

Regime 관계식을 이용한 국내 충적하천의 수위 예측

Prediction of Stage using Regime Relations
in Alluvial River in Korea

이진휘*, 김태준** 최성욱***

Jinhwi Lee, Taejoon Kim, Sung-Uk Choi

1. 서 론

수자원 관리에 있어서 하천의 수위-유량에 관한 정보는 가장 기본적인 기초자료가 되며 이를 통해 이수와 치수 기능을 고려한다. 우리나라 대부분의 하천은 지형이나 지질 등 자연 환경에 의해 퇴적작용이 진행되는 곳에 물길이 형성된 충적하천이다. 이렇게 자연적으로 형성된 충적하천의 수리학적 특성들은 예측하기가 힘들며 필요시에 유량을 얻기 쉽지 않으며 측정소에서 관측된 자료를 이용해 수위에 대한 관계식을 작성하여 쉽게 측정 가능한 수위를 통해 유량과의 관계를 산정하고 있는 것이 현실이다. 국내 하천에 적용하여 각 하천의 수리학적 특성을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 그에 적합한 Regime 방정식에 대한 연구와 분석이 필요하다.

본 연구에서는 충적하천의 하상토의 입자직경과 하상경사에 따른 수심-유량을 예측하는 다양한 Regime 관계식과 유량 횡분배 모형을 통해, 국내의 실제 전형적인 충적하천인 내성천의 상류 단면에 적용하여 각 방법들에 대한 예측 수위를 산정해보고 과거의 실측 자료와 비교하여 국내 충적하천에 적합한 수위 예측 기법을 모색한다.

2. Regime 관계식

일반적으로 이동상 하천에서 흐름 및 하상의 변화를 두 영역으로 구분가능하며 이는 프루드 수 (Fr)로 구분할 수 있다. $Fr < 1$ 인 경우 저수류 영역이고 $Fr > 1$ 인 경우 고수류 영역이 된다. 유속에 따라 하상형상의 변화 양상이 다르며 이에 따른 하상의 저항이 변하게 되는데 이를 고려하여 항력과 흐름간의 관계를 나타낸 식이 Regime 관계식이다.

2.1 Engelund-Hansen relation

Engelund-Hansen (1967)는 형상항력과 흐름과의 관계를 통해 수심 및 유량을 예측하는 기법을 제시하였으며 이는 실험실 규모의 모래하천에 적용이 잘 되는 것으로 알려져 있다. 또한 만수위 흐름에 도달하기 전 사구가 upper-regime plane bed로 가는 사구가 있는 중소 규모의 하천에도 잘 적용이 된다.

일반적으로 유수에 작용하는 항력은 형상항력과 표면마찰항력으로 구분할 수 있으며 표면마찰이 부담하는 수심을 이용하여 표면마찰에 의한 전단응력과 형상항력에 의한 전단응력을 계산할 수 있다. 식 1과 식 2는 표면마찰에 의한 전단속도와 무차원 전단응력이다.

* 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : guyjinh@yonsei.ac.kr

** 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석·박사통합과정 · E-mail : crayon@yonsei.ac.kr

*** 정희원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : schoi@yonsei.ac.kr

$$U_{*s} = \sqrt{gH_s S} \quad (1)$$

$$\tau_s^* = U_{*s}^2 / (RgD_{50}) \quad (2)$$

Engelund-Hansen (1967)은 저수류 영역에서 표면마찰에 의한 전단응력과 전체 전단응력과의 관계를 식 3과 같이 제시하였다.

$$\tau^* = \sqrt{\frac{5}{2}(\tau_s^* - 0.06)} \quad (3)$$

이로부터 계산된 Shields 수로부터 수심을 예측하는 식은 아래와 같다.

$$H = RD_{50}\tau^* / S$$

그리고 유속은 마찰저항계수와 표면마찰에 의한 전단속도로부터 계산할 수 있다.

$$U = U_{*s} \frac{1}{\kappa} \ln \left(11 \frac{H_s}{k_s} \right) \quad (4)$$

여기서 유효조도높이는 $k_s = 2D_{65}$ 를 권장하였다.

