

## 鹽水楔기의 非定常的 舉動特性 The Behavior of Unsteady Saline Wedge

李文沃\*  
Moon Ock Lee\*

**要旨:** 潮汐이 作用하는 흐름장에 있어서의 鹽水楔기의 舉動特性을 把握하여, 實際의 河口에서 生成되는 非定常的 鹽水楔기의 形狀과 그 길이를 正確하게 豫測할 수 있는 數值모델의 構築을 目的으로, 水理實驗 및 數值計算을 行하였다. 實驗에서는 特히 潮時에 따른 鹽水楔기의 下層에서의 流速分布의 變化와 先端部의 舉動에 注目하였다. 또한 漸變一次元二層不定流모델에 의한 鹽水楔기 形狀의 數值計算을 行하여 實驗結果와의 比較에 의해 그 모델의 適用性에 대하여 檢討하였다.

**Abstract**—This study presents the behavior of unsteady saline wedge in which it is examined velocity profile variations at the lower layer (inner wedge) and wedge tip responses to a tidal action in a rectangular open channel. Unsteady saline wedge has just tidal excursions corresponding to tidal amplitudes at the river mouth, although two wedge tips in flood and ebb tide remarkably have different shapes. Maximum velocities at the lower layer appear immediately from high water to low water level (or low to high water). Numerical computation results obtained by only just interfacial friction factor at the steady state show satisfactory agreements with experimental data. However, the numerical model on one-dimensional two-layer flow still has some problems to date.

### 1. 緒 言

河口에서 生기는 鹽水楔기의 舉動은 非定常的으로 서 潮汐, 河川流量, 波浪 等に 의해 그 양상이 끊임 없이 變化하고 있으며, 海水와 淡水와의 混合形態도 이에 따라 時·空間的으로 變化하므로 嚴密하게 定常 鹽水楔기는 存在하지 않는다. 鹽水楔기는 河川 流量에 비해 潮位變化가 比較的 작은 弱混合型의 河口에서 生기는 二層流이지만, 水理條件이 變하면 반드시 同一한 混合型이 生긴다고는 말할 수 없다. 鹽水楔기의 非定常的 舉動에 대하여는 李와 室田(1989), 吉田 等 (1975, 1984), Suga(1979) 等の 實測研究와 相材 等 (1971, 1972), 須賀 等(1979, 1982), 有田 等(1990)이 行한 實驗研究가 있으나 理論的으로는 아직 充分히 解明되어 있지 못하다. 特히 須賀는 Nagara River에서 的 實測 및 大型水路에서의 模型實驗에서 얻은 詳細하고도 廣範한 資料를 바탕으로 漸變一次元二層流

모델에 의한 非定常的 鹽水楔기의 數值計算을 실시 하였다. 여기서 그는 潮汐變化에 따른 흐름方向으로의 下層의 密度變化, 底面기울기와 底面摩擦, 連行을 考慮하여 實際 河口에서 生기는 水理現象에 보다 近接한 計算모델을 構築하였다. 또한 有田 等은 河口附近에서 生기는 密度界面 崩壞現象을 實驗室內에서 再現하기 위하여, 溫水(23℃)와 冷水(9℃)를 使用한 二層流를 만들고 潮汐作用에 依한 上·下層에 있어서의 流速 및 層두께의 變化, 密度楔기(density wedge) 先端位置의 時間적 變化를 調査하였다. 이 實驗을 통하여 그는 密度界面은 漲潮流時의 流速이 最大가 되는 時點에 崩壞되기 시작하여, 時間의 경과에 따라 漸次 大規模的인 崩壞가 發生하게 된다는 事實을 提示하였다. 또한 그는 이와 같은 密度界面의 大規模的인 崩壞의 原因으로서, 漲潮流時에 均質流(uniform flow)로서 潮汐波가 河口로 向할 때 密度流와의 干涉에 의해 밀도류가 發生하게 되고 이것이 河川內로

\*麗水水産大學 海洋土木工學科(Department of Ocean Civil Engineering, Yosu National Fisheries College, Yosu 550-749, Korea)

流入되어 密度界面의 崩壞를 일으킨다고 주장하였다. 따라서 須賀 等이 Nagara River의 實測에서 指摘하고 있는 内部渦(internal vortex)의 形成原因中的 하나가 바로 이와 같은 밀도류의 發生에 의한 것으로 結論 지었다.

本 研究는 이와 같은 界面破壞의 原因을 根源的으로 糾明하기 爲한 그 前段階로서, 우선 鹽水쇄기의 非定常的 舉動을 河口로부터 주어지는 潮汐作用에 의해 再現하고 潮時에 따른 下層內에서의 流速分布의 變化와 鹽水쇄기의 先端部의 反應을 實驗的으로 檢討한 것이다. 可視化方法(visualization method)에 의하여 潮位變化에 따른 鹽水쇄기 先端部의 舉動 및 下層流速의 變化를 調査하고 漲潮流와 落潮流에 있어서의 定性的인 差異를 밝혔으며, 實驗結果는 須賀(1979)에 依해 開發된 一次元二層不定流모델을 使用하여 檢討 하였다.

## 2. 基礎方程式

幅이 一定한 長方形開水路에 있어서 흐름方向으로 下層密度의 變化를 無視하고 連行을 考慮한 경우의 漸變一次元二層不定流는 다음 式으로 表現된다.

