〈논문〉

正弦波形河川의 移行特性

Migration Characteristics in Sine-Wave Type Rivers

車 英 基 * 裵東滿**

Cha, Young Kee Pai, Dong Man

Abstract □ This study is a model on the Migration Characteristics which developed by using the equations for conservation of mass, momentum, and for lateral stability of the streambed, as the model can be examined for magnitude and location of near-bank bed scour as well as rates and direction of meander migration in which sine-wave type rivers (SWR) of the small sinuosity.

It is evident from this study that the transverse bed slope factor B' and transverse mass flux factor α play signifiicient roles, and show reasonable that the values are B'= 4.0 and α = 0.4, respectively.

It will be a useful guide in planning, design, construction, and development of SWR river-basin projects.

要 旨:본 연구는 굴곡도(sinuosity)가 작은 正弦波形(SWR) 하천에서 사행 이행의 크기와 방향 및 제방부근의 하상세굴 위치와 크기를 예측할 수 있는 이행특성 모형을 운동량 방정식, 질량보존법칙, 하상 안정식을 적 용하여 개발 하였다.

본 연구에서 횡방향 하상계수 B'와 질량 이송계수 α는 SWR 하천에서 중요한 역할을 하는 변수임이 확인 되었으며, 그 값은 각각 B'는 4.0, α는 0.40이 합리적인 값으로 나타났다.

본 모형은 SWR 하천 유역의 개발계획 및 설계시 유용한 정보를 제공해 줄 것이다

1. 序 論

우리나라의 연평균 강수량은 1274 mm로 세계평균 970 mm의 1.3배나 되는 비교적 풍부한 量이나, 이 강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 집중降下하기 때문에 수해가 빈발 하고 있다.[2] 특히 최근 몇년간의 異常集中豪雨 現象은 자연하천을 氾濫시킴으로써 災害를 일으키곤 하였다. 대부분의 하천은 다소는 규칙적인 모양의 만곡구간과 직선구간이 교대로 이어진 사행성을 갖는다. 이러한 사행특성을 정량화함으로써 안정된 하천으로 만들려는 수공기술자들의 노력은 계속되고 있다. 하천의 사행과 제방의 침식에 대한 관심의증가는 이행특성(migration characteristics)을 예측할 수 있는 이론적인 모형의 필요성을 증대 시켜왔다.

특히, 사행의 이행(meander migration)은 舟運, 홍수통제, 농경 등 하천유역의 인간활동에 지장을 초래하는 하천공학상의 문제를 야기시킨다. Lacey[18]는 안정하천이 되기 위해서는 폭-수심 比가 6~10 보다 작아야 한다고 제안 하였으나, 대개의 자연 하천은 그보다 큰 값을 가지므로 이들하천의 형상은 불안정 하게 되어 결국에는 사행화 과정을 통하여 안정을 유지하게 된다. Change[9], Leopold & Wolman[19]은 사행특성을 예측할 수 있는 모형의 개발을 위해 蛇行形狀(meander planform)과 蛇行長(meander wavelength), 滿堤流量(bank-full discharge)[27] 및 수심, 수면폭 등의 흐름특성과 연관시켜 연구 하였고, Hooke[12]는

* 정회원, 단국대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 명지실업전문대학 토목과 교수

제방침식의 크기와 폭사이의 관계로부터 얻은 경험적인 移行 關係式을 제안 하였다.

굴곡도가 작은 SWR하천의 이행은 Ikeda 등[14,15], Kitanidis & Kennedy[17], Blondeaux & Seminara[8]등이 원심력에 의해 일어나는 副次流(secondary flow)의 발생으로 인한 제방침식의 크기를 연구 하였고, Odgaard[20,21]는 굴곡이행의 방향을 결정함에 있어 수로곡률과 부차류간의 位相遲滯(phase lag)를 도입하여 연구 하였으며, 그외에 Dietrich & Smith[10], Howard & Knutson[13], Shen et al.[24]이연구 하였다. 사행천에 관해 국내에서는 高[3], 尹[4], 李[18] 및 車[6,7]등이 硏究 하였다.

본 연구는 유로폭이 일정하고 유사량이 균등하며, 굴곡도가 작은 SWR하천의 이행특성을 연구하기 위해 질량 및 운동량 보존법칙, 하상 안정식을 적용하여 유로 중심선에서의 흐름특성을 횡방향 하상경사에 관한 선형식으로 유도하고, 그 해를 미소진폭파 이론(small-wave theory)을도입 하여 이론적인 모형을 개발 하였다.

