

HEC-6를 이용한 하상변동 모의 방법

1995. 2

한국건설기술연구원
수 자원 연구실
우 효 섭 · 유 권 규

1. 머리말

하천은 살아 있는 유기체와 같아서 자신에게 가해지는 각종 변화에 반응한다. 인간이 하천을 이용하면서 살아가는 동안 하천에 가하는 각종 변화들, 예를 들면 댐의 건설, 하도 개수, 하구언 설치, 제방 축조 등은 크든 작든 하천의 흐름이나 하상, 하도, 하상 재료 등을 변화시킨다. 이러한 변화가 극심할 경우 이에 따른 문제도 만만치 않게 된다. 따라서 하천 공학자 또는 실무자들은 하천에 어떤 변화를 가하고자 할 경우 이에 앞서 그 변화의 양상을 추정하고 합당한 조치를 강구하여야 한다.

하상변동계산은 그중 하나로서 하천에 가해지는 인공적인 변화에 하천의 하도, 하상경사, 유로 등이 어떻게 변화할 것인가를 검토하는 과정이다. 근래 홍수 피해를 막기 위한 조처의 하나로 하천의 직강화, 하도 개수, 제방 축조, 골재 채취 등이 행해지고 있지만, 공사 이전에 그 영향을 충분히 검토하는 경우는 상당히 드문 것으로 보인다. 1986년까지 시행된 한강하류부 개발사업으로 서울시 구간 한강의 경관은 좋아졌지만, 신곡 수중보에 의한 하천수의 정체로 오염이 심각해지고, 한강의 교량들이 교각의 기초부가 드러나는 등의 폐해가 그 예이며, 골재 채취에 따른 심진강 하류의 하상 저하도 그 예이다.

이러한 문제를 검토하는 방법으로 가장 합리적인 방법은 수리모형실험과 전산모형을 동시에 이용하여 다방면에서 문제를 검토하는 것이다. 그러나 수리모형실험은 비용과 시간, 인력이 많이 들고, 그 결과도 유사문제에 관한 한 아직도 정성적인 추정에 머물고 있는 실정이다. 따라서 우리 나라와 같이 투자에 인색한 경우 하천 공사를 위해 광범위한 수리모형실험을 기대할 수 없으므로, 다른 대안으로서 하상변동모형을 이용한 하상변동예측은 최소한의 요구로서 필요하다 하겠다.

본고의 목적은 하상변동모형중 하나인 HEC-6를 이용하여 하상변동을 모의하는 방법을 보다 실무적인 차원에서 알기 쉽게 설명하고자 하는 것이다. HEC-6의 자료 구성은 지나칠 정도로 복잡하고 그 양이 방대하기 짝이 없다. 따라서 HEC-6의 이용자 지침서를 그대로 번역하기 보다는 실제 자료가 입력되는 순서와 비슷하게 재구성하였다. 또한 실제로 HEC-6를 실행시켰던 경험을 살려 불필요한 부분을 삭제하는 등 본고의 순서를 따라 가면 HEC-6 입력자료의 기본적인 구조를 충분히 이해할 수 있도록 하였다. 다만, 본고가 HEC-6의 이용자 지침서가 아닌 이상 상세한 설명을 필요로 할 경우는 여하간 이용자 지침서를 참고하지 않을 수 없을 것이다.

본고의 내용의 대부분은 HEC-6 4.1판의 이용자 지침서인 HEC-6, Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual(US Army Corps of Engineers, HEC, 1993)와 HEC-6의 보정 지침서인 Guidelines for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6, Training Document No. 13(US Army Corps of Engineers, HEC, 1992), Guideline for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6(US Army Corps of Engineers, HEC, 1981)를 참고한 것이다.

2. HEC-6의 개요

2.1 HEC-6의 연혁

HEC-6는 William A. Thomas가 미 공병단의 Little Rock 분소에 있던 1973년에 처음으로 개발되었다. 그 뒤 Thomas는 수문연구센터(HEC, Hydrologic Engineering Center)로 자리를 옮겨 1976년에 2.7판을 발표하였다. 나중에는 수로실험국(WES, Waterway Experiments, Station)에 가서도 지속적으로 개량을 하여 1986년에는 3.2판을 발표하였으며 이 때부터는 개인용 컴퓨터에서도 수행할 수 있도록 되었다. 1991년에는 4.0판을 발표하였는데, 이것은 HEC-6에 TABS-1가 지니고 있던 하천망 모형 모의 기능을 첨가한 것이다. 1993년에는 4.1판을 발표하였으며, 이것이 현재 가장 최근에 발표된 HEC-6이다. 현재 국내에 널리 보급되어 있는 것은 3.2판인 것으로 추정된다.

HEC-6의 출력을 보면 수행되는 프로그램의 판수가 4.1.00과 같이 출력되는데, 앞의 4.1이 프로그램의 판 번호이고 마지막의 두 자리 숫자는 오류가 있는 경우 수정한 번호이다. 한편, 이용자 지침서는 프로그램과 달리 1991년 June, 1993년 August와 같이 번호가 붙는다. 본문에서 설명하고 있는 HEC-6는 바로 이 4.1판과 1993년 August 발행의 이용자 지침서이다.

2.2 HEC-6의 특징과 한계

이 모형의 목적은 하천이나 얕은 저수지의 세굴 및 퇴적을 분석하기 위한 것으로 주요 특징은 다음과 같다.

- ① HEC-6는 1차원 정류 모형이나 수문 곡선을 잘게 쪼개어 실행하므로 준정류 모형이라 할 수 있다.
- ② HEC-6의 4.0판 이후부터는 하천망(다지하천)의 유사이송을 모의할 수 있다.
- ③ 수리계산과 유사계산을 별도로 수행하는 비조합(uncoupled) 모형이다.
- ④ 저수지내의 유사퇴적량, 퇴적위치, 댐 하류 하천의 하상 상승 및 저하를 분석할 수 있다. 특히 저수지의 저수량을 선별적으로 출력하여 하상변동량을 쉽게 알 수 있도록 되어 있다.
- ⑤ 유사의 수리 분급(hydraulic sorting)와 장갑과정(armorng process)의 처리방법은 여타 모형에서 쉽게 찾아보기 힘들 정도로 세밀하게 구성되어 있다.
- ⑥ HEC-6의 4.0판 이전에는 미립토사(fine sediment)의 퇴적만을 모의할 수 있었으나 4.0판부터는 미립토사의 침식(재부유, resuspension)까지 모의할 수 있다.
- ⑦ 각 단면은 이동상과 고정상으로 구분되며, 수면 아래의 이동상 부분이 일정하게 침식 또는 퇴적된다. 단, 4.0판 이후에는 SGR행을 이용하여 퇴적의 경우에 비균등 퇴적이 가능하도록 되었다.
- ⑧ 유사량 계산은 Toffaleti공식 등 11개 공식중 택일할 수 있다.
- ⑨ 준설에 대해서도 모의할 수 있다.

이 모형의 기본가정은 다음과 같다.

- ① 흐름은 1차원이고 하도의 모든 지점에 정수압이 작용한다(St. Venant 방정식의 기본가정). HEC-6에서는 하천 횡단면을 하도와 좌우 고수부의 3개의 부단면으로 나누어 1차원 모의의 한계를 어느 정도 극복하고자 하였다. 그러나 蛇行의 진행이나 유사의 횡방향 분포 등은 모의 할 수 없다.
- ② 흐름은 1차원 정류이다. 따라서 수문곡선을 잘게 잘라서 각각의 시간 단계에서는 정류라고 가정하고 모의하며, 이 때 유사의 흐름도 평형을 이룬다고 가정한다. 따라서 단 하나의 홍수 사상에 의한 하상변동을 모의하고자 할 경우 결과를 보장하기 힘들다.
- ③ Manning계수 n 값을 점변류에도 적용할 수 있으며, n 값은 수위 또는 유량의 함수로 나타낼 수 있다.
- ④ 하천 단면은 이동상과 고정상으로 구분되며, 수면 아래 이동상 부분의 하천단면은 전체가 일정하게 상승 또는 저하한다. 단, 퇴적의 경우에 한하여 수심에 비례하여 달리 퇴적되도록 모의할 수 있다.
- ⑤ 하상경사는 작다.

결론적으로 HEC-6 모형은 저수지 퇴적, 댐 하류 하상의 저하, 하도의 침식과 퇴적, 준설 모의 등 장기적인 하상의 변동 상황을 모의하는데 적합한 모형이라고 할 수 있다.

2.3 HEC-6의 기본 구조

HEC-6에서 채택하고 있는 지배 방정식은 다음과 같다.

- ① 물의 연속 방정식

$$\frac{dQ}{dx} = q_i \quad (2.1)$$

- ② 물의 에너지 방정식

$$\left[y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \right]_{i-1} = \left[y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \right]_i + H_L \quad (2.2)$$

- ③ 유사의 연속 방정식(Exner 방정식)

$$\frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial Q_s}{\partial x} + B \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

여기서, Q = 유량, q_i = 단위폭당 측방 유량, Q_s = 부피로 표시된 유사량, B = 이동상 하상의 하폭, h = 이동상 하상의 표고, z = 하상고, α = 에너지 보정 계수, A = 단면적, H_L = 단면 $i-1$ 과 i 사이의 손실 수두, λ = 하상토의 공극률이다.

HEC-6는 위의 식 (2.1)과 식(2.2)를 표준축차법(standard step method)으로 풀어 각 단면의 수심, 하폭, 에너지 경사 등 기본적인 수리량을 계산한다. 마찰손실은 Manning의 식에 의하며, 단면의 급확대 및 급축소는 각각 손실 계수를 이용하여 계산한다. 여기까지는 HEC-2와 거의 비슷하며, HEC-6를 고정상 모형으로 실행시키면 HEC-2를 이용한 것과 마찬가지로 결과를 얻는다. 그 다음 각 단면별로 유사량(정확히는 유사 운송능, sediment transport potential)을 계산하고 이 값과 그 단면에 유입된 유사량을 비교하여, 단면의 침식 또는 퇴적을 결정한다. 즉 유입 유사량이 유사 운송능보다 작으면 하상에서 부족한 유사를

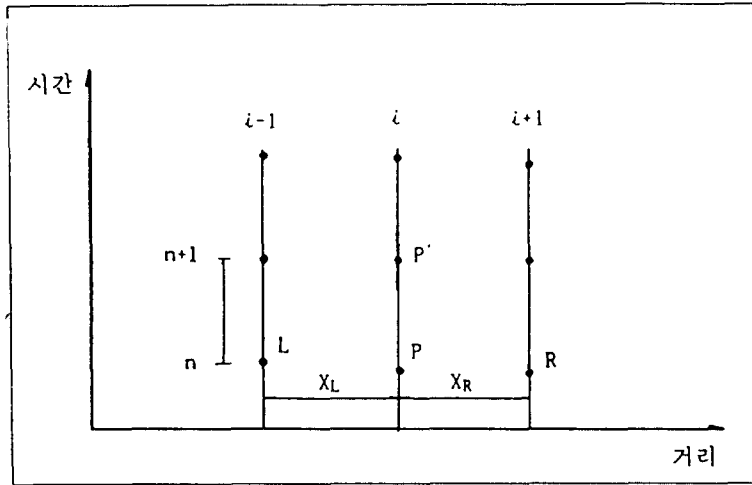


그림 2.1 HEC-6의 계산 격자 구성(HEC, 1977)

보충하여야 하므로 이 단면은 침식이 되고, 반대로 크면 퇴적이 되는 것이다. 이 차이는 바로 유사의 연속 방정식인 식 (2.3)에 입력하여 침식 또는 퇴적량(정확히는 하상고 변화량)을 결정하게 되는 것이다. 식 (2.3)은 다음과 같이 차분화된다.

$$\frac{-(Q_{sR} - Q_{sL})}{0.5(X_L + X_R)} + \frac{B(z_p' - z_p)}{\Delta t} = 0 \quad (2.4)$$

이를 정리하면,

$$z_p' = z_p + \frac{\Delta t}{0.5B} \frac{(Q_{sR} - Q_{sL})}{(X_L + X_R)} \quad (2.5)$$

여기서, $Q_{sR} = (i+1)$ 단면의 유사량, $Q_{sL} = (i-1)$ 단면의 유사량, $z_p' = (n+1)\Delta t$ 시간의 i 단면의 이동상 하상의 두께, $z_p = n \Delta t$ 시간의 i 단면의 이동상 하상의 두께, $X_L = (i-1)$ 단면과 i 단면 사이의 거리, $X_R = i$ 단면과 $(i+1)$ 단면 사이의 거리이다. 이 식에서 공극률은 0.5로 가정되었다.

기타 HEC-6의 주요 특징인 하상토층의 평형 깊이 계산, 장갑화 모의 과정 등은 HEC-6의 이용자 지침서를 참고하거나, 한국건설기술연구원(1991)의 보고서를 참고하기 바란다.

2.4 적용대상문제의 분류

하상변동모형을 적용하여 하상변동을 예측하는 경우 가장 기본이 되는 문제는 경계조건을 결정하는 것이다. 하상변동모형의 경계조건은 다음과 같다.

- ① 상류경계의 유입 유량 : 모형의 적용대상 구간에 유입되는 유량을 말하며, 측방에서 유입되는 지류의 유량도 이에 포함된다.
- ② 상류경계의 유입 유사량 : 상류경계와 지류에서 유입되는 유사량을 말하며, 일반적으로

는 유량-유사랑곡선을 입력한다.

- ③ 하류 경계 조건 : 모형의 가장 하류에 위치한 단면에서 주어지는 조건으로 일반적으로는 저수지 수위, 수위-유량곡선 등을 입력한다.

위의 세 조건중 ①과 ③은 일반적인 하천모형에서 물의 흐름을 모의할 경우 언제나 필요한 것이며, ②는 하상변동모형에 특별히 필요한 것이다. 특히 우리나라와 같이 유사랑 측정이 이루어 지지 않는 상황에서 하상변동을 모의하고자 할 경우, 중요한 요소인 유입 유사랑에 대한 추정치 불확실하다. 특히 기본적인 자료의 부족으로 유사랑 추정치에 매우 큰 어려움을 겪게 되며, 이러한 경계조건의 처리의 불확실성이 모형의 결과를 좌우하는 가장 중요한 문제가 된다. 이 경계조건의 특성에 따라 실제 하천에서 발생하는 하상변동 문제는 크게 다음과 같이 세 가지로 나눌 수 있다.

(1) 충적하천에의 적용

충적하천에서 하천 개수, 제방축조, 직강화, 하상굴착, 골재 채취, 교량 신설에 따른 하천 단면 축소 등 하천내에서 일어나는 각종 변화를 예측하는 경우이다.

