

〈論 文〉

蛇行도를 가진 複合斷面 河道에서의 洪水傳播特性
 Floodwave Propagation in Sinuous Channel
 with Compound Cross Sections

朴 在 弘*, 韓 健 淵**, 趙 弘 濟***

PARK Jae Hong, HAN Kun Yeun and CHO Hong Je

Abstract□ The sinuosity model has been developed to simulate the floodwave in meandering channels by solving the extended Saint-Venant equation with the Preissmann scheme. The suggested model is compared with three conventional floodplain routing methods in terms of governing equations, mass conservation error and floodwave analysis. The sinuosity model produces the mass conservation error of 1.5-1.8 %, however the separate channel model produces 9.1 % and 27.4 % for sinuosity of 1.5 and 2.0, respectively. The model has been used to simulate flow in an idealized meandering river with a floodplain. The attenuation ratio and the travel time ratio are found to increase as the floodplain roughness and width increase and as the sinuosity factor decreases. The model is expected to contribute the floodwave analysis in sinuous channel with compound corss sections.

요 지 : 사행특성을 가진 복합하도에서의 홍수파해석을 위하여 사행도 모형을 개발하였다. 사행도 모형을 지배 방정식, 질량보존 오차 및 홍수파 해석 등을 통하여 기존의 세가지 홍수터 모형과 비교하였다. 사행도 모형에 의한 오차는 1.5-1.8 % 정도로 나타났으나 분리하도 모형의 경우에는 1.5, 2.0 의 사행도에서 각각 9.1, 27.4 % 로 큰 오차가 발생하였다. 사행도 모형은 홍수터를 가진 사행하도에서의 홍수전달 특성해석을 위하여 적용되었다. 사행도 모형에 의한 수치실험 결과, 홍수터의 조도와 홍수터의 하폭이 증가할수록, 사행도가 감소할수록 감쇠비와 유하시간비는 증가하였다. 본 모형은 복합하도 단면을 가지며 사행하는 국내 하천에서의 부정류 해석에 적용성이 클 것으로 판단되었다.

1. 서 론

사행도를 가진 복합하도 단면에서의 부정류해석은 수리특성치들이 하도의 기하학적 형상에 따라 급격하게 변함으로 인하여 수치 불안정을 일으키게 된다. 사행하천에서 홍수파가 주하도를 범람하며 홍수터를 통하여 유하하는 경우에는 하도의 유하거리가 현저하게 감소할 수 있고 하폭은 크게 증가하

게 된다. 홍수터의 흐름은 그림 1에서와 같이 수로의 사행구간을 따라 진행하지 않고 홍수터의 직선적인 흐름 방향을 따라 하류로 유하된다. 이때 흐름경로의 단축현상이 발생하고 이러한 특성은 홍수터의 하도 경사가 클수록 더욱 현저하게 나타난다.^{(6),(9)}

사행하천의 홍수 전달특성에 관한 연구는 Liggett 와 Cunge⁽¹⁴⁾, Miller 와 Cunge⁽¹⁵⁾ 등이 홍수터의 영향을 저류효과와 복합하도로 구성하여 해결하였고, Perkins⁽¹⁶⁾는 홍수터 범람으로 인한

* 경북대학교 대학원 토목공학과 박사과정
 ** 경북대학교 공과대학 부교수, 토목공학과
 *** 울산대학교 공과대학 교수, 토목공학과

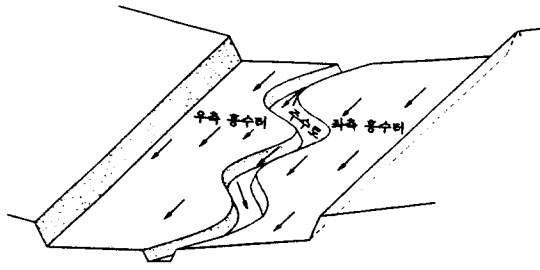


그림 1. 사행도를 갖는 복합단면하도

유로단축 형상을 선형적으로 해석하였다. Fread^{(9),(10),(11)}가 분리하도 모형을 제시하였고 Chow 등⁽⁶⁾, French⁽¹²⁾가 Fread 연구결과를 인용하여 기술하였다. DeLong⁽⁷⁾은 분리하도 모형의 문제점에 대하여 질량보존을 중심으로 연구하였고, Bhowmik과 Demissie⁽⁵⁾는 홍수터의 통수능을 고려한 해석기법을 연구하였다. Dracos 와 Mardegger⁽⁸⁾는 홍수터를 가진 비교적 균일 하도 단면에서의 정상류 해석을 실시하였으며 Abida 와 Townsend⁽⁴⁾는 복합하도 단면에서의 통수능과 측방운동량 이송을 고려한 부정류해석을 실시하였다. 국내 이 분야에 대한 연구는 송재우와 이원환⁽²⁾이 만곡하도구간의 기하학적 특성에 대하여 연구하였고 박재홍⁽¹⁾은 Preissmann 기법의 수치불안정성을 해석하였으며 한건연⁽³⁾등이 상류-사류 천이영역에 대한 부정류 해석을 실시한 바 있으나 만곡하도내에서의 홍수전달특성을 연구한 것은 전무한 실정이다. 국내 주요하천이 넓은 홍수터를 가지며 사행도가 크게 나타나는 장년기, 노년기 하천임을 고려한다면 사행도를 가진 복합하도 단면에 대한 홍수파 전달 특성에 관한 해석의 필요성이 클 것으로 사료되었다.