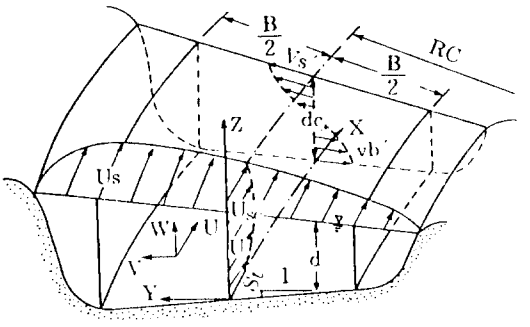

Fig. 1.1 Definition Sketch for Sinusoidal-Channel Section (Idealized).

2. 支配 方程式

SWR 하천의 2次元流에 대한 이행특성의 모형을 만들기 위해 하천은 일정한 유사량을 가지며, 유로폭 B는 전구간을 통해 동일 하고, 수심 d는 유로폭에 비해 작으며, 유로 중심선의 곡률반경 Rc는 유로폭에 비해 큰 것으로 가정 하였다. 그리고 적용한 기본 방정식과 이들 방정식에 포함된 각종 변수들은 直交性曲線 座標系(orthogonal curvilinear coordinate system)를 사용하여 〈Fig. 1.1〉 과 같이 표시하였다.

〈Fig. 1.1〉에서 X축은 흐름방향을 陽(+)으로하여 유로 중심선을 따르는 축이고, Y축은 X축과 직교하는 축으로서 유로 중심선에서 외측제방(concave bank) 쪽을 陽(+)으로 하며, 하상으로부터 수면에 연직인 방향을 Z축으로 한다. 또한 이들 축에서의 각각의 速度成分은 U, V, W로 나타냈으며, 운동 방정식은[23,29] 다음과 같다.

$$U\frac{\partial U}{\partial X} + V\frac{\partial U}{\partial Y} + W\frac{\partial U}{\partial Z} + \frac{UV}{R} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P_r}{\partial X} + FX \qquad (2.1)$$

$$U\frac{\partial V}{\partial X} + V\frac{\partial V}{\partial Y} + W\frac{\partial V}{\partial Z} - \frac{U^2}{R} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P_r}{\partial Z} + FY \qquad (2.2)$$

$$V\frac{\partial W}{\partial X} + V\frac{\partial W}{\partial Y} + W\frac{\partial W}{\partial Z} + g = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P_r}{\partial Z} + FZ \qquad (2.3)$$

여기서 R은 곡률반경, P_r는 압력, FX, FY, FZ는 각각 X, Y, Z방향의 마찰 항, g는 중력 가속도, ρ는 유체의 밀도이며, 연속 방정식 및 縱.橫方向 流速 分布式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{1}{R}\frac{\partial (VR)}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \qquad (2.4)$$

$$\frac{U}{U_m} = \left(\frac{p+1}{p}\right)\left(\frac{Z}{d}\right)^{1/p} \qquad (2.5)$$

$$V = V_m + 2V_s'\left(\frac{Z}{d} - \frac{1}{2}\right) \qquad (2.6)$$

여기서 QX, QY는 각각 X, Y방향의 單位幅當 流砂

量이며, p는 유속 분포지수로서 $p=\kappa U_m/U_*=\kappa(8/f)^{1/2}$인 관계를 가지며, U_m은 평균유속, U_*는 마찰속도 $(\tau_o/\rho)^{1/2}$이고, τ_o는 河床의 剪斷應力, κ는 von Karman의 상수(≒ 0.4)이며, f는 Darcy-Weisbach의 摩擦係數, V_m는 V의 외측방향 평균유속, V_s'는 수면 에서의 원심력에 의한 횡방향 유속이다.

3. 흐름 方程式의 簡略化

전술한 가정과 Rozovskii[23] 등의 실험 결과를 적용하면 마찰항 FX는 $(1/\rho)\partial\tau_X/\partial Z$로 FY는 $(1/\rho)\partial\tau_Y/\partial Z$로 줄여지며, 여기서 τ_X와 τ_Y은 각각 X, Y 방향의 전단응력을 나타낸다. 또한 식(2.3)은 靜水力學的 條件으로 줄일 수 있으므로 식(2.1)과 (2.2)의 압력항은 흐름 및 횡방향의 수면경사 S_L와 SR의 항으로 변형시킬 수 있다. 그리고 수면과 하상에 運動學的 境界條件을 적용함으로써 다음과 같은 평균수심에 대한 運動 및 連續 方程式을 얻을 수 있다.

$$U_m\frac{\partial U_m}{\partial X}+V_m\frac{\partial U_m}{\partial Y}+\frac{(UV)_m}{R}=g\,S_L-\frac{\tau_{bX}}{\rho d} \tag{3.1}$$

$$U_m\frac{\partial V_m}{\partial X}+V_m\frac{\partial V_m}{\partial Y}-\frac{U_m^2}{R}=g\,S_R-\frac{\tau_{bY}}{\rho d} \tag{3.2}$$

$$\frac{\partial(U_m d)}{\partial X}+\frac{1}{R}\frac{\partial(V_m R d)}{\partial Y}=0 \tag{3.3}$$

여기서 τ_{bX}, τ_{bY}는 각각 X, Y방향의 하상전단응력이다.

