

우리나라 主要 感潮河川에서의 보름週期 水位變化

Fortnightly Water-Level Modulations in Major Tidal Rivers in South Korea

崔	秉	昊*
Choi,	Byung	Ho
安	元	植**
Ahn,	Weon	Sik
金	鎔	潤***
Kim,	Yong	Yun

Abstract

An initial attempt to investigate the forced fortnightly water-level modulations in major tidal rivers in South Korea is described. Simplified one-dimensional hydrodynamic numerical models were established to reproduce the fortnightly tides in the Keum River and the Nakdong River respectively. The models were also used to identify the approximate locations of the reversal of MLWS and MLWN in the Keum River and the Nakdong River. The basic features of this forced fortnightly waves are explained through scaling arguments proposed by LeBlond. The objective of this initial study is to investigate the tidal dynamics of the major tidal rivers in South Korea.

要 旨

우리나라 主要 感潮河川에서의 보름週期水位變化를 調査하기 위한 初期努力이 叙述되었다. 洛東江 및 錦江感潮區間的 보름간의 潮汐을 再現하기 위한 1次元 動水力學的 潮汐數值모델이 樹立되었다. 이 모델은 平均 大潮時 干潮位 및 平均小潮時 干潮位가 顛倒現象을 보이는 概略的인 位置를 判別하는데도 利用되었다. 보름주기水位變化的 基本的인 物理過程을 LeBlond이 提示하는 모델에 의해서 說明하였다. 이 初期研究의 窮極的인 目標은 우리나라 感潮河川의 潮汐力學을 理解하고자 하는 데 있다.

1. 序 論

海面的 보름週期變化는 潮汐에 의해 發生되는

共通的인 樣相인 데 가장 普遍的인 形態는 潮差 (最大振幅)가 朔·望頃에 最大이며 上·下弦頃에 最小이 되는 것으로 그 反復週期는 主太陰半日週潮(M_2)와 主太陽半日週潮(S_2)의 搏動週期 (beat period)인 14.8 日이다. 海洋潮汐이 河口를 통해 感潮河川으로 波及됨에 따라 搏動週期에 따른 太陰半月週潮(M_1) 및 太陰月週潮(M_m)

*正會員·成均館大學 工科大學 副教授, 土木工學科

**正會員·水原大學 助教授, 土木工學科

***正會員·成均館大學 工科大學 大學院

의 影響이 커져 外海에서는 大潮時 干潮位가 小潮時 干潮位보다 항상 낮은 現象이 感潮河川의 上流部에서는 反對로 되어 基準面 顛倒現象(datum reversal)이 일어나기도 하는바 感潮河川의 水理는 흐름의 問題만이 아니라 水位變化에서도 特異한 樣相을 띠고 있다.

過去에 Dronkers⁽¹⁾를 위시한 學者들⁽²⁾⁽³⁾이 提示한 長重力波式의 數值積分에 의해 成層되지 않은 河口와 感潮河川에서의 潮汐傳播는 만족스럽게 算定되어 왔다. 그러나 上記方法의 基本式이 淺海潮汐의 基礎的인 物理過程을 包含하고 있음에도 불구하고 感潮河川에서의 潮汐의 非線型的 歪曲現象을 定性的으로 說明하는데는 큰 도움이 되지 못했다. 定性的인 初期研究로서는 潮汐波及에 따른 振幅減小는 Green의 法則⁽⁴⁾ 및 摩擦項의 線型化⁽⁵⁾에 의해 說明되었으며, 感潮區間의 漲, 落潮의 非對稱性은 perturbation 方法에 의해 檢討⁽⁶⁾된 바 있으며 潮汐段波(tidal fore)의 發生은 非線型 移流項에 關聯된 振幅擴散의 結果⁽⁷⁾로서 部分的으로 說明되었다. 近年에 LeBlond은 一連의 研究⁽⁸⁻¹⁰⁾를 통하여 適切한 縮尺에 의한 運動量平衡을 考慮한 모델을 樹立하여 感潮河川 潮汐의 非線型的 歪曲, 滿潮位遲滯에 비해 顯著하게 긴 干潮位遲滯(low water phase lag) 및 보름週期水位變化의 特性을 잘 說明하였다.

우리 나라는 1915年頃부터 主要河川의 水位觀測이 始作되어 尙大한 量의 觀測資料가 있으나 이제까지 感潮區間의 特異한 水理機構를 糾明하려는 仔細한 研究가 遂行된 바 없다. 그럼에도 불구하고 洛東江 및 錦江河口에는 締切工事が 活潑히 進行中에 있으며 漢江下流部에는 鹽水浸透防止用 潛堤의 建設이 計劃되고 있는 바 이러한 河口의 人爲的 變換行爲가 既存河口體系에 미칠 影響을 評價하는데 難點이 있을 것이다. 本研究에서는 첫 段階로서 主要感潮河川에서의 보름週期水位變化를 調查하기 위한 努力이 傾注된 바 1차원 潮汐모델에 의한 算定值 및 觀測水位를 檢討하여 洛東江 및 錦江에서의 基準面顛倒位置를 概略的으로 判別하였으며 또한 LeBlond의 모델을 適用하여 非線型的 歪曲現象을 調查하였다.