이제까지의 홍수파 모형들은 주수로와 홍수터에서의 상이한 유속과 파속에도 불구하고 홍수터를 유속이 없는 저류영역으로 처리하는 경우, 주수로와 홍수터를 복합 하도로 고려하는 경우 및 주수로와 홍수터를 분리하여 통수능의 항으로 처리하는 경우 등이 있었다. 본 연구에서는 사행성을 가진 복합단면 하도에 대하여 확장된 Saint-Venant 식에 의한 사행도 모형을 개발하였고, 기존 모형의 문제점을 분석하였다. 다양한 사행성과 홍수터의

물리, 기하학적 특성을 고려하여 사행하도에서의 홍수전달특성을 해석하였다.

2. 사행도 모형의 기본 방정식

사행도를 가진 복합하도단면에 대한 1차원 부정류의 기본 방정식은 (1),(2)식과 같은 연속 방정식과 운동량 방정식으로 구성된다.^{(7),(13)}

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} - q(s) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial s} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial s} + S_f(s) \right) = 0 \quad (2)$$

여기서, s : 최심선을 따른 하도 거리,
 A : 통수단면적 Q : 유량
 q : 단위길이당 측방향 유입유량
 g : 중력가속도 y : 수위
 n : Manning의 조도계수
 S_f : 마찰경사(= $\frac{Q |Q|}{K^2}$)

$$K: \text{통수능} (= \frac{1}{n} AR^{2/3})$$

(1), (2)식의 적용에 있어서는 흐름은 1 차원적이고, 유선의 만곡도와 연직가속도는 무시하였고, 난류와 마찰의 효과는 정상상태에 제시된 저항법칙에 의하여 적절히 기술될 수 있는 것으로 고려하였으며 하도경사는 충분히 완만한 경우 등의 기본가정에 의하여 기술되었다.

(1), (2)식을 s-t좌표계내에서 수표면에 대해 적분하면 (3), (4)식과 같은 적분형 방정식이 유도된다.

$$\iint \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} - q(s) \right) ds dt = 0 \quad (3)$$

$$\iint \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial s} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial s} + S_f(s) \right) \right) ds dt = 0 \quad (4)$$

(3), (4)식에 Green의 정리를 적용하면 (5), (6)식과 같이 기술된다.

$$-\oint A ds + \oint Q dt - \iint q(s) ds dt = 0 \quad (5)$$

$$-\oint Q ds + \oint \frac{Q^2}{A} dt + \iint gA \left(\frac{\partial y}{\partial s} + S_f(s) \right) ds dt = 0 \quad (6)$$

여기서, \oint 는 선적분을 나타낸다.

(5), (6)식을 수로거리 Δs 가 시간에 따라 변화하는 s-t좌표계로 부터 기준거리 Δx 가 시간에 독립적인 x-t좌표계로 변환시키기 위하여 그림 2⁽⁷⁾에서와 같이 $ds = M dx$ 가 성립하는 거리환산계수 M을 도입하면 (7), (8)식과 같이 정리된다.

$$-\oint A M dx + \oint Q dt - \iint q(x) dx dt = 0 \quad (7)$$

$$-\oint Q M dx + \oint \frac{Q^2}{A} dt + \iint gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} + S_f(x) \right) dx dt = 0 \quad (8)$$

여기서, $\frac{1}{M}q(x) = q(s), \frac{1}{M} \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial s}$,

$$\frac{1}{M} S_f(x) = S_f(s)$$

이제, x좌표가 홍수터 거리이고 s좌표가 최심선의 위치에 놓여 있다고 하면 M은 사행도로 고려될 수 있다. 실제하도에서 M은 수위에 따라 변화하게 되며 주어진 하도단면과 수위에 대하여 (9)식과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$M = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n M_i A_i \quad (9)$$

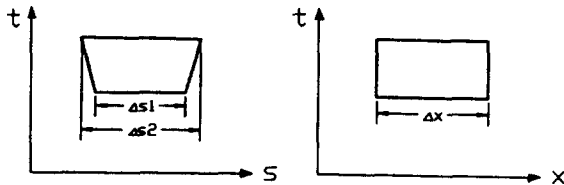


그림 2. 좌표계의 변환과정

여기서, n은 소구간의 수, M은 소구간의 사행도, A'는 소구간의 면적을 나타낸다.