식(2.2)의 유속분포는 식(2.5)와 (2.6)을 수면에서 계산하고, 식(3.2)에 서 S_R을 소거함으로써 다음과 같이 쓸수 있다.

$$U_X\frac{\partial V_s}{\partial X}-U_m\frac{\partial V_m}{\partial X}+V_s\frac{\partial V_s}{\partial Y}-V_m\frac{\partial V_m}{\partial Y}=\frac{U^2{}_s-U_m^2}{R}+\frac{\tau_{bY}}{\rho d}+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial\tau_Y}{\partial z}\right)_s \tag{3.4}$$

수면(첨자 $_s$)부근에서 τ_Y는 $\varepsilon(\partial V/\partial Z)$이며 渦粘性係數 ε은 等方性 (isotropic)이고, V는 식(2.6)으로 가정하면 τ_X는 $\tau_{bY}(1-Z/d)$의 線型的 分布로 되므로 다음식을 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{\partial\tau_Y}{\partial Z}\right)_s=-\frac{2\rho\kappa V_s' U_*}{d}\,\frac{p}{p+1} \tag{3.5}$$

τ_Y의 하상에서의 값은 τ_{bY}대신에 τ_{bX}의 分數形을 취해 결정하며, 이는 원심력에 의해 생기는 유속분포의 비대칭과 평균수심에서의 횡방향 流體移動量 V_m의 영향으로 인한 τ_{bX}의 하상부근 偏向角이 유속의 偏向角과 같으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\tau_{bY}}{\tau_{bX}}=\frac{V_b}{U_b}=\frac{V_m-V_s'}{U_m} \tag{3.6}$$

식(2.6) 및 식(3.1)과 식(3.6)을 사용하여 X, Y방향의 수면에서의 유속성 분을 구할 수 있으며, V_m과 $\partial/\partial X$가 0인 충분히 발달된 만곡구간의 흐름에서 다음과 같이 선형화 시킬 수 있다.

$$U_m^2=\frac{p^2}{\kappa^2}\,g\,S_L\,d \tag{3.7}$$

$$\frac{V_s'}{U_m}=\frac{1}{\kappa^2}\,\frac{(2p+1)(p+1)}{p+1+2p^2}\,\frac{d}{R} \tag{3.8}$$

식(3.7), (3.8)은 실험적으로 잘 증명 되며, 식(3.7)은 Darcy-Weisbach의 관 계식이다[26]. 식(3.8)은 Falcon[11], Kikkawa 등[16], Odgaard와 Bergs에 의해 보고된 실험자료와 일치한다[24]. 식(3.8)에서 d/R의 계수는 p가 $3 \le p \le 6$일때 7.2 ~ 8.0의 값으로 변하는 상수이다. 이들식을 간략화 시킴으로 써 지배 방정식의 미지수 U_m, V_m, d와 V_s'를 결정할 수 있다.

4. 線型 方程式의 誘導

식의 단순화를 위해 변수 U_m와 d는 유수로 중심선의 값에 관하여 線型化 시킨다. Zimmermann & Kennedy[30], Thorne 등[22,25]의 실험 및 현장자료 에 의하면 $(U_c)_m$와 d_c는 유로 중심선을 따라 일정하며, 이들의 횡방향에 있 어 변화는 유로중앙에서 거의 선형적인 변화를 나타내므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{U_m}{(U_c)_m} = 1 + \frac{Y}{d_c} U_{tc} \qquad (4.1)$$

$$\frac{d}{d_c} = 1 + \frac{Y}{d_c} S_{tc} \qquad (4.2)$$

여기서 Stc는 $(\partial d/\partial Y)_c$인 유로 중심선에서의 횡방향 하상경사이고 Utc는 $dc\{\partial/\partial Y\{U_m/(U_c)_m\}\}_c$인 유로 중심선에서의 표준화한 횡방향 유속분포이며, 첨자 $_c$는 유로 중심선의 값이다.

식을 보다 단순화 하기 위해, V_m 와 V_s'를 유로 중심선에 대해 계산하고, $(V_c)_m$에 연속 방정식을 적용하여 적분 하면 다음과 같다.

$$(V_c)_m = \frac{\alpha}{8} (U_c)_m \frac{B^2}{d_c} \frac{d}{dX} (Stc + U_{tc}) \qquad (4.3)$$

여기서 α는 식(4.3)의 선형 관계식을 사용할때 생기는 오차를 보정 하기위 한 횡방향 질량 이동량의 수정 계수로, 실측치 $(U_c)_m$ 및 d_c분포와 이를 선 형분포로 가정하고 계산한 식(4.3)의 적분치를 비교함으로써 얻을 수 있다. α는 현장자료의 경우 0.2~0.8의 범위를 갖는 것으로 보고 되었는바, 본 연 구에서는 0.4를 사용하였다.