2.2 Parker relation

Parker (1978)는 6,000개가 넘는 실험적이고 실증적인 자료들을 바탕으로 흐름저항 관계식 5를 검정하였다.

$$U/U_* = 2.5 \ln(11H/D_{90}) \quad (5)$$

또한 같은 자료를 사용하여 Shields stress에 대한 Einstein 유사량의 그래프를 회귀 분석하여 식 6과 같은 소류사 관계식을 얻었다.

$$q^* = 11.2(\tau^* - 0.03)^{4.5} \tau^{*-3} \quad (6)$$

Parker (1978)은 식 5와 6을 통해 총 유량에 대한 무차원의 식을 아래와 같이 제시하였는데 이는 홍수기 자갈하천에 적합한 식으로 알려져 있다.

$$\tilde{Q} = 4.97(0.0553S^{-1.01})^{1.70} S^{0.50} B(1 - 2.23/\lambda) \quad (7)$$

여기서 \tilde{Q} 는 무차원화 시킨 유량 ($= Q/\{\sqrt{RgD_s} D_s^2\}$), B 는 수면폭, λ 는 폭-수심 비이다.

2.3 Brownlie relation

Brownlie (1982)는 실험과 실측자료를 바탕으로 회귀 분석하여 흐름저항에 대한 관계식을 수류영역에 따라 구분하여 제시하였다. 저수류 영역에서의 관계식은 식 8이며 고수류 영역에서는 식 9와 같다.

$$\frac{R_h}{D_{50}} S = 0.3724(\tilde{q}S)^{0.6539} S^{0.09188} \sigma_g^{0.1050} \quad (8)$$

$$\frac{R_h}{D_{50}} S = 0.2836(\tilde{q}S)^{0.6284} S^{0.08750} \sigma_g^{0.08013} \quad (9)$$

여기서 \tilde{q} 는 무차원 단위폭당 유량 ($= q_w/\sqrt{gD_{50}} D_{50}$), σ_g 는 하상토 입자의 기하 표준편차, S 는 하상경사, D_{50} 은 중앙입경, R_h 는 동수반경이다. 또한 Brownlie (1982)는 하상경사를 통해 수류영역을 정의하였는데 $S > 0.006$ 의 경우 고수류 영역, $S < 0.006$ 에서 저수류 영역으로 구분하였다.

3. 유량 횡분배법

흐름모형으로 Wark 등 (1990) 혹은 Knight and Shiono (1990)이 제시한 유량 횡분배법을 이용하였으며 다음과 같다.

$$ghS - \frac{\tau_b}{\rho} + h \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0 \quad (10)$$

여기서 h 는 수심, U 는 수심 적분된 유속, ν_t 는 수심 적분된 난류점성 계수이다.

$$\nu_t = \chi_y U_* h \quad (11)$$

여기서, χ_y 는 무차원 횡방향 와점성 계수로 0.16을 사용하였다. τ_b 는 전단응력으로 등류상태에서 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\tau_b = \rho C_f U^2 = \rho g H S \quad (12)$$

마찰저항계수 C_f 는 Keulegan 공식을 통해 얻었으며 식 13과 같다.

$$C_f = \left[\frac{1}{\kappa} \ln \left(11 \frac{H}{k_s} \right) \right]^{-2} \quad (13)$$

여기서 κ 은 von Karman 상수 (=0.41)이고 k_s 는 유효조도높이 (=2.0 D_{90})이다.

4. 기법의 적용

내성천은 국내 중소하천으로 낙동강의 북부에 위치하며 유역면적은 1,153.1 km², 유로 연장은 108.2 km이다. 내성천의 상류지점인 석포교 지점을 연구 대상으로 하였으며 하상토의 중앙입경은 1.32 mm 이며 모래하천으로 구분되어진다. 상류의 석포교 유역의 총 하천연장은 1/250,000 지형도상으로 약 167 km이고 하천 밀도는 0.56 km/km²이다. 유역의 형상 계수는 0.25 정도로 약간 긴 형상을 보이고 있으며, 하천의 선형은 북쪽에서 남쪽으로 잇는 직선에 가까운 편이다. 내성천은 전형적인 충적하천으로 하폭이 상당히 넓은 특징이 있다 (건설교통부, 1992). 그림 1은 석포교 지점의 홍수기시 횡방향 유속 및 단위폭당 유량 분포를 나타낸 것이다. 최대 유량 266 cms에서의 최대 유속이 약 1.1 m/s로 계산되었으며 이때의 수심은 2.3 m이다. 하상단면은 단단면 형태를 보이며 유량 횡분배법을 해석하여 얻은 유속 및 단위폭당 유량이 횡방향으로 비교적 균일하게 분포하는 것을 알 수 있다.