體積保存法則:

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q_1}{\partial x} = W_e \quad (1)$$

$$\frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q_2}{\partial x} = -W_e \quad (2)$$

質量保存法則:

$$\frac{\partial(\rho_1 h_1)}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_1 Q_1) = \rho_2 W_e \quad (3)$$

運動量保存法則:

$$\begin{aligned} \frac{1}{g} \frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{u_1}{g} \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} \\ + \frac{\rho_2 u_1}{\rho_1 g h_1} W_e + \frac{h_1}{2\rho_1} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} - i_0 + i_{f_1} = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{u_2}{g} \frac{\partial u_2}{\partial x} - \frac{u_2}{g h_2} W_e + \frac{h_1}{\rho_2} \frac{\partial \rho_1}{\partial x}$$

$$+ \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{\partial h_1}{\partial x} + \frac{\partial h_2}{\partial x} - i_0 + i_{f_2} = 0 \quad (5)$$

여기에  $h$ 는 水深,  $B$ 는 水路幅,  $Q$ 는 流量,  $S$ 는 密度이며, 添字 1, 2는 各各 上層 및 下層을 나타낸다.  $t$ 는 時間,  $x$ 는 흐름方向의 水平距離,  $g$ 는 重力加速度이다.  $W_e$ 는 連行速度이며 連行係數  $E$ 를 쓰면,  $W_e = E |u_1 - u_2|$  와 같이 表現된다. 또한  $i_0$ 는 底面기울기,  $i_{f_1}$ ,  $i_{f_2}$ 는 上層 및 下層의 摩擦기울기로서 各各 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$i_{f_1} = \frac{f_i}{2gh_1} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| + \frac{f_w}{4gB} |u_1| u_1 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} i_{f_2} = \frac{f_b}{2gh_2} u_2 |u_2| - \frac{f_i}{2gh_2} \frac{\rho_1}{\rho_2} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \\ + \frac{f_w}{4gB} u_2 |u_2| \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $f_i$ ,  $f_b$  및  $f_w$ 는 各各 界面, 底面 및 壁面에 있어서의 摩擦抵抗係數를 나타낸다.

以上的 基本式들로부터 非定常 鹽水쇄기의 計算을 위한 最終式은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{1}{\phi} [-i_{f_1} + i_{f_2} - \epsilon F_{d_2}^2 i_0 + \epsilon \{ (1 + \frac{\rho_2}{\rho_1}) F_{d_1}^2 \\ + \frac{\rho_2}{2\rho_1} - 1 + \frac{2u_1}{u_2} F_{d_2}^2 \} \frac{W_e}{u_1} - \frac{h_1}{u_1} (\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{2\rho_1}) \frac{\partial \rho_1}{\partial t} \\ + \frac{2u_1}{gh_1} \frac{\partial h_1}{\partial t} - \frac{2u_2}{gh_2} \frac{\partial h_2}{\partial t} - \frac{1}{Bgh_1} \frac{\partial Q_1}{\partial t} \\ + \frac{1}{Bgh_2} \frac{\partial Q_2}{\partial t} ] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_2}{\partial x} = \frac{1}{\phi} [i_{f_1} - i_{f_2} + \epsilon(1 - F_{d_1}^2) i_0 + (\frac{u_1}{gh_1} + \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{u_1}{gh_1} \\ + \frac{\epsilon \rho_2}{2\rho_1 u_1} - \frac{\epsilon}{u_1} + \frac{2u_1}{gh_2}) W_e + (\frac{h_1}{\rho_2 u_1} - \frac{h_1}{2\rho_1 u_1}) \frac{\partial \rho}{\partial t} \\ - \frac{2u_1}{gh_1} \frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{2u_2}{gh_2} \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{1}{Bgh_1} \frac{\partial Q_1}{\partial t} \\ - \frac{1}{Bgh_2} \frac{\partial Q_2}{\partial t} ] \end{aligned} \quad (9)$$

$$\phi = \varepsilon(1 - F_{d_1}^2 - F_{d_2}^2) \quad (10)$$

여기서  $\varepsilon$ 은 相對密度差( $= \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$ ),  $F_{d_1}$ ,  $F_{d_2}$ 는 各各上·下層에 있어서의 密度 Froude數로서  $F_{d_i}^2 = Q_i^2 / \varepsilon g B^2 h_i^3$  (단  $i=1, 2$ )로 定義되어 있다.

數值計算에 있어서는 須賀(1979)에 의해 開發된 陰形式의 差分方式을 採用하였다. 이 때 使用되는 各係數는 다음과 같이 주어졌다.

$$f_i = 0.2 (R_{r_i} F_{d_i}^2)^{0.5} \quad (11)$$

$$f_b = 0.01 \quad (12)$$

$$f_w = 0.224 R_r^{0.25} \quad (13)$$

$$W_r = E |u_1 - u_2| = 0.002 F_{d_1}^2 |u_1 - u_2| \quad (14)$$

단,  $R_{r_1} = u_1 h_1 / \nu$ ,  $\nu$ : 動粘性係數,  $F_{d_1} = u_1 / \sqrt{\varepsilon g h_1}$ ,  $R_r = (u_1 h_1 / \nu) (B / (B + 2h_1))$

下流端條件으로서는 河口에서 주어진 振幅과 週期에 따른 上層水深과 全水深의 時間적 變化 및 下層 密度를 준다. 上流端條件으로서는 上·下層의 流量 및 上層 密度를 준다. 한편 初期條件으로서는 定常時의 鹽水쇄기의 形狀과 水面形을 준다.

