

定常塩水楔기에 있어서의 界面抵抗係數의 評價

Interfacial Friction Factor in Arrested Saline Wedge

李 文 沃*
 Lee, Moon Ock
 室 田 明**
 Akira Murota

Abstract

In order to determine the form and the length of saline wedge, it is necessary to evaluate interfacial friction factor. Hetherto one dimensional two-layer flow model which assumed pressure as the hydrostatic pressure distribution has been well used to the calculation of saline wedge form, it just then stands in need of relevant interfacial friction factor. For example, in the case where we calculate back to interfacial friction factor out of saline wedge form obtained at a laboratory open channel with comparatively narrow width, it is needed to correct the side-wall effect of a channel, if generally negligible in the river.

In this study, we confirmed the influence of a side-wall upon the lateral velocity distributions at laboratory channel and then examined in detail the value of interfacial friction factor in the case where it was corrected by the side-wall effect and not corrected. And then we make clear the influence of a side-wall upon the arrested saline wedge and interfacial friction factor from these results.

要 旨

漸變一次元二層流모델로서의 塩水楔기形狀의 計算을 행함에 있어서 必要한 界面抵抗係數의 評價手段에 對하여 論한다. 例를 들면, 幅이 좁은 實驗水路에서 얻어진 塩水楔기의 形狀에 의해 界面抵抗係數를 逆算하는 경우는 實際의 河川에서는 無視할 수 있는 水路의 側壁의 影響을 補正하지 않으면 안된다.

本研究에서는 이러한 點을 考慮, 定常 塩水楔기의 形狀 및 界面抵抗係數에 미치는 水路의 側壁의 影響을 밝힌다.

1. 序 論

實際의 河口에 있어서 塩水楔기의 形狀 및 그 길이를 良好하게 豫測하는 것은 環境水理學上 매우 重要하다. 塩水楔기의 形成機構나 그 性質에 對하여는 水門開放時의 交換流(exchange flow)나 泥

水密度流 等の 소위 gravity current의 流動形態와 類似한 點에서 1950年代의 初期부터 理論的인 研究가 시작된 以來, 수많은 實驗과 實測에 基礎한 研究가 行하여지고 있다. 그 중에서도 塩水楔기의 形狀을, 二層流의 基礎方程式에 있어서의 流速分布形· 密度分布形을 假定하여 各 層을 積分하는 것에 의

*正會員·麗水水產大學 海洋土木工學科

**正會員·日本國 大阪大學工學部 土木工學科

하여 얻어지는 代表長scale을 利用해서 無次元化한 形으로 表現하는 解析이 많이 보여진다. 그러나 이러한 研究의 大部分은 定常狀態이며 게다가 水平床에서의 底面摩擦, 連行을 無視하는 등 매우 單純化된 形으로 行하여져 있기 때문에 非定常運動을 일으키는 實際의 河口에의 援用에는 未解決點을 남기고 있다고 생각된다. 特히 潮汐作用에 의한 塩水쇄기의 非定常運動에 있어서는 그 先端部の 拳動이 定常時에 比하여 顯著히 다르게 되며 形狀도 潮時에 따라 變化할 것이 豫想된다⁽¹⁾.

本 研究에서는 非定常塩水쇄기의 拳動과 比較하기 위하여 行한 定常塩水쇄기의 形狀에 관한 實驗結果를 以下에 記述한다. 또한 一次元二層流모델에 의한 定常塩水쇄기의 計算에 있어서 미치는 水路側壁의 摩擦 및 連行의 影響을 檢討하고⁽²⁾, 實驗結果와 比較하여 界面抵抗係數의 評價手段을 論한다.