예를 들어 하천에 하천의 홍수 소통 능력과 토지 이용의 고도화를 위해 그림 2.2와 같이 捷水路를 신설하여 곡류 하천을 直江化(cut-off)하는 경우, 하천의 유량이 일정한 상태에서 경사가 증가하므로 유속의 증가는 물론 유사랑이 증가하게 되며, 직강화 구간에서 하상 세굴이 발생된다. 이와 같은 직강화의 예는 하천개수 사업에서 빈번히 볼 수 있으며 공학적으로 중요한 경우이다. 따라서 일반적으로는 하상경사가 변화되어 평형에 도달할 것으로 추정할 수 있다. 그러나, 실제 하천개수 사업에서 직강화에 따른 하천 대응은 하상의 세굴 보다는 하천 폭의 확대에 따른 대응 현상을 보여주는 예(河道特性論, 山本, 1988)도 많다. 결국 하천이 어떤 반응을 보일 것인지 하는 것은 많은 수리적, 유사적, 지형적 특성이 결합되어 나타나며, 단순하게 직관만으로 쉽게 판단할 수 없는 측면이 된다.

이 경우는 하상변동모형을 이용하여 하상변동을 추정할 때 상류의 유입 유량과 유입 유사랑, 하류단 경계 조건 등이 모두 모형의 예측 결과에 매우 큰 영향을 미친다. 예를 들어 상류의 유입 유사랑이 과다하게 주어질 경우, 모의 대상 구간의 상류 하상이 상승하는 결과를 보이고, 반대로 과소할 경우 상류 하상이 저하되는 결과를 보일 것이다. 마찬가지로 하류단 경계가 부적합할 경우 대상 구간의 하류 하상이 과다하게 상승 또는 저하되는 결과를 보이게 된다.

실제 우리나라의 충적하천에 하상변동모형을 적용할 경우 고려 사항을 살펴 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 하류경계조건으로 하류에 적합한 수위표가 있어야 한다. 즉 모의 대상구역의 출구

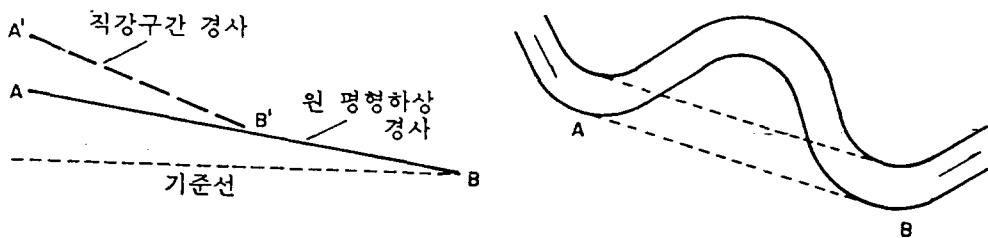


그림 2.2 직강화에 의한 하상 변동(전기연, 1991)

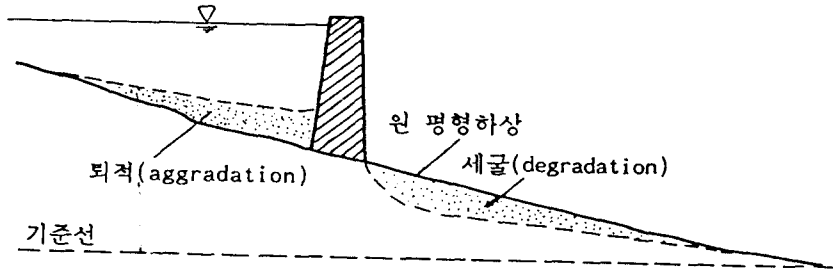


그림 2.3 댐에 의한 하상 변동(전기연, 1991)

가까이에 수위표가 위치하여야 하며, 이 수위표의 수위-유량 곡선이 있어야 한다.

돌재, 상류의 유입 유사량을 적합하게 추정할 수 있어야 한다. 즉 하상재료가 지나치게 조립질이거나 세립질이 아니어서, 유사량 실측 자료가 없는 경우에도 유사량 공식에 의한 유사량 추정이 가능해야 한다.

충적하천 문제의 경우 세류사는 유입된 양이 대상구간의 하류로 모두 이송된다고 가정할 수 있기 때문에 세류사에 대한 추정이 필요없는 이점이 있다.

(2) 댐 하류 하천에의 적용

하천에 댐이 건설되어 댐에서 유사가 차단되고 물만이 하류로 방류되면, 댐 하류의 하상은 상당기간 장거리에 걸쳐 대규모로 세굴이 진행되게 된다. 이것이 하상저하의 가장 대표적인 사례이다. 그러나 일정 기간이 지나면 하상에 있는 모래와 자갈 중 비교적 가벼운 하상토는 선택적으로 침식되고, 자갈이나 호박돌 등이 하상 표면에 노출되어 장갑층을 형성하므로 하상은 이 상태에서 안정을 이루게 된다.

위와 같은 댐 축조에 의한 하류 하상 저하의 전형적인 예로 우리나라의 경우 대청댐에 의한 하류 급강의 하상저하를 들 수 있다(한국건설기술연구원, 1991). 즉, 그림 2.3과 같이 하천에 댐을 축조하여 물을 가두는 경우 상류에서의 유사이송은 실질적으로 차단된다. 이 경우 하류의 하상재료와 유량의 변화는 없다고 가정하면, 유사량의 급격한 감소는 세굴에 의한 댐 하류하상의 저하(degradation)를 촉발시키게 된다.

이 경우 하상의 평형을 이루게 되는 기본적인 운동기구는 대부분의 경우 하상의 장갑화이다. 따라서, 장갑화를 적합하게 모의하기 위해서는 하상토의 입경분포 특히 자갈이나 호박돌 등의 분포가 정확하게 입력되어야 한다. 하상재료 입도분포중 자갈이나 호박돌 등 조립질

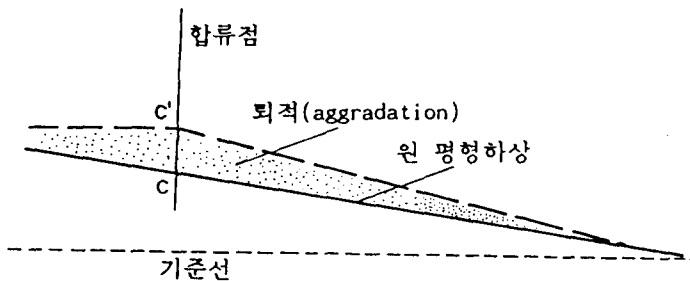


그림 2.4 지류의 유사 유입에 의한 하상 상승(전기연, 1991)

하상재료의 입도가 부정확할 경우, 하상이 장감화되지 않아 계산결과가 실제보다 매우 큰 하상저하를 나타내게 된다.

댐의 규모나 저수지 형상, 지류의 본류에 대한 상대적인 크기 등에 따라 다르지만, 상류의 유사 유입은 댐에서 차단된다고 가정할 수 있는 경우가 많다. 또한, 상류에서 유입되는 유량을 댐의 방류량 기록에서 쉽게 구할 수 있으므로, 경계조건의 만족도 면에서 보면 세 가지 문제 유형 중에서 상대적으로 가장 쉬운 조건이다. 다만 모의 대상 구간의 하류에는 적합한 수위표가 있어야 한다.

댐 하류 하천에서 발생하는 하상변동의 또 다른 예로 상류 댐에 의해 유량 및 유사량 모두 조절되는 하천에서 지류에서의 유사 유입이 계속되는 경우 지류 합류점 하류는 유입 유사량이 과대하여 하류 하상에는 토사가 쌓이게 된다. 즉, 그림 2.4와 같이 합류점 하류 하상이 상승(aggradation)된다. 이와 같은 예는 우리나라에서 충주댐 축조에 따른 본류 남한강과 지류 섬강의 합류점 하류에서의 국부적인 하상 상승에서 찾아 볼 수 있다(한국건설기술연구원, 1991).

(3) 저수지 하상상승에 대한 적용

앞의 그림 2.3에 나타난 바와 같이 댐 상류에서는 저수지 배수 효과에 의한 유속의 감소와 그에 따른 유사이송 능력의 감소로 유량과 유사 특성이 일정한 상태에서 하상 경사가 감소하게 되며, 이에 따라 저수지내에는 유사 퇴적되어 하상이 상승한다.

댐 상류의 하상 상승을 모의하는 것은 세 가지 문제중 가장 어려운 문제라 볼 수 있다. 기본적으로 저수지 퇴적량에 대한 자료가 있어야 한다. 이 자료를 이용하여 유입 유사량을 역산하거나 역추정할 수 있다. 하류 경계조건은 저수지 조작 규칙에 따르므로 별반 어려움이 없는 문제이다. 그러나 상류의 유입 유사 특히 세류사에 대한 추정이 매우 어렵다. 그 이유는 앞의 두 경우에는 세류사가 하상에 퇴적되지 않기 때문에 세류사의 입력을 고려하지 않아도 별 문제가 없으나, 저수지의 경우는 세류사가 하상에 퇴적되기 때문에 반드시 이에 대한 고려를 하여야 한다. 그런데 현재까지 세류사에 대한 추정은 사실상 불가능하며, 실측에 의존하여야 하므로 우리나라와 같이 유사량 측정이 이루어지지 않는 상황에서는 적합한 유사유입량의 산정에 상당한 어려움이 뒤따르게 된다.

3. HEC-6의 입력 자료

3.1 자료 입력 방법

HEC-6의 입력 자료는 크게 ① 하천 지형 자료, ② 유사 자료, ③ 수문 자료, ④ 기타 명령어로 나눌 수 있다. 이들 중 유사 자료가 포함되지 않은 경우는 고정상 하천 모형이 되어 배수위 계산 모형인 HEC-2와 흡사하게 된다. 자료의 입력 방법 또한 HEC-2와 거의 유사하다.

HEC-6의 자료 파일은 행(record)과 필드(field), 열(column)로 구성되어 있다. 행은 과거 80열짜리 카드를 이용하여 입력하던 시절의 카드 한 장에 해당한다. 행은 다시 0번부터 10번까지의 11개 필드로 이루어져 있다. 0번 필드는 행의 식별을 위해 이용되며, 1열과 2열의 두 열로 되어 있다. 1번 필드부터 10번 필드까지 10개의 필드는 자료 입력에 이용되며, 1번 필드는 3열에서 8열까지의 6개열, 나머지는 모두 8개열로 이루어져 있다.

열	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
	12	345678	90123456	78901234	56789012	34567890	12345678	90123456	78901234	56789012	34567890
필드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

각 행은 0번 필드의 식별 부호에 의해 구분된다. 변수명과 그 변수가 속한 행 및 필드를 나타내는 표기는 NXY(X1.2)와 같이 표기한다. 즉 변수 NXY는 X1행의 2번 필드에 기입된다는 뜻이다.

HEC-6에서 입력 자료는 대부분 필드 단위로 입력되나, 인체의 등급을 결정하는 것과 같이 특별한 경우는 특정 열에 입력을 요구하기도 한다. 그리고, 행 식별 부호가 없는 행, 즉 0번필드가 공백인 경우는 전부 설명행으로 취급하며, 프로그램의 실행에 아무런 영향을 미치지 않는다.

3.2 하천 지형 자료

HEC-6의 4.x판은 多枝 河川을 모의할 수 있는 하천망 모형이다. 따라서 한 개의 본류와 여러 개의 지류로 이루어진 하천망 전체를 모의할 수 있으나, 여기서는 가장 기본적인 구조인 1개의 본류와 몇 개의 국소 유입/유출점(local inflow/outflow point, 이하 '국소 유입점'으로 표기)으로 이루어진 하천에 적용하는 방법을 중심으로 논의하겠다. 다지 하천망의 모의 방법은 3.5절에서 논의될 것이다.

하천지형 자료는 제목(T1, T2, T3), Manning의 조도 계수(NC, NV, \$KL, \$KI), 하천 지형자료(X1, X3, X5, GR), 이동상 한계(H, HD), 지류¹⁾나 국소 유입점(QT), 지형 자료의 끝(EJ) 등으로 이루어져 있다.

1) 하천 종횡단 자료, 유사량 자료, 수문 자료 등을 입력하여 하상변동을 모의하는 소하천은 지류(tributary)라 하고, 단순히 유량의 유입 또는 유출 자료만을 입력하는 소하천, 첩수로, 배수로, 취수로 등은 국소 유입점이라 하여 구분함.

(1) 제목행 : T1, T2, T3(필수2)

T1-T3행은 HEC-6 모형을 적용하고자 하는 대상 하천의 이름과 사업명, 이용자 등 간략히 제목이 될 수 있는 내용을 기입한다. T1행의 3열은 출력의 정도를 지정하는 데 이용되기도 한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	T1,T2,T3	행 식별 부호. 제목 행임을 나타냄.
T1행 3열	OPTION	공백	일반적인 출력. EJ행을 만날 때까지 제목행, NC행, 각 X1행의 단면 번호를 출력.
		B	초기에 주어진 지형자료의 정확성을 검토하기 위한 보다 세부적인 자료 출력. 초기에 자료 파일을 만들 때만 필요하며, 통상 필요 없음.
		C	오류 추적을 위한 보다 상세한 출력.
2-10		설명	9열부터 80열까지는 자료 파일의 식별을 위한 제목, 수행 일자, 수행자 등의 정보를 기입한다.

(2) 조도계수

HEC-6의 배수위 계산 시 조도계수는 Manning의 조도계수 n값을 이용한다³⁾. 일반적으로 n값은 NC행을 이용하여 입력하며, 특별히 유량이나 수위에 따라 다른 n 값을 입력하고자 할 경우 NV행을 이용한다. 그런데 n값을 시간에 따라 변경시킬 수 있는 방법은 없다.

NC(또는 NV)행은 T3행의 바로 다음에 반드시 입력되어야 한다. 그러나 각 단면별로 입력할 필요는 없다. NC(또는 NV)행이 없는 단면은 그 직전의 자료가 그대로 이용되며, 변경을 시키고자 하는 단면의 X1, GR, H쌍 앞에 새로운 NC(또는 NV)행을 입력하면 된다. 조도계수는 하도와 좌우 고수부의 세 부분으로 나누어 입력하며, 기본적인 구조는 그림 3.1과 같다.