### 3. 實 驗

#### 3.1 實驗裝置와 實驗方法

實驗裝置로는 底面기울기가 1/22.5인 길이 800 cm, 幅 10 cm, 높이 25 cm의 아크릴製의 長方形斷面開水路를 길이 274 cm, 幅 183 cm, 높이 91 cm의 鋼製의 水槽中央에 連結한 것을 使用하였다. 水槽에 一定濃度의 鹽水を 채운 후에 淡水를 水路上流端으로부터

흘려 보내어 鹽水쇄기를 발생시키고, 適切한 鹽水補給을 통해 쇄기의 先端 및 界面位置가 一定하도록 安定시켰다. 그 後 鹽水쇄기가 定常에 達한 것을 確認하고 나서 水槽下流端의 越流웨어를 上·下로 作動시켜 潮汐作用을 일으켰다. 이 때 水槽內에서의 淡水와 鹽水의 體積變化에 따라서 鹽水補給量을 調節하였으며, 潮位 및 界面의 變化는 두대의 servo 水位計 의해 測定하고 penrecorder에 出力시켰다. 流速은 水素氣泡法을 써서 測定하고 video 撮影後 畫像解析하였다. 또한 界面附近 및 鹽水쇄기의 先端은 螢光染料 또는 水素氣泡法에 의해 可視化하였다.

#### 3.2 實驗條件

實際의 河口에 있어서의 成層構造는 潮差의 大小에 의해 變化한다. 本 實驗에 있어서는 水槽下流端의 越流웨어의 上·下 移動 可能한 높이와 이에 要하는 鹽水 補給量의 供給能力 等의 限界때문에 일으킬 수 있는 最大潮差가 2.5 cm程度로 判斷되었다. 最大潮差가 大小에 따른 成層의 變化에 注目하기 보다는 오히려 相對密度差와 潮汐週期가 다른 경우에 있어서의 鹽水쇄기 先端部의 舉動의 差異를 調査할 目的으로 實驗條件은 Table 1과 같이 設定하였다.

## 4. 結果 및 考察

#### 4.1 潮汐波의 傳播와 흐름장의 應答

水槽 下流端의 越流웨어의 上·下運動과 이에 따른 水槽內에서의 淡水와 鹽水의 體積 變化에 相應하는 鹽水を 補給하는 것에 의해 發生하는 潮汐波를 Fig. 1에 나타내었다. 여기에 橫軸은 越流웨어의 上·下運動의 週期 T로 無次元化한 時間 t를, 縱軸은 河口의 潮差  $\eta_0$ 로 無次元化한 潮差  $\eta$ 를 나타낸다. 潮位의

Table 1. Experimental conditions

Run	Tidal range $\eta_0^*$ (cm)	Period T (sec)	Relative density diff. $\varepsilon$	$h_0$ ( $=h_{10} + h_{20}$ ) (cm)	$h_{20}$ (cm)	$Q_1$ ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )	Saline water supply ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )
1	2.0	400	0.0225	20.3	17.5	208	0~583
2	1.9	600	0.0242	20.5	17.5	208	0~583
3	1.6	400	0.0114	20.2	16.9	208	0~600
4	2.0	600	0.0115	20.3	16.8	208	67~583

\*The subscript 0 denotes values at the rivermouth

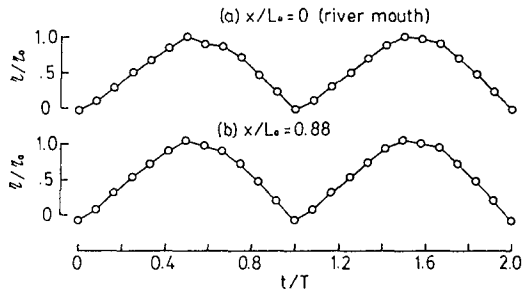


Fig. 1. A typical example of tidal wave generated by experimental apparatus (run 4).

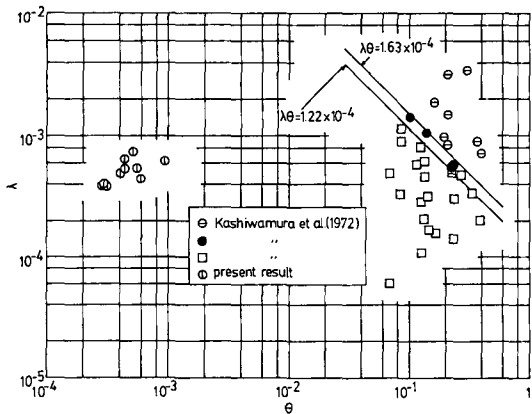


Fig. 2. Flow condition classification by use of Keulegan number  $\theta$  and nondimensional parameter  $\lambda$ .