2. 主要感潮河川에서의 觀測水位

우리나라 河川의 水位觀測은 1910年代부터 始作되었는데 感潮區間의 水位觀測은 漢江에서는 杏州(1917), 顛流(1957) 插橋川에서는 仙掌(1929), 九萬(1931) 錦江에서는 江景(1922), 笠浦(1919), 玉浦(1959), 頒詔院 萬頃江에서는 木川浦(1918), 東之山(1917) 東津江에서는 東津(1929), 白山(1929) 榮山江에서는 榮山浦(1915), 會津(1917), 沙浦(1919) 蟾津江에서는 河東(1916) 洛東江에서는 三浪津(1921), 月村(1935), 龜浦(1917), 下端(1917), 鳴旨等에서 現在까지 대부분의 個所에서 遂行되고 있는 바 括弧안의 숫자가 觀測開始年度이다. 이 중 榮山江, 插橋川의 境遇 河口防潮堤가 建設되어 이제는 感潮影響을 받지 않는 水位標로서 轉換되었으며 錦江 및 洛東江의 觀測所들도 不遠間 이範圍에 들어가게 될 것이다.

朝鮮總督府가 整理하여 發刊한 資料를 包含한 1961年 12月까지의 水文資料는 建設部에서 4卷의 韓國水文調查書⁽¹¹⁾(1卷-水位編, 2卷-雨量編, 3, 4卷-附圖編)로서 出刊하였으며 1962年以後는 每年 水文調查年報로서 資料가 提供되고 있다. 이 水位標資料는 一貫性與否 및 感潮區間 水位資料의 有用性에 대한 論難이 있어왔으므로 最近에 建設部는 用役事業으로 零點標高를 再調查하여 報告⁽¹²⁾한 바 있다. 그림 1과 그림 2는 韓國水文調查書에서 拔萃한 漢江, 錦江感潮區間에서의 同時水位觀測結果를 그림 3은 洛東江에서의 觀測結果⁽¹³⁾를 提示하고 있는 바 河口 및 上流의 對照的인 보름週期水位變化가 잘 나타나고 있다. 그림 5에는 그림 4의 漢江河口 및 感潮區間 7個地點의 同時觀測 水位曲線⁽¹⁴⁾이 提示되고 있는데 干潮位와 關聯된 긴 位相遲滯가 뚜렷하게 나타나고 있다. 이러한 感潮水位記錄의 保管은 漢江의 境遇 漢江洪水統制所, 錦江은 大田廳, 榮山江은 裡里廳, 蟾津江, 洛東江은 釜山廳이 管轄官署인 바 原記錄의 保存狀態, 延長原資料 利用可能與否에 대한 情報가 未洽하다. 感潮區間 水位觀測 및 資料整備에 관한 深刻한 問題點은 別途로 討議, 報告할 豫定이다.

