

# 수목이 있는 하도에서의 수위 예측

○김원화\*, 김환국\*, 정재욱\*\*, 윤세의\*\*\*

## 1. 서론

최근 하천환경에 대한 관심이 집중되면서 하천부지에 식수의 필요성이 대두되고 있다. 하천부지의 수목은 야생동물의 서식처를 제공하고, 흐름의 유속을 감소시키며, 제방부근의 식수는 제방 자체의 침식을 방지하고, 사면의 안정을 증대시키며, 나아가 차량의 소음을 분산, 공기정화 등의 기능도 갖게 된다. 반면에, 하천의 식수는 하천수위를 상승시켜서 홍수소통을 방해하고, 수로내의 수목군의 위치에 따라서 제방침식을 가중시키며, 식수 주위의 부착물로 인하여 하천시설물의 기능을 감소시키는 작용도 하게 된다. 하천부지에 식수를 계획할 경우에는 이러한 수리학적 특성의 변화를 명확히 분석하여 하천식수로 인한 장점 뿐만 아니라 단점에 대한 충분한 검토가 진행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 수목군이 하도에 존재할 경우 수위 변화를 예측하여 친환경적 하천설계시 기초자료를 제공함이 그 목적이다. 이를 위하여 연속방정식과 수목 주위의 전단력항을 포함한 운동방정식을 사용하여 수위예측 모형을 구성하였으며, 수치실험을 통하여 수목군의 위치, 투과계수, 제방 이격거리 등의 변화에 대한 흐름특성을 분석하였다.

## 2. 수목군이 존재하는 하도의 수리모형

하도에 수목군이 광범위하게 존재하면 수목군내에 사수역이 형성되고, 하도의 단면적이 감소하며, 주변의 흐름과 혼합현상을 일으켜 저항이 증대된다. 따라서, 이러한 구간에서의 수리변수들은 수목군의 영향을 고려하여 산정되어야 한다.

수목군이 빈무한 하도에서의 부등류 계산은 먼저, 밀생한 수목군의 범위를 사수역으로써 윗단면에서 제외시킨다. 수목군이 존재하는 고수로와 저수로 사이에서는 횡단면내 유속차가 크게 발생한다. 따라서 이러한 경계면에서는 운동량 변화에 따른 저항력이 고려되어야 하며, 이를 위해 횡단면을 수목군의 빈무상태에 따라 몇 개의 단면으로 분할하였다. 분할단면에서의 평균유속은 운동방정식과 연속방정식에서 구할 수 있으며, 식(1), (2)와 같다.

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum_j (\tau_j' S_{wj}')}{\rho g} = A_i I_b \quad (1)$$

\* 경기대학교 대학원 석사과정

\*\* 경기대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 경기대학교 토목공학과 교수

$$Q = \sum (A_i U_i) \quad (2)$$

여기서,  $u_i, n_i, R_i, A_i, S_b$ 는 분할단면  $i$ 에서의 평균유속과 Manning의 조도계수, 경심, 사수역을 제외한 단면적, 그리고 저면전단력이 작용하는 윤변장이며,  $\tau_j, S_{wj}$ 는 각각 수목군경계에 작용하는 전단력,  $\tau_j$ 가 작용하는 윤변장이다. 또한,  $\tau_j', S_{wj}'$ 는 각각 수목군경계 이외의 분할단면 경계에 작용하는 전단력,  $\tau_j'$ 가 작용하는 윤변장을 나타내며,  $I_b$ 는 하상경사이다.

식 (1)의 좌변 제1항은 분할단면  $i$ 에서의 유수저면에 작용하는 전단력, 제2항과 3항은 운동량 교환에 따라 발생하는 전단력으로써 결국, 좌변은 분할단면 전체의 유수저항을 의미하며, 우변은 중력의 흐름방향 성분을 나타낸다. 인접한 분할단면간의 전단력은 식(3)과 같다.

$$\tau' = \rho f (\Delta u)^2 \quad (3)$$

여기서,  $\Delta u$ 는 두 단면의 유속차이다. 경계혼합계수  $f$ 는 경계부에서 유체혼합의 크기를 나타내는 변수로써, 후쿠오카·후지다(1992)에 의해 검토된 값을 사용하거나(표 1), 실험식을 이용하여 구할 수 있다(식 (4), (5)).