變화가 正弦波와는 若干 다르나, 一定한 週期和 潮差를 가진 規則的인 波形이 생기고 있음을 알 수 있다. 한편, 潮汐作用下의 흐름장에 있어서는 潮時에 따라 河口流出流의 흐름 方向의 變化가 豫想되는데, 이를 살펴보기 爲하여 柏村 等(1972)의 flow pattern의 分類手法에 따라 整理하면 Fig. 2와 같은 結果를 얻을 수 있다. 同 그림에 의하면, 本 實驗結果는 河口流出流가 全 潮時에 걸쳐서 順流일 條件인  $\lambda\theta < 1.22 \times 10^{-4}$ 의 범위에 들어 있으므로 潮時에 따른 上層流의 流向變化는 생기지 않는 것을 알 수 있다(단,  $\theta$ 는 Keulegan數로  $\theta = R_1 F_{d1}^2$ ,  $\lambda$ 는 無次元 parameter로  $\lambda = A_0 / u_0 T$ ,  $A_0$ : 潮汐의 振幅,  $T$ : 潮汐週期,  $u_0$ : 定常時 河口에서의 淡水流速이다). 또한, Fig. 3은 鹽水楔기는 先端部의 移動距離  $l$ 과 河口의 潮差  $\eta_0$ 와의 關係를 나타낸다. 여기서 移動距離라 함은 干潮時와 滿潮時에 있어서의 鹽水楔기 長이의 差를 말한다. 그림속의 斜線은 水路의 底面기울기가  $1/22.5$ 이므로  $l/h_0 = 22.5$

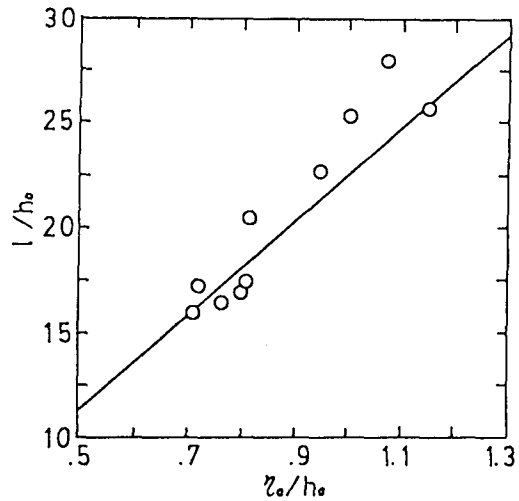


Fig. 3. Relationship between the tidal range at river mouth  $\eta_0$  and moving length of wedge tip  $l$ .

$\eta_0/h_0$ 의 直線式을 나타낸다(단,  $h_0$ 는 河口의 全水深). 同 結果에 따르면, 鹽水楔기 先端의 移動距離와 河口의 潮差와의 關係는 前述한 直線式을 잘 滿足하고 있다. 이것은 鹽水楔기 先端의 移動距離가 주어진 潮差에 의해 支配될 뿐, 潮汐波의 傳播에 따른 動力學的인 影響은 거의 無視될 수 있음을 보여준다.

Fig. 4는 水素氣泡法을 써서 測定한 潮汐週期에 따른 下層(즉 鹽水層)의 流速分布의 變化를 定常時的 流速分布와 比較한 것이다. 여기서  $\eta$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\bar{u}_1$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $t$ ,  $x$  및  $z$ 는 各各 潮差, 上層水深, 下層水深, 上層의 平均流速, 上層流速, 下層流速, 時間, 河口로부터의 水平距離 및 水深을 나타낸다. 또한 添字 0은 定常值를,  $T$ 는 朝夕週期,  $L_0$ 는 定常鹽水楔기 長이다. 먼저 (a)는 測流點이 河口附近( $x/L_0 = 0.063$ )으로서, 界面 바로 밑에서는 潮汐週期和 關係 없이 流速 2 cm/sec 前·後의 順流(즉, 上流로부터 河口쪽으로의 흐름)가 存在하나, 보다 下層에서는 流速 1 cm/sec 以下の 흐름이 潮汐週期에 따른 流向의 變化를 보여준다. 또한 漲潮流에서 落潮流로의 轉流時刻는 滿潮時刻보다 다소 늦어짐을 알 수 있다. 이에 대해 (b)는 測流點이 鹽水楔기 先端附近으로서, 全般的인 流速分布의 傾向은 (a)와 類似하나 흐름이 보다 微弱하며 轉流時刻는 거의 滿潮時刻과 一致한다. 또한 流速은 漲潮流와 落潮流의 中間地點(즉  $t/T = 0.2 \sim 0.25$  또는  $t/T = 0.75 \sim 0.85$ )에서 各各 그 最大値를 나타낸다.