횡방향 하상경사 Stc는 流砂에 관한 연속 방정식을 사용하여 적분 하면 다음식과 같다.

$$QY_c = QX_c \frac{\beta}{8} \frac{B^2}{d_c} M' \frac{dU_{tc}}{dX} \qquad (4.4)$$

여기서 β는 식(4.3)에서의 α와 같은 이유로 도입된 수정계수이다.

QX와 QY의 관계식은 입자간에 작용하는 重力, 流體의 抗力, 揚力 등 힘의 平衡에 의해 얻어지고, 이들 힘의 작용에 의하여 이동 되며, 摩擦은 하상과의 충돌을 통해 운동량을 소모시키게 된다.[19] 만곡유로의 원심력으로 생기는 부차류는 유로축의 방향과 서로 다른방향에서 유체의 항력과 마찰을 일으키므로, X 및 Y방향의 이들 힘에 관해 풀고, 무차원 한계 하상전단응력과 초기운동 운동개념[16]을 적용하여 간략화시키고 고차항을 무시하면 다음식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dU_{tc}}{d\Psi} + A_1 U_{tc} = \frac{1}{2} A_1 S_{tc} \qquad (4.5)$$

$$\frac{d^2S_{tc}}{d\Psi^2} + A_2 \frac{d^2U_{tc}}{d\Psi^2} + A_3 \frac{dS_{tc}}{d\Psi} + A_4 \frac{dU_{tc}}{d\Psi} + A_5 Stc = A_6 \qquad (4.6)$$

여기서 Ψ=X/B이고, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6은 선형식의 계수이다. 식 (4.5) 를 사용하여 S_{tc}를 소거 함으로써 식(4.6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{d^3U_{tc}}{d\Psi^3} + H_1 \frac{d^2U_{tc}}{d\Psi^2} + H_2 \frac{dU_{tc}}{d\Psi} + H_3 U_{tc} = H_4 \qquad (4.7)$$

여기서 $H_1 = A_1+0.5A_1A_2+A_3$, $H_2 = A_1A_3+0.5A_1A_4+A_5$, $H_3= A_1A_5$, $H_4=0.5\ A_1A6$ 이다.

식(4.6), (4.7)의 U_{tc}와 S_{tc}系는 H_4에 제어되는 減衰 振動系로 유도 되며, $d/d\Psi=0$인 충분히 발달된 만곡 흐름에서 식(4.6)과 (4.7)은 다음과 같이 선형 분포식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{U_m}{(U_c)_m} = \left(\frac{d}{d_c}\right)^{1/2} \qquad (4.8)$$

$$S_{tc} = H F_{DC} \frac{d}{R_c} \qquad (4.9)$$

여기서 F_{DC}는 $(U_c)_m / (\Delta g D_{50})^{1/2}$로 유사 입자의 Froude수이 며, $H=(2p+1)(p+1)/\{B'\kappa(\theta)^{1/2}p(p+1+2p^2)\}$ 이다. 여기서 B'는 하상입자에 대 한 양력/항력의 比와 Coulomb의 마찰계수와의 함수로서 Ikeda[14] 등에 의 하면, 3.0~6.0의 범위를 갖는 것으로 보고 되었는 바, 본 연구에서는 4.0 을 사용함이 합리적인 것으로 판단 되었다. 식(4.8), (4.9)는 Ikeda[14], Odgaard [21]에 의하면, $d^2U_{tc}/d\Psi^2$은 무시할 만큼 작으므로 식(4.5)와 식 (4.6)은 다음과 같이 線型化 시킬 수 있다.[28]

$$\frac{d^2S_{tc}}{d\Psi^2} + \left(A_3 + \frac{1}{2}A_4\right)\frac{dS_{tc}}{d\Psi} + A_5 S_{tc} = A_6 \qquad (4.10)$$

5. 解 析 및 檢 討

5.1. 解 析

앞에서 유도한 減衰振動係 線型式의 解를 求하기 위해 이系에 〈Fig. 5.1〉 와 같은 微小振幅 進行波 理論을 결합시키면

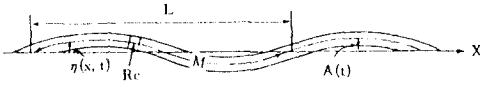

Fig. 5.1 Form of Traveling Sinusoid for the Stability of the System.

