진행되어 간 것을 발견할 수 있다.

특정유량이 입력되는 고안수위표지점과 출력되는 인도교 수위표지점에서 25,000 CMS, 12,000 CMS의 유량을 각각 3, 36 시간을 지속시간으로 하여 시간변화에 따른 하상변동상태를 모의해 본 결과, 25,000 CMS의 유량이 통과할 경우 고안지점에서는 시간에 따라 급격한 세굴이 진행되는 반면 인도교지점에서는 완만한 퇴적이 되

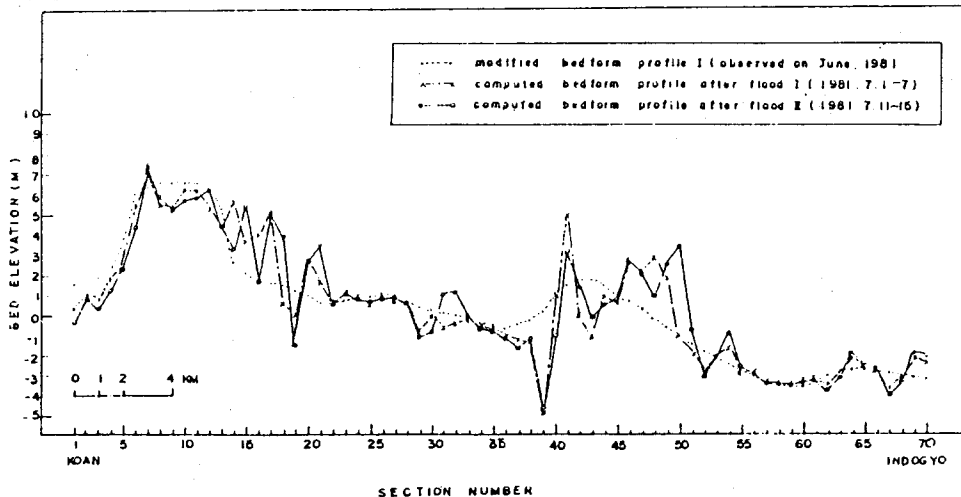


Fig. 6-1. Change of bedform profile after Flood (I, II)

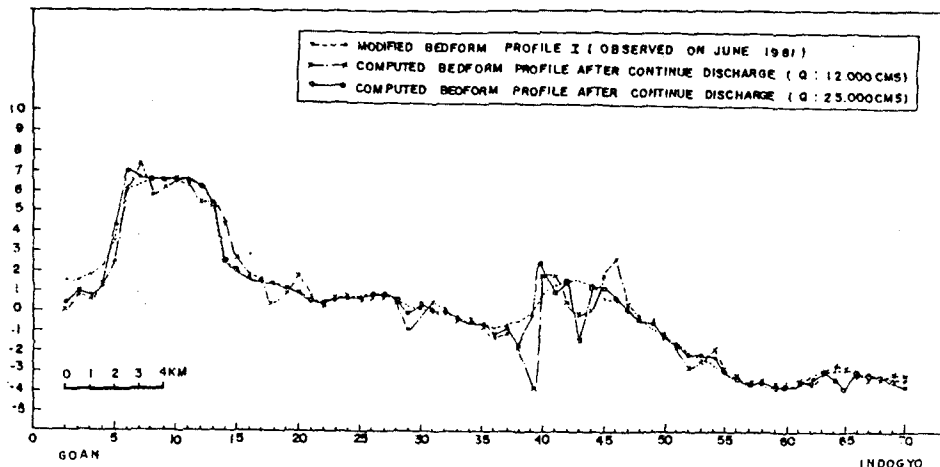


Fig. 6-2. Change of bed form for each station due to the continue discharge(12,000 & 25,000 CMS) at existing river bed.

있으며, 또한 12,000 CMS인 경우에는 세굴현상이 일어나는 고안지점이 퇴적현상이 일어나는 인도교지점에 비해 급격히 변화되는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 하류에 갈수록 통수단면적 및 퇴적물 성질, 그리고, 수심 및 유속과 밀접한 관계가 있기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 25,000 CMS와 12,000 CMS의 유량을 각각 3시간, 36시간 동안 전체 단면에 걸쳐 통과 시켰을 때 각 단면에 연산된 하상고가 그림 6-2에 표시되어 있다. 25,000 CMS와 12,000 CMS의 유량이 통과하기 이전의 전체 단면에 대한 평균 하상고는 공히 0.236m였고, 25,000 CMS의 유량이 통과한 후의 평균 하상고는 0.221m로 약 0.015m가 세굴되었고, 12,000 CMS의 유량이 통과한 후의 평균 하상고는 0.186m로 약 0.05m가 세굴되었다. 12,000 CMS에서 약 4배 정도의 평균 하상고가 저하된 이유는 지속시간이 25,000 CMS와 12,000 CMS의 유량에서 각각 3, 36시간의 차이에서 발생된 것으로 판단된다. 한편 이러한 한강 하류부의 하상 저하현상을 가중시킨 원인의 하나는 북한강유역에 1960년대 초부터 춘천댐, 의암댐 및 소양강댐의 착공 및 준공으로 상류로부터 이송되어 오던 다량의 토석류의 유입이 차단되고 특히 남·북한강 지하류 지점에 팔당댐이 준공되므로써 남·북한강에서 이동되어 오던 토석

류의 유입도 일시에 차단되었기 때문인 것으로 판단된다.