이와 같이 潮汐 作用下에서의 鹽水楔기의 流速分

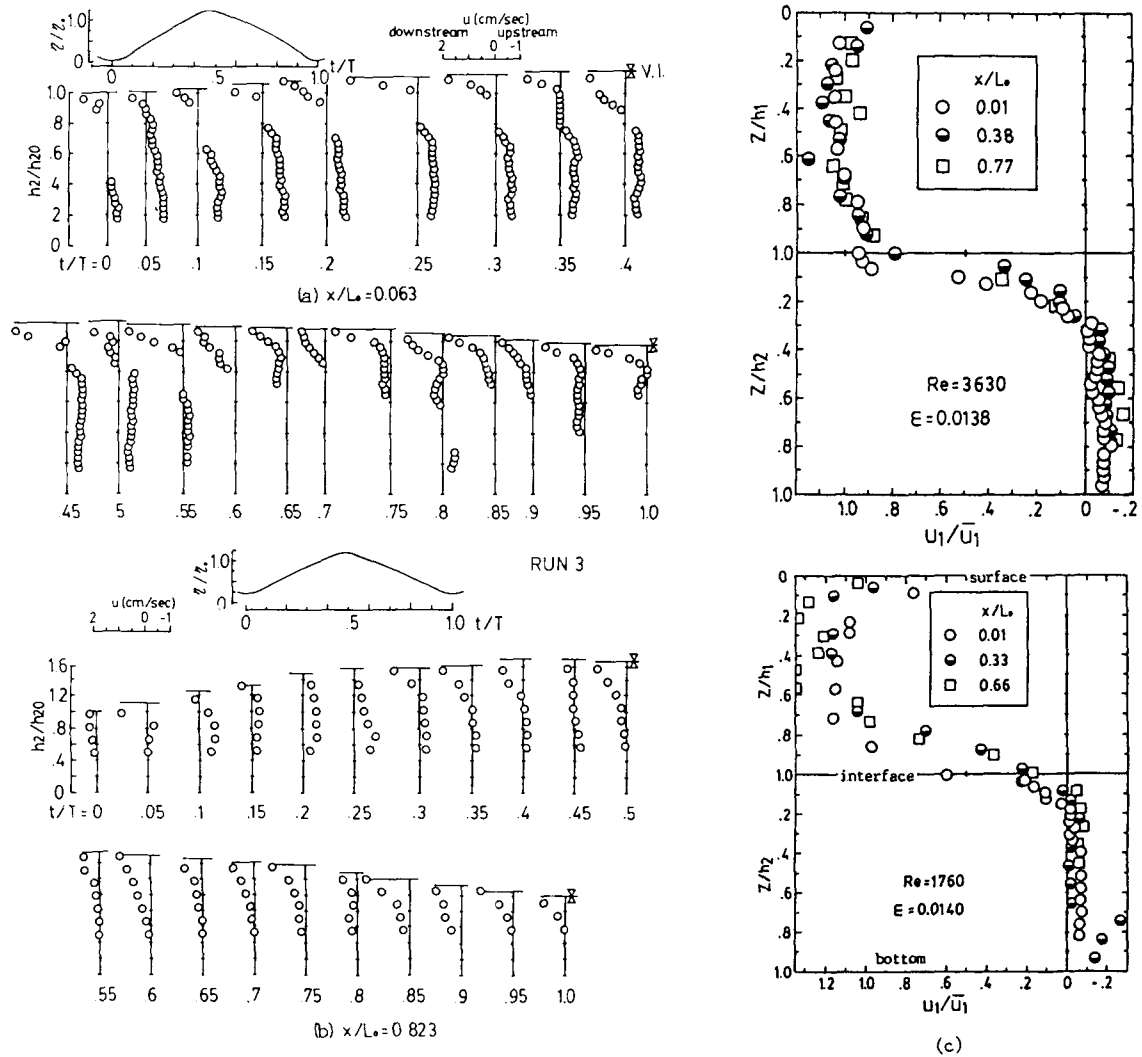


Fig. 4. Velocity profile variations at the lower layer (i.e. saline water layer) with a tidal period. Fig. (a) and (b) show profiles under unsteady state and (c) under steady state, respectively.

布는 潮時에 따라 變化하고 있어서 (c)에 提示된 바와 같은 定常 鹽水漉기의 流速分布와는 顯著히 다르다. 여기서 提示하고 있는 實驗結果 以外에도, 前述한 實驗條件에 따라 行한 다른 實驗結果와의 比較로부터 다음과 같은 事項을 알 수 있었다. 相對密度差(즉 成層度)가 同一한 경우에는 潮汐週期가 짧을수록, 潮汐週期가 同一한 경우에는 相對密度差가 작을수록 各各 흐름장의 潮汐作用에의 應答이 양호하게 나타 났다.

한편, Fig. 5는 직경 0.1 mm의 白金線을 鹽水漉기 先端의 水路底面에 約 40 cm의 길이로 깔고 水素氣

泡를 發生시킴과 同時に 鹽水層內에 螢光性 染料인 우라닌 溶液을 投入한 後 寫眞撮影한 모습을 나타낸 다. 同 結果에 依하면, 漲潮流로 轉流한 後 鹽水漉기는 그 先端의 두께가 增加하며, 漉上에 따른 強烈한 soaring이 觀察된다(Fig. 5(a)). 또한 이 때 鹽水漉기 先端은 全體가 일제히 均一하게 伸張되는 것이 아니며, 大體로 水路橫斷面上的의 右側으로부터 한 발 먼저 漉기 시작하여 漸次 左側으로 擴散되어가는 傾向을 보였다. 이러한 現象은 Simpson(1972)이 指摘한 바와 같이 對流不安定에 의해 중력파의 先端에서 생기는 典型的인 lobe and cleft structure로 생각된다. 이에 對해