표 1. 경계 혼합계수  $f$ 의 값

혼합 현상의 구분	경계 혼합계수 ( $f$ )
저수로와 고수로 흐름의 혼합	0.17
수목군이 제방에 접해있는 경우	0.03
수목군이 두 흐름에 끼인 경우	0.10

· 수목군이 두 개의 주류부에 끼어 있는 경우

$$\begin{aligned} \frac{K\sqrt{h}}{u_m\sqrt{b}} \leq 0.4 \text{ 일때, } f &= 0.072 \frac{K\sqrt{h}}{u_m\sqrt{b}} \\ \frac{K\sqrt{h}}{u_m\sqrt{b}} > 0.4 \text{ 일때, } f &= 0.017 + 0.029 \frac{K\sqrt{h}}{u_m\sqrt{b}} \end{aligned} \quad (4)$$

· 수목군이 제방에 접해 있는 경우

$$f = 0.04 \times \{1 - \exp(-0.06 b/L_w)\} + 0.007 \quad (5)$$

$$\text{여기서, } L_w = 0.04 \times \{h^3 K^2 / (2 F_m^3 g)\}^{1/4}$$

$$K = \frac{1}{\sqrt{a_w C_D / (2g)}}$$

$$F_m = \frac{2gn_m^2}{h^{1/3}}$$

단,  $b$ 는 수목군의 폭,  $h$ 는 수심(수목이 수몰하지 않을때는 수심, 수몰한 경우에는 수목높이),  $u_m$ 은 수목군에 접한 분할단면에서의 평균유속,  $n_m$ 은 단면의 Manning의 조도계수,  $C_D$ 는 수목군의 항력계수,  $a_w$ 는  $Na/(Ah)$ 로 표시되며, 여기서,  $A$ 는 수목군 변무면적,  $N$ 은 수목군 수,  $a$

는 수목 1本당의 줄기 및 가지의 총투영면적을 나타낸다.

이로부터 계산된 횡단유속분포를 이용하여 개개의 수목군이 홍수류에 미치는 저항을 직접 계산하고, 에너지방정식을 적용하여 종단수위를 계산하였다(식 (6)).

$$\left[ H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right]_2 - \left[ H + \frac{1}{A} \sum \frac{u_i^2 A_i}{2g} \right]_1 = \frac{1}{2} \left\{ \left[ \frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right]_1 + \left[ \frac{1}{A} \sum \frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} \right]_2 + \left[ \frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right]_1 + \left[ \frac{\sum \tau_j S_{wj}}{\rho g A} \right]_2 \right\} \Delta X \quad (6)$$

<그림 1>은 모형의 흐름도이다. 입력된 자료로부터 분할단면의 면적과 윤변을 계산하며, 운동방정식과 연속방정식에 의해 각 단면의 평균유속을 구한 후, 상류 수심은 표준측차법을 이용하여 계산하였다.

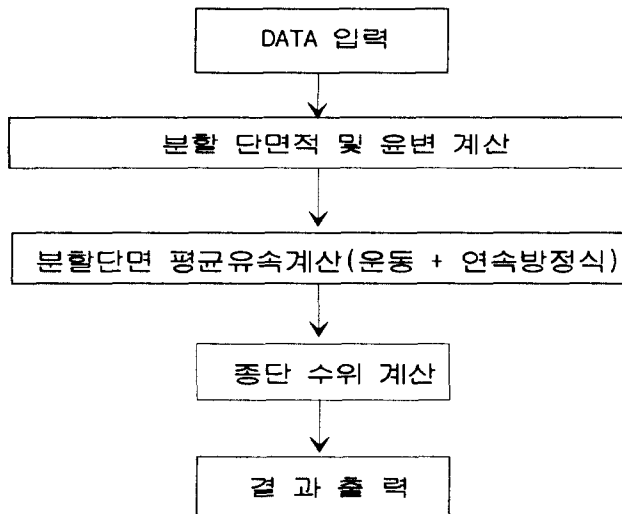


그림 1. 모형의 흐름도

### 3. 결과 및 분석

<그림 2>는 좌·우측 고수부지가 대칭인 경우의 가상 단면(福康捷二 등, 1992)을 나타낸 것이다. 이 때 유량(Q)은 6000CMS, 하상경사(S<sub>0</sub>)는 1/4100, 초기수심(H<sub>0</sub>)은 9.0m를 적용하였으며 종단거리는 총 1500m로써, 격점간의 간격은 500m이다.