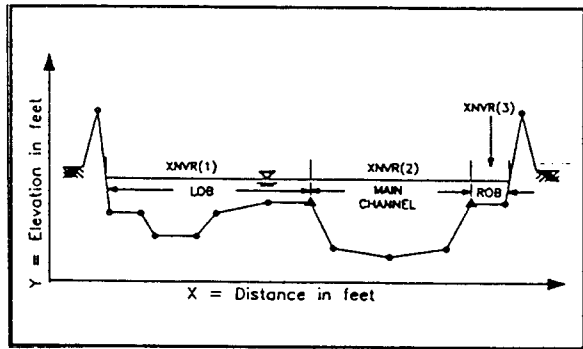


그림 3.1 하도 구분과 조도계수(HEC, 1993)

한편, 하상재료의 입경분포를 이용하여 n값을 추정하는 방법도 있으며, 이에 대해서는 3.4 절의 \$KL행과 \$KI행을 참고하기 바란다.

① NC행(NV행 없을 시 한번 필수)

- 2) 각 행이 필수적(required)으로 필요한가 선택적(optional)으로 필요한가 하는 사항은 다음과 같이 나타난다. ① 필수 : 반드시 필요하며 빠질 경우 실행되지 않음, ② 선택 : 필요할 때만 입력하면 되며 없어도 무방, ③ 한번필수 : 반복적으로 수행 또는 입력하는 경우, 처음 수행시는 반드시 필요하지만 다음부터는 입력값을 변경하고자 할 경우만 입력하는 경우. ④ 특수선택 : 특별한 경우를 모의하고자 할 경우만 선택.
- 3) HEC-6는 조도계수를 지정된 단면의 상류에 적용하나 HEC-2는 그 단면의 상하류에 적용한다. 그러나 그 결과는 어느 방법이나 거의 일치한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	NC	행 식별 부호
1	XNVR(1)	+	좌측 고수부의 조도계수
		0	직전 단면의 좌측 고수부의 조도계수를 그대로 이용
2	XNVR(3)	+	우측 고수부의 조도계수
		0	직전 단면의 우측 고수부의 조도계수를 그대로 이용
3	XNVR(2)	+	하도의 조도계수
		0	직전 단면의 하도의 조도계수를 그대로 이용
4	CC	+	단면수축계수
		0	직전 단면의 단면수축계수를 그대로 이용
5	CE	+	단면확대계수
		0	직전 단면의 단면확대계수를 그대로 이용
6-10			공백

② NV행(NC행 없을시 한번 필수)

NV행을 이용하면 수위 또는 유량의 변화에 따라 조도계수가 변화하는 것을 고려할 수 있다. NV행은 좌우 고수부와 하도에 대해 각각 하나씩 입력되어야 하며, 표 3.1과 같이 2번 필드에 입력되는 조도계수 VALN(1)의 부호가 양수일 경우 수위, 음수일 경우 유량에 대한 변화임을 알 수 있도록 되어 있다.

표 3.1 수위(유량)에 따른 조도계수의 변화

n-수위		또 는	n-유량	
VALN(i)	ELQ(i)		VALN(i)	ELQ(i)
+n1	ELEV1		-n1	Q1
n2	ELEV2		n2	Q2
n3	ELEV3		n3	Q3
n4	ELEV4		n4	Q4
n5	ELEV5		n5	Q5

필드	변수	입력값	내용
0	ID	NV	행 식별 부호
1	NPAR, NCH	+,+	7열에 부단면 번호, 8열에 n값의 수. 부단면 번호는 1=좌측 고수부, 2=하도, 3=우측 고수부. 각 부단면 별로 5개까지 n 값을 넣을 수 있다. (예를 들어 13이라고 입력할 경우 좌측 고수부에 3개의 n값을 입력한다는 의미이다.)
		+	표 3.1에서 가장 낮은 수위에 대한 n값. 양수일 때는 'n-수위'관계임을 나타냄.
2	VALN(1)	-	표 3.1에서 가장 작은 유량에 대한 n값. 음수일 때는 'n-유량'관계임을 나타냄. (주) 한 단면에 대해 수위와 유량을 혼합해서 입력하지 말 것.
3	ELQ(1)	-,0,+	VALN(1)이 양일 때는 수위, 음일 때는 유량을 기입.
4	VALN(2)	+	표 3.1에서 두 번째의 조도계수
5	ELQ(2)	-,0,+	VALN(2)에 대한 수위 또는 유량
6-10			위의 과정을 반복함. 만일 5개의 쌍을 입력한다면, 다음의 NV행의 1번 필드에 다섯 번째 수위나 유량을 기입함.

(3) 하천 중횡단 자료

하천 중횡단은 HEC-6 모형의 초기 조건이라 할 수 있다. HEC-6는 하천의 횡단면을 구형이나 제형 등으로 가정하지 않고, 좌표점에 의해 단면 형태를 인식한다.

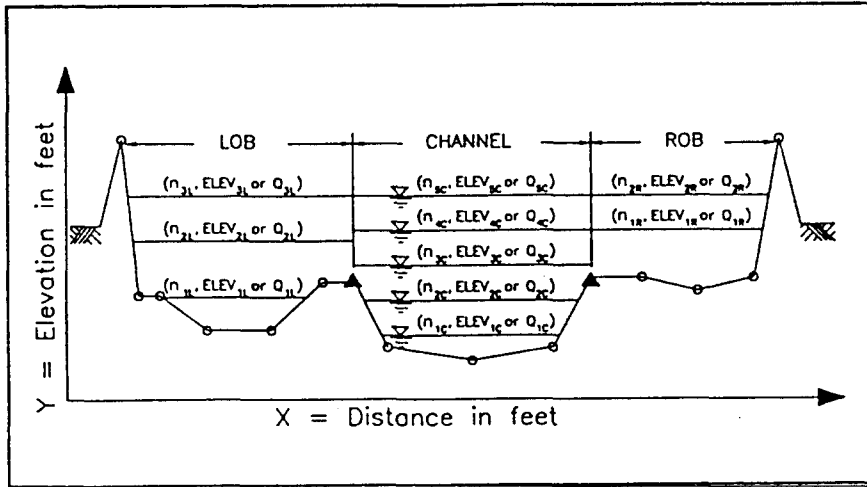


그림 3.2 수위(유량)에 따른 조도계수 변화(HEC, 1993)

입력되는 하천 종횡단 자료는 종단형(X1), 횡단형(GR), 이동상 부분(H, HD) 등이다. 이 밖에 특별히 하도 잠식(channel encroachment)을 위한 X3, 보나 내부 경계를 모의하기 위한 X5행 등이 있다. 그러나, 기본적인 구조는 X1, GR, H의 쌍으로 이루어 지며, 이들 쌍은 한 단면에 반드시 하나씩 입력되어야 한다.

① X1행 : 하천 종단형(필수)

X1행은 하천 구간의 평면적인 모습을 그 하류 단면과의 상대적인 위치로 나타낸다. 그림 3.3은 X1행에서 가정하는 기본적인 하천의 형태이다. HEC-6에서 최대도 처리할 수 있는 단면의 수는 150개 이다.

X1행의 자료중 RX(X1.8)와 DH(X1.9)를 이용하면, 하천 횡단형의 골격을 그대로 유지하

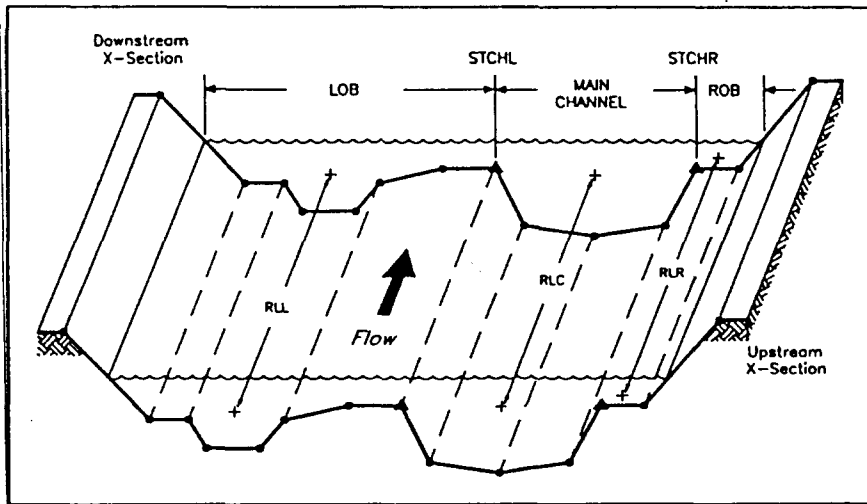


그림 3.3 하천 종횡단형의 구조(HEC, 1993)

면서 횡좌표나 표고를 간단히 변화시킬 수 있다.0

필드	변수	입력값	내용
0	ID	X1	행 식별 부호
1	SECID	-0,+	단면 번호
2	NXY	+	다음에 오는 GR행에 입력될 횡단 좌표점의 수($5 \leq NXY \leq 100$)
		0	앞의 횡단면 반복. 직전 단면의 GR행의 자료를 그대로 이용한다. 따라서 이 단면에는 GR행을 입력하지 않는다. 그러나 가장 처음 단면에는 0을 입력할 수 없다.
3	STCHL	-,+	하도의 좌측 제방의 횡좌표. 고수부의 끝부분을 입력하는 것이 좋다. STCHL은 GR행의 횡좌표중 하나와 일치하지 않아도 좋다.
		0,공백	횡단면을 반복할 시. 즉 직전 단면의 자료를 그대로 이용한다.
4	STCHR	-0,+	하도의 우측 제방의 횡좌표. 입력 방법은 STCHL과 동일
5	RLL	+	현재 단면의 좌측 조수부와 직전 단면의 좌측 고수부간의 거리.
		0	첫번째 단면이나 좌측 고수부가 없을 때.
6	RLR	0,+	우측 고수부간의 거리. 입력 방법은 RLL과 동일.
7	RLC	0,+	하도간의 거리. 입력 방법은 RLL과 동일.
8	RX		단면폭 조정계수. 이 단면의 GR행에 입력된 모든 점의 횡좌표에 RX 배를 곱한다. 반복 단면의 경우 직전 단면의 자료 이용. 예를 들어, RX가 1.1이면 전체 단면이 10% 확폭된 것이다. (주) 좌우 하도 경계, 통수능 한계, 사수역 경계, 이동상 경계, 준설 하도 경계 등이 모두 조정된다.
		+	하폭을 좁히기 위해서는 0.0~1.0, 늘리기 위해서는 1.0 이상의 값을 입력한다.
		0	변화 없음.
9	DH		단면고 조정계수. GR행에 입력된 표고에 일정 값 DH를 더한다. 반복 단면의 경우 직전 단면의 자료 이용.
		+,-	모든 표고에 일정한 값이 더해지거나 빼짐
		0	변화 없음.

② X3행 : 하도 잠식(선택)

HEC-6에서 하도 잠식(channel encroachment)에 대해 ① 비유효 단면(死水域), ② 유효 하폭, ③ 잠식 하도의 좌표 입력의 세 가지 방법으로 모의한다. 각각의 형태는 그림 3.4-그림 3.6과 같다.

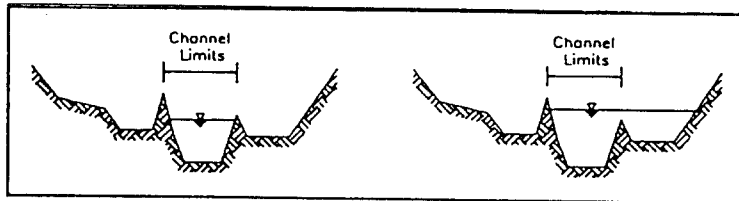


그림 3.4 하도 잠식 모의 방법 1(사수역)(HEC, 1993)

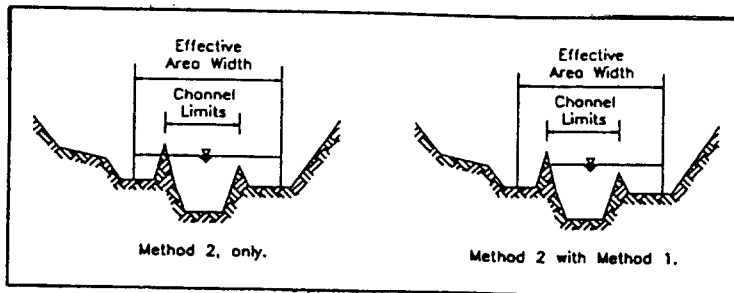


그림 3.5 하도 잠식 모의 방법 2(유효 하폭)(HEC, 1993)

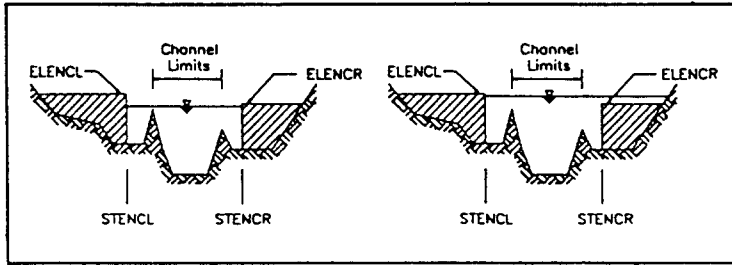


그림 3.6 하도 잠식 모의 방법 3(잠식 좌표 입력)(HEC, 1993)

17드	변수	입력값	내용
0	ID	X3	행 식별 부호
1	MEDZ		방법 1 : 사수역
		10	계산된 수면고가 하도의 양옆 제방고(STCHL과 STCHR 지점의 표고)를 넘기 전까지는, 이 사이의 하도만 수리계산에 이용되고 나머지는 사수역으로 취급된다.
		0	GR행에 입력된 좌표점들중 수면고 이하의 모든 부분이 수리 계산에 이용된다.
2		공백	
3	ENCFP		방법 2 : 유효 하폭
		+	HEC-6는 모든 흐름을 ENCFP에 지정한 하폭으로 제한한다. 하도 중앙(X1행의 STCHL과 STCHR의 중점)에서 양쪽으로 ENCFP만큼의 하폭만을 사용한다. 양쪽은 수직의 마찰이 없는 벽이 있는 것으로 간주한다. 방법 2는 방법 1과 결합해서 이용할 수 있다.
		0	방법 2 이용 없음.
4	STENCL		방법 3 : 좌측의 하도 잠식 횡좌표. 방법 3은 방법 1 또는 2와 결합하여 이용할 수 없다.
		-, +	하도 잠식의 좌측 횡좌표를 기입한다. ELENCL(X3.5)이 함께 이용되지 않으면 옆 벽은 마찰이 없는 수직벽이다. (주) 횡좌표 값은 0을 입력해서는 안된다. 0을 입력할 경우 작은 양수를 기입한다.
5	ELENCL		방법 3 : 좌측의 잠식 표고
		-, +	좌측 잠식 표고를 기입한다. 즉 잠식되는 지점의 좌표는 (STENCL, ELENCL) 까지이다. (주) 0을 입력해야 할 경우 대신 작은 양수를 입력한다.
6	STENCR	-, +	방법 3 : 우측 잠식 횡좌표. 방법은 STENCL과 같으며, STENCR의 오른쪽이 잠식된다.
7	ELENCR	-, +	방법 3 : 우측 잠식 표고. 방법은 ELENCL과 같다.