2. 本 論

2.1 塩水쇄기形狀의 計算을 위한 基礎式

幅이 一定한 長方形斷面開水路에 있어서 下層에서 上層으로의 連行을 考慮한 경우의 漸變一次元二層流의 흐름장에 對한 體積保存則, 質量保存則, 運動量保存則에 의해 塩水쇄기의 形狀을 求하는 式은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial h_1}{\partial x} = \frac{1}{\Phi} \left[- (1 - \epsilon F_{d2}^2) i_{n1} + i_{r2} - \epsilon F_{d2}^2 i_{01} - \left\{ (1 - \epsilon F_{d2}^2) \frac{h_1}{2\rho_1} - \frac{h_1}{\rho_2} \right\} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} - \left\{ (1 - \epsilon F_{d2}^2) \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) F_{d1}^2 + (1 - \epsilon F_{d2}^2) \frac{2u_1}{u_2} F_{d2}^2 \right\} \epsilon \frac{w_2}{u_1} + (1 - \epsilon F_{d2}^2) \frac{2u_1}{gh_1} \frac{\partial h_1}{\partial t} - \frac{2u_2}{gh_2} \frac{\partial h_2}{\partial t} - \frac{(1 - \epsilon F_{d2}^2)}{Bg h_1} \frac{\partial Q_1}{\partial t} + \frac{1}{Bg h_2} \frac{\partial Q_2}{\partial t} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial h_2}{\partial x} = \frac{1}{\Phi} \left[(1 - \epsilon) i_{n1} - (1 - \epsilon F_{d1}^2) i_{r2} + \epsilon (1 - F_{d1}^2) i_{01} + \left\{ (1 - \epsilon) \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) F_{d1}^2 + (1 - \epsilon F_{d1}^2) \frac{2u_1}{u_2} F_{d2}^2 \right\} \epsilon \frac{w_2}{u_1} - (1 - \epsilon) \frac{2u_1}{gh_1} \frac{\partial h_1}{\partial t} + (1 - \epsilon F_{d1}^2) \frac{2u_2}{gh_2} \frac{\partial h_2}{\partial t} + \frac{1 - \epsilon}{Bg h_1} \frac{\partial Q_1}{\partial t} - (1 - \epsilon F_{d1}^2) \frac{1}{Bg h_2} \frac{\partial Q_2}{\partial t} \right] \quad (2)$$

$$\Phi = \epsilon (1 - F_{d1}^2 - F_{d2}^2 + \epsilon F_{d1}^2 F_{d2}^2) \quad (3)$$

여기서, Q, u, h, s 는 各各 流量, 流速, 水深, 密度를 나타내고, 添字 1, 2는 上層, 下層의 水理量인 것을 意味한다. W_0 는 連行速度, ϵ 는 相對密度差, B 는 水路幅, i_0 는 水路床기울기, F_r 는 密度 Froude數이다. x 는 흐름방향의 水平距離, t 는 時間이다. 또한 i_{n1}, i_{r2} 는 各各 上層, 下層에 있어서의 摩擦기울기이며 側壁의 影響은 考慮한 경우 다음과 같이 表現된다.

$$i_{n1} = \frac{\tau_i B + 2\tau_w h_1}{\rho_1 g A_1} = \frac{f_i}{2gh_1} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| + \frac{f_w}{4gB} u_1 |u_1| \quad (4)$$

$$i_{r2} = \frac{\tau_b B - \tau_i B + 2\tau_w h_2}{\rho_2 g A} = \frac{f_b}{2gh_2} u_2 |u_2| - \frac{f_i}{2gh_2} (1 - \epsilon) (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| + \frac{f_w}{4gB} u_2 |u_2| \quad (5)$$

여기서 τ, f 는 剪斷應力, 抵抗係數를 나타내고, 添字 i, w, b 는 各各 界面, 壁面, 底面に 대한 것이다. 또한 g 는 重力加速度, A 는 斷面積을 나타낸다.

以上の 式(1), (2)에 있어서 實驗値로부터 $\partial h_1 / \partial x, \partial h_2 / \partial x$ 가 주어지고 連行係數 $E (= 2 \times 10^3 F_{d1}^3)$, 底面抵抗係數 $f_b (= 0.01)$ 및 壁面抵抗係數 $f_w (= 0.224 R_e^{-0.25}, f_b (= 0.01) R_e = u_1 h_1 / \nu \cdot B / (B + 2h_1))$ 을 利用하면 式(1) ~ (5)에 의해 界面抵抗係數 f_i 가 逆算되어진다.