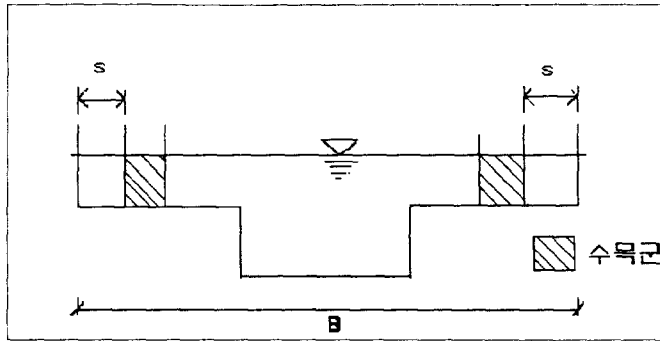


그림 2. 대표 단면

<그림 3>은 횡단면적에서 차지하는 수목군의 면적을 양측제방에 접하여 각각 5%, 10%, 20%로 증가 시키면서 종단수위를 비교한 것이다. 본 모형으로부터 계산된 수목군이 존재하지 않을 때의 결과치를 기존에 널리 사용되고 있는 수위계산 모형(HEC-2)과도 비교하였다.

수위 증가율은 수목군이 적용되는 500m지점에서 수목군이 없을때의 결과치를 기준으로 각각 0.04%, 0.12%, 0.32% 감소하였으며, 그 이후 1500m지점에서는 0.24%, 0.42%, 0.95% 증가하고 있다. 즉, 500m 지점에서는 수목군이 많아질수록 수위가 낮게 나타났으며, 이후 상류로 가면서 수목군에 비례하여 증가하고 있다. 이는 하류기점(거리 0m)에서는 수목군이 적용되지 않았으며, 이후 500m지점에서 수목군을 적용함으로써 이 지점에서 급격한 단면 축소로 유속이 증가하여 수위가 저하된 것으로 판단된다. 한편 수목군이 없는 경우에는, 본 모형과 HEC-2에 의한 결과는 거의 동일하게 나타났다.

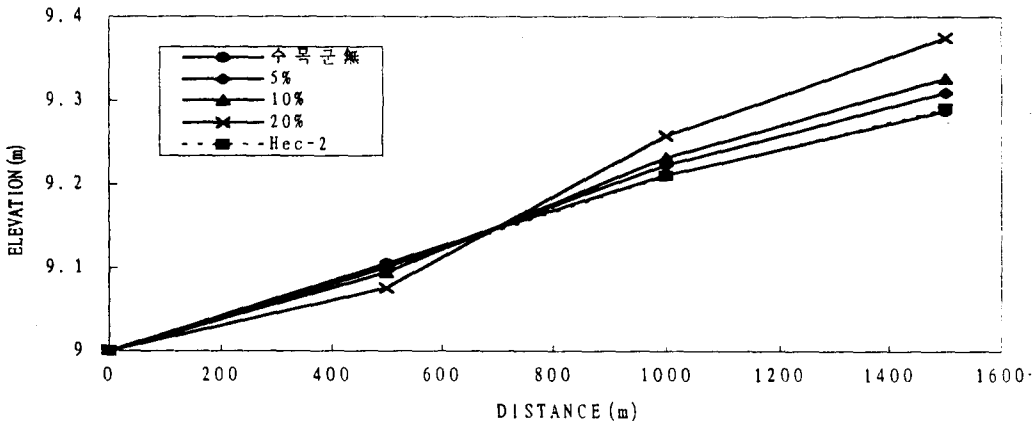


그림 3. 수목군 면적비에 의한 수위 변화

<그림 4>는 하도내 고수부지 구간에서의 수목군의 위치에 따른 수위변화를 예측하기 위해 수목군과 제방의 이격거리 S에 따른 종단수위 분포를 나타낸 것이다. 제방에 인접한 경우의 수위를 기준으로, 고수로 중앙과 저수로에 근접한 경우에서의 수위변화율을 계산한 결과, 500m지점에서 0.13%, 0.21%, 1000m지점에서 0.42%, 0.55%, 1500m지점에서 0.62%, 0.81%로써 저수로측에 가까이 식재될수록 수위는 증가하고 있다.