③ X5행 : 내부 경계 조건(선택)

X5행을 이용하면 보와 같은 대상 구간내의 내부 경계를 모의할 수 있다. 이 때 내부 경계의 수위를 입력하는 방법은 두 가지가 있다.

rule-curve방법은 X5행에 수면고와 손실 수두를 입력하는 방법이다. 이때 하류부터 계산된 배수위 표고에 손실 수두를 더한 값과 입력된 수위를 비교해서 둘중 좀더 큰 값을 내부 경계의 배수위로 이용하는 방법이다. 이 방법은 원래 모든 유량조건에서 일정한 손실 수두를 갖는 hinged pool operation을 모의하기 위해 만들어 졌다.

두번째 방법은 이용자가 X5행과 R행을 조합해서 수위-유량 곡선을 갖는 내부경계를 모의하는 것이다. 이 방법은 보나 감세공을 모의하는데 적합하다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	X5	행 식별 부호
1			공백
2	UPE	-,+	방법 1 : 최소 수위. 하류 단면의 수위와 손실 수두 HLOS (X5.3)을 더한 값과 UPE를 비교해서 보다 큰 값이 내부경계의 수위로 이용된다. 만일 입력할 수위가 0일 경우는 작은 양수를 입력하라.
		0	방법 1을 이용 않음.
3	HLOS	0,+	내부 경계와 하류 단면 사이의 손실 수두.
4	ICSH	2-10	방법 2 : 수문 자료의 R행에 내부 경계의 수위를 입력하는 방법이다. 이 필드에는 R행의 필드 번호를 기입한다. (주) R행의 1번 필드는 하류 경계의 수위이므로 ICSH=1은 이용할 수 없다.
		0	방법 2를 이용하지 않는다.

④ XL행 : 통수 한계(선택)

때때로 어느 지점은 물이 차 있다라도 통수능에는 전혀 영향을 미치지 않는 경우가 있다. 이를 경우를 모의하기 위해 HEC-6에서는 XL행을 이용하여 통수 한계(conveyance limits)를 규정한다. 통수 한계가 지정되면, 그 바깥 부분은 통수능을 계산하지 않으며, 침식이 되지 않고 다만 퇴적만 가능하도록 된다. 통수한계를 지정하는 방법은 두 가지가 있다.

방법 1은 하폭만을 지정하는 방법이며, 3번 필드에 통수 한계의 하폭만 기입하면 자동적으로 통수 한계의 중앙과 하도의 중앙이 일치하는 것으로 간주한다. 방법 2는 4, 5번 필드를 입력하여 통수 한계의 좌우측 횡좌표를 입력하는 방법이다. 이 때 물론 3번 필드는 공백으로 남겨 두어야 한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	XL	행 식별 부호
1-2			공백
3	CLC	+	방법 1 : 통수 하도의 폭을 기입한다.
		공백	방법 2를 이용한다.
4	CLL	-,+	방법 2 : 통수 하도의 좌측 한계 횡좌표를 기입한다. 이 횡좌표가 반드시 GR행의 좌표점중 하나와 일치할 필요는 없으나, CLR보다는 반드시 커야 한다. (주) 0을 입력해야 할 경우 대신 작은 양수를 기입하라.
5	CLR	-,+	방법 2 : 통수하도의 우측 한계 횡좌표이며, 방법은 CLL과 동일하다.
6-10			공백

⑤ GR행 : 횡단면형(필수)

하천 횡단면을 일련의 표고와 거리(횡좌표)의 쌍으로 입력한다(그림 3.7). NXY(X1.2)가 0이 아닌 경우 각 단면별로 일련의 GR행이 입력되어야 한다. 입력 순서는 좌측부터 차례로 입력되어야 한다. 한 개의 GR행에는 5개의 좌표점이 입력되며, 한 단면에 최대 100개의 좌표점이 입력될 수 있다.

배수위 계산시 양안이 무제일 경우나 수위가 GR행의 첫째 또는 마지막 좌표점의 표고보다 높을 경우 이 좌표점에 수직벽이 있는 것으로 간주한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	H, HD	행 식별 번호
1	SECID	-,0,+	단면 번호. X1.1과 같아야 한다.
2	(H행) EMB	-,+	모형 바닥의 표고. HEC-6는 이 표고 이하로 세굴이 일어나지 않도록 한다.
	(HD행) DSM	0,+	내정치로 최심선 아래 10 ft 의 표고를 지정한다. 하상재료층의 두께. 내정치는 없으며, 음수는 허용되지 않는다.
3	XSM	-,+	좌측 이동상 한계. 단면이 고정상에서 이동상으로 변한 지점의 횡좌표이다. XSM과 XFM 사이의 구간이 이동상이 된다. GR행의 좌표값 중 하나와 일치시킬 필요는 없다.
		0	HEC-6는 자동적으로 수면이 미치는 범위까지를 이동상 한계로 설정한다.
4	XFM	-,+	우측 이동상 한계. 단면이 이동상에서 고정상으로 변하는 지점의 횡좌표이다. XSM(H.3)에 대응된다.
		0	수면이 미치는 범위까지를 이동상 한계로 설정한다.
5			공백
6	EDC	-,+	준설하도의 바닥표고. 여기는 초과준설량(H.10)은 포함하지 않는다. 모형의 바닥표고 EMB(H.2)보다 위에 있어야 한다.
		0	준설을 하지 않는 단면을 나타낸다. 준설량이 0인 단면의 경우, 작은 양수를 입력한다.
7	XSD	-,+	좌측 준설 한계. XFD와 함께 준설 하도의 경계를 나타낸다. XSD는 항상 XSM(H.3)보다 크거나 같아야 한다.
		0	XSD는 XSM과 같은 값을 가진다.
8	XFD	+	우측 준설 한계. XSD와 함께 준설 하도의 경계를 나타낸다. XFD는 항상 XFM(H.4)보다 작거나 같아야 한다.
		0	XFD는 XFM과 같은 값을 가진다.
9	XDM	+	준설하도내에서 가장 표고가 높은 점의 횡좌표. HEC-6는 준설이 필요한지 여부를 결정하기 위해 준설된 하도의 표고와 이 지점의 표고를 비교한다.
		0	HEC-6는 준설하도의 첫번째(가장 좌측) 지점의 횡좌표를 이용한다.
10	DOD	+	초과준설(overdredging)의 깊이. 모형의 바닥 표고 아래까지 특별히 준설을 할 필요가 있을 경우 이용한다.
		0,공백	초과 준설이 필요하지 않을 경우.

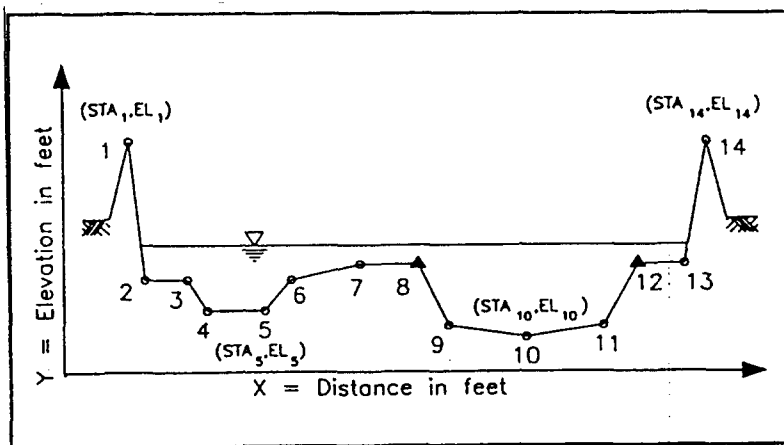


그림 3.7 하천 횡단면과 좌표점(HEC, 1993)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	GR	행 식별 부호
1	EL(1)	-,0,+	첫번째 지점의 표고
2	STA(1)	-,0,+	첫번째 지점의 횡좌표
3	EL(2)	-,0,+	둘째 지점의 표고
4	STA(2)	-,0,+	둘째 지점의 횡좌표
5-10			최대 100번째 좌표까지 반복한다. 계속되는 GR행의 형태는 모두 같다.

(4) H, HD행 : 이동상 및 준설(H와 HD 중 하나는 필수)

HEC-6는 하천 횡단면을 이동상과 고정상으로 나누어 모의한다. 유사 운송에 의해 하상 변동이 일어나는 부분은 이동상으로 제한되어 있으며, 그 경계는 H(또는 HD)행에 입

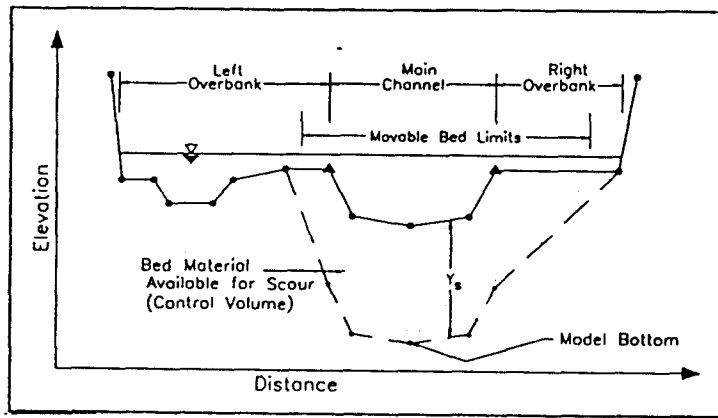


그림 3.8 하상토층의 구조(HEC, 1993)

력한다. 만일 이동상 한계의 횡좌표가 GR행에 입력된 어떤 점과 같다면, 이 점도 이동상에 포함된다. H행과 HD행의 차이는 검사체적(control volume)을 계산하기 위해, H행은 모형의 바닥 표고 EMB(H.2)를 이용하는 데 반해, HD행은 DSM(HD.2)에 직접 하상층의 두께를 입력한다는 점이다. 다른 자료는 H행과 HD행 모두 똑 같다.

또한, H행(또는 HD행)에는 준설에 대한 정보가 포함된다. 준설에 대한 입력자료(\$DREDGE, \$NODREDGE)는 3.4절에 기술될 것이다.

한편, HEC-6의 3.x판까지는 이동상 부분의 하상이 같은 높이로 상승 또는 저하되는 것으로 모의하였다. 그러나, 4.0판 부터는 \$GR행을 이용하여 수심에 비례하여 하상이 변동되도록 조정할 수 있다. 이에 대해서도 3.4절에 상술한다.

(5) QT행 : 지류나 국소적인 유입/유출 지점(선택)

이 행은 지류나 국소 유입점을 표시한다. QT행의 위치는 지류나 국소 유입점 직상류 단면의 X1행 바로 앞이다. 예를 들어, 30.0번 단면과 31.0번 단면 사이인 30.5에 지류가 있을 경우 QT행은 31.0번 단면의 X1행 바로 앞에 위치해야 한다. 그러나, 단면과 단면 사이에는 QT행이 하나씩 밖에 올 수 없다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	QT	행 식별 부호
1	KQCH		검사점(control point) 번호. 국소 유입점일 경우는 공백으로 놓아 둔다.
		2-10	지류 합류점 번호.

(6) EJ행 : 하천 지형 자료의 끝(필수)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	EJ	행 식별 번호

3.3 유사 자료

표 3.2 유사 입경의 분류(HEC, 1993)

유사자료에는 제목행(T4, T5, T6, T7, T8), 유사의 특성(I1, I2, I3, I4), 수리계산의 가중치(I5), 유입 유사량(LQ, LT, LF), 하상토 입경 분포(PF, PFC), 국소 유입점의 유입 유사량(\$LOCAL, LQL, LTL, LFL) 등이 입력된다.

실제 하천에서 이송되는 유사의 입경은 매우 큰 범위에 걸쳐 분포되어 있다. ϕ 지수로 표시하면 약 10 정도의 차이 ($2^{10} = 1,024$ 배)가 넘는 것으로 알려져 있다. 이 차이는 모래 하천이나 감조하천의 경우보다 자갈 하천의 경우가 더욱 심하다. 따라서 유사량 계산에서는 유입 유사나 하상 재료의 입경 분포를 세분해서 계산할 필요가 있다.

HEC-6에서 이용하는 입경번호		유사 입경 분류	입경(mm)
점토	1	Clay	0.002 - 0.004
이토	1	Very Fine Silt	0.004 - 0.008
	2	Fine Silt	0.008 - 0.016
	3	Medium Silt	0.016 - 0.032
	4	Coarse Silt	0.032 - 0.0625
모래 - 巨礫	1	Very Fine Sand(VFS)	0.0625 - 0.125
	2	Fine Sand(FS)	0.125 - 0.25
	3	Medium Sand(MS)	0.25 - 0.50
	4	Coarse Sand(CS)	0.5 - 1.0
	5	Very Coarse Sand(VCS)	1 - 2
	6	Very Fine Gravel(VFG)	2 - 4
	7	Fine Gravel(FG)	4 - 8
	8	Medium Gravel(MG)	8 - 16
	9	Coarse Gravel(CG)	16 - 32
	10	Very Coarse Gravel(VCG)	32 - 64
	11	Small Cobbles(SC)	64 - 128
	12	Large Cobbles(LC)	128 - 256
	13	Small Boulders(SB)	256 - 512
	14	Medium Boulders(MB)	512 - 1024
	15	Large Boulders(LB)	1024 - 2048

HEC-6에서는 AGU (American Geophysical Union)의 분류(표3.2)를 이용한다. 각 입경 등급의 대표 입경은 상한과 하한의 기하 평균이다. 이 분류는 HEC-6내에 정의되어 있으며, 외부에서 임의로 바꿀 수 없다.

I2, I3, I4행에서 모의하고자 하는 입경을 선정할 경우 표3.2의 등급 번호를 입력해야 한다. 즉, 모의하고자 하는 가장 작은 입경과 가장 큰 입경의 등급 번호를 입력해 주면 된다. 이때 입력값은 표3.2에 정해진 등급 번호이다. 예를 들어, VFS에서 VCG까지 모의할 경우 I4행의 IASA(I4.3)=1, LASA(I4.4) =10이 된다. 단, 점토에서 거력까지 모두 모의할 경우 그 사이에 있는 일련의 모든 입경이 다 포함되어야 하며, 일부만 제외시킬 수는 없다.