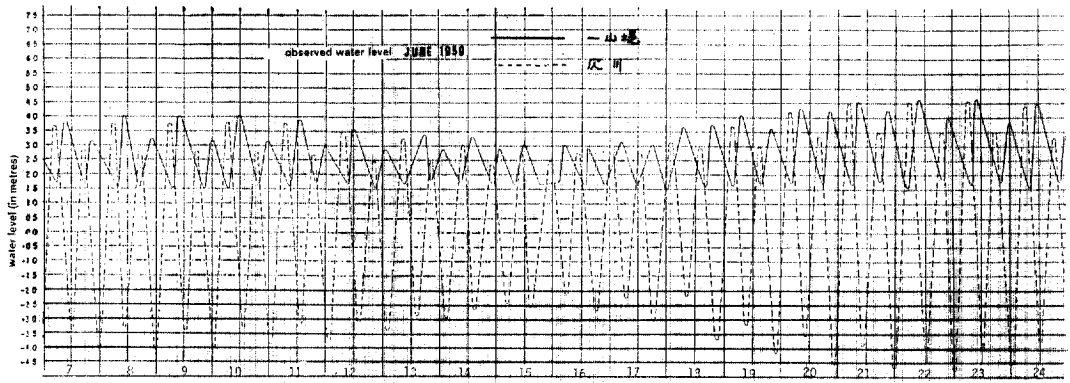


그림 1. 觀測된 漢江河口의 보름주기 水位變化

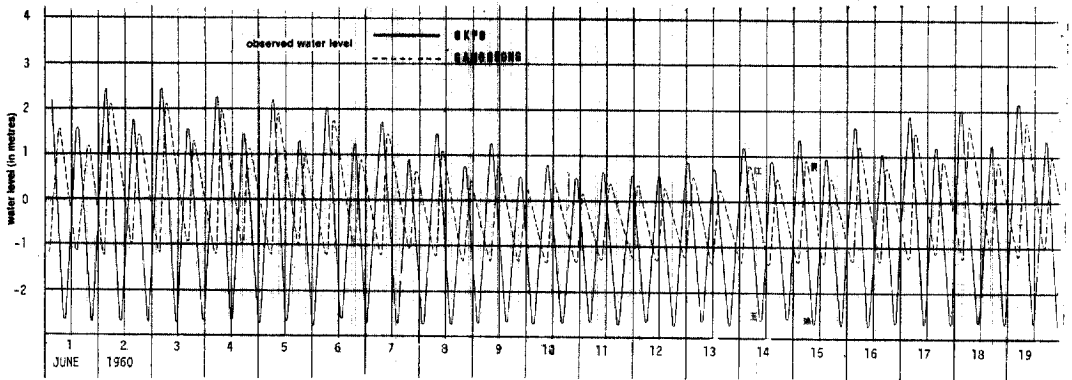


그림 2. 觀測된 錦江(玉浦, 江景)河口의 보름주기 水位變化

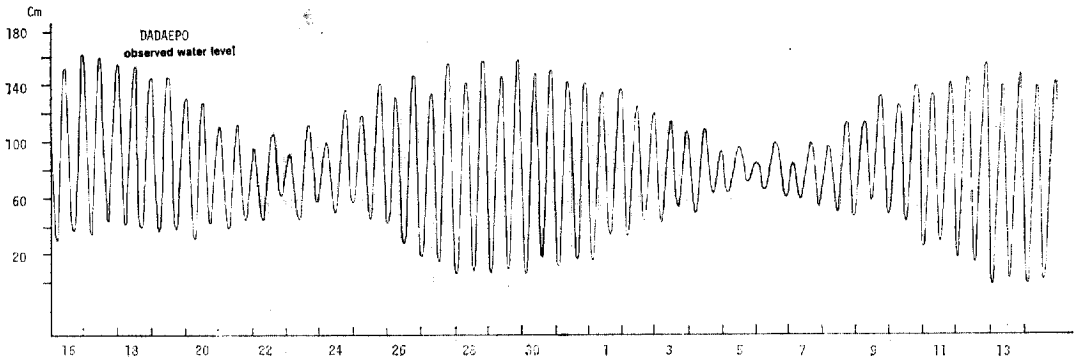
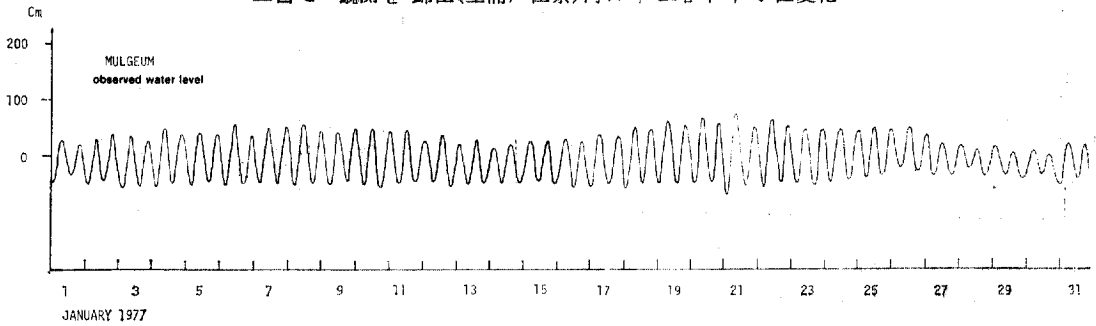