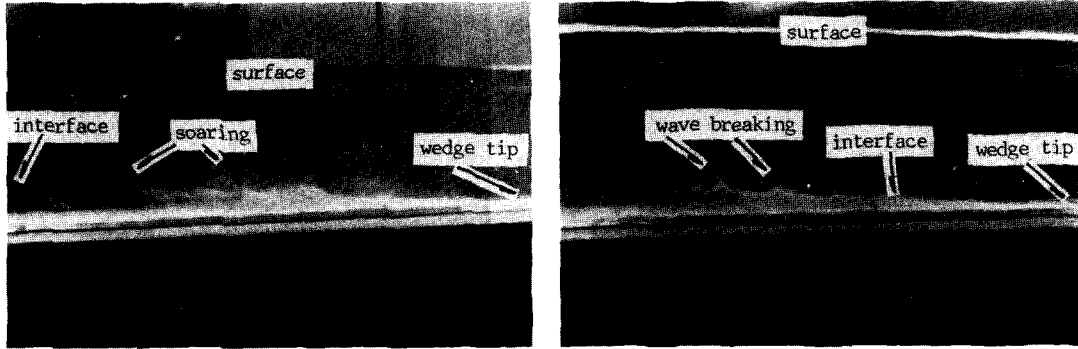


Fig. 5. Appearances in the neighborhood of wedge tip, catching by use of visualization method(run 2): Fig. (a) shows the appearance at about a minute later since a low water passed by and (b) at just after the flow changed from flood tide to ebb tide, respectively.

落潮流時에는 鹽水쇄기 先端의 全般的인 두께가 減少하며, 定常 鹽水쇄기의 界面에서 觀察되는 바와 같은 cusping ripple인 内部波의 波頂이 부서져, 鹽水가 淡水層으로 splashing되는 모습이 보여진다(Fig. 5(b)).

#### 4.2 計算結果와 實驗結果와의 比較

##### 4.2.1. 流速 및 密度的 변화

前述한 鹽水쇄기 計算式 (8)~(10)을 陰解法으로 差分近似하여 數值計算한 結果를 Fig. 6에 나타냈다. 여기서,  $\eta$ ,  $\eta_0$ 는 河口에서의 任意時刻의 潮差 및 最大潮差,  $h_{10}$ 은 河口의 上層水深,  $u_1$ ,  $u_2$ : 上層 및 下層의 平均流速,  $\rho_1$ ,  $\rho_{10}$  任意時刻 및 初期의 上層密度,  $l$ 은 鹽水쇄기 先端의 移動距離,  $t$ 는 時間,  $T$ 는 潮汐週期이다.

또한 同 그림 중의  $u_2$ 는 order가 매우 작기 때문에 週期的인 變化를 明瞭히 하고 實驗結果와의 對比도 考慮하여 上層의 平均流通  $u_1$ 에 對하여 10倍程度 誇張된 것이다.

本 結果에 의하면, 上層平均流速  $u_1$ 은 潮位變化에 對應하는 週期的인 變化보다는 境界條件인 下流端의 上層水深(=  $h_{10}$ )의 時間變化에 의해 強하게 影響받고 있다.

또한 下層 平均流速  $u_2$ 는  $u_1$ 에 비해 週期的인 變化는 顯著하지만, 마찬가지로 下流端 條件에 의한 不規則的인 變動이 야기되고 있다. 이러한 流速의 週期的인 變化는 潮位變化보다 다소 位相이 늦으나 實驗結果와는 대체로 良好한 一致를 보여준다. 한편

上層密度  $\rho_1$ 의 變化에 注視하면, 潮汐運動에 의한 週期的인 變化는 거의 나타나지 않으며,  $x=20$  cm에서의  $\rho_1$ 은 流速과 마찬가지로 下流端의 境界條件  $h_{10}$ 의 影響으로,  $h_{10}$ 가 작아지면  $\rho_1$ 은 上昇하는 傾向이 보이는데, 이것은 前述한 體積保存法則 및 質量保存法則으로부터 豫상되는 結果이다. 이에 對하여  $x=150$  cm 및  $x=290$  cm에 있어서는  $\rho_1$ 의 時間變化가 거의 나타나지 않는다.

##### 4.2.2. 鹽水쇄기 先端位置의 變化

마지막으로 同 그림에서의 鹽水쇄기 先端位置의 變化를 살펴보면, 1週期 동안에는 初期值의 影響이 나타나나, 2週期부터의 計算結果는 實驗結果를 良好하게 再現하고 있다고 생각된다. 이 先端位置의 變化는 河口에서의 潮位變化에 잘 對應하고 있으며, 位相差도 대단히 작다. 또한 鹽水쇄기 先端位置의 變化範圍, 즉 移動距離  $l$ 은 空間間隔  $\Delta x=2$  cm, 時間間隔  $\Delta t=5$  sec로 한 경우가 實驗結果와 가장 잘 一致하였다.