2.2 實驗裝置와 實驗方法

實驗裝置의 概要를 그림 1에 나타낸다. 水路床기울기가 1/225이고 길이 800cm, 幅 10cm, 높이 25cm의 acryl 製의 長方形斷面開水路를, 바다에 相當하는 길이 274cm, 幅 183cm, 높이 91cm의 鋼製의 水槽의 中央에 連結한 것을 使用하고 있다. 塩水쇄기는 水槽에 一定濃度의 塩水를 채운 뒤에 淡水를 水路의 上流端에서 흘러 보내어 生起시켰으며 이 때 塩水쇄기의 先端 및 界面位置를 一定하게 維持시키기 위하여 水槽의 下流端의 底部로부터 塩水補給을 行하여 定常에 達한 것을 確認 후 測定을 開始하였다. 塩分濃度는 導電率計로 測定하고 pen recorder에 의해 記錄하였다. 流速測定은 水素氣泡法을 利用하여 video 畫像解析을 하였다. 또한 成層構造는 methylene blue 溶液 또는 uranine 溶液에 의해 可視化하였다. 本實驗의 範圍는 $Q_1 = 208 \sim 432 \text{ cm}^3/\text{sec}$, $E = 0.0031 \sim 0.0266$, $R_{e1} = 1668 \sim 3984$, $F_{d0} = 0.379 \sim 1.724$, $F_{d0}' = 0.252 \sim 0.567$ 로서 22case에 걸쳐서 行하였다(단, F_{d0} 및 F_{d0}' 는 密度 Froude數로서 河口

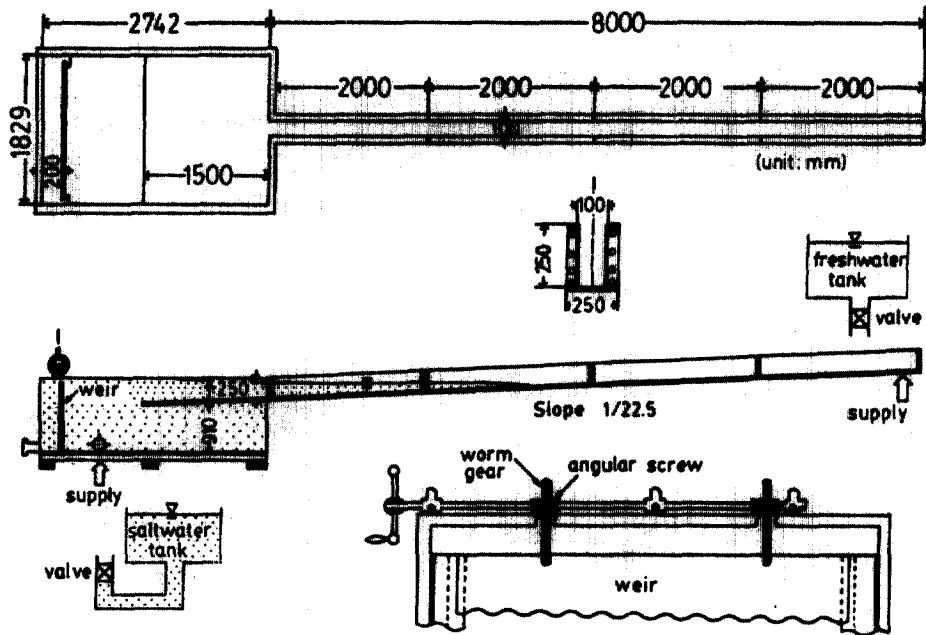


그림 1. 實驗裝置의 概要

및 썰기先端에서의 값을 나타낸다).

2.3 内部界面位置의 定義

二層密度流에 있어서의 内部界面의 付近에서는 内部波의 發生, 또는 어느 程度 두께를 가진 界面層의 存在때문에 界面位置를 正確히 그리고 客觀的으로 定義하는 것은 容易하지 않으나 着色에 의한 目視界面 또는 二層間의 中間密度로 되는 곳이 内部界面(密度界面)으로서 가장 많이 쓰여지고 있다.^(3,4,5,6,7)

本實驗에 있어서 兩方法에 의한 界面位置의 關係를 그림 2에 나타낸다. 이 結果에 의하면 目視界面은 대략 上層의 密度가 變化하기 시작하는 位置에 相當하고 中間密度로 定義되는 界面位置와의 差는 1.0cm 程度로 塩水썰기의 全域에 걸쳐서 거의 一定하므로 여기서는 測定이 容易한 目視界面을 密度界面으로 定義하여 界面抵抗係數를 評價하였다.