$$\eta\ (X,t) = A\ (t)\ \sin\{k\ (X-ct)\} \qquad (5.1)$$

여기서 X는 유로축상의 거리이고, k는 $2\pi/L$인 波數, A는 진폭, L는 蛇行帶 wavelength)이며, t는 시간, c는 sine波의 波速이다. 유로 중심선에서의 變位 η (t)는 蛇行長(meander wavelength)보다 훨씬 작은 값이라고하면, 유 로 중심선의 曲率은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{R_c} = -\frac{d^2\eta}{dX^2} = k^2\ A\ (t)\ \sin\{k(X-ct)\} \qquad (5.2)$$

U_{tc}에 대한 미분 방정식은 식(4.7)에 식(5.1)을 대입 함으로써 구할 수 있 으며, 週期 및 初期 條件에 무관한 해는 다음과 같다.

$$U_{tc} = \frac{N B k^2 A}{(E_1^2 + E_2^2)^{1/2}} \sin\{k(X-ct)-\gamma\} \qquad (5.3)$$

여기서 $N = 8\kappa^2(2p+1) / \{\alpha p^3(p+2)\}$이고, $E_1 = H_3 - 2H_1k^2B^2$이며, $E_2 = H_2kB - k^3B^3$이다. U_{tc}와 유로축 변위간의 位相 移動은 $\gamma=\tan^{-1}(E_2/E_1)$이며, 等値 橫方向 河床傾斜는 식(4.5)에 식(5.24)를 대입하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_{tc} = \frac{2\ N B k^2 A}{(E_1^2 + E_2^2)^{1/2}} \{1 + \left(\frac{Bk}{A_1}\right)^2\}^{1/2} \sin\{k(X-ct)-\phi\} \qquad (5.4)$$

여기서 $\phi=\gamma-\tan^{-1}(Bk/A_1)$이다.

진폭 A(t)를 결정하기 위해 식(5.4)는 외측제방의 洗掘과 내측제방의 堆 砂에 의한 유로축의 측면방향으로의 이동률(lateral shift rate)로 고려, 〈Fig. 5.2〉에서와 같이 제방의 퇴각률(retreat rate) V_e가 堤防洗掘深 d_{bk}의 증가와 선형적인 관계를 가진다고 가정 하면 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$V_e = E'(U_c)_m \left(\frac{d_{bk}}{d_c} - 1\right) \qquad (5.5)$$

여기서 E'는 침식 매개변수이며, 유로곡률이 완만하다고 가정하였기 때문에 V_e는 유로하상의 변화율 $\partial\eta/\partial t$와 같게될 것이므로, 진폭의 생성율 $\partial A/\partial t$와 파속 c에 대한 다음의 관계식을 얻을 수 있다

$$\frac{1}{A}\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{2E'(U_c)}{B} KBk\left\{1 + \left(\frac{Bk}{A_1}\right)^2\right\}^{1/2}\cos\phi \qquad (5.6)$$

$$c = 2E'(U_c)\cdot K\left\{1 + \left(\frac{Bk}{A_1}\right)^2\right\}^{1/2}\sin\phi \qquad (5.7)$$

여기서 K는 $0.5(NB/d_c)\{kB/(E_1^2+E_2^2)^{1/2}\}$이다.

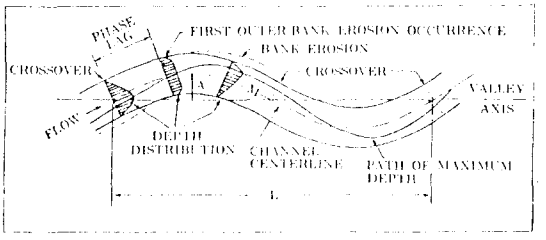

Fig. 5.2 Concepts for Bank Erosion Model.

5.2 檢 討 分 析

본 모형의 검증은〈Fig. 5.3〉(1:12000 지형도 사용)에 나타난 바와 같이 錦 江의 지류인 충남 부여군 남면외 두개의 面界에서부터 금강 합류점까지 延 長 14.7km인 金川과 충남 서천군 시초면 都馬川 합류점에서부터 금강 합류 점까지 延長 11.4km인 吉山川의 두 地方河川을 대상으로 하였다[11].

〈Fig. 5.4〉에서와 같이 金川의 경우 두개의 副區間 (subreach) KU_1과 KU2 로, 吉山川의 경우는 GI_1, GI_2 및 GI_3로세개의 副區間으로 구분하여 각구간 의 시점으로부터의 B/R_c 분포를 나타냈으며, 유로폭의 분포는 금천의 경우 60-155m, 길산천은 45-90m로 나타났다. 만제유량은 본 하천이
지방하천이기 때문에 신빙성 있는 실측치 수문자료 및 기왕 홍수기록의 미 비로 문헌(27)에 의해 flow equation (Gauckler-Manning equation)을 적용 하였으며, 그 외의 본 연구에서 사용된 기본자료는 Table 5.1과 같다[11].