(7), (8)에 대해 Green의 정리를 다시 적용하여 적분형 방정식을 얻은후 x와 t에 대해 미분하면 (10), (11)식과 같은 사행도를 고려한 연속방정식과 운동량 방정식이 유도될 수 있다.

$$\frac{\partial (AM_a)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q(x) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial (QM_q)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} \Big|_s + \frac{\partial y}{\partial A} \Big|_x \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{Q |Q|}{K^2} \right) = 0 \quad (11)$$

여기서, $M_a = \frac{1}{A} \int_A M dA$

$$M_q = \frac{1}{Q} \int_A M dQ$$

이제 (10), (11)식은 기존의 Preissmann⁽¹⁷⁾ 기법에 의하여 차분화하고 Newton-Raphson 방법에 의해 그 해를 구할 수 있다.

3. 기존해석 모형의 문제점

3.1 저류 모형

저류 모형은 홍수터 흐름에 대한 운동량의 영향은 없고 저류효과만 있는 것으로 고려하는 경우이다. 이 경우 연속방정식에서의 단면적은 (12)식과 같이 주수로단면과 홍수터단면의 합으로 표시되며 운동량 방정식에서의 단면적은 주수로 단면만을 고려하여 홍수터에서의 흐름의 유속은 무시하고, 운동량의 전달효과도 고려하지 않는 경우이다.

$$A = A_c + A_L + A_R \quad (12)$$

여기서, A_c, A_L, A_R 은 각각 주수로 및 좌, 우 홍수터의 단면적을 나타내고 있다.

실제 하도구간에서 주수로 단면과 홍수터 단면의 구분은 상,하류부의 일관성을 고려하여 하천 기술자의 판단에 의하나 개인에 따라 주관적인 오차를

포함할 가능성이 크다.

3.2 합성단면 모형

합성단면 모형은 주수로와 홍수터를 하나의 연속된 단면을 가진 영역으로 처리하기 때문에 연속방정식과 운동량방정식에서의 단면적 A 는 (12)식에 의하여 처리한다. 이 경우는 주수로와 홍수터의 상이한 조도계수는 (13)식과 같은 합성조도계수의 식을 사용하여 처리하게 된다.

$$n_e = \left[\frac{(p_c n_c^2 + p_L n_L^2 + p_R n_R^2)}{(p_c + p_L + p_R)} \right]^{1/2} \quad (13)$$

여기서, n_e 는 합성조도계수, p_c, p_L, p_R 과 n_c, n_L, n_R 은 각각 주수로 및 좌, 우 홍수터에서의 윤편과 조도계수를 나타내고 있다.

이 경우의 계산은 사행도가 없는 경우에는 비교적 정확한 계산결과를 제시하나 사행도의 영향을 전혀 반영하지 못하고 있고 특히 홍수터가 급격히 확대되는 경우에는 수치불안정을 일으키는 경우가 많게 된다.

3.3 분리하도 모형

홍수터를 가진 사행하는 하도구간에 대해서는 (1), (2)식을 변형하여 홍수터와 주수를 분리하여 사행도에 따라 유하거리를 각각 달리하여 계산하고 유량과 통수면적을 (14), (15)식과 같이 전체수로에 대해 합산하는 방법이 지금까지 널리 사용되어 왔다. ^{(6),(9),(12)}

$$\frac{\partial A_C}{\partial t} + \frac{\partial A_L}{\partial t} + \frac{\partial A_R}{\partial t} + \frac{\partial Q_L}{\partial x_L} + \frac{\partial Q_R}{\partial x_R} + \frac{\partial Q_C}{\partial x_C} - q(x) = 0 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial Q_C}{\partial t} + \frac{\partial Q_L}{\partial t} + \frac{\partial Q_R}{\partial t} + \frac{\partial(Q_L^2/A_L)}{\partial x_L} \\ & + \frac{\partial(Q_R^2/A_R)}{\partial x_R} + \frac{\partial(Q_C^2/A_C)}{\partial x_C} + gA_L \left(\frac{\partial y_L}{\partial x_L} + S_{TL} \right) \\ & + gA_R \left(\frac{\partial y_R}{\partial x_R} + S_{TR} \right) + gA_C \left(\frac{\partial y_C}{\partial x_C} + S_{TC} \right) = 0 \quad (15) \end{aligned}$$

여기서, 첨자 L, R, C는 왼편 홍수터, 오른편

홍수터, 주수를 각각 의미한다. 각각의 하도길이를 시간에 대한 상수로 가정하면 연속방정식은 (16)식과 같다.

$$\frac{\partial A_L}{\partial t} + \frac{\partial A_R}{\partial t} + \frac{\partial A_C}{\partial t} + \frac{1}{m_L} \frac{\partial Q_L}{\partial x} + \frac{1}{m_R} \frac{\partial Q_R}{\partial x} + \frac{1}{m_C} \frac{\partial Q_C}{\partial x} - q(x) = 0 \quad (16)$$

여기서, 거리환산계수 $m_i = \frac{dx_i}{dx}$ ($i=L, R, C$)이다.