그림 3. 洛東江河口(多大浦) 및 感潮區間(勿禁)에서의 觀測水位

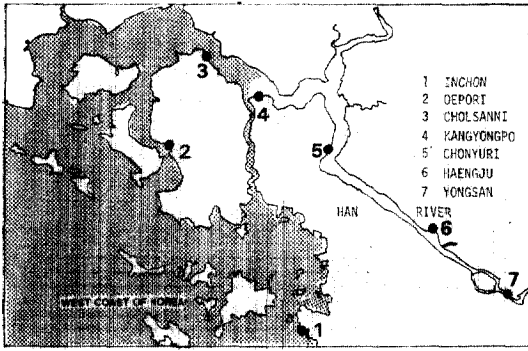


그림 4. 漢江河口 및 感潮區間的 同時水位觀測位置

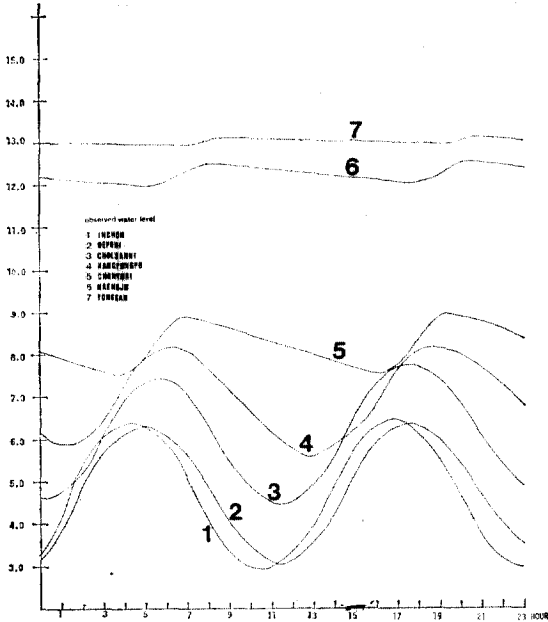


그림 5. 그림 4에 提示된 位置의 同時水位觀測曲線 (各 觀測所間의 相對的인 標高는 概略的으로 調整되어 提示되었음)

3. 모델에 의한 보름週期水位變化的 算定

錦江 및 洛東江感潮區間的 보름週期水位變化를 算定하기 위해서 이미 樹立된 1次元潮汐數值모델^(14,15)이 利用되었다. 數值모델의 支配方程式은 運動方程式과 連續方程式으로 다음과 같다.

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} A + g \frac{|Q|Q}{AC^2R} = 0 \quad (2)$$

여기서 t 는 時間, x 는 水路의 흐름方向距離, B 는 水路幅, h 는 任意水平基準面에 대한 水位($h = \eta + d + z_0$), z_0 는 任意水平基準面에 대한 河床高, d 는 平均水位에 대한 水路의 水深, η 는 平均水位에 대한 水位變化, Q 는 斷面流量, q 는 水路의 單位幅當 支川流入量, u 는 水路의 斷面流速, g 는 重力加速度, A 는 水路의 斷面積, C 는 Chezy 係數이다. 上記의 偏微分方程式은 陽解差分法⁽¹⁶⁾에 의해 그림 6과 그림 7에 提示된 錦江과 洛東江의 感潮區間斷面에서 數值的으로

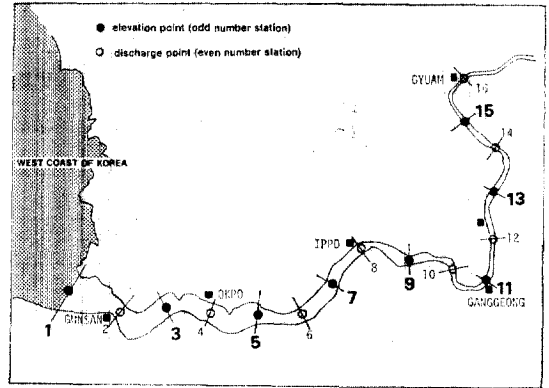


그림 6. 錦江感潮區間 1次元潮汐모델의 水位, 流量算定斷面

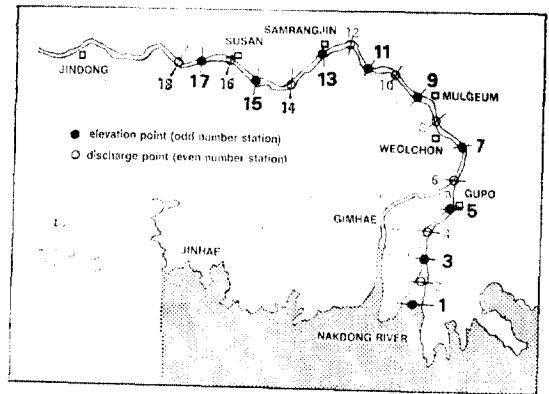


그림 7. 洛東江 感潮區間 1次元潮汐모델의 水位, 流量算定斷面

積分되었는 데 奇數斷面에서는 水位가 算定되며 偶數斷面에서는 流量이 算定되는 데 仔細한 數值解析技法은 여러文獻^(1~3)에 紹介되어 있으므로 再述치 않는다. 斷面區間은 等間隔인 4 km이며 Courant 條件⁽¹⁷⁾을 滿足시키는 洛東江모델의 時間間隔은 232.87 秒, 錦江모델의 時間間隔은 22