(1) T4, T5, T6, T7, T8행 : 유사자료의 제목행(필수)

하천망의 각 구간별(분류와 지류마다 각각 하나씩)로 유사 자료 앞에 반드시 T4-T8행의 5개의 제목행이 있어야 한다. T4행의 4열에 B자를 입력하면, 입력 자료의 오류 검토를 위한

HEC-6를 이용한 하상변동 모의 방법

응답출력(echo print)을 할 수 있다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	T4-T8	행 식별 부호
T4행 4열	OPTION	B	입력자료의 검사를 위해 응답출력이 되도록 한다.
		공백	응답출력을 하지 않는다.
1-10			하천명, 사업명, 일자 등 각종 설명 자료를 입력한다.

(2) I1, I2, I3, I4 : 유사의 특성

I1행은 유사량 계산의 일반적인 특성을 입력하고, I2, I3, I4행은 각각 점토, 이토, 모래 이상의 유사 특성을 입력한다. 입력되는 유사 특성은 유사 입경, 비중, 입자의 형상 계수, 퇴적토의 단위 중량, 침강 속도 등이다. 이들중 비중은 2.65, 형상계수는 0.667을 내정치로 제공하고 있다.

① I1행 : 유사 특성(필수)

I1행에서는 Exner 방정식을 풀기 위한 반복 계산의 수(SPI)와 침강속도의 계산 방법(NFALL) 이 주요 입력 자료이다. 이들 중 반복 계산의 수(SPI)는 다른 어떤 사항들 보다 훨씬 HEC-6의 실행 시간에 영향을 미친다. 만일 이 값이 지나치게 작으면, 하상 종단형이나 유사량 계산 결과 등에 진동이 생기게 되며, 지나치게 크면, 실행 시간이 오래 걸린다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	I1	행 식별 부호
1			공백
2	SPI		Exner 방정식 계산의 반복 횟수
		+	하상재료의 구성을 계산하기 위해 한 시간 간격 동안 반복 계산하는 횟수
		0	HEC-6가 자동적으로 SPI를 계산한다. (주) HEC-6에 의해 계산된 SPI는 어떤 경우 지나치게 큰 값이 될 수도 있다. SPI가 50을 넘을 경우, 경고 메시지가 출력된다.
3	IBG		하상토 입경분포 계산 방법. 침식 또는 퇴적되지 않고, 상류에서 유입된 유사가 그대로 통과하기에 적합한 입경분포를 HEC-6가 계산한다. 하상토의 입경분포를 모를 경우에 이용한다.
		0	유사량을 계산하는 데 PF행의 입경분포를 이용한다.
		+IBG	유입 유사량과 유사량 공식을 이용하여 하상토의 입경 분포를 계산한다.
4			공백
5	SPGF	+	유체의 비중
		0	SPGF=1.000(32°F의 淨水)
6	ACGR	+	중력 가속도
		0	G=32.174 ft/s ² (북위 45° 표준)
7	NFALL		침강속도 계산 방법
		0	방법 2
		1	Toffaletti(1966) 방법
		2	Federal Interagency Sedimentation Project의 방법
8	IBSHER		하상 소류력 계산 방법
		0,1	점토와 이토의 세굴 및 퇴적에 γ_{DS} 를 이용한다.
		2	smooth wall law에 의해 계산된 U^* 를 이용한다.

② I2행 : 점토의 이송(선택)

HEC-6는 점토와 이토의 이송을 두 가지 방법으로 모의한다. 첫째 방법은(I2행의

MTCL=1, I3행의 MTSL=1)은 점토와 이토가 퇴적은 되나 침식은 되지 않도록 하는 방법이다. 둘째 방법은(MTCL=2, MTSL=2) 점토와 이토도 모래와 마찬가지로 침식과 퇴적을 모두 모의하는 방법이다. 이 때 퇴적은 Krone(1962)의 방법, 침식은 Ariathurai와 Krone(1976)의 방법을 이용한다. 둘째 방법을 이용하려면, 특별 I2행(special I2 record)이 두 개 추가되어야 한다. 이에 대해서는 본고에서는 언급하지 않을 것이다. 혹 필요한 경우 이용자 지침서를 참조하기 바란다.

이 두 방법은 모두 부유사 농도가 300 mg/l 이하인 경우에만 이용할 수 있다(Krone, 1962). 또한 퇴적에 대한 경험식은 유속과 유사 농도 분포가 균일한 1차원 실험 수로에서 구한 자료에서 만든 것이다. 따라서 깊은 저수지의 점토 퇴적을 모의하는 데는 문제가 있을 가능성이 있다.

I2행은 점토의 이송에 관한 여러 가지 사항들을 입력하는 행이다. 단 여기서 유사량을 계산하는 점토의 크기 등급은 단 한 가지 뿐이므로 ICS와 LCS는 항상 공백 또는 1을 갖는다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	I2	행 식별 부호
1		설명	
2	MICL		점토 이송 방법
		0,1	침강 속도를 이용하여 점토의 퇴적을 계산. 침식은 계산 않음.
		2	점토의 침식과 퇴적을 모두 계산.
3	ICS	공백,1	유사량을 계산하는 점토의 입경 등급의 시작.
4	LCS	공백,1	유사량을 계산하는 점토의 입경 등급의 끝.
5	SPGC	+	점토 입자의 비중
		0	내정치 2.65
6	DTCL	+	점토 입자가 하상에 퇴적되지 않을 평균 한계 소류력(lbs/ft ²).
		0	내정치 0.02 lbs/ft ²
7			공백
8	PUCD	+	완전히 압밀된 점토 퇴적물의 단위 중량(lbs/ft ³)
		0	내정치 78 lbs/ft ³
9	UWCL	+	압밀되기 전 초기의 점토 퇴적물의 단위 중량(lbs/ft ³)
		0	내정치 30 lbs/ft ³
10	CCCD	+	점토퇴적물의 압밀계수. $\gamma_{clay} = UWCL + [CCCD \cdot \log_{10}(\text{Time})]$ 여기서, 시간의 단위는 年이다.
		0	내정치는 16 lbs/ft ³ /yr

③ I3행 : 이토 이송(선택)

I3행은 이토의 이송에 필요한 각종 자료를 기입한다. HEC-6에서 고려하는 이토의 입경 등급은 모두 4개이다. 점토와 모래를 동시에 모의하고자 할 경우 이토는 그 사이에 있으므로 반드시 4개 모두 고려해야 한다. 즉, IASI=1, LASI=4가 되어야 한다. 단, 점토를 고려하지 않는 경우는 이토도 고려하지 않는 것이 일반적이다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	I3	행 식별 부호
1		설명	
2	MTCL		이토 이송 방법
		0,1	침강 속도를 이용하여 이토의 퇴적을 계산. 침식은 계산 않음.
3	IASL	2	이토의 침식과 퇴적을 모두 계산.
		+	유사량을 계산하는 이토의 입경 등급의 시작. IASL은 항상 LASL보다 작거나 같아야 한다.
4	LASL	0	내정치 1
		공백,1	유사량을 계산하는 이토의 입경 등급의 끝.
5	SGSL	0	내정치 4
		+	이토 입자의 비중
6	DTSL	0	내정치 2.65
		+	이토 입자가 하상에 퇴적되지 않을 평균 한계 소류력(lbs/ft ²).
7	PUSD	0	내정치 0.02 lbs/ft ²
		공백	
8	UWSL	+	완전히 압밀된 이토 퇴적물의 단위 중량(lbs/ft ³)
		0	내정치 82 lbs/ft ³
9	CCSD	+	압밀되기 전 초기의 이토 퇴적물의 단위 중량(lbs/ft ³)
		0	내정치 65 lbs/ft ³
10	CCSD	+	이토 퇴적물 압밀 계수 $\gamma_{silt} = UWSL + [CCSD \cdot \log_{10} (Time)]$ 여기서, 시간의 단위는 年이다.
		0	내정치는 5.7 lbs/ft ³ /yr

④ 14행 : 모래의 이송(선택)

HEC-6 4.x판에는 모래와 자갈의 이송을 계산하는 유사량 공식이 모두 11개 들어 있다. 이것은 3.x판이 4개를 제공하던 것에 비하면, 대폭 확충된 것이다. 그러나, 건기연(1991)의 보고서에 지적된 바와 같이 수 많은 유사량 공식들중 어느 공식이 보다 타당성이 있는가는 아직 논란의 여지가 많으며, HEC-6에서도 어느 것을 선뜻 추천하고 있지는 못하다. 만일, 대상 하천 구간에서 실측한 유사량 자료가 충분히 있다면, 실측 유량-유사량 곡선을 입력하는 것이 가장 바람직한 방법이다. 다만 본고에서는 J행과 K행을 이용하여 실측 유사량 곡선을 입력하는 방법에 대해서는 언급하지 않는다. 필요할 경우 이용자 지침서를 참조하기 바란다.

(3) 15 : 수리계산의 가중치(선택)

15행의 입력 자료들은 유사의 이송에 필요한 대표적인 수리량을 어떻게 결정할 것인가에 대한 가중치이다. HEC-6는 기본적으로 어느 단면의 유사량을 계산할 때, 대표적인 유속, 유효수심, 유효하폭, 경사를 그 단면의 상하류 단면과 가중평균해서 구한다. 이 때 가중치를 부여하는 방법은 여러 가지가 있으나 가장 안정적인 방법과 가장 민감한 방법은 표 3.3과 같으며, HEC-6의 내정치는 방법 2이다. 그러나 이용자가 임의로 적절한 조합을 만들 수도 있다.

표 3.3 수리량 계산의 가중치 부여 방법(HEC, 1993)

	DBI	DBN	XID	XIN	XIU	UBI	UBN	비고
방법 1	0.5	0.5	0.25	0.5	0.25	0.0	1.0	가장 민감
방법 2	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	가장 안정

필드	변수	입력값	내용
0	ID	I4	행 식별 부호
1		설명	문자나 참고 사항
2	MTC		HEC-6내에서 이용될 유사량 공식.
		0,1	Toffaleti(1966)
		2	이용자가 입력하는 실측 유사량 곡선. 입력 방법은 J행과 K행 참조
		3	Madden(1963)이 수정한 Laursen(1958) 공식
		4	Yang(1973)의 모래에 대한 stream power 식
		5	DuBoys 공식(Vanoni, 1975)
		6	이용 않음.
		7	Ackers & White(1973)
		8	Colby(1964)
		9	Toffaleti(1966)과 Schokiltsch(1930)의 조합
		10	Meyer-Peter & Muller(1948)
		11	이용 않음.
		12	Toffaleti와 Meyer-Peter & Muller의 조합
		13	Madden(1985, 미발간)이 수정한 Laursen(1958) 공식
		14	Copeland(1990)가 수정한 Laursen(1958) 공식
3	IASA	+	유사량을 계산하는 모래나 자갈의 입경 등급의 시작.
		0	내정치 1
4	LASA	+	유사량을 계산하는 모래나 자갈의 입경 등급의 끝.
		0	내정치 10
5	SPGS	+	모래의 비중(퇴적토의 단위 중량이 아님)
		0	내정치 2.65
6	GSF	+	입자의 형상계수
		0	내정치 0.667
7	BSAE	+	노출 표면적 함수의 계수 FASE = ASAE (SAE ^{BSAE}) + CSAE
		0	내정치 0.5
8	PSI	+	평형 하상 깊이를 계산하기 위해 Einstein의 파라미터 ψ 대신 ψ^* 를 이용한다.
		0	내정치 30
9	UWD	+	퇴적토의 단위중량(lbs/ft ³)
		0	내정치 93lbs/ft ³ . 모래에 대해서는 압밀을 고려하지 않는다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	I5	행 식별 부호
1		설명	
2	DBI	+	하류 경계 계산시 상류 단면 수리량의 가중치
3	DBN	+	하류 경계 계산시 하류 경계 수리량의 가중치 (주) DBI + DBN = 1.0
4	XID	+	내부 단면 계산시 하류 단면 수리량의 가중치
5	XIN	+	내부 단면 계산시 그 단면 수리량의 가중치
6	XIU	+	내부 단면 계산시 상류 단면 수리량의 가중치 (주) XID + XIN + XIU = 1.0
7	UBI	+	상류 경계 계산시 하류 단면 수리량의 가중치
8	UBN	+	상류 경계 계산시 상류 경계 수리량의 가중치 (주) UBI + UBN = 1.0

(4) LQ, LT, LF행 : 유입 유사량

하상의 저하나 상승은 유수의 유사 이송 능력과 상류의 유입 유사량의 차이에 기인하여 발생한다. 따라서 유입 유사량을 정확히 입력하는 것은 HEC-6를 비롯한 모든 하상변동모형을 이용하는데 가장 중요한 요소중의 하나이다.

유입 유사량은 그림 3.9와 같이 전대수지상에 각 입경별로 유량의 함수로 나타낸다. 입력자료 파일에서는 유량은 LQ, 총유사량은 LT, 입경별 비율은 LF행에 각각 입력한다. 단, 여기서 주의할 것은 LQ 행에는 대상 하천 구간에서 발생할 수 있는 최대 유량을 포함하여야 한다는 것이다. 만일, 수문 자료에 입력된 유량이 유량-유사량 곡선에서 입력된 유량보다 크다면, HEC-6는 외삽을 하지 않고 가장 큰 유량에 대한 유사량을 그대로 이용한다.

일단 입력된 유량-유사량 관계는 \$SED행과 END 행 구조를 이용하여 변경할 수 있다.

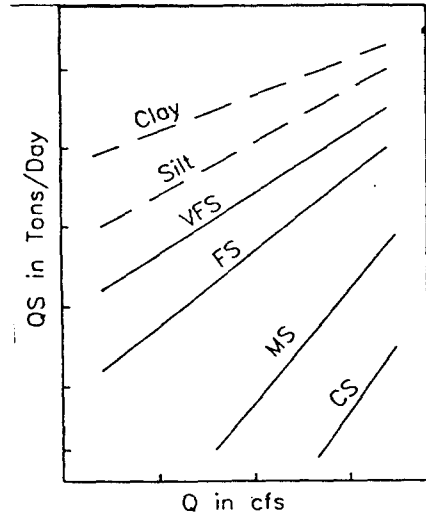


그림 3.9 유량-유사량 곡선 (HEC, 1993)

① LQ행 : 유량-유사량 곡선의 유량(필수)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	LQ	행 식별 부호
1		설명	
2	QWATER	+	유량(cfs). 유량-유사량 관계에서 가장 작은 유량을 입력한다. 만일 유입 유량이 이 표에 입력된 범위를 벗어날 경우 HEC-6는 외삽을 하지 않고, 최소 또는 최대 유량에 대한 유사량을 그대로 이용한다. 또한, 이 표에서 유량은 반드시 증가순서로 입력되어야 한다.
3	QWATER	+	유량-유사량 관계의 두번째 유량
4-10	QWATER	+	최대 9개 까지 유량을 입력한다.