(16)식은 측방유입이 없다고 가정한다면 (17)식과 같이 기술된다.

$$\sum \frac{\partial A_i}{\partial t} + \sum \frac{1}{m_i} \frac{\partial Q_i}{\partial x} = 0 \quad (17)$$

이제 (17)식은 (18)식과 같이 정리될 수 있다.

$$\sum \frac{1}{m_i} (m_i \frac{\partial A_i}{\partial t} + \frac{\partial Q_i}{\partial x}) = 0 \quad (18)$$

(10)식을 주수로부와 좌, 우 홍수터를 분리하여 나타내면 (19)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum (m_i \frac{\partial A_i}{\partial t} + \frac{\partial Q_i}{\partial x}) = 0 \quad (19)$$

(18)식과 (19)식을 정리하면 (20)식을 얻게 된다.

$$\sum \left(\frac{1}{m_i} - 1 \right) (m_i \frac{\partial A_i}{\partial t} + \frac{\partial Q_i}{\partial x}) = 0 \quad (20)$$

일반적으로 (20)식은 0이 되지 않음을 쉽게 알 수 있고 따라서 (16)식은 질량보존이 되지 못하고 있다. (18)식과 (19)식은 흐름이 정상류 상태이고 $m_L = m_R = m_C$ 이거나 사행도가 없을 경우에는 동일하다. 그러므로 (20)식이 0이 되지 않는 경우에는 (16)식은 질량을 보존하지 못한다. 마찬가지로 유

사한 과정이 운동량방정식에도 적용될 수가 있는데 기존의 분리하도 모형에 적용된 식으로는 역시 운동량도 보존되지 못한다. 따라서 분리하도 모형에 의하여 주수로 및 좌우 홍수터 수로에 대하여 독립적으로 기술한 미분 방정식은 주수로와 홍수터 수로의 거리가 상이한 경우에는 질량 및 운동량 보존이 되지 않음을 수식을 통하여 알 수 있었다.

4. 적용 및 비교검토

4.1 사행도 모형의 적용

사행도 모형을 기존의 분리하도 모형과 비교하기 위해 그림 3의 단면을 갖는 사행하는 복합하도에 대하여 수치실험을 실시하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 사행도가 1.0, 1.5, 2.0, 주수로와 좌,우 홍수터의 조도계수를 0.035 및 0.07, 하폭을 각각 100, 298.5m, 주수로부의 수심을 3m로 설정하였으며 하천의 제방에서 주수로 방향의 홍수터 경사는 0.0016, 하도구간의 길이는 80km이고 측방유입은 고려하지 않았다.

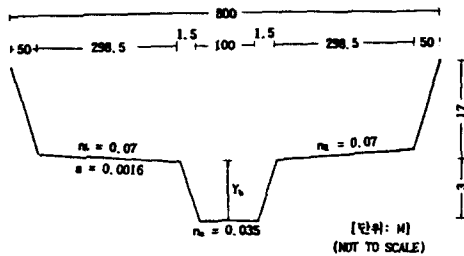


그림 3. 사행도 모형의 해석을 위한 하도단면

기존의 방법중 가장 널리 쓰이는 분리하도 모형의 특성을 사행도 모형과 비교하기 위하여 상류단의 임의의 유입수문곡선에 대한 하류단에서의 유출수문곡선을 도시하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 사행도가 1.0인 경우에는 앞절에서 기술된 대로 하류단에서 두 모형이 잘 일치하고 있었으나 사행도가 커질수록 그림 5, 6에서처럼 첨두유량과 첨두도달시간에 대한 편차가 커짐을 발견할 수 있었다.

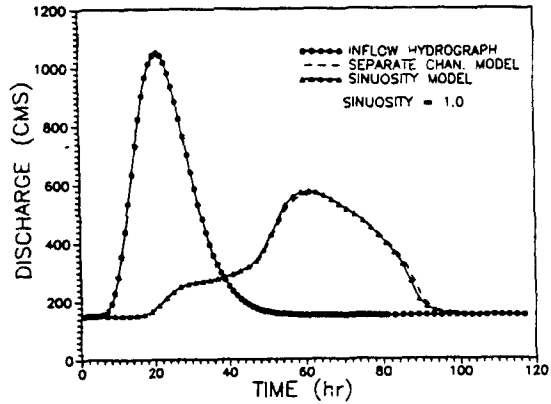


그림 4. 사행도 모형의 유출수문곡선(SINUOSITY = 1.0)

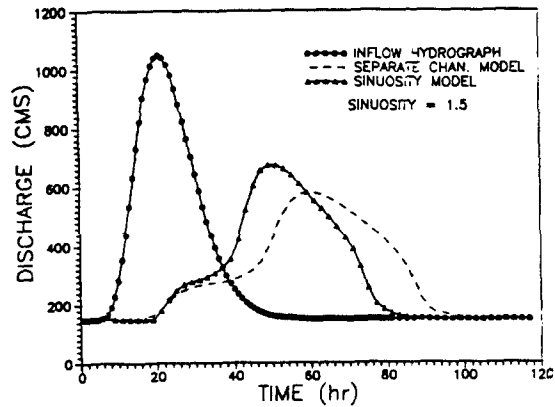


그림 5. 사행도 모형의 유출수문곡선(SINUOSITY = 1.5)