7. 결론

하천의 하상변동에 대한 수치해석방법으로 증전에 이용한 정류개념보다는 점변부동류개념을 한강하류부에 적용하여 유량변화(홍수, 특정유량)에 따른 하상변화(기존, 계획) 수치해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째 : 출력지점인 인도교에서의 관측침두유량과 연산유량과의 평균오차는 8.1% 이내로 나타났다.

둘째 : 홍수기간 중의 하상변동은 홍수가 증가하기 시작하여 침두유량에 도달하는 과정에 대부분 하상퇴적 및 세굴이 진행되었으며, 연속된 홍수가 진행된 경우 홍수 발생순서에 의한 하상변동상황 및 예측이 가능하다.

셋째 : 기존하상에서 25,000 CMS의 유량이 3시간동안 통과될 경우, 입력지점(고안)에서는 시간에 따라 급격한 세굴이 진행되는 반면 출력지점(인도교)에서는 완만한 퇴적이 일어났으며, 또한, 12,000 CMS의 유량이 36시간동안 통과될 경우, 세굴현상이 발생하는 고안지점이 퇴적현상을 일으키는 인도교지점에 비해 급격한 변화를 나타냈다.

넷째 : 계획하상에서 12,000 CMS의 유량을 통과시켰을 때, 출력지점(인도교)은 퇴적보다는 세굴현상이 더 많이 발생되었으며, 25,000 CMS의 경우에는 심한 퇴적 및 세굴현상이 교대로 나타났다.

다섯째 : 특정유량(25,000 CMS와 12,000 CMS)이 기존하상에 통과한 경우 하상구간의 하상변동은 각각 0.015m와 0.05m가 세굴되었고, 계획하상에서는 0.007m와 0.178m의 세굴이 나타났다.

여섯째 : 기존하상의 고안지점에서는 소유사량과 부유사량과의 차이가 크게 발생되지 않았으나 인도교지점에서는 부유사량이 아주 적게 발생되고 대부분 소유사량의 이동이 지배적인 것으로 나타났다. 또한 계획하상의 인도교지점에서는 기존상태에 비해 유사이송량이 초기에 약 20배 정도가 더 발생되었다.

결론적으로 점변부정류개념을 이용하여 총적하천의 하상변동에 대한 수치해석은 합리적이며 이에 수반되는 입력자료의 충분한 조사가 이루어지면 자연현상과 유사하게 해석될 수 있다. 또한 하상변동은 유량변동과 지속 시간에 따라 유사이송에 많은 영향을 받으므로 일정유량을 이용하는 것보다는 홍수자료를 이용하는 것이 수치해석의 정도를 더 높일 수 있을 것으로 판단된다.

앞으로 더 연구해야 될 과제는 기 조사된 홍수 자료를 통계분석하여 예상되는 인위적인 홍수자료를 모형화한 후 그에 따른 하상변동예측과 하상구성재료의 입경변화에 따른 유사이송현상을 더 규명해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 박정용 (1984) "총적하천의 하상변동에 관한 수치해석" 대한토목학회지, Vol.4, No.1, pp.21~30.
2. 한강하상변동 조사보고서 (1981) 건설부.
3. 한강하류부 이동상수리모형실험보고서 (1983) 건설부 국립건설시험소, No.440.
4. 하천구조물(교량)부근 하상변동 실태조사 보고서 (1979) 국립건설연구소.
5. 芦田和男외 2人, (1983) 河川の土砂災害と対策, 森北出版株式會社.
6. 建設省 土木研究所(1978): 混合粒徑砂の流速實驗資料集. 土木資料 第 1390號.
7. 建設省 土木研究所 : 河川における 土砂の移動機構に關する研究ノート[11]
8. Tsai, C.T. (1981) "Simulation of Unsteady Flow in Alluvial Stream", Taiwan Hydraulics Laboratory, National Cheng Kung University, Tainan Taiwan, Rep. of China, Dissertation No.3, pp.1~3.
9. Amein, M. and Frany, C.S. (1970) "Implicit Flood Routing in National Channel", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.96, No.HY2, pp.2481~2500.
10. Amein, M. and Chu, H.L. (1975) "Implicit Numerical Modeling of Unsteady Flow", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.102, No.HY6.
11. Becker, L., Yeh, W. W-G. (1973) "The Identification of Multiple Reach Channel Parameter", Water Resource Research, Vol.9, No.2, pp.326~335.
12. Chang, F.E.M. (1970) "Ripple Concentration and Friction Factor", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.96, No.HY2, pp.417~430.
13. Einstein, H.A. (1968) "Deposition of Suspended Particles in a Gravel Bed", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.96, No.HY5.
14. Fread, L., Smith, G.F. (1978) "Calibration Technique for 1-D Unsteady Flow Models", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.104, No.HY7, pp.1027~1044.
15. Gee, D.M. (1975) "Bed Form Response to Nonstrady Flow", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.101, No.HY3, pp.437~449.
16. Griffiths, G.A. and Sutherland, A.J. (1977) "Bedload Transport by Translation Waves", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.103, No.HY11, pp.1279~1291.
17. Paker, G. and Anderson, A.G. (1977) "Basic

19. Tywoniuk, N. (1972) "Sediment Discharge Computation Procedures", J. of Hydraulics Division, ASCE, Vol.98, No.HY3, pp.521~530.
20. Yalin, M.S. (1972) Mechanics of Sediment Transport, Pergamon Press, Oxford, England.
18. Radkivi, A.J. (1967) Loose Boundary Hydraulics, 2nd, Edition, Pergamon, Oxford.
- Principles of River Hydraulics", J. of Hydraulic Division, ASCE, Vol.103, No.HY9, pp. 1077~1087.