##### 4.2.3. 鹽水쇄기 形狀의 變化

鹽水쇄기 形狀의 變化에 對한 計算結果를 Fig. 7에 나타낸다. 여기에  $h$ ,  $L$ 은 水深 및 河口로부터의 水 平距離이며,  $\eta_0$ ,  $t$  및  $T$ 는 Fig. 6의 경우와 同一하다. 本 計算에 사용하고 있는 界面抵抗係數  $f_i$ 에는 定常時와 마찬가지로 金(1966)의 經驗值를 適用함과 同時에 壁面摩擦의 影響을 考慮하고 있으나, 連行은 無視하였다. 同 그림에 依하면, 鹽水쇄기의 形狀은 定常時的 形狀과 거의 相似形을 가지면서 時間과 함께 變化하며, 대체로  $t/T=0.4\sim 0.6$ 에서 그 길이는 最大에

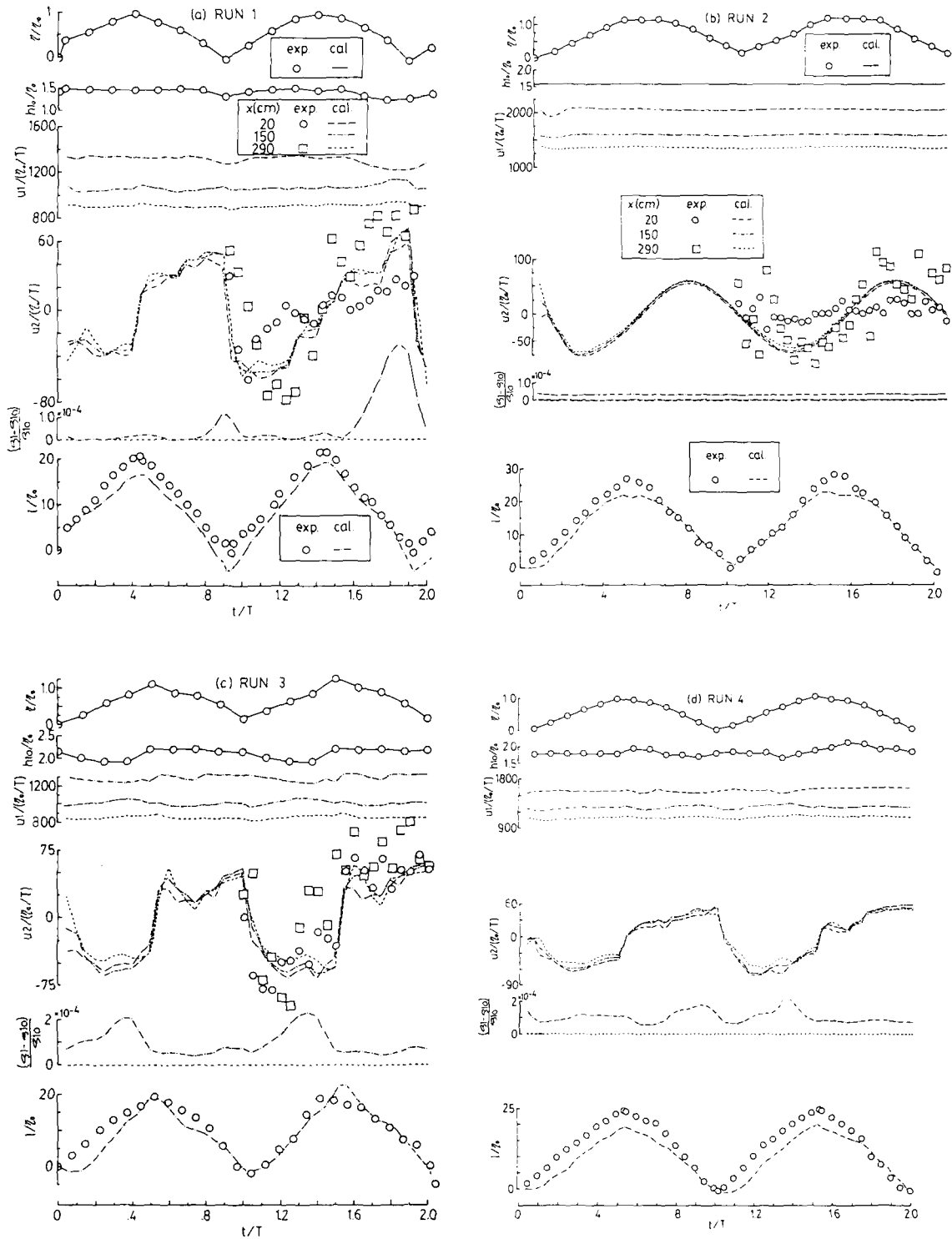


Fig. 6. Computational results of flow field in connection with unsteady saline wedge.