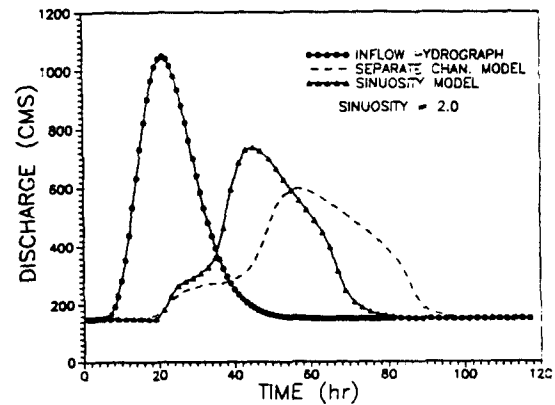


그림 6. 사행도 모형의 유출수문곡선(SINUOSITY = 2.0)

두 모형에 대한 질량보존을 검증하기 위하여 두 모형의 하류단에서 첨두유량에 이를때 까지 유입유량으로부터 유출유량을 제하여 그 값이 하도내의 저류된 유량과 비교되었다. 이 과정은 많은 계산량을 필요로 하기는 하나 모형자체의 정확성을 판단하기 위한 합리적인 방법이다. 계산결과 표 1에서 보는 바와 같이 사행도 모형은 사행 정도에 관계없이 1.5-1.8% 정도의 오차로 비교적 질량이 잘 보존되고 있었는데 이 오차량은 수로내에 저류된 유량의 계산과정에서 발생된 것과 이산화 과정에 의한 오차로서 비교적 작은 양으로 사료되었다. 분리하도 모형은 사행도가 1.0인 경우에는 질량을 잘 보존하였으나 사행도가 1.5, 2.0인 경우에 각각 질량보존 오차가 9.1%, 27.4% 로서 매우 크게 나타났다. 이는 (20)식에서 유도된 바와 같이 방정식 자체가 내포하고 있는 수식화 과정에서의 오류가 실제 적용에 있어서도 그대로 증명해 보인 결과로서 기존의 관련문헌^{(6), (12)}에 널리 기술된 바 있는 분리하도 모형이 사행하는 하도구간에 대하여는 적용될 수 없음을 확인하였다. 또한 본 연구의 결과는 DeLong이 유한요소 모형을 통하여 질량보존성을 검증한 결과⁽⁷⁾와 일치하고 있었고, Preissmann 기법을 사용한 유한차분기법에서도 동일한 결과를 얻게 됨을 확인하였다.

표 1. 사행도에 따른 질량보존 오차

사행도 모형	1.0	1.5	2.0
사행도모형	1.6%	1.8%	1.5%
분리하도모형	1.7%	9.1%	27.4%

4.2 기존 모형과의 비교

사행도를 가진 하천의 홍수 전달특성을 파악하기 위해서 사행도 모형과 기존의 모형과 비교검토하였다.

사행도 모형에 의하여 계산된 수문 곡선을 그림 7에 도시하였다. 그림에서와 같이 하도의 사행 효과로 인한 경로 단축 현상으로 하류에서 첨두 유량에 이르는 시간이 빠르고 첨두 유량도 크다는 것을 알 수 있었다. 저류모형은 홍수터에서 저류 효과만

고려되기 때문에 사행도 모형보다 첨두에 이르는 시간이 늦어지고 첨두 유량도 작은것을 확인할 수 있었다.

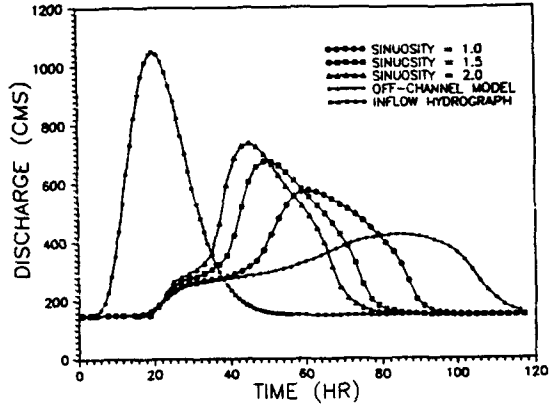


그림 7. 사행도 모형의 유출수문곡선의 비교

사행도 모형, 저류 모형 및 합성단면 모형에 대한 감쇠 특성을 그림 8에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 저류모형은 다른 두 모형에 비하여 홍수량의 커다란 감쇠를 발생하였다. 유량이 크고 사행도가 없는 경우 합성단면 모형은 사행도 모형과 유사하게 나타났고 사행도가 증가할수록 합성단면 모형의 결과가 사행도 모형에 의한 계산결과와 벗어나고 있었다.

홍수도달시간의 특성은 그림 9에 나타나 있다. 저류모형의 경우 도달 시간이 크게 나타나 다른 두 모형보다 큰 차이가 있었고 합성단면 모형은 사행도와 첨두 유량이 증가함에 따라 사행도 모형과는 큰 차이를 나타내고 있었으며 사행도의 감소에 따라 사행도 모형과 합성단면모형의 결과는 근접하게 나타났다. 합성단면 모형은 넓은 홍수터 위를 흐름이 확산될때 하폭의 급격한 증가로 인해 계산의 어려움이 발생하는 문제를 가지고는 있으나, 주수로와 홍수터의 조도계수 차이의 감소, 사행도의 감소 및 홍수터 하폭의 감소에 따라 합성단면의 결과는 사행도 모형의 결과에 접근함을 알 수 있었다.