3. 比較 · 考察

3.1 界面抵抗에 미치는 各成分의 影響

二層流에 있어서의 界面抵抗의 發生因은 一般的으로 層流的인 粘性摩擦에 의한 抵抗, 波長이 짧은

界面波의 遣波에 의한 抵抗 및 連行現象 等の 附加摩擦力에 의한 抵抗의 세가지로 생각할 수 있으며 이러한 各各의 要因에 의한 界面抵抗係數는 다음과 같이 表現된다^(1,2).

a) 上層流에 있어서의 層流型的 抵抗係數

$$f_{iv} = \frac{6}{R_{e1}} \frac{1}{\{1 + (3/4)K\}}$$

b) 界面波에 基礎한 抵抗係數: $f_{iw} = 0.090(R_{e1} \cdot F_{e1}^5)^{-0.5}$

c) 混合에 基礎한 抵抗係數: $f_{im} = 2E$

단, R_{e1} : 上層 Reynolds數, $k = h_2/h_1$, F_{e1} : 上層密度 Froude數, E : 連行係數

界面抵抗係數 f_i 는 이러한 세가지 抵抗을 相加한 것으로 次式과 같이 表現된다.

$$f_i = f_{iv} + f_{iw} + f_{im} \quad (6)$$

우선 여기서는 二次元的인 側壁效果를 無視하고 界面抵抗係數를 評價한다. 前述한 式(1)~(5)를 써서 實驗值의 界面기울기에 의하여 逆算한 界面抵抗係數 $f(\text{exp})$ 와 層流的粘性抵抗과의 關係를 살펴본 것이 그림 3이며, 界面波의 遣波에 의한 界面抵抗 및 連行 等の 附加摩擦力에 의한 界面抵抗과의 關係를 調査한 것이 그림 4 및 그림 5이다. 이 경

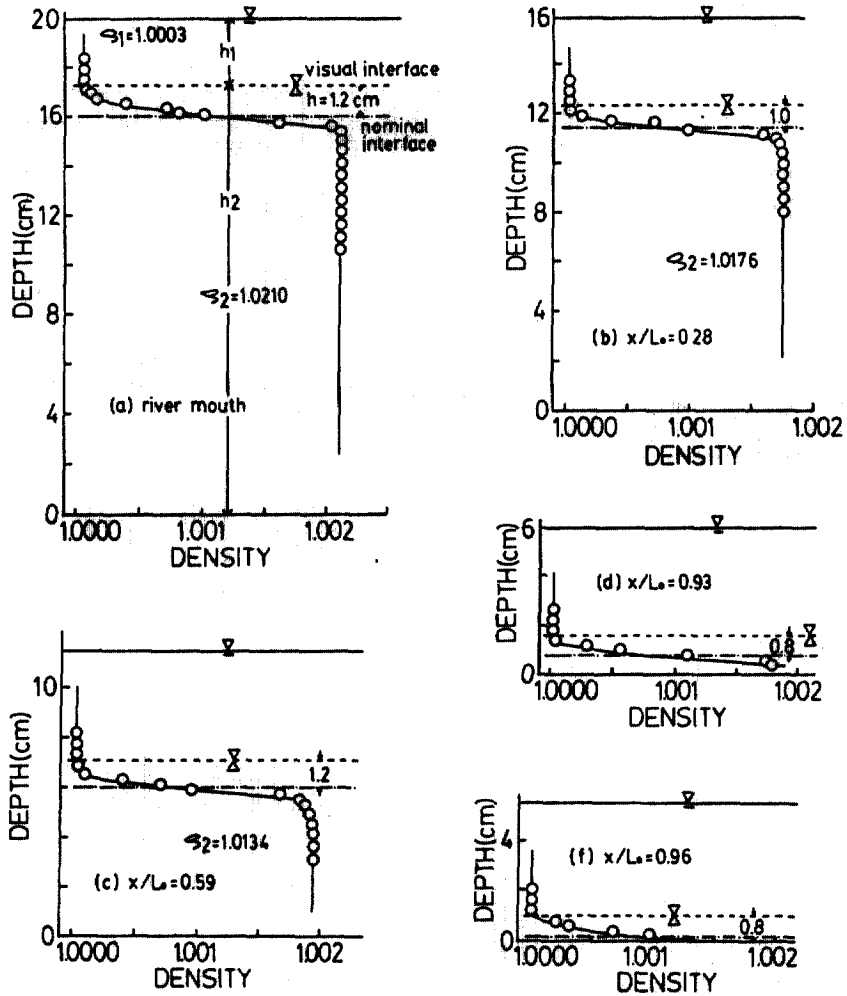


그림 2. 目視界面과 中間密度界面과의 關係(Run 1)

우의 $f(\text{exp})$ 는 時間項을 省略하고 또한 連行에 의한 體積·質量의 變化를 無視, $u_2=0$ 로 假定한 것이다. 또한 여기서는 河口部나 先端部의 局地流의 特徵을 抵抗係數의 評價에 反映하기 위하여 塩水 쇄기를 $x/L_0 < 0.3$, $0.3 \leq x/L_0 < 0.7$ 및 $x/L_0 \geq 0.7$ 의 세 區間으로 分割하였다(단, L_0 는 塩水 쇄기의 길이).