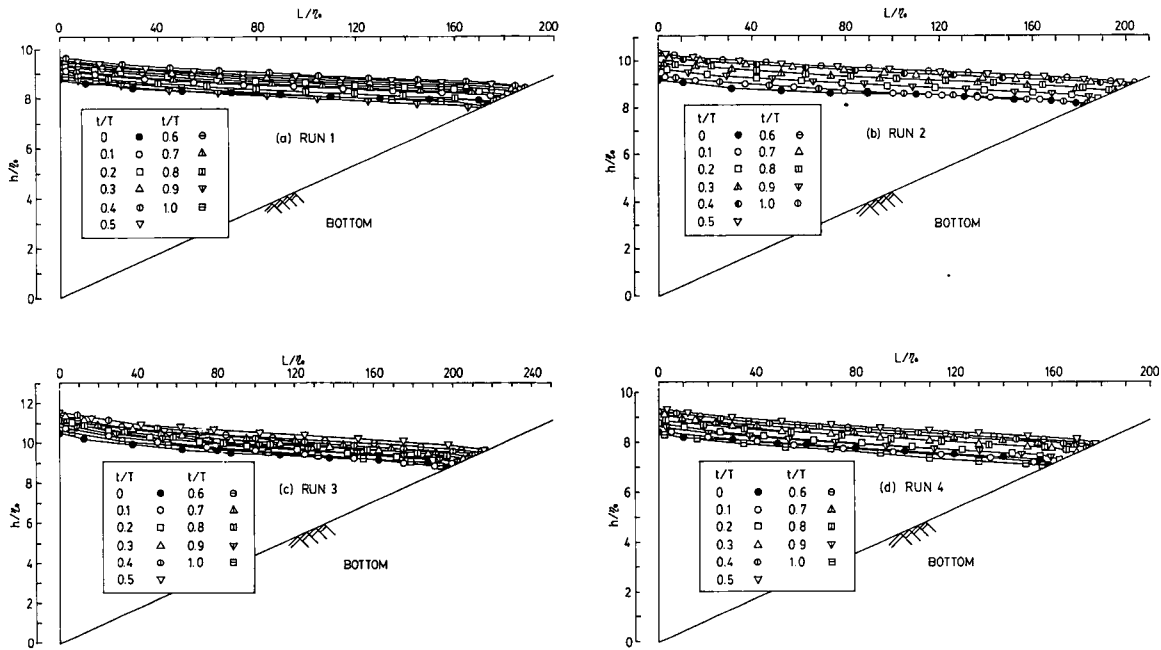


Fig. 7. Time variations of saline wedge shape.

達한다. 그 後 鹽水楔기는 伸張할 경우와 거의 同一한 形狀과 速度를 가지고 時間과 함께 그 長이가 減少하게 되지만, 先端의 形狀은 兩者間에 근소한 差異를 보였는데 이것은 前述한 可視化의 實驗結果와 定性的으로 一致한다. 또한 河口에서 주어지는 潮差에 相應하여 變化하는 鹽水楔기 先端의 移動距離도 實驗結果와 一致하고 있는 것을 同 그림에서 알 수 있다.

### 5. 結 論

潮汐作用을 받는 흐름장에 있어서의 鹽水楔기의 舉動特性을 把握하여 實際의 河口에서 생기는 非定常鹽水楔기의 形狀과 그 長이를 精度높게 豫測할 수 있는 數值모델의 構築을 目的으로, 水理實驗 및 數值計算을 行하였다. 實驗에서는 特히 潮時에 따른 鹽水楔기의 下層에서의 流速分布의 變化의 先層部의 舉動의 差異에 注目하였다. 또한 計算에 있어서는 漸變一次元二層不定流로서의 鹽水楔기의 數值計算을 行하고, 實驗結果와 比較하였다. 그 結果는 다음과 같다.

1) 鹽水楔기의 先端은 潮時에 따라 그 形狀이 變

化한다. 즉 漲潮流時에는 先端의 두께가 增加하고, 遡上에 따른 soaring 現象이 보여진다. 이것에 對하여, 落潮流時에는 先端의 두께가 얇아지고, 界面도 比較的 安定되었다.

2) 潮汐作用下의 鹽水楔기의 流速分布는 定常時와는 顯著히 다르다. 또한 흐름장의 潮汐에의 應答은 潮汐週기가 同一할 경우 成層度가 弱할수록 良好하였다.

3) 上·下層에서의 平均流速은 潮位變化보다 다소 늦게 潮時에 따른 變化를 나타내며, 下流端의 境界條件인 淡水深에 強하게 影響을 받는다. 또한 下層에서의 平均流速에 對한 計算結果는 實驗結果와 대체로 良好한 一致를 보였으며, 潮位變化에 따른 上層密度의 變化는 거의 나타나지 않았으나 流速의 경우와 마찬가지로 下流端條件의 影響을 強하게 받았다.

4) 鹽水楔기形狀의 計算에 있어서는 漸變一次元二層不定流모델에 定常時와 同一한 界面抵抗係數, 즉 金(1966)의 經驗值를 써서 行하고, 그 先端位置의 變化 및 潮時에 따른 先端形狀의 變化 等의 實驗結果와의 對比에 依해, 良好한 再現性이 認定되었다.



## 參考文獻

- 李文沃, 室田 明, 1989. 定常鹽水漕기에 있어서의 界面抵抗係數의 評價, 大韓土木學會誌, **9**(1): 53-62.
- 有田正光, 眞崎哲二, 1990. 非定常鹽水くさびの舉動 關する研究, 日本水理學 講演會 論文集, **34**: 139-144
- 金子安雄, 1966. 二成層界面抵抗係數の一列, 日本 海岸工學 講演會 講演集, **13**: 263-267.
- 柏村正和, 吉田靜男 1972. 潮汐による河口 flow patternの變化, 日本 海岸工學 講演會 論文集, **19**: 103-106.
- Simpson, J.E., 1972. Effects of the lower boundary on the head of a gravity current, *Jour. Fluid Mech.*, **53**: 759-768.
- 須賀堯三, 1979. 感潮河川における鹽水くさびの水理に關する基礎的研究, 日本 建設省土木研究所資料, **1537**: 1-225.
- 吉田靜男, 柏村正和, 1975. 潮汐による鹽水くさびの應答(2), 日本 海岸工學 講演會 論文集, **22**: 167-171.
- 吉田靜男, 谷藤康造, 1984. 天鹽川河口二層流と潮汐, 日本水理學 講演會 論文集, **28**: 51-57.