5.8 秒를 取하였다. 보름週期水位變化를 算定하기 위한 모델의 下流境界條件은 觀測된 群山港 및 多大浦의 M_2 , S_2 , K_1 및 O_1 分潮의 振幅과 遲角에 의해 合成된 水位變化로서 規定하였으며 上流境界條件으로는 形式的인 低流量이 賦與되었다. 모델의 實際計算은 17 日間 遂行되어 初期攪亂效果를 勘案하여 初期 2 日의 算定結果는 分析에서 除外하였다. 그림 8 은 算定된 錦江感潮區間의 奇數斷面에서의 보름週期水位變化를 提

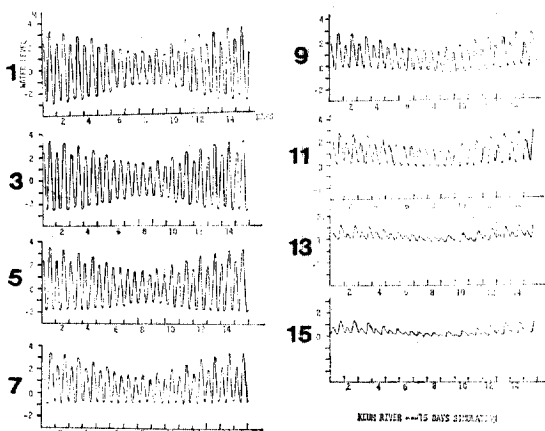


그림 8. 算定된 錦江 感潮區間에서의 보름주기 水位變化

示하고 있다. 斷面 7에서 小潮時 干潮位와 大潮時 干潮位가 거의 비슷한 水位를 갖는 것이 提示되는 바 이 斷面位置는 概略的으로 熊浦里에 該當되며 이 斷面보다 더 上流側으로 올라가면 小潮時 干潮位가 더 낮은 樣相이 잘 나타나있다. 그림 9 는 洛東江 感潮區間에서의 算定된 보름週期水位變化를 提示하는 바 錦江의 境遇와는 달리 大潮時 干潮位와 小潮時 干潮位가 概略的으로 一致하는 區間이 斷面 5~斷面 9의 長 區間에 걸치는데 河床勾配가 緩慢하여 潮汐이 振幅의 큰 變化없이 波及되는 것에 起因하는 것으로 推定된다.

그림 10 과 그림 11 은 錦江 및 洛東江 모델의 下流境界條件으로 平均小潮, 中潮, 大潮差의 狀況을 賦與하여 潮汐算定을 한 結果^(14,15)에 의해 河川縱斷距離에 따른 潮汐基準面의 變化를 提示한 것이다. 平均大潮時 干潮位(Mean Low Water Springs 또는 Low Water Ordinary Spring Tide)와 平均小潮時 干潮位(Mean Low Water Neaps

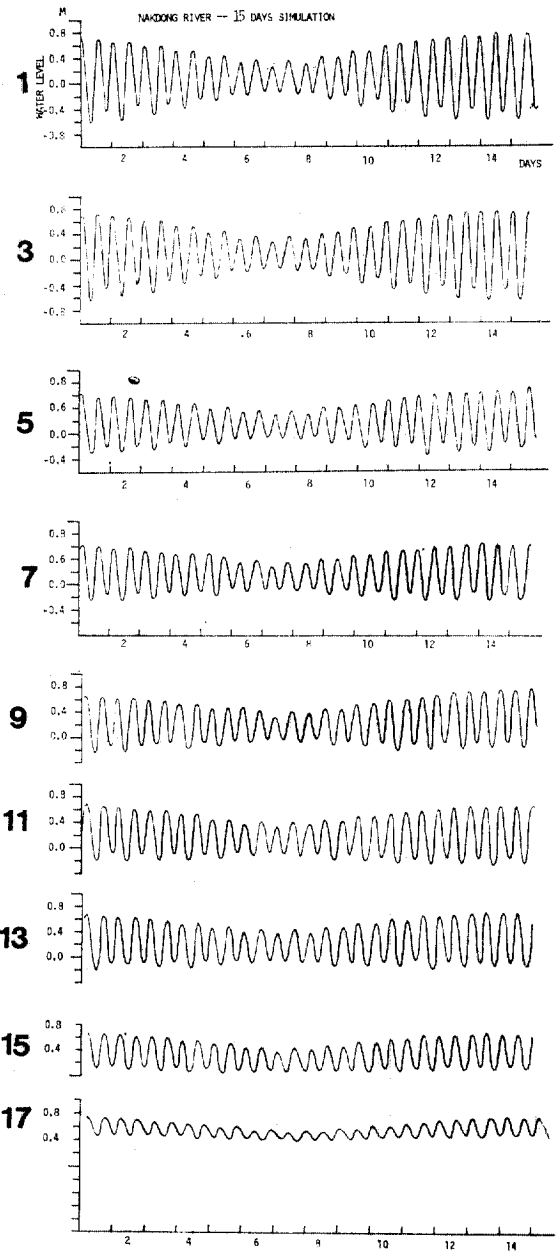


그림 9. 算定된 洛東江 感潮區間에서의 보름주기 水位變化

또는 Low Water Ordinary Neap Tide)의 基準面 顛倒(datum reversal)가 일어나는 位置가 錦江의 境遇 그림 10 에 提示된 대로 斷面 7의 熊浦里附近이므로 그림 8의 算定結果를 再確認시키고 있다. 洛東江의 境遇는 斷面 13에 該當되는 三浪津附近이 基準面 顛倒가 되는 位置로서 그림 11 에는 提示되는 그림 9에 算定된 結果를