〈Fig. 5.5〉사행장의 분포는 금천의 경우 L/B가 5 ~ 35로 산만한 반면, 5 ~ 15의 집중적 분포를 보인

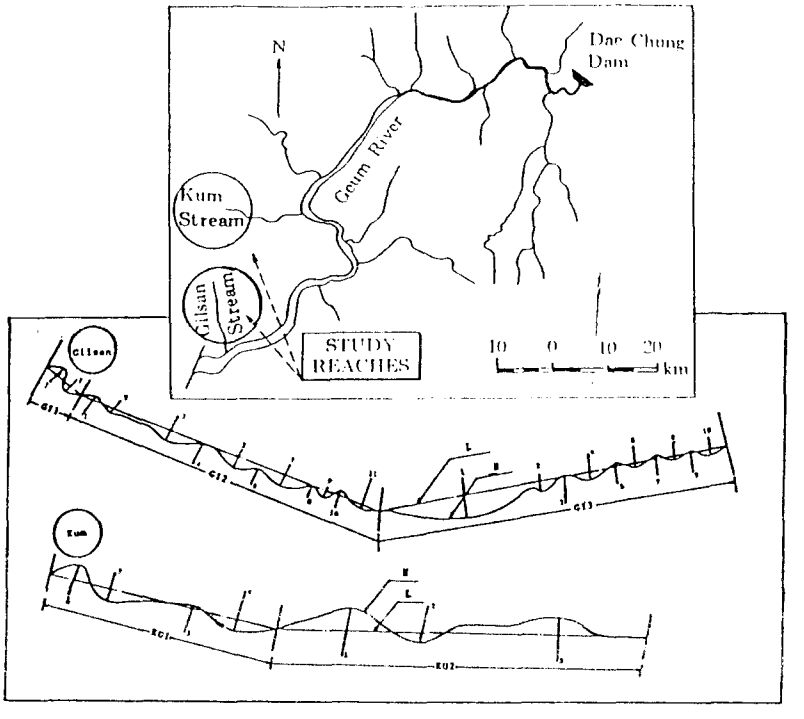

Fig. 5.3 Plan View of Study Reaches.

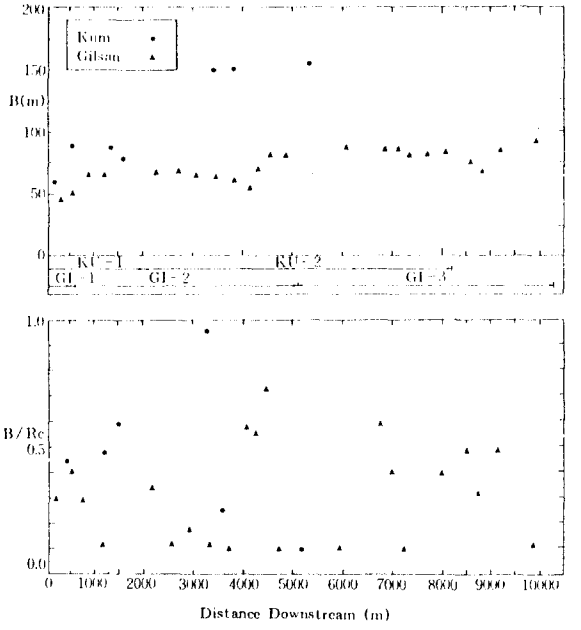

Fig. 5.4 Summary of Data on Bends Reaches (in Kum and Gilsan Stream)

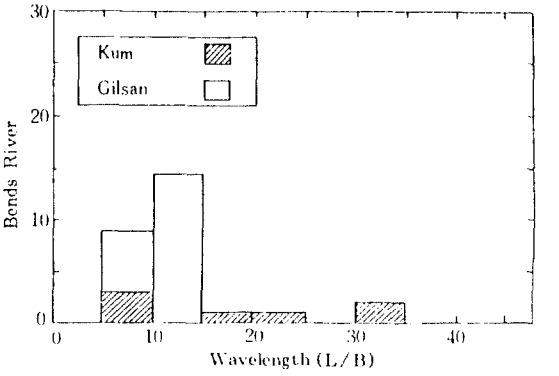

Fig. 5.5 Histogram of Meander Wavelength of Bends in Two Stream Study Reaches.

길산천이 본모형의 검증에 이용 되었다. 길산천을 대상으로한 측면 및 하류방향의 사행이행량 $\partial A/\partial t$ 및 c의 계산을 위해 B'=4.0, E'=4.8x10^{-7}, M'=3.0, α =0.40을 사용하였으며, p는 3.79, B / dc 는 26.17로 彎曲水路의 일반적인 경우(B = 10.0 ~ 60.0, p=3.0 ~ 5.0)에 잘 맞았으나, F_{DC}는 25.22로 5 ~ 15인 평균치보다 큰 값을 나타냈다. 또한 이 들 변수에 대한 계산값은 Table 5.2에 나타난 바와 같으며 하류방향의 이행 량은 앞에서 유도한 식(5.6)과 (5.7)를 이용하여 구했다.