② LT행 : 유량-유사량 곡선의 총유사량(필수)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	LT	행 식별 부호
1		설명	
2	QSED	+0	LQ행의 2번 필드의 유량에 대한 유사량(tons/day)
3	QSED	+0	LQ행의 3번 필드의 유량에 대한 유사량(tons/day)
4-10	QSED	+0	마찬가지로 LQ행의 각 필드의 유량에 대한 유사량을 입력한다. 최대 9개까지 입력할 수 있다.

③ LF행 : 유량-유사량 곡선의 각 입경별 비율(필수)

I2-I4행에서 결정된 각 입경별로 유사량의 비율은 LF행에 입력한다. 따라서, 각 입경별로 각각 하나의 LF행이 입력되어야 하며, 유사량이 0일 경우도 빠뜨려서는 안된다. LF행의 입력 순서는 유사의 크기가 증가하는 순서를 따른다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID		행 식별 부호
1		설명	각 입경을 나타내는 부호. 예를 들면, CLAY, SILT1, VFS 등
2	QSF	+0	LQ행의 2번 필드의 유량에 대한 유사량의 비율
3	QSF	+0	LQ행의 3번 필드의 유량에 대한 유사량의 비율
4-10	QSF	+0	LQ행의 각 필드의 유량에 대한 유사량의 비율

(5) PF, PFC행 :
하상토 입경 분포

하상의 장감화, 유사 이송량 등을 계산하기 위해서는 하상토 입경 분포가 반드시 필요하다. 실제 계산시는 각 단면별로 전부 하상토 입경분포를 필요로 하나, 자료를 입력할 때는 일부 단면 자료만 입력하면 나머지는 HEC-

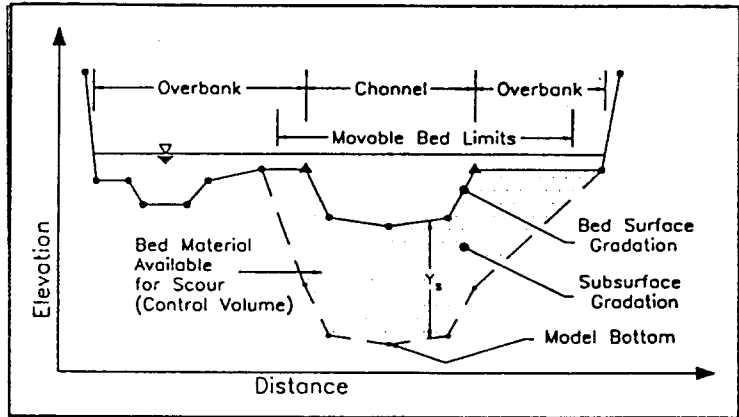


그림 3.10 하상토층의 검사 체적(HEC, 1993)

6가 내삽법에 의해 보간한다. 이 때 보간 규칙은 다음과 같다.

- A. 하천망의 각 하도 구간별로 최소한 1개의 PF행이 있어야 한다. 만일 어떤 구간에 PF행이 단 하나밖에 없다면, 이 구간의 모든 단면의 하상토는 모두 동일한 것으로 간주한다.
- B. PF행의 2번 필드에는 단면 번호가 입력되어야 한다. 이 때 PF행의 단면 번호는 X1행의 단면 번호중 하나와 일치하여야 한다. 일부 단면만 PF행이 입력되었을 경우 빠진 단면의 하상 재료는 내삽법으로 보간된다.
- C. 만일 PF행의 단면 번호가 생략된 경우는 그 구간의 상류 경계 단면의 하상토 자료로 간주한다.
- D. 마지막 PF행 뒤에 어떤 단면의 하상토 입경 분포가 있으면, 그 행의 것으로 간주한다.
- E. I2-I4행에서 채택된 하상토의 입경 등급은 전부 포함되어야 한다. 예를 들어 이토와 모래의 상태를 모의하고자 할 경우 LASL=4(I3.4)와 IGS=1(I4.3)으로 놓고, PF행에는 이 사이의 입경 분포가 전부 입력되어야 한다. 그러나 전체 20개 등급을 항상 다 포함할 필요는 없다.

① PF행 : 하상토 입경 분포(한번 필수)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	PF	행 식별 부호
1		설명	PF행의 설명
2	SECID	-,0,+	단면 번호(공백으로 두지 말 것)

HEC-6를 이용한 하상변동 모의 방법

필드	변수	입력값	내용
3	SAE	공백,0	침식에 노출된 하상 표면의 비율. 즉 하상의 일부가 장감화되거나 모암이 노출된 것을 나타냄. 일반적으로 SAE는 공백으로 놓아 두며, 내정치는 1.0이다
		0.001-1.0	일반적인 범위
4	DMAX	+	누적 통과 백분율 곡선상의 최대 크기 입경(mm). PFAxis(1) = 100인 입경으로 DAXIS(1)과 같은 값을 갖는다.
5	DAXIS(2)	+	누적 통과 백분율 곡선상 첫번째 점의 입경(mm). (주) 입력하는 입경이 반드시 표3.2의 입경 등급과 일치할 필요는 없다. 일치하지 않을 경우 HEC-6는 이를 내삽법으로 보간한다.
6	PFAxis(2)	0,+	DAXIS(2)에 대응하는 누적 통과 백분율(%)
7-10	DAXIS - PFAxis	0,+	입경-누적통과백분율의 쌍을 차례로 입력한다. 입력되는 쌍의 수는 PFC행까지 포함하여 최대 16개이다.

② PFC행 : 하상토 입경 분포 계속(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	PFC	행 식별 부호
1-10	DAXIS - PFAxis	0,+	PF행에 연이어서 입경-누적통과백분율의 쌍을 계속 입력한다. 한 단면에 PFC행은 최대 3개까지 올 수 있다.

(6) \$LOCAL, LQL, LTL, LFL : 국소 유입점의 유입 유사량

앞서 설명한 바와 같이 국소 유입점은 하상 변동의 모의 없이 단순히 물과 유사의 유입 또는 유출만을 모의하는 지점이다. 따라서 하천 지형자료에도 간단히 QT행만 포함하며, 유사 자료도 제목행이나 하상토 입경 분포 자료가 필요 없이 유사 유입량 만을 입력한다.

① \$LOCAL : 국소 유입점의 유사량 자료 시작(선택)

HEC-6 3.x판에서 \$TRIB행을 이용하여 입력하던 것을 4.0판에서는 \$LOCAL행 구조를 이용하도록 변경되었다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	\$LOCAL	행 식별 부호(1-6열)

② LQL행 : 국소 유입점의 유량(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	LQL	행 식별 부호(1-3열)
1		설명	
유입			
2	QWATER	+	유입점의 최소 유량
3-10	QWATER	+	유입 유량을 증가순으로 차례로 입력
분기			
2	QWATER	-	최대 분기 유량보다 절대치가 약간 큰 유량을 기입한다. 예를 들어 최대 분기 유량이 10.0일 경우 -10.1을 기입
3	QWATER	-	최소 분기 유량보다 절대치가 약간 큰 유량을 기입한다. 예를 들어 최소 분기 유량이 1.0일 경우 -0.9를 기입. (주) 2-3 필드는 반드시 음수여야 함.

③ LTL행 : 국소 유입점의 총유수량(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	LTL	행 식별 부호(1-3열)
1		설명	부기 사항
유입			
2-10	QSED	+	LQL행의 각 필드에 대응하는 국소 유입점의 총유수량(tons/day)
분기			
2,3	QSED	1.0	분기만 일어난다면 2-3번 필드에는 1.0을 기입
4-10			공백
유입과 분기 조합			
2,3	QSED	1.0	분기가 일어날 경우 2-3번 필드에는 1.0을 기입
4-10	QSED	+	LQL행의 각 필드에 대응하는 국소 유입점의 총유수량(tons/day). 최대 7개의 자료를 입력할 수 있다.

④ LFL행 : 국소 유입점의 유사의 입경 분포(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	LFL	행 식별 부호(1-3열)
1		설명	
유입			
2-10	QSF	+0	이 입경의 유사가 LTL행의 총유수량중 차지하는 비율
분기			
2,3	QSF	+	LQL행의 유량에 대해 분기율(분기되는 유사의 농도와 본류의 유입 유사농도의 비율)을 기입한다. 현장 실측 자료를 이용해 $C_{diverted} / C_{ambient}$ 의 비율을 계산해 이용한다. 자료가 없을 경우 부유사의 경우 1.0, 소류사의 경우 > 1.0 이 적절하다.
4-10			공백
유입과 분기의 결합			
2,3	QSF	+	분기율을 기입. 실측 자료가 없을 시는 부유사 1.0, 소류사는 > 1.0이 적절하다.
4-10	QSF	+0	이 입경의 유사가 LTL행의 총유수량중 차지하는 비율

3.4 수문 자료

수문자료에는 유량(Q), 하류 경계 수위(R), 수온(T), 기간(W) 등이 포함된다. 또한 수문자료의 시작을 알리는 \$HYD행, 모든 작업의 끝을 알리는 \$\$END행, 수위-유량곡선(\$RATING, RC), 기타 출력을 조절하는 명령 등이 포함된다.

(1) \$HYD행 : 수문자료의 시작(필수)

\$HYD행은 수문자료의 시작을 알리는 행이며, 고정상 모형일 경우는 EJ행 뒤에, 이동상 모형일 경우는 마지막 PF(또는 PFC)행 뒤에 오게 된다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	\$HYD	행 식별 부호(1-4열)

(2) \$EX : Exner방정식의 계산 방법(선택)

HEC-6의 4.0판에는 Exner 방정식을 해석하는 방법(수리 분류, hydraulic sorting)이 두 가지 있다.(이용자 지침서 참조) 방법 1은(EXNER1) 4.0판 이전의 HEC-6에서 계속 이용하던 기존의 방법이고, 방법 2는(EXNER5) 4.0판에서 새로 내정치로 채택한 방법이다.

이 \$EX행의 목적은 HEC-6 이용자들이 기존의 방법 1을 이용할 수 있도록 하자는 것이다. 방법 1을 이용하려면, \$HYD행 바로 다음에 1번 필드에 1이 기입된 \$EX행을 입력하면 된다. \$EX행이 없거나, 1번 필드에 2가 기입된 \$EX행을 만나면, HEC-6는 방법 2에 의해 Exner 방정식을 풀게 된다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	\$GR	행 식별 부호(1-3열)
2	OPTION	1	Exner 방정식 계산에 방법 1을 이용함.
		2	Exner 방정식 계산에 방법 2을 이용함.(내정치)

(3) \$RATING, RC, S : 수위-유량 곡선

HEC-6에는 각 시간 단계에서 하류 경계의 수위를 입력해 주어야 한다. 이 때 하류 경계 조건을 입력하는 방법은 ① 수위-유량 곡선(\$RATING, RC, S행), ② 수위(R행), ③ 위의 두 방법의 조합 등 세 가지가 있다.

첫째 방법은 \$RATING-RC행 쌍을 이용하여, 수위-유량 곡선을 입력하는 방법이다. 이 때 수위-유량 곡선은 수문자료의 선두 부분, 즉 어떤 *행보다 앞에 위치하여야 한다. 입력된 수위-유량 곡선은 S행을 이용하여 일시적으로 변경하거나 새로운 수위-유량 곡선으로 대체할 수 있다.

둘째 방법은 R행에 직접 수위를 입력하는 방법이다. 이 방법은 대부분 저수지를 모의하는 경우와 같이 수위가 유량의 함수가 아닌 경우에 이용한다. R행을 이용하는 방법은 후술한다.

셋째 방법은 위의 두 가지를 결합하는 방법이다. 즉 처음에는 수위-유량 곡선을 이용하여 수위를 계산하도록 하고, 어떤 특정 시간 단계에서는 R행을 이용하여 수위를 입력하는 것이다. HEC-6는 1번 필드가 0이 아닌 R행을 만나면 이 때의 수위는 수위-유량 곡선에 의존하지 않고 입력된 R행의 수위를 이용한다.

① \$RATING행 : 수위-유량 곡선의 시작(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	\$RATING	행 식별 부호(1-7열)

② RC행 : 수위-유량 곡선(선택)

필드	변수	입력값	내용
0	ID	RC	행 식별 부호
1			공백
2	MNI	+	읽어들일 수위 자료의 수(최대 40)
3	TINT	+	유량의 간격(cfs). 가능하면 작은 값을 이용하는 것이 좋다.
4	QBASE	+	수위-유량 곡선의 첫번째 유량(cfs)
5	GZRO	+	영점표고.
6	RAT(1)	+	최저 수위 또는 수면고
7-10	RAT(2)-R AT(MNI)	+	수위를 차례로 입력. 다음의 RC행에는 2-10번 필드에 연속적으로 수위를 입력한다. 최대 40개.

③ S행 : 수위-유량 곡선의 이동(선택)

이미 입력된 수위-유량 곡선을 일정한 크기 만큼 이동시킨다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	S	행 식별 부호(1열)
1	SHIFT	+,-	RC행의 6번 필드에 있는 수위-유량 곡선상의 최저 수위 RAT(1)에 일정한 값을 더하거나 뺀다.
		0	원래의 수위-유량 곡선을 이용한다.

(4) *행 : 수문 사상의 설명과 출력 조절(필수)

하나의 수문 사상은 *행 부터 W행 사이가 하나의 세트로 구성된다. *행은 각 수문사상에 대한 간략한 설명들을 기록하며, 출력의 등급을 조절하여 이용자가 필요로 하는 정보의 양을 선택하도록 되어 있다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	*	행 식별 부호
5열	OPTION		수리 계산(배수위 계산)의 결과를 출력 등급을 선택
		공백	표준적인 출력 방법이며, 입력된 유량, 하류 경계의 수위, 수온, 지속 시간 등이 출력된다.
		A	유량에 따른 각 단면별 수면고와 에너지 수두, 속도 수두, 유속 보정 계수, 수면폭, 평균 하상고, 각 부단면의 유속 등이 출력된다.
		B	계산된 배수위에 따른 각 단면의 수리량의 분포와 단면의 좌표점 등이 출력된다.
		D	오류 추적용
		E	상세한 오류 추적용
6열	OPTION		유사량 계산 결과 출력 등급을 선택
		공백	계산의 최종 결과 요약만 출력
		A	각 단면별 유입 및 유출 유사량, 포착률 출력
		B	A의 결과와 누가 하상 변동량, 수위, 최심 하상고, 통과하는 점토, 이토, 모래의 유사량을 각 단면별로 출력. B등급 이상은 다음의 후처리 과정(post processing)을 위한 부가적인 출력 파일도 만들어 낸다.
		C	B의 결과에 하상도 입력 추가
	D,E	세부 오류 추적	
2-10		설명	작업 내용에 대한 부가적인 설명.