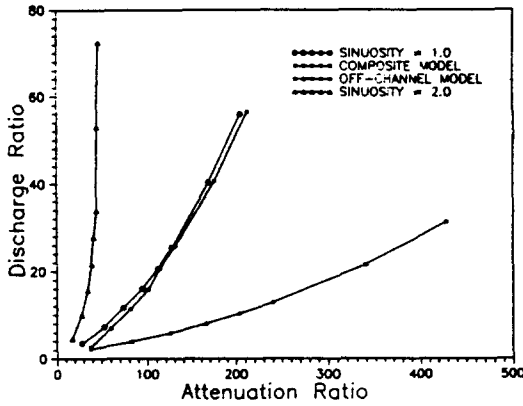


그림 8. 사행도 모형의 감쇠특성

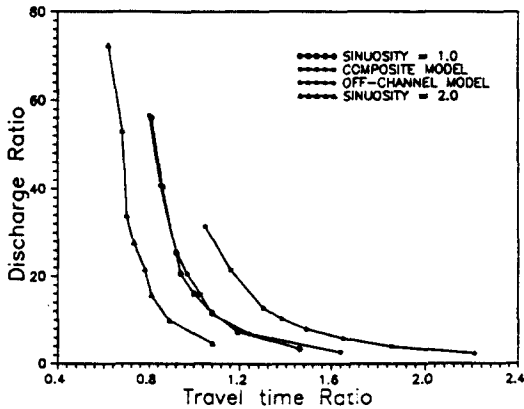


그림 9. 사행도 모형의 유하시간 특성

5. 유량감쇠 및 도달시간에 대한 검토

사행도 모형의 영향인자를 분석하기 위하여 첨두 유량의 감쇠비와 유하시간을 중심으로 비교검토하였다. 주수로를 가득 채우고 흐르는 경우의 상류단 유량을 Q_b , 하류단 유량을 Q_p , 그 유하시간을 T_b 로 하고 홍수터를 채우며 하도내에 유입한 상류단 유량을 Q_p , 하류단 유량을 Q_p , 그 유하시간을 T_p 로 한다. 주수로를 채운 유량의 감쇠비는 $A_b = \frac{Q_b}{Q_p}$,

하도내로 유입된 유량의 감쇠비는 $A_p = \frac{Q_p}{Q_p}$ 라 하면 유량비, 감쇠비, 유하시간비는 각각 (21)-(23)식과 같이 무차원적으로 기술된다.

$$\text{유량비 (Discharge Ratio)} \quad Q_r = \frac{Q_p}{Q_b} \quad (21)$$

$$\text{감쇠비 (Attenuation Ratio)} \quad A_r = \frac{A_p}{A_b} \quad (22)$$

$$\text{유하시간비 (Travel time Ratio)} \quad T_r = \frac{T_p}{T_b} \quad (23)$$

주수로만 채운 흐름 조건에 대한 표준화로 홍수터로 인하여 계산된 흐름의 감쇠효과와 유하시간의 변동 등에 주안점을 두고 해석하였다. 사행도 모형은 홍수파가 사행 하천을 통하여 홍수터내로 전파될 때 사행도, 홍수터의 조도계수 및 홍수터의 하폭 등의 여러가지 영향인자를 중심으로 검토하였다.

5.1 사행도의 영향

그림 10에서와 같이 사행도가 증가함에 따라 유량비에 대한 감쇠비가 작아지는 특성을 나타내고 있었다. 유하시간비는 그림 11에서와 같이 사행도가 증가함에 따라 감소하고 있었다. 감쇠비나 유하시간비의 감소는 흐름이 사행하는 주수를 따르기 보다는 홍수터가 제공하는 짧은 유적선을 따라가는 흐름경로의 단축현상이 발생함에 기인하는 것으로 판단된다. 주어진 사행도에서는 유량비가 증가함에 따라 감쇠비는 증가하였고 유하시간비는 감소하였다.

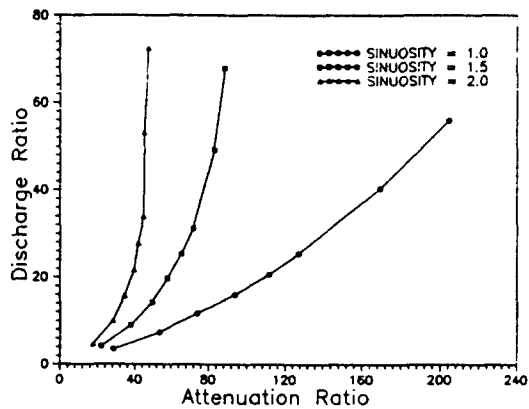


그림 10. 사행도에 따른 감쇠특성

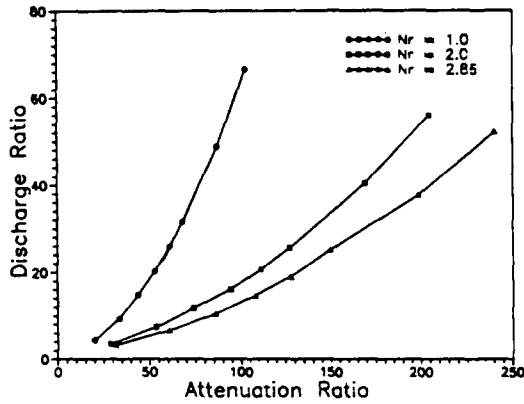


그림 11. 사행도에 따른 유하시간특성

5.2 홍수터 조도의 영향

주수로에 대한 홍수터의 상대 조도인 조도비는 (24) 식으로 표시되는데 이는 감쇠비와 유하시간비에 큰 영향을 끼친다.