이들의 그림으로부터 界面抵抗係數는 $R_{ci} \cdot F_{ci}^5$ 와 의 相關이 가장 높고, 界面에 作用하는 抵抗중 界面波에 의한 抵抗이 强하게 影響하고 있는 것을 알 수 있다. 한편, 表 1은 上記한 界面抵抗의 各 發生因에 대한 f_{wi} , f_{wi} , f_{wi} 를 計算하여 21 case의 全 實驗에 걸쳐서 平均한 것을 나타낸다. 이 表에서도 界面波에 의한 抵抗은 다른 두 抵抗보다 卓越한

것을 알 수 있다. 또 粘性에 의한 抵抗은 區間에 關係없이 同程度의 比率를 나타내는 데 對하여 連行에 의한 抵抗은 河口部(즉, $x/L_0 < 0.3$)에 있어서 中央部나 先端部보다 큰 役割을 하고 있다. 이것은 河口部에 가까워지면 淡水深이 작아져 密度 Froude 數가 크므로 河口附近에서의 連行에 의한 影響이 크게 나타난 것으로서, 下層에서의 塩水密度의 縱斷變化를 考慮하면 實質적으로는 先端部에 있어서의 連行의 影響이 커질 것으로 생각된다.

實驗値로부터 逆算한 界面抵抗係數와 上記한 式(6)에 의해 定義되는 界面抵抗係數 f_{ical} 와의 比, 즉 f_{ical}/f_{iexp} 는 河口部에서 43.8%로 작고 先端部(즉, $x/L_0 > 0.7$)에서 179.8%로 極端적으로 크다. 그러