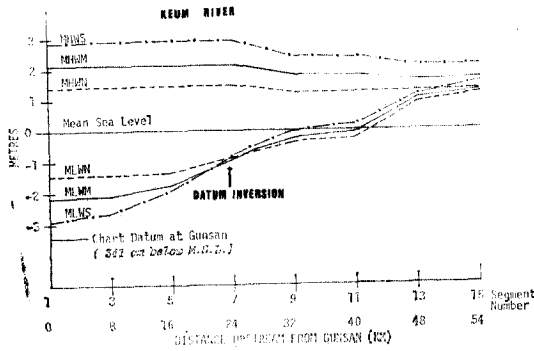


그림 10. 錦江感潮區間의 平均大, 中, 小潮時干潮位 및 滿潮位

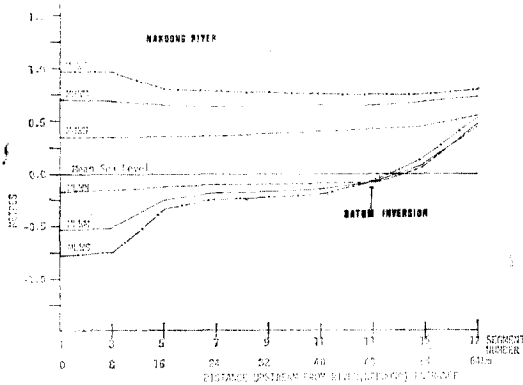


그림 11. 洛東江 感潮區間의 平均大, 中, 小潮時干潮位 및 滿潮位

參照하면 긴 區間에 걸쳐서 平均大潮와 平均小潮의 干潮位가 비슷한 水位를 維持한다. 以外에도 部分的 觀測水位資料로부터 推定하면 漢江의 境遇는 一山堤附近(그림 1 參照), 蟾津江은 河東附近이 이러한 基準面 顛倒가 일어나는 位置로 생각된다. 프랑스의 Seine 江, 英國의 Severn 河口, 캐나다의 St. Lawrence 江에서의 基準面 顛倒現象은 LeBlond^(9,10)에 의해 잘 說明되었다.

4. 運動量 平衡

4.1. 干潮位 遲滯現象

感潮區間의 上流部에서는 摩擦項이 加速項(局地, 移流)보다 潮汐週期를 통해 훨씬 커서 運動量 平衡을 支配하게 되므로 이 領域의 潮汐傳播는 長波, 重力波모델이 아니라 拋物線形 方程式인 擴散모델에 의해 說明되는 것이 合理的인 것

이 LeBlond⁽⁹⁾에 의해 提示되었다. 摩擦力이 支配의 일 때 潮汐傳播는 運動量方程式에서 水位傾斜와 河床摩擦의 平衡을 反映하는 $L=(gh^2T/KV)^{1/2}$ 인 길이 規模(length scale)를 갖는 拋物線型 問題로 되는데 g 는 重力加速度, h 는 平均水深, T 는 潮汐週期, V 는 水平流速이며 K 는 $K|V|$ 로 表示되는 摩擦減速項에서의 摩擦係數이다. 表 1은 漢江 및 錦江 感潮區間에서의 길이 規模와 이를 算定하는 데 利用된 變數들로서 L

表 1. 漢江 및 錦江 感潮區間上流部의 길이 規模(L)

	h (m)	V (m/s)	K	S/R	λ (km)	L (km)
漢江	3.3	1.0	3.0×10^{-3}	0.025	246	39
錦江	4.0	1.0	2.0×10^{-3}	0.046	270	58

은 長波의 波長 λ 보다 5~6 배 작다. 加速項에 대한 摩擦項의 比率는 $S/R=h/KTV$ 로서 算定되는 데 表 1에 提示된 바와 같이 아주 작은 값은 優勢한 摩擦力을 나타낸다. LeBlond⁽⁹⁾은 이러한 體系가 洪水波의 傳播를 나타내는 kinematic wave 公式에 가까운 樣相임을 縮尺方程式에 의해 說明하였는데 相異點은 瞬間水位傾斜가 存在하여 運動量方程式과 連續方程式을 同時에 滿足해야하는 點이다.