*행의 5열은 수리 계산의 출력을, 6열은 유사 계산의 출력을 선택하는 기호를 입력한다. 다만, 수리 계산의 D, E 등급과 유사 계산의 C, D, E 등급은 상세한 오류 추적(trace output)을 위한 것이므로 일반적인 이용자는 이용하지 않는 것이 좋다. 오류 추적을 선택하면, 실행 시간이 증가하고, 출력 파일이 매우 커진다. 장기간에 걸친 하상변동 모의하는 경우 보통은 *행의 선택 사항을 공백으로 두고, 계산 결과를 알고 싶을 곳에서만 AB(수리 계산은 A, 유사 계산은 B)를 입력하는 것이 좋다.

(5) Q행 : 유량(필수)

Q행은 모의 대상 하천망 내의 전체 유입 또는 유출 유량을 입력하는 행이다. 여기서 필드 1에 입력되는 유량은 본류의 하류 경계에서 유출되는 유량이고, 필드 2-10의 유량은 지류의 상류 경계나 국소 유입점에서 유입 또는 유출되는 유량이다.

한편, 지류나 국소 유입점이 없는 고정상 모형의 경우에는 단 하나의 Q행을 이용하여, 여러 유량에 대한 배수위 계산을 한꺼번에 할 수도 있다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	Q	행 식별 부호
1	Q(1)	+	하류 경계 단면의 유량(cfs)
지류나 국소 유입점이 있는 경우			
2	Q(2)	0,+,-	본류의 첫번째 지류나 국소 유입점의 유입 또는 분기 유량
3-10	Q(3)-Q(10)	0,+,-	하천망 모형에서 미리 정해진 순서대로 각 지류 또는 국소 유입점의 유입 또는 분기 유량
지류나 국소 유입점이 없는 경우			
2-10	Q(2)-Q(10)	+	MNQ(II.4)를 이용하여 모의하고자 하는 여러 개의 유량을 입력

(6) R행 : 하류 경계 수위(\$RATING-RC행 없을 시 한번 필수)

R행은 앞의 Q행에 입력된 각 유량에 대한 하류 경계의 수위를 나타낸다. R행은 \$RATING -RC행에 의해 수위-유량 곡선이 입력되었을 경우는 입력할 필요가 없으나, 특정 시각의 수위를 특정 값으로 입력하고자 할 경우는 언제나 입력할 수 있다. 수위-유량 곡선이 없을 경우 R행에 입력된 값은 새로운 R행을 만날 때까지 유효하다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	R	행 식별 부호(1열)
내부 경계가 없는 경우			
1	WS(1)	+	하류 경계의 수위. 이 수위는 Q행의 1번 필드의 유량에 대한 수위이다. R행의 1번 필드에는 0이 기입되어서는 안 된다. 수위가 0일 때는 작은 양수(예: 0.001)를 기입한다.
2-10			MNQ(II.4)를 이용하여 여러 개의 유량을 동시에 모의할 경우 각 해당 필드의 유량에 대한 하류 경계의 수위
내부 경계가 있는 경우			
1	WS(1)	+	하류 경계의 수위.
		0	내부 경계나 수위-유량 곡선이 있는 경우 수위-유량 곡선에서 결정되고, 곡선이 없는 경우는 직전 시간의 수위가 그대로 이용된다.
2-10	WS(n)	+	ICSH(X5.4)=n인 내부 경계의 수위를 입력한다. 여기서 n은 현재 필드의 번호이다.
		0	직전 시간 단계의 수위를 이용한다. 수위를 0으로 입력하려면, 작은 양수(예: 0.001)를 입력한다.

또한, R행은 X5행에 의해 입력된 내부경계점의 수위도 입력할 수 있다. 이 때 X5행의 4번 필드 ICSH에는 해당 내부 경계의 수위가 입력된 R행의 필드 번호를 입력한다.

(7) T행 : 수온(한번 필수)

수온은 유사 입자의 침강 속도 계산에 매우 중요한 자료이다. 유입수의 수온은 T행에 기록한다. T행은 첫번째 수문 사상에서는 반드시 입력되어야 하나, 일단 입력된 수온은 다음의 T행을 만날 때까지 계속 유효하다. 합류점의 수온은 본류와 지류의 유량의 가중치로 계산한다. 고정상 모형의 경우도 수온이 계산에 쓰이지는 않으나 T행 자체는 반드시 한번은 입력되어야 한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	T	행 식별 부호(1열)
1-10	WT(1) -WT(10)	+	수온(°F). Q행의 해당 필드의 수온이다.

(8) W행 : 지속기간(필수)

HEC-6는 연속적인 수문 사상을 몇 개의 막대 그래프 형태로 나누어 입력받는다. 이 때 각각의 수문 사상은 정류(steady flow) 상태로 가정하며(그림 3.11), 지속 기간의 단위는 日이다.

이 지속 기간은 이동상 모형의 실행시 계산 시간과 해의 안정성에 매우 큰 영향을 미친다. 지속 기간을 작게 하면 계산의 안정을 도모할 수 있으나 계산 시간이 많이 걸리고, 반대로 크게 하면 해의 안정성에 문제가 생긴다. HEC-6의 이용자 지침서에서는 한 시간 단계에서의 계산시 최대 하상 변동량이 2 ft를 넘지 않도록 해야 한다고 규정하고 있다. 안정 계산 간격을 결정하는 방법은 4.2 이동상 보정 과정에 기술되어 있으며, 유량이 작은 경우는 수일 또는 수십일, 유량이 큰 경우는 1~2일, 아주 큰 유량의 경우는 1일 이하로 세분하기도 한다.

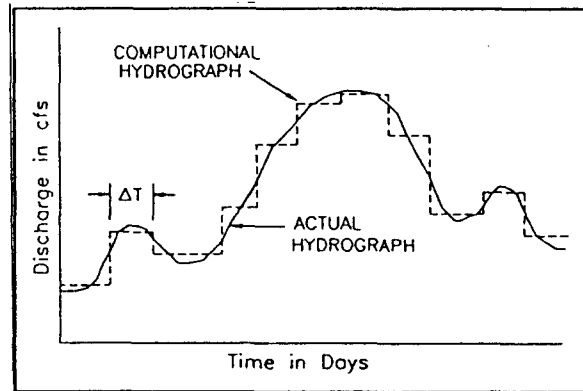


그림 3.11 수문 곡선의 분할(HEC, 1993)

HEC-6의 이용자 지침서에서는 한 시간 단계에서의 계산시 최대 하상 변동량이 2 ft를 넘지 않도록 해야 한다고 규정하고 있다. 안정 계산 간격을 결정하는 방법은 4.2 이동상 보정 과정에 기술되어 있으며, 유량이 작은 경우는 수일 또는 수십일, 유량이 큰 경우는 1~2일, 아주 큰 유량의 경우는 1일 이하로 세분하기도 한다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	W	행 식별 부호(1열)
1	DD	+	지속 기간(일)

(9) \$\$END행 : 자료 파일의 끝(필수)

\$\$END행은 모든 작업 또는 자료 파일의 끝을 나타낸다. 따라서 이 행 다음에 오는 모든 자료는 실행되지 않는다.

필드	변수	입력값	내용
0	ID	\$\$END	행 식별 부호(1-5열)

(10) 기타 특수 명령어

기타 준설이나 비균등 퇴적, 저수지 퇴사량 계산 등은 이용자 지침서나 우효섭과 유권규 (한국수문학회, 1995)를 참조하기 바란다.

4. HEC-6 모형 보정 및 검증

4.1 필요 자료의 수집 및 분석

하상변동모형을 적용하기 위해서는 모형의 각종 파라미터를 보정할 수 있는 자료가 구비되어야 한다. 하상변동 계산을 하는 데는 기본적으로 하천지형자료, 수문자료, 유사자료의 세 가지 자료가 필요하다. 따라서 유역내에 수위관측소가 적어도 1개소 이상 존재하여야 하며, 유량 자료로 환산할 수 있는 수위-유량곡선이 존재하여야 한다. 또한, 기본자료 중의 하나인 유입 유사량의 경우 우리 나라에서는 유사량 실측 자료가 부족하므로 대부분 유사량 공식 등에 의한 추정치에 의존하게 되며, 이 부분이 가장 큰 오차를 유발할 소지를 안고 있는 부분이다. 자료의 수집 과정은 다음과 같이 세분할 수 있다.

(1) 대상 구간을 결정한다.

HEC-6 모형의 적용 대상을 지도상에 기입한다. 이 때 하류 경계는 수위표 지점이나 댐 등 수위-유량 곡선이나 저수지 조작 규칙 등 검사점(control point)가 될 수 있는 곳이어야 한다. 모형의 상류 경계는 하천내에서 발생하는 변화의 영향을 받지 않을 정도로 충분히 상류여야 하며, 저수지의 경우는 배수위의 영향을 받지 않는 지점이어야 한다.

(2) 하천의 종횡단 자료를 수집한다.

몇개 년의 자료가 있을 때는 동일 도면에 표시하여 하상의 실제 변동 상태를 분석한다. 이 중에서 실제 모형에서 적용할 단면을 결정한다. 모형에 적용할 단면의 간격은 하상변동 상태를 고려하여 결정한다. 이때 이동상 부분의 범위도 결정하여야 한다. 이동상 부분은 대개 자연 제방까지로 볼 수 있으나 실제 하천에서 이것을 나누는 것은 상당한 실무 경험을 필요로 한다.

(3) 하상토 자료를 수집한다.

수집된 자료는 거리에 따라 입경별로 도시하여 하상토 입경분포를 검토한다. 자료의 이상 유무를 검토하여 보완한다. 하상 재료의 이상이란 자갈 하천의 자료에서 빈번히 발견되는 것으로 실제 하천의 하상토를 대표하기 어려운 경우가 많다.

(4) 일수위 자료와 댐 방류량, 수위-유량 곡선 등을 수집한다.

자료를 검토하여 이상자료, 결측자료 등을 보완한다.

(5) 수온 자료를 수집한다.

유사량은 수온에 따라 상당히 크게 변화하므로 수온 자료의 정확성에도 주의를 기울여야 한다.

(6) 지류의 유입유량과 유입유사량을 추정한다.

지류의 유입유량을 적합하게 추정할 수 있는 다른 대안이 없을 경우 면적비법을 이용해도 무방할 것이다. 그러나 지류의 유사유입량을 추정하는 데는 좀 더 세심한 주의가 필요하다.

다.

(7) 대상 하천을 답사한다.

이러한 자료 수집 활동과 동시에 실제로 대상하천구간을 답사하여 하천의 상황을 관찰하고, 기록자료에 나타나지 않은 상황(하천내 식생 유무, 하상토 입경분포의 이상유무 등)을 검토할 필요가 있다.

4.2 고정상 보정

어느 모형을 이용하든지 모형에 대한 보정 과정은 필수적이다. 일반적으로 하천모형은 보정시 하상의 조도를 보정 계수로 취급하여 보정하는 경우가 대부분이다. 다만 유의할 점은 모형을 보정하기 위해 각종 자료들을 임의로 수정하는 것은 지양하여야 하며, 부득이 수정할 경우 이에 대해 자세히 기술하여야 한다.

HEC-6의 보정은 고정상 보정과 이동상 보정으로 나누어지며, 고정상 보정의 세부과정은 다음과 같다.

(1) 하천단면의 종횡단 자료를 입력한다.

(2) 실측 수문자료를 분석하여 모형보정용 유량을 결정한다.

모형 보정용 유량은 일반적으로 연구대상기간중의 최소 유량, 만제 유량(bankfull discharge)⁴⁾, 최대 유량을 선정하면 적합하다.

(3) 선정된 모형보정용 유량별로 수면고를 계산한다.

Manning의 조도 계수 n 값을 가정할 때, 가능하다면 현장 경험이 풍부한 하천 실무자가 직접 대상 하천의 상황을 직접 답사하면서 추정하는 것이 바람직하다.

(4) 하천단면의 이상기록을 조사한다.

계산 수면고와 실측 수면고를 비교하여 이상치를 찾아 낸다. 이 때 발생하는 이상치들은 대개 어느 단면에서 갑자기 사류 또는 한계류가 발생하는 것이다. 이런 경우 이것이 실제 현상인가 입력 자료의 오류에 따른 것인가를 구명해야 한다. 이상 단면을 보정한 뒤 수면고를 재계산한다. 이상한 결과를 발견해 내기 가장 손쉬운 방법은 거리에 따라 수면고를 도시해 보는 것이다.

(5) 과정 (3)~(4)를 반복한다.

이상치가 없거나 하천단면에 이상이 없을 경우, 실측수면고에 가장 가까운 수면고를 계산해 내는 최적의 n 값을 발견할 때까지 n 값을 변경시켜 가면서 과정 (3)~(4)를 반복한다. 이

⁴⁾ 우리나라의 하천과 HEC-6 모형이 개발된 미국의 하천이 다를 수 있음을 유의해야 한다. 여기서 제방이라 함은 우리나라와 같이 인공제방이 축조된 곳을 의미하는 것이 아니다. 그보다는 미국의 서부 건조지역을 흐르는 하천과 같이 유량 변화가 거의 없는 하천에 하도의 양쪽에 자연적으로 형성되어 있는 자연제방을 의미하는 것이다. 따라서 만제 유량의 개념도 원래 모형에서 제시된 의미와는 달리 적용되어야 할 것이다.

때 n 값이 원래 지닌 물리적 의미를 벗어나지 않도록 하여야 한다.

(6) 계산된 수면고를 유량별로 거리에 따라 도시하여 재차 이상유무를 검토한다.

4.3 이동상 보정

이동상 보정은 고정상 보정에 각종 유사관련 자료를 추가하여 보정하는 과정이다. 이 때 보정 자료로 쓰일 수 있는 것은 하상토 입경 분포나 유입 유사량이다. 즉 저수지 퇴사 자료와 같이 어느 기간동안 유입된 전체 유사량을 알 경우, 상류단의 유입 유사량을 보정할 수 있다. 단, 이때는 대부분 인위적인 변화를 가하지 않은 자연 상태의 하천 자료를 입력하여 보정을 해야 한다. 이 때 상류 단면이 이상적으로 상승 또는 저하된다면 유입 유사량 추정 에 문제가 있음을 알 수 있으며, 하류 단면이 상승 또는 저하될 경우 하류단 경계조건에 문제가 있는 것이다.