$$N_r = \frac{n_i}{n_c} \quad (i=R, L) \quad (24)$$

이제 주수로부의 조도계수를 0.035로 하고 홍수터의 조도계수를 각각 0.035, 0.07, 0.1로 하여 다양한 유량 조건에서 그 영향을 검토하였다. 그림 12, 13에서와 보는 바와 같이 감쇠비와 유하시간비는 조도비가 증가함에 따라 큰 폭으로 증가하는 특성을 나타내고 있으며 유량이 증가함에 따라 감쇠비는 증가하였고 유하시간비는 감소하였다.

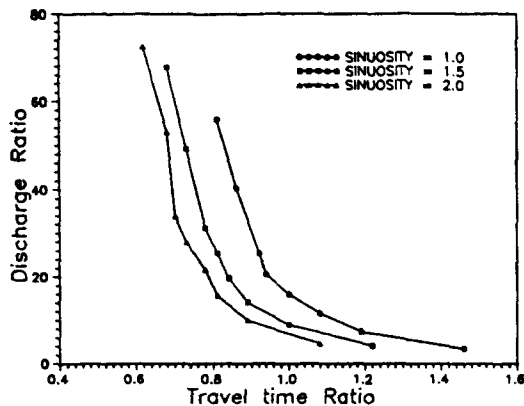


그림 12. 홍수터 조도계수에 따른 감쇠특성

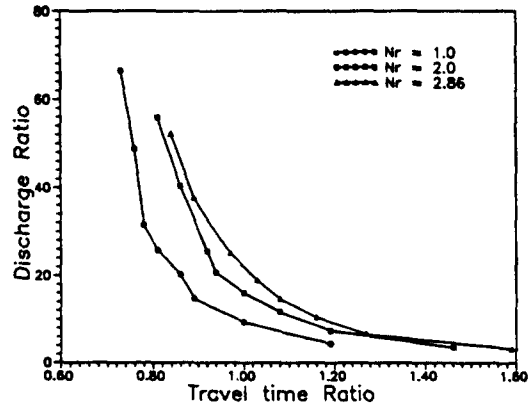


그림 13. 홍수터 조도계수에 따른 유하시간 특성

5.3 홍수터 하폭의 영향

주수로의 하폭에 대한 홍수터하폭의 비는 (25) 식으로 표시된다.

$$B_r = \frac{(B_R + B_L)}{B_c} \quad (25)$$

여기서, B_L , B_R , B_c 은 각각 좌, 우 홍수터 및 주수로부의 하폭이다.

주수로의 하폭이 100m로 하고 홍수터의 하폭을 500, 600, 700m로 하여 다양한 유량조건하에서 그 영향을 검토하였다. 그림 14, 15에서와 같이 감쇠비와 유하시간비는 수로의 상대폭이 증가함에 따라 증가하였고 유량의 증가에 따라 감쇠비는 증가하였고 유하시간비는 감소하였다.

사행도 모형은 넓은 홍수터를 가지고 사행하는 하도에서의 홍수파를 추적하는데 응용될 수 있겠다. 홍수터의 조도와 하폭이 증가함에 따라, 사행도가 감소함에 따라 감쇠비와 유하시간비는 증가하는 것으로 나타났고, 홍수터의 유량이 증가함에 따라 감쇠비는 증가하였으나 유하시간비는 감소하였다.

주수로와 홍수터간의 상호작용에 의한 에너지 손실, 하천 곡선부의 나선형 흐름, 이동하는 와류 등 자연 하도에서 나타나는 복잡한 흐름특성의 양상은 2차원 유한요소법 등의 더욱 정교한 해석기법을 필요로 하므로 이는 향후 별도의 연구에서 다루고자 한다. 본 연구는 사행도를 가진 복합하도단면에서의 홍수전달특성을 연구한 것으로서 앞으로 실제하천에서의 자료에 의한 모형의 검증이 수반되어야 할 것으로 사료되었다.