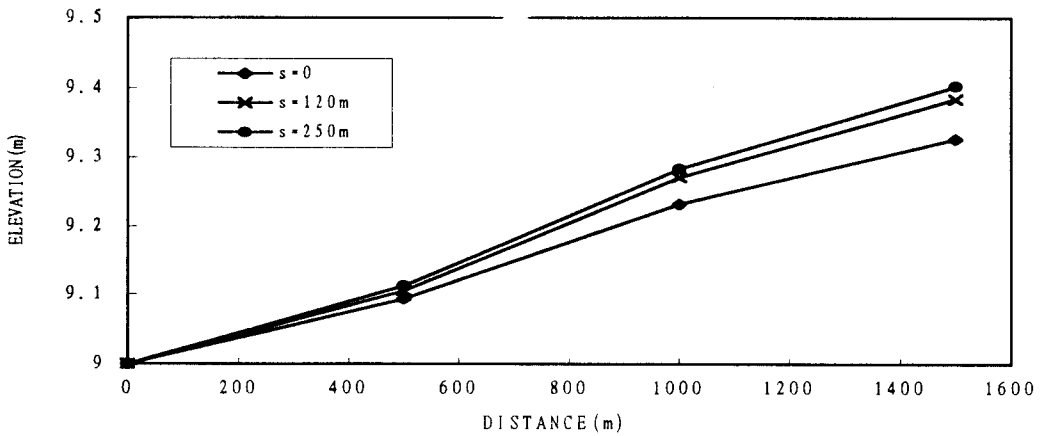


그림 4. 수목군 위치에 따른 수위변화 (수목군 적용비 10%)

<그림 5>는 수목군이 식재된 지점과 제방사이의 유속 분포도를 나타낸 것이다. 여기서,  $U_m$ 은 횡단면의 평균유속,  $U$ 는 제방과 수목군 사이의 평균유속이다. 계산결과, 제방과의 이격거리의 비 ( $2S/B$ )가 0.01보다 작을 때는 기울기가 급하게 나타나며, 그 이후에는 비교적 안정을 보이고 있다. 여기서, 0.01은 제방으로부터 이격거리가 거의 고수부지 수심에 해당하는 거리이다. 따라서, 고수부지에 수목을 식재할 경우 제방으로부터의 이격거리가 고수부지 수심에 해당할 때 까지는 유속변화를 고려해야 할 것으로 판단된다.