(1) 하상토 자료, 유입 유사량 등을 입력한다.

유사량 실측자료가 없을 경우에는 적합한 유사량 공식을 이용하여 계산한다. 이때 지류의 유사량을 계산하는 유사량 공식은 본류의 유사량 공식과 일치시켜야 한다. 부유사량과 하상토 입경분포 모두를 기준으로 모래와 모래 이상 크기에 대해 크기등급으로 분류한다 (극세사, 세사, 중사 등). 하천 연구에서는 이토와 점토는 통상 부유상태로 이송되며, 이런 크기의 유사입자는 하상토 관점에서는 무시된다. 다시 말하자면, 이토나 점토가 하도내에 퇴적되는 것은 무시해도 좋다. 그러나, 저수지 연구에서는 이토와 점토가 퇴사량의 대부분을 차지하므로 점토와 이토도 반드시 고려되어야 하며, 이것은 부유사의 입경분포 곡선 없이는 불가능한 일이다. 다만 저수지 퇴사연구에서는 자세한 하상토의 입경분포 계산이 불필요하다.

(2) 적합한 유사량 공식을 선정한다.

유사량 공식을 선정하는 데는 대상 하천의 수리적, 유사적 특성을 고려하여야 한다.

(3) 적절한 계산 간격을 결정해야 한다.

계산간격의 길이는 매우 중요하다. 만일 계산간격의 길이가 지나치게 짧으면, 프로그램의 전체 실행시간이 엄청나게 길어지며, 반대로 지나치게 길면 모든 계산 결과가 부정확해질 우려가 있다. 수문자료의 준비에서 첫 단계는 문제에 적합한 계산간격을 결정하는 것이다. 계산간격은 유량, 유입 유사량, 횡단면간 거리, 계산에 선정된 유사량 공식 등에 따라 달라질 수 있다. 이때 유입 유사량과 횡단면 간격은 既知이다. 따라서, 적절한 유사량 공식을 선정 후, 계산 간격은 다음과 같은 수치실험(numerical experiment)과정을 이용하여 선정되어야 한다.

(4) 이동상 보정 계산

선정된 모형 보정용 유량에 대해 그림 4.1과 같이 계산간격 1, 2, 5, 10일 등으로 각 5개씩의 막대 수문곡선을 만들어 하상변동을 계산한다.

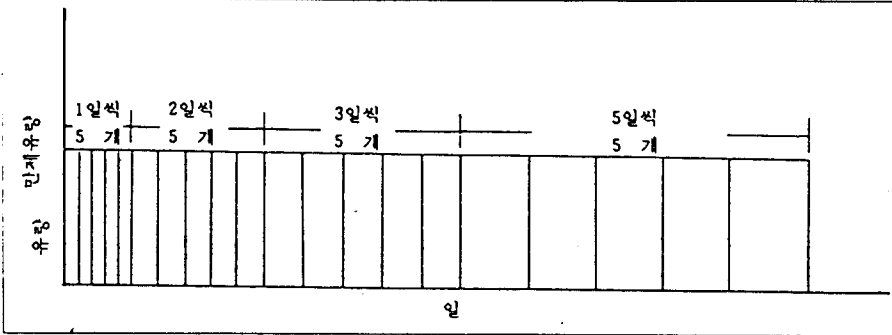


그림 4.1 이동상 모형 보정용 수문 곡선(만제 유량)(HEC, 1981)

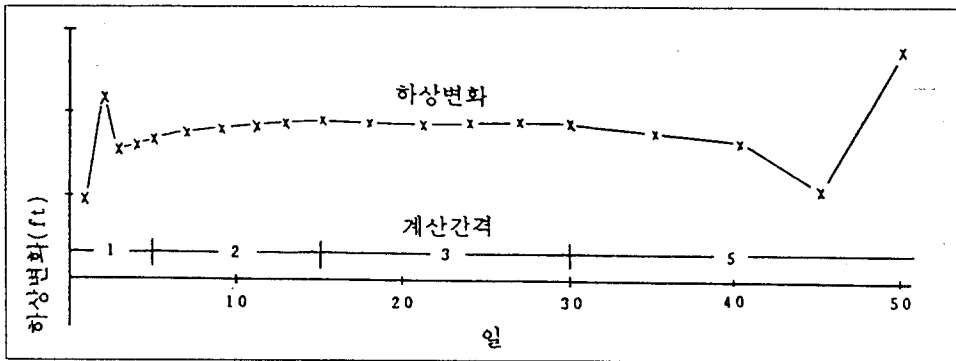


그림 4.2 계산 간격의 길이에 따른 모형의 반응(HEC, 1981)

(5) 유량별 안정계산간격을 결정한다.

하상변동이 큰 단면을 몇 개 선정하여 하상변동량을 계산시간(일)에 대해 도시하여 각 유량별 안정계산간격을 결정한다. 계산간격은 대하천의 경우 대개 1일 이상이다. 그러므로 1일 간으로 5개의 유량을 입력하면 어느 정도 지나면 초기 불안정이 없어지게 된다. *행울 이용하여 유사계산에 대해 B등급으로 출력하여 이 결과를 이용하면 된다.

하상고에서 가장 큰 변화를 보이는 횡단면을 찾아 표시해 놓고, 그 단면의 하상고의 변화를 시간의 함수로 도시한다. 그 결과는 그림 4.2의 10~30일 사이와 같이 완만한 곡선에 접근한다. 그림 4.2에서는 계산간격 2~3일을 안정 계산 간격으로 볼 수 있다. 모형의 실행 처음에 통상 진동이 발생하는데 이것은 초기조건이 좋지 않기 때문이다. 그러나 이것은 곧 감쇠된다. 시험유량에 대해 선택된 계산간격이 지나치게 길게 되면 그림 4.2의 40~50일에 보인 바와 같이 다시 진동이 시작된다. 만일 초기의 진동이 감쇠되지 않으면 초기의 계산간격이 지나치게 긴 것이다. 이때는 계산간격을 10으로 나누어 두번째 시험실행을 한다. 안정된 계산간격이 결정될 때까지 이 과정을 반복한다.

HEC-6는 砂丘의 이동을 모의하지 못하므로 하천의 종단면에서 톱니형 하상이 생기면 수치 진동이 일어난 것을 의미하며, 이때는 계산 간격을 줄여야 한다.

⁵⁾ 한국건설기술연구원(1989)의 연구에서 지적된 바와 같이 유사량 공식에 따라 계산된 유사량이 큰 차이가 날 수 있으므로, 유사량 공식을 선정하는 것은 매우 중요한 요소이며 대상하천의 상황에 적합한 공식을 선정하는데 상당히 신중을 기해야 한다.

(6) 이상치를 보이는 단면을 검토하여, 수정한다.

대개 발견되는 이상 결과는 다음과 같다.

- ① 자연하천 상태에서는 이토와 점토는 하도내에 퇴적되지 않는다. 어떤 단면을 지나는 유사량이 감소되었다면 그 단면을 자세히 검토하여야 한다. 이 단면이 지나치게 크거나 하류경계 자료를 잘못 입력한 경우가 많다.
- ② 모래의 이송량은 어느 정도 시간이 지나면, 불규칙한 변화를 보이기 보다는 유입유사량과 비슷한 일정한 값에 접근해야 한다. 이송 유사량이 매우 작은 단면에 대해서는 횡단면, 단면 구간 거리, n 값, 이동상 부분의 경계, 하상도 입경분포 등에서의 오류를 검토해야 한다.

(7) 각 유량별로 안정계산간격을 결정한 뒤 이를 대수지상에 나타낸다.

4.4 모형의 적용 및 검증

(1) 시험 계산

일단 모형의 보정이 끝나면, 하천 공사를 시행할 계획 단면을 입력하고, 약 1년 정도의 기간에 대해 시험적으로 하상변동을 계산해 본다. 이 때 특이하게 하상 변동이 심한 단면을 검토하여 이상 단면 유무를 확인한다. 또한, 전체 단면이 급격히 상승하거나 저하되는 것은 입력 자료의 오류일 가능성이 높다.

(2) 유량 수문곡선의 준비

수문곡선을 준비하는 데는 다음과 같은 세 가지 주요사항을 고려해야 한다.

- ① 수문곡선의 전체 유출량은 보전되어야 한다.
- ② 이송되는 유사의 전체량은 보전되어야 한다.
- ③ 전체 계산시간을 절약하기 위해 계산간격은 계산의 안정성이 유지되는 한 길게 잡는 것이 좋다 (HEC-6, 1977)

(3) 결과의 검토

만일 HEC-6의 실행 결과가 원형에서 기대하는 결과를 보이지 않는다면 그 원인이 무엇인지를 파악해야 한다. 가장 일반적인 요인과 대책은 다음과 같다.

- ① 어느 단면이 과도하게 퇴적되는 것은 이 단면의 이동상 부분의 폭이 너무 좁거나 자연 제방이 지나치게 낮다는 것을 의미한다.
- ② 만일 원형에서 제방 너머에도 퇴적이 된다면, 모형에서도 이동상 부분의 경계가 그 범위를 포함하도록 연장시켜야 한다.
- ③ 만일 계산 모형에서 물이 제방넘어 월류되나 그 지역이 실제 통수를 시키기에 부적합하다면 통수 한계를 지정해주거나 자연제방의 높이를 올려주어야 한다.
- ④ 계산결과가 세굴이 과도하다면 원형이 강갑화된 하상이거나 비세굴성 또는 암반으로 이루어져 세굴이 발생하지 않는 지역이기 때문일 수도 있다.

(4) 결과의 해석

계산 결과를 어떻게 해석할 것인가 하는 것은 모형의 적용 자체보다도 어느 면에서는 더 중요하다고 볼 수 있다. 계산 결과를 맹신할 것이 아니라 과연 계산 과정중에 오류는 없는가, 결과는 물리적으로 타당한가를 반드시 짚고 넘어가야 할 것이다. 특히, 대상구간의 하류단의 하상상승과 상류단의 하상저하는 입력된 경계조건의 문제에 기인할 경우가 많다. 즉 하류 경계의 문제는 수위-유량 곡선의 문제일 경우가 많고, 상류 경계의 문제는 유량-유사량 곡선의 문제거나 하상토 입경분포의 문제일 경우가 많다.

5. 맺음말

본고에서는 대표적인 일차원 하상변동 모형인 HEC-6의 적용 방법을 설명하였다. 특히 HEC-6의 이론적인 면보다는 자료 파일 작성을 중심으로 기술하였기 때문에, 본고의 내용을 차분히 따라가면 별 어려움 없이 HEC-6를 수행시킬 수 있을 것으로 본다. 그러나 본고에서는 기본적으로 이용자가 HEC-6의 이용자 지침서와 4.1판(Aug. 1993)의 실행 디스켓(3.5인치 2HD 2매)을 소지하고 있는 것으로 가정하고 설명을 진행하고 있으며, 본고는 다만 참고적으로 이용하기를 바랄 뿐이다. 또한, 가능하다면 HEC에서 제공하는 1981년과 1992년의 보정 지침서를 구해서 참고로 하는 것이 좋을 것이다.

어느 모형이든지 '어떻게' 모형을 실행시킬까 하는 것보다 '얼마나 정확히' 모형을 실행시킬까 하는 것이 보다 중요하다. 또한 모형을 실행시키는 것 자체보다는 결과를 정확히 해석하는 것이 훨씬 힘들다고 생각한다. 때때로 잘못된 자료를 입력하고도 그 결과를 맹신하는 경우를 종종 보게 된다. "Garbage input, garbage output!" 입을 명심하여야 할 것이다.

이런 점에서 특히 국내 하천 자료의 문제를 들자면, 유사 자료가 거의 없기 때문에 결국 유입 유사량을 추정해야 한다는 점과 하상토의 입경 분포 특히 자갈 하천의 하상토 입경 분포 문제를 언급할 수 있다. 첫번째 문제는 본고의 2.4절과 건기연(1989)의 보고서를 참고하기 바라며, 두번째 문제는 건기연(1993)의 보고서 부록을 참고하기 바란다.

앞서 언급한 바와 같이 HEC-6는 일차원 모형이므로 蛇行의 진행이나 국부적인 하상변동을 모의하기에는 부적합하다. 이런 경우는 이차원 모형을 이용해야 한다. 이차원 모형으로는 TABS-2(또는 TABS-MD)와 같은 모형이 있으며, 일본의 경우도 하천 전체에 걸친 장기간의 변동은 일차원 모형으로 일단 모의하고, 국부적인 변화에 대해서는 이차원 모형을 이용하고 있다(兒玉好史 등, 1993).

그러나, HEC-6을 적절히 활용하면, 각종 하천 계획의 영향을 사전에 평가하고, 그에 대한 대책을 강구하는데 큰 역할을 할 수 있을 것으로 본다. 아무쪼록 본고가 HEC-6를 이용하고자 하는 하천 실무자들에게 작은 도움이라도 되기를 바란다.

참고문헌

- 우효섭, 유권규, “하천 및 저수지에서의 세굴과 퇴적,” 제3회 수공학학술회의 교재, 1995, 2, pp135-225.
- 한국건설기술연구원, 하천유사량 산정방법의 선정기준 개발, 건기연 89-WR-113, 1989.
- 한국건설기술연구원, 하상변동 예측모형의 비교분석, 건기연 91-WR-112, 1991.
- 한국건설기술연구원, 평형하상경사 추정방법의 개발, 건기연 93-WR-112, 1993.
- 山本晃一, 河道特性論, 土木研究所資料 第2662號, 建設省土木研究所, 日本, 1988.
- 兒玉好史, 長内伸夫, 星淳一, “河床變動を考慮した鳴瀬川河道計劃の策定,” 第47回 建設省技術研究會論文集, 自由課題 河川部門, pp.135-138, 建設省, 1993.
- Ariathurai, R., and Krone, R. B., “Finite Element Model for Cohesive Sediment Transport,” Journal of Hydraulics Division, ASCE, pp.323-338, HY3, 1976.
- Hydrologic Engineering Center, HEC-6, Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual, 1977.
- Hydrologic Engineering Center, Guidelines for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6, 1981.
- Hydrologic Engineering Center, Guidelines for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6, Training Document No. 13, 1992.
- Hydrologic Engineering Center, HEC-6, Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual, 1993.
- Krone, R. B., Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes, Hydraulic Engineering Laboratory, University of California, Berkeley, CA, 1962.
- Limerinos, J. T., Determination of the Manning Coefficient from Measured Bed Roughness in Natural Channels, Water Supply Paper 1898B, U.S. Geological Survey, 1970.