漢江의 康寧浦와 顛流里는 約 19 km 떨어져 있는데 두 地點間 滿潮遲滯는 50 分, 干潮遲滯는 150 分이며⁽¹⁸⁾ 傳播速度는 各己 6.3 m/s, 2.1 m/s 이다. 摩擦領域에서는 主로 憩流時에 滿潮가 發生하고 最大落潮時에 干潮가 發生하는 것으로하여 長波모델과 擴散모델을 이 區間에 適用하기로 한다. 長波모델에 의한 傳播速度, $\hat{V}=\hat{u}+\hat{U}+[g(h+\hat{\eta})]^{1/2}$ 로 表示되는데 \hat{u} 는 潮流, \hat{U} 는 恒流流速(非潮流成分)인바 漢江의 境遇 潮差가 2.6 m, 干潮時 $\hat{\eta}=-1.3$ m, $\hat{u}+\hat{U}=-1.0$ m/s 이며 滿潮時 $\hat{\eta}=1.3$ m, $\hat{u}+\hat{U}=0$ 인 條件을 擇하면 表 2의 結果와 같은데 滿潮位의 傳播速度는 長波모델에 의해 만족스럽게 算定되는 反面 干潮位 傳播速度는 過多推定하고 있다. LeBlond⁽⁹⁾에 의한 摩擦領域의 干潮位 傳播速度는 擴散모델에 의해 算定된다. 即 無次元擴散速度 $V_0=(2\omega\kappa a)^{1/2}$ 에 길이 規模, L 과 時間縮尺(12 時間)의 比率를 곱하면 次元이 있는 實際速度가 求해지

表 2. 漢江 및 錦江에서의 干, 滿潮位 傳播速度와 遲滯時間

		$h+\eta$ (m)	$\hat{u}+U$ (m/s)	관 측		장파모델		확 산 모 델			
				V (m/s)	Lag(분)	\hat{V}	Lag	\hat{V}_0	Lag	\hat{V}_1	Lag
漢江	滿潮	4.6	0	6.3	50	6.7	47				
	干潮	2.0	-1	2.1	150	3.4	92	2.3	138	1.4	226
錦江	滿潮	5.0	0	6.5	55	7.0	51				
	干潮	3.0	-1	3.0	120	4.4	81	3.4	104	2.5	140

註) \hat{V}_0 는 表 1의 L 을 근거로 한 것이며, \hat{V}_1 는 간조위로 수정된 L 을 근거로 한 것임.

는 데 여기서 $\kappa=(2|u+U|)^{-1}$ 이며 ω 는 2π 에 해당된다. 表 1에 提示된 L 값에 의한 \hat{V}_0 와 h 대신 $h-\hat{\eta}$ 의 干潮位 實際값을 根據로 한 \hat{V}_1 이 算定되어 表 2에 亦是 提示된 擴散모델이 干潮位 位相의 遲滯現象을 잘 推定하고 있다. 서로 21.4 km 떨어진 錦江河口의 熊浦와 江景間의 干潮位 遲滯現象을 1968年 2月의 觀測資料⁽¹⁰⁾와 두 모델을 利用해 推定한 結果 亦是 擴散 모델이 나온 結果를 가졌다.

4.2. 보름週期 水位變化

길이 가 긴 水路의 運動量方程式에 季節成分 및 定常成分을 除去하기 위한 band-pass 數值 필터를 適用하면 移動日平均値를 包含하는 下記式이 된다⁽¹⁰⁾.

$$H(\bar{v}_t + \overline{v v_x}) + S_x = -gH\bar{\eta}_x - K\bar{v}|v| \quad (3)$$

여기서 v 는 流速成分, H 는 總水深($h+\eta$), S 는 高周波運動(日週潮 및 半日週潮)에 의한 운동량에 대한 放射應力이며 時間 t 및 距離 x 에 대한 導函數는 添字로서, 數值 필터演算은 上部線으로 提示된다. 보름週期에 대한 流速 \bar{v} 및 日平均海面變位 $\bar{\eta}$ 의 길이規模는 前述된 潮汐境遇의 L 과 同一하므로 S_x 는 v^2/L 의 크기로 아주 작은 값을 갖는 바 S_x 와 平均摩擦項의 比率는 平均되지 않은 運動量方程式에서의 非線型項과 瞬間摩擦項의 比率와 같다. 이境遇式(3)의 左側項들은 無視될 수 있어 平均的인 運動量平衡은 平均水位傾斜와 平均摩擦力에 의해 이루어진다. 따라서 大潮에 關聯된 큰 河床摩擦力은 큰 壓力傾度(水位勾配)에 의해 平衡을 이루어야 하므로 上流區間에서는 小潮時에 비해 水位 即日平均海面이 上乘된다. 이 보름週期水位變化의 振幅은