그리고, 〈Fig. 5.6〉은 車 等[7]이 甲川을 대상으로 t = 0, k = 2π/ M = k^2A = 1 / Rm, B'= 6.0, M'= 3.0, α = 0.4 일때 구한 예측치와 실측치의 비교이다.

여기에는 $(U_c)_m$ = 1.76 m/sec, B = 35.86m, d_c = 2.05m, S_L = 0.00994, p = 3.78, Rm = 118 m, M = 1000 m가 사용 되었다. 이 연구에서 수심의 횡방향 분포는 유로 중심선에서의 횡방향 하상경사를 이용하여 구할 수 있었으며, 흐름방향으로의 변화는 예측치와 실측치가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

6. 結 論

Table 5.1 Flow Data of Strdy Reaches.

Stream	Sinuosity (M/L)	Longitudinal Slope of Water Surface S_L (x10^{-4})	Bends Number	Bank-Full Conditins: Median Grain Size D_{50} (mm)	Top Width B (m)	Flow Depth d_c (m)	Discharge Q (cms)	Friction Parameter P	Particle Froude Number F_{DC}
Kum	1.15	4.545 -9.531	7	0.62 -0.64	60 -155	2.78 -3.38	440 -770	3.77	17.83
Gilsan	1.18	3.725 -8.241	23	0.25 -1.02	45 -90	2.80 -3.92	450 -1189	3.79	25.22

Table 5.2. Computation of Lateral and Down-Valley Migration Rates for Gilsan Stream.

Parameter	Migration Rates	Parameter	Migration Rates
A_1	0.583	kB	0.2490
A_2	-1.482	E_1	0.0061
A_3	1.348	E_2	0.0550
A_4	-2.861	N	0.0870
A_5	0.329	K	5.1230
H_1	1.449	ω_3	1.0560
H_2	0.281	(1/A)A/t	$3.96010^{-8}sec^{-1}$
H_3	0.192	C	2.287×10^{-7} m/s

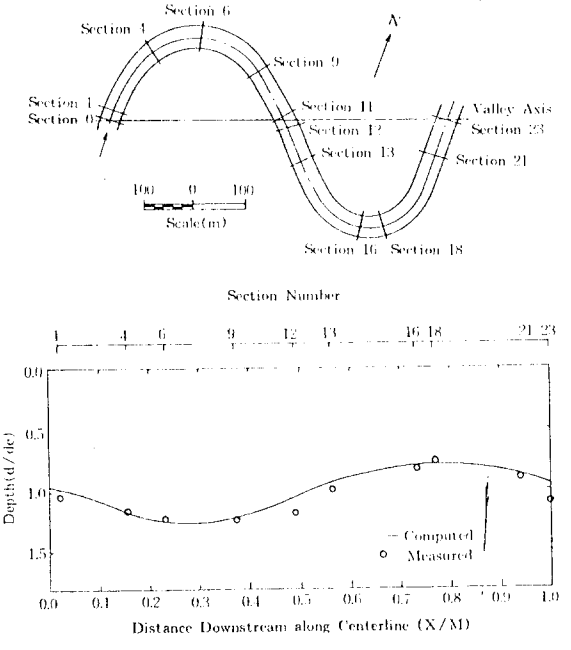

Fig. 5.6 Simulation of Near-Bank Depth in Bends of Gab River.

본 연구는 정현파형 하천의 사행의 이행특성에 관한 모형으로, 유로 중심 선에서의 횡방향 하상경사에 대한 흐름특성을 減衰 振動系(damped oscillating system)로 유도 하여 선형화시키고, 그 해를 미소진폭파 이론 을 도입 하여 구하였다.

질량 보존법칙, 운동량 방정식 및 하상 안정식을 사용하여 흐름의 基本變 數와 堤防浸蝕間의 관계를 제방부근의 수심과 유로 중앙수심간의 차이와 연 관시킴으로써 사행의 移行 방향과 크기를 예측할 수 있었다.

橫方向 河床傾斜 係數 B'와 橫方向 質量移送 係數 α는 본 연구에서 중요 한 역할을 하는 係數임이 확인 되었으며, 그 값은 B'는 4.0, α는0.40이 각 각 합리적인 값으로 나타났다.

본 연구결과는 굴곡도가 작은 하천유역의 개발 및 계획 등에 유용한 정보 를 제공해줄 것이다.