석포교 지점에서의 실측값과 각 방법에 따른 수위-유량 관계 곡선을 그림 2에 나타내었다. 저유량에서는 제시한 기법들이 실측 수위와 유사하게 산정되었지만 30 cms를 기준으로 EH 관계식과 BR 관계식은 다소 과다 산정하였고 LDM과 PA 관계식은 과소 산정하는 경향을 보였다. 한편 고유량에서는 EH 관계식과 BR 관계식이 실측수위를 잘 예측하였고 PA 관계식과 LDM은 각각 0.29 m와 0.23 m 정도 낮게 산정하는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 Regime 관계식과 유량 횡분배 모형을 국내 충적하천인 내성천에 적용하여 유량에 따른 수위를 예측하였다. Regime 관계식과 LDM 기법의 적용결과와 실측값을 비교하였는데 PA 관계식과 LDM을 이용한 수위 산정은 수위가 낮게 산정되었다. LDM 기법은 하천에 적합한 마찰저항계수를 산정하여야 하는 한계점을 가지고 있고 PA 관계식은 자갈하천에 적합하기 때문인 것으로 판단된다. 반면 EH 관계식과 BR 관계식은 비교적 실측수위와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 “하천에서 유사이동 및 하상변동 예측을 위한 3차원 수치모형의 개발 (11기술혁신C04)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부. (1992). 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구.
2. Brownlie, W. R. (1981). Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels, *Report No. KH-R-43A*, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA, 232 p.
3. Engelund, F. and Hansen, E. (1967). *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*, Technisk Vorlag, Copenhagen, Denmark.
4. Parker, G. (1978). "Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed. Part 2. The gravel river", *J. Fluid Mech*, vol. 89, pp. 127-146
5. Shiono, K. and Knight, D.W. (1990). "Mathematical models of flow in two or multi stage straight channels". *Proceedings of International Conference on River Flood Hydraulics*, edited by W.R. White, Wallingford Paper G1, 229-238.
6. Wark, J.B., Samuels, P.G., and Ervine, D.A. (1990). *A practical method of estimation velocity and discharge in a compound channel*, Flood Hydr., White, W.R. ed., John Wiley and Sons, Inc., U.K.

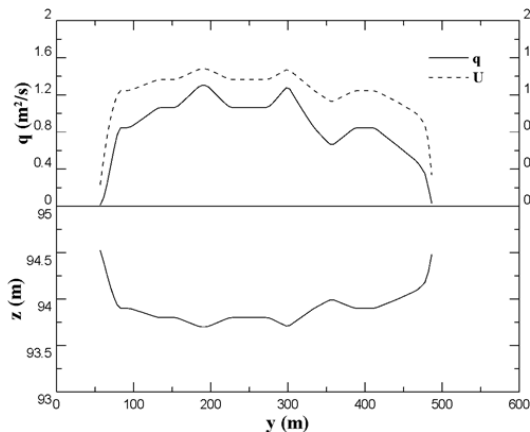


그림 1. 하천단면과 횡방향 유속 및 단위폭당 유량분포

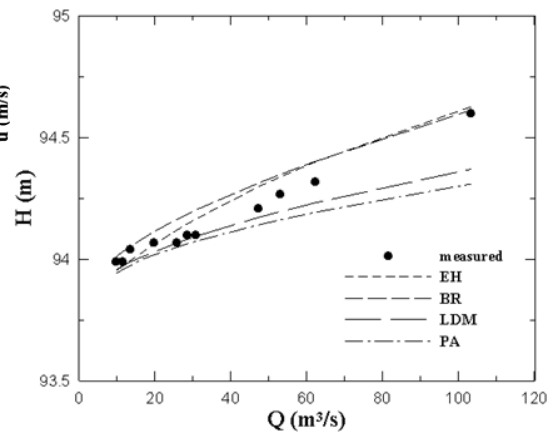


그림 2. 수위-유량 관계 곡선 비교