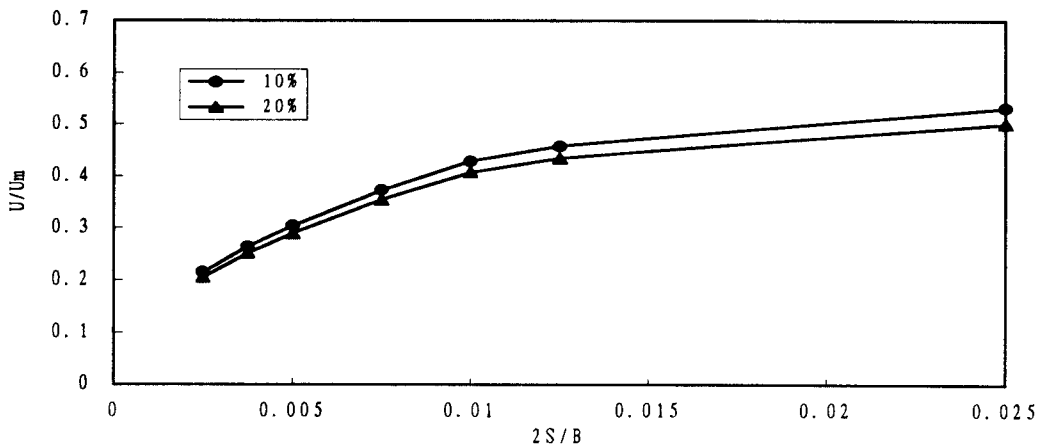


그림 5. 제방으로부터 거리/단면폭 비에 따른 유속비

<그림 6>은 투과계수  $K$ 의 변화에 대한 수위변동을 검토하기 위해 고수부지에서 수목간의 간격을 다르게 식재한 경우의 종단수위 분포도를 나타낸 것이다. 여기서,  $d$ 는 수목의 직경,  $L$ 은 수목간의 간격을 나타낸다. 수위변화는 1500m 지점에서 약 0.085%의 차이를 보이고 있지만, 전반적

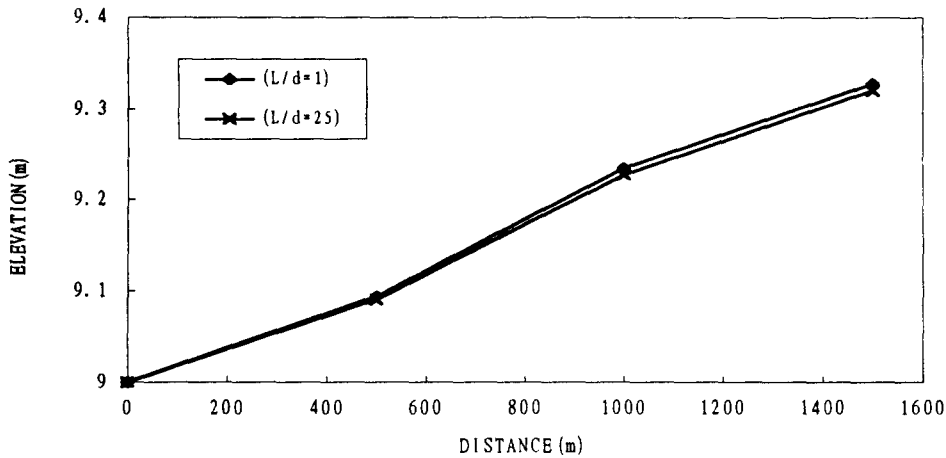


그림 6. 식재 간격과 수위변화

으로 수목간의 간격이 수위에 미치는 영향은 비교적 작게 나타났다. 그러나, 식재간격이 좁아지면 홍수시 부유물이 나무에 부착하여 항력계수를 증가 시킴으로 큰 수위증가가 예상된다.

#### 4. 결론

하도에 수목군이 존재할 경우, 흐름특성을 분석하기 위해 연속방정식과 수목군 주위의 전단력을 포함한 운동방정식을 이용하여 수위예측 모형을 구성하였다. 그 결과 전단면적에 대한 수목군의 면적비가 증가 할 수록 수위는 증가하며, 1500m떨어진 상류단면의 수위 증가율은 수목군이 없을때를 기준으로 최고 0.95%증가 하였다. 수목군의 위치에 따른 수위변동은 수목군이 제방으로부터 멀어질 수록, 즉 저수로의 흐름에 인접 할 수록 수위는 상승하며 수목군이 제방에 인접한 경우를 기준으로 1500m지점에서 최고 0.81%의 증가율을 나타냈다. 또한, 제방으로부터 수목군의 이격 거리가 고수부지 수심이내 일때 제방부근의 유속은 감소하며, 그 이후에서는 비교적 안정을 보이고 있다. 투과계수에 따른 수위변화는 비교적 작게 나타났으며, 이에 대한 연구는 경계혼합계수와 더불어 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. 윤세의(1996). "하천식수의 수리학", 한국수자원 학회지, 제 29권 제 2호, pp. 27-38.
2. Chaudhry M. Hanif(1993). "Open-Channel Flow", Prentice-Hall, pp. 125-137.
3. 建設省河川局 治水課(1994). "河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)", 山海堂, pp. 20-60.
4. 福岡捷二, 藤田光一, 新井田 浩(1992). "樹木群を有する河道の洪水位豫測", 土木學會論文集, 第447号/II-19, pp. 17-24.
5. 福岡捷二, 藤田光一(1990). "洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響", 土木研究所報告, 第180号-3, pp. 129-192.