參 考 文 獻

1. 建設部(1988), 錦江水系 綜合整備計劃 Ⅰ, Ⅱ 및 附錄.
2. 建設部(1990), 水資源 長期 綜合計劃 (1991- 2011).
3. 高在雄(1975), "彎曲水路에서의 河床變動에 關한 硏究", 韓國水文學會誌, 第 8卷 2號, pp. 75-80.
4. 尹龍男(1973), "位置에너지 槪念에 依한 河川形態學的 特性 分析", 大韓土木學會誌, 第 21券 2號, pp. 95-105.
5. 李鐘泰, 尹世儀(1987), "開水路 彎曲部에서의 中心角 變化에 따른 흐름 特性," 大韓土木學會 論文集, 7(3), pp. 195-202.
6. 車英基, 裵東滿, 金 顯(1990), "Constant-Radius Curve Method에 의한 흐름해석", 大韓土木學會 槪要集, pp. 193-198.
7. 車英基, 李大澈(1991), "彎曲水路의 橫方向 河床傾斜와 흐름 特性", 韓國 水文學會誌, 第 24券 第 1號, pp. 99-107.
8. Blondeaux, P. and Semimar, G. (1985), "A Unified Bar-Bend Theory of River Meanders", J. Fluid Mech., 157, pp. 449-470.
9. Chang, H. H. (1988), Fluvial Process in River Engineering, Wiely Interscience.
10. Dietrich, W. E., and Smith, J. D. (1983), "Influence

of the Point Bar on Flow Through Curved Channel", W. R. R., 19(5), pp. 1173-1192.

11. Falcon, M. A., and Kennedy, J. F. (1983), "Flow in Alluvial- River Curves", J. Fluid Mech., 133, pp. 1-16.
12. Hooke, R. LeB. (1975), "Distribution of Sediment Transport and Shear Stress in a Meander Bend", J. Geology, 83, pp. 543-565.
13. Howard, A. D., and Knutson, T. R. (1984), "Sufficient Conditions for River Meandering : A Simulation Approach", W. R. R., 20(11), pp. 1159-1167.
14. Ikeda, S. (1984), "Prediction of Alternate Bar Wavelength and Height", J. Hydr. Engrg., ASCE, 10(4), pp. 371-386.
15. Ikeda, S., Parker, G., and Sawai, K. (1981), "Bed Theory of River Meanders, Part I : Linear Development", J. Fluid Mech., 112, pp. 362-377.
16. KiKKawa, H., Ikeda, S., and Kitagawai, A. (1976), "Flow and Bed Topography in Curved Open Channel", J. Hydr. Div., ASCE, 102(9), pp. 1317-1342.
17. Kitanidis, P. K., and Kennedy, J. F. (1984), "Secondary Current and River-Meander Formation", J. Fluid Mech., 114, pp. 217-229.
18. Lacey, G. (1930), "Stable Channels in Allu- vium", Proc. Instn. Civ. Engrs., 292, pp. 259-292.
19. Lepold, L. B., and Wolman, M. G. (1960), "River Meanders", Bull. Geolog. Soc. Am., 71, pp. 769-794.
20. Odgaard, A. J. (1986), "Meander Flow Model. I : Development, II : Applications", J. Hydra. Engrg., ASCE, 112(12), pp. 1117-1150.
21. Odgaard, A. J. (1987), "Streabank Erosion Two Rivars in Iowa", W. R. R., 23(7), pp. 1225- 1236.
22. Osman, A. M., and Thorne, C. R. (1988), "River Bank Stability Analysis, I :Theory", J. Hydra. Engrg., ASCE, 114(2), pp. 134-150.
23. Rozovskii, L. L. (1961), Flow of Water in Bends of Open Channels, Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, Israel.
24. Shen, H. W., Fehlman, H. M., and Mendoza. C. (1990), "Bed Form Resistances in Open Channel Flows", J. Hydr. Engrg., ASCE, 116(6), pp. 799-815.
25. Thorne, C. R., and Osman, A. M. (1988), "River Bank Stability Analysis, II : Applica- tions", J. Hydra. Engrg., ASCE, 114(2), pp. 151-172.
26. Vanani, V. A. (1976), Sedimentation Engineering, Manual and Report on Engineer- ing Practice, No. 54, ASCE.
27. Williams, G. P. (1978), "Bank-Full Discharge of Rivers", Water Resources Research, 14(6), pp. 1141-1154.
28. Wylie, C. R. (1979), Differential Equations, International Student Edition.
29. Yen, B. C. (1965), Characteritics of Subcritical Flow in a Menadering Channel, Institute of Hydraulic Reasearch, The University of Iowa, Iowa City.
30. Zimmermann, C., and Kennedy, J. F. (1978), "Transverse Bed Slope in Curved Alluvial Streams", J. Hydra. Div., ASCE, 104(1), pp. 33-48.