日週潮, 半日週潮 및 高周波分潮에 의한 振幅의 크기와 程度가 같아 이 效果에 의해 感潮區間 上流側에서는 平均大潮干潮位가 平均小潮干潮位에 位置하게 된다. 이 特異한 感潮河川에서의 物理現象은 前述한 대로 우리나라의 主要河川에서도 觀測되었으며 數值모델의 結果로도 確認되었다. 그림 10에 의하면 熊浦에서 32 km 上流地點의 平均大潮 및 小潮干潮位間의 振幅 $\bar{\eta}=0.2$ m에 達해서 水位의 보름週期 同調現象은 潮汐自體보다도 더 上流로 傳播될 수 있음을 示唆하는 데 仔細한 觀測資料에 의해 確認이 必要하다.

5. 結 論

우리 나라 主要感潮河川에서 基準面顛倒가 일어나는 것이 높은 河床摩擦力에 대한 보름주기 水位의 同調現象에 의한 것임이 說明되었으며 感潮區間 上流部에서 干潮位 傳播速度는 擴散모델에 의해 滿足스럽게 推定될 수 있음이 提示되었다. 이러한 우리나라河川의 感潮區間에서의 特異한 潮汐水理는 이제까지 強調되어 研究되지 않았으며 따라서 1910年代부터 觀測된 感潮水位 觀測資料들도 한번도 徹底하게 分析된 바 없다. 現在 主要河川의 河口에는 淡水湖造成 및 水水浸透防止를 위한 構造物들이 建設中인바 이러한 人爲的 變換行爲는 既存環境體系에 큰 變化를 가져올 것이므로 우선 既存水理環境에 대한 適確한 理解가 必要하다. 本 研究은 우리나라河川의 尠大한 感潮水位 觀測資料의 整然한 整備 및 이를 土臺로 한 潮汐水理의 體系의 研究의 必要性을 強調하기 위한 初期作業으로 遂行되었다.

謝 辭

漢江 感潮區間 同時潮位觀測結果를 交通部 水路局으로부터 提供받은 바 이에 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. Dronkers, J.J., *Tidal computations in rivers and coastal waters*. John Wiley, New York, 1964, p. 518.
2. Rossiter, J.R., and G.W., Lennon. Computation of tidal conditions in the Thames estuary by the initial-value method. *Proc. of the Inst. of Civil Engineers*, 1965, 31, 25.
3. Abbott, M.B., and F., Ionescu. 1967. On numerical computation of nearly horizontal flows. *Journal of Hydraulic Research*, 5, 2.
4. Lamb, H., *Hydrodynamics*. Dover, New York, 1945, p. 138.
5. Lorentz, H.A., *Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918~1926*. Alg. Landsdrukkerij, The Hague, Netherlands. 1926.
6. Kreiss, H. Some remarks about nonlinear oscillations in tidal channel. *Tellus*, 9, 1957, pp. 53~68.
7. Abbott, M.R., A theory of the propagation of bores in channels and rivers. *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 52, 1956, pp. 344~362.
8. LeBlond, P.H., On the tidal propagation in shallow rivers. *Journal of Geophysical Research*, 83, 1978, pp. 4714~4721.
9. LeBlond, P.H., *Forced fortnightly tides in shallow rivers*. *ATMOSPHERE-OCEAN*, 17, 1979, pp. 253~264.
10. LeBlond, P.H., The insensitivity of fortnightly water-level modulations to tidal bores in rivers, *Marine Geodesy*, 5, 1, 1981, pp. 35~41.
11. 建設部. 1962. 韓國水文調查書. 第1卷 水位編, 第2卷 雨量編, 3, 4卷 附圖編.
12. 建設部. 1982. 水位觀測所零點標高調查報告書. 韓國綜合技術開發公社.
13. 現代建設株式會社. 1973. 洛東江河口臨海工業團地造成妥當性調査 및 綜合開發計劃報告書. 附錄 I.
14. 崔秉吳, 安元植. 1985. 錦江感潮區間의 潮汐傳播. 韓國水文學會誌 第18卷 第1號.
15. 崔秉吳. 1985. 洛東江河口의 潮汐. 成均館大 科學技術研究所論文集.
16. Harleman, D.R.F., and C.H., Lee. The computation of tides and currents in estuaries and canals. Tech. Bull. No. 16, Committee on Tidal Hydraulics, Corps of Engineers, U.S. Army, Vicksburg. 1969.
17. Courant, R., K. Friedrichs and H. Lewy, *Mathematische Annalen*, 100, 32, 1928.
18. 交通部 水路局. 1962. 漢江感潮區間 潮位觀測資料 (未出刊).
19. Ministry of Construction, R.O.K., KUNSAN-Creation of outer port in Keum river estuary. Laboratoire Central D'hydraulique de France, 1969.

(接受: 1985. 4. 8)