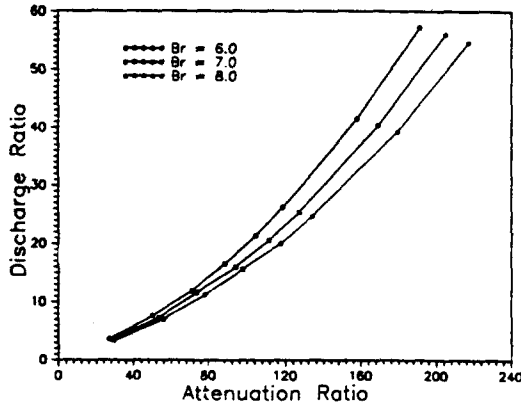


그림 14. 홍수터 하폭에 따른 감쇠특성

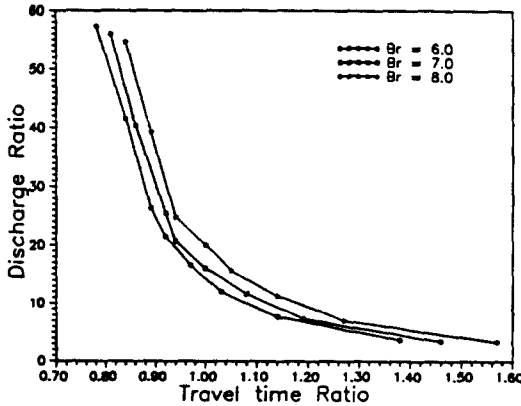


그림 15. 홍수터 하폭에 따른 유하시간 특성

6. 결 론

(1) 사행도를 가진 복합단면 하도에서의 흐름 해석에 있어 기존의 분리하도 모형이 가지고 있던 질량, 운동량의 비보존성 문제를 극복하고 질량과 운동량을 보존할 수 있는 사행도 모형을 개발하였다.

(2) 본 연구에서의 사행도 모형을 홍수터의 영향을 고려하는 기존의 저류 모형, 합성단면 모형 및 분리하도 모형과 비교검토했었다. 사행도 모형은 이들 모형과 큰 차이를 보이고 있었는데 수로의 사행도에 따른 흐름의 경로단축현상이 클 경우 더욱 뚜렷하게 나타났다. 사행도 모형에 대한 질량보존의 오차는 1%내외로 나타났으나 기존의 분리하

도 모형의 경우는 1.5-2.0의 사행도에서 9-27%에 달하는 큰 오차가 발생하였다.

(3) 사행도 모형에 대한 수치실험 결과, 홍수터의 조도와 홍수터의 하폭이 증가할수록, 사행도가 감소할수록 감쇠비와 도달시간비는 증가하였다. 본 모형은 복합하도 단면을 가지며 사행하는 국내 하천에서의 부정류 해석에 적용성이 클 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 박재홍(1993), "자연하천에서의 Preissmann 기법의 수치불안정성해석", 경북대학교 대학원 석사논문.
2. 송재우, 이원환(1981), "하천사행의 계량형태학적 특성", 한국수문학회 논문집, 14(1), 39-49.
3. 한건연, 박재홍, 이종태(1994), "개수로에서의 상류-사류 천이영역에 대한 부정류해석", 한국수문학회지 논문집, 27(2), No. 2, 85-96.
4. Abida, H. and Townsend, R. D.(1994), "A model for routing unsteady flows in compound channels", J. of Hydraulic Research, Vol. 32, No. 1, 145-153.
5. Bhowmik, N. G., and Demissie, M.(1982), "Carrying capacity of flood plains", J. of Hyd. Div., ASCE, No. 3, 443-453.
6. Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., (1988), "Applied hydrology", McGraw-Hill, 326-330.
7. DeLong, L. L.(1989), "Mass Conservation : 1-D open channel flow equations", J. of Hyd. Eng., ASCE, Vol. 115, No. 2. 263-269.
8. Dracos, T., and Hardegger, P.(1987), "Steady uniform flow in prismatic channel with floodplains", J. of Hyd. Res., Vol. 25, 168-185.
9. Fread, D. L.(1976), "Flood routing in meandering rivers with flood plains" Rivers '76, 3rd Annual symp. on inland waterways for navigation, flood control and water diversions, Colorado State Univ., 16-35.
10. Fread, D. L.(1985), "Channel Routing", in Anderson, M. G. and Burt, T. P. (eds) Hydrological Forecasting, John Wiley and Sons, 437-503.

11. Fread, D. L.(1988), "DAMBRK: The NWS dam-break flood forecasting model", NWS Office of Hydrology, Silver Spring, MD.
12. French, R. H.(1985), "Open-channel hydraulics", McGraw-Hill, 572-574.
13. Froehlich, D. C.(1990), "Discussion of mass conservation: 1-D open channel flow equations", J. of Hyd. Eng., ASCE, 1078-1082.
14. Liggett, J. A. and Cunge, J. A.(1975), "Numerical methods of solutions of the unsteady flow equations" in Unsteady Flow in Open Channels, V., Water Resources Publications, 89-179.
15. Miller, W. A. and Cunge, J. A.(1975), "Examples of one-dimensional flow modeling" in Unsteady Flow in Open Channels, Water Resources Publications, 407-484.
16. Perkins, F. E.(1970), "Floodplain modeling", Water Resources Bulletin, Vol. 6, No.3, 375-383.
17. Preissmann, A.(1961), "Propagation of translatory waves in channels and rivers", In Proc., First Congress of French Assoc. for Computation, Grenoble, France, 433-442.

〈접수 : 5.21〉