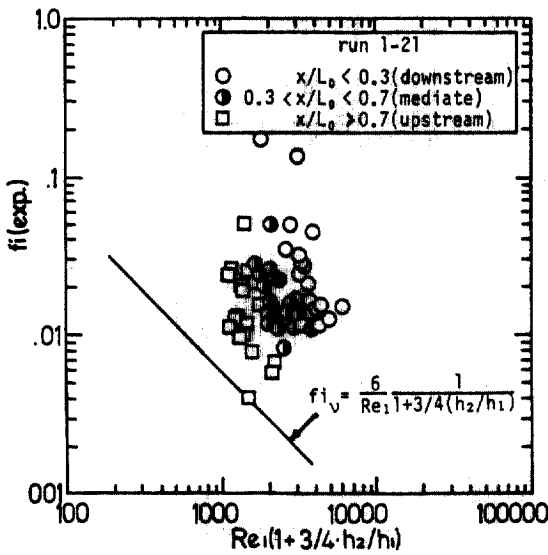


그림 3. 층류粘性의인 抵抗과 界面抵抗係數와의 關係

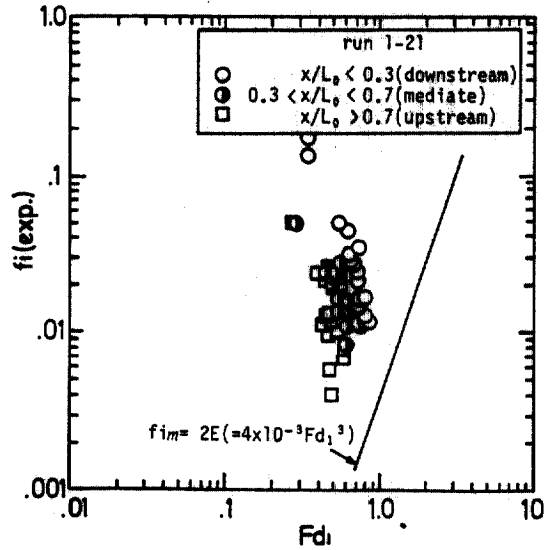


그림 5. 連行에 의한 抵抗과 界面抵抗係數와의 關係

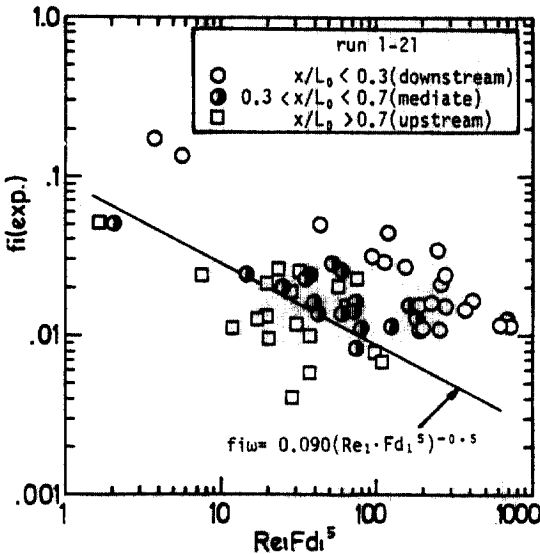


그림 4. 界面波에 의한 抵抗과 界面抵抗係數와의 關係

表 1. 界面抵抗에서 차지하는 各 發生要因의 比率

(單位: %)

region	ratio	f _{iV} /f _{ical}	f _{iW} /f _{ical}	f _{iM} /f _{ical}	f _{ical} /f _{iexp}
$x/L_0 < 0.3$		16.3	67.5	16.2	43.8
$0.3 \leq x/L_0 < 0.7$		16.9	77.7	5.4	92.5
$0.7 \leq x/L_0$		19.1	78.3	2.6	179.8

f_{ical} = f_{iV} + f_{iW} + f_{iM}
f_{iexp}; 實驗值로부터의 逆算值

나 實驗 case別로 調査해 보면 이 값은 80~500% 程度의 範圍로 scattering이 顯著하므로 單純히 平均한 結果만으로 이들의 關係를 判斷키는 어렵다.

3.2 界面抵抗에 미치는 壁面의 摩擦效果

漸變流의 基礎式中에 壁面摩擦效果를 考慮한 摩擦기울기인 式(4) 및 式(5)를 써서 界面抵抗係數의 逆算을 行하고 壁面摩擦을 考慮하지 않은 경우의 結果와 比較한 것이 그림 6 및 그림 7이다. 摩擦기울기의 크기는 界面기울기에 의해 정하여지므로 壁面摩擦을 考慮한 경우의 界面抵抗係數는 작아진다. 이때 壁面摩擦抵抗係數는 Reynolds數의 關數이기 때문에 密度Froude數에 關係없이 order的으로 一定하다. 따라서 同 그림에서 보는 바와 같이 界面抵抗係數가 작을수록, 側壁의 影響을 考慮하는 것에 의한 效果가 크게 되어 側壁의 摩擦效果의 考慮有無에 따른 差가 커진다. 또 連行을 考慮한 경우는 無視한 경우에 比하여 特히 河口部($x/L_0 < 0.3$)에 있어서 다른 區間에서의 값과의 어긋남이 보여진다. 이것은 河口部에서는 淡水深이 작아 密度Froude數가 커지고 이로 인한 連行係數가 크게 算出 되기 때문에 생각된다. 이것은 前述했듯이 河口部에 있어서 全界面抵抗에서 차지하는 連行에 의한 界面抵抗의 比率이 큰 것과 對應하는 것으로 생각된다. 그러나 同 그림에서도 알 수 있듯이 界面抵抗係數 f_i 에 대한 連行에 의한 影響은 側壁의 影響에 比하면 無視할 程度로 작음이 認定된다.

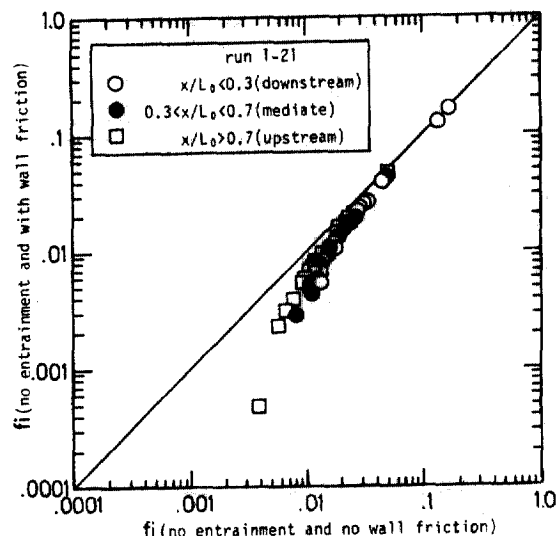


그림 6. 壁面摩擦의 考慮有無에 의한 界面抵抗係數의 比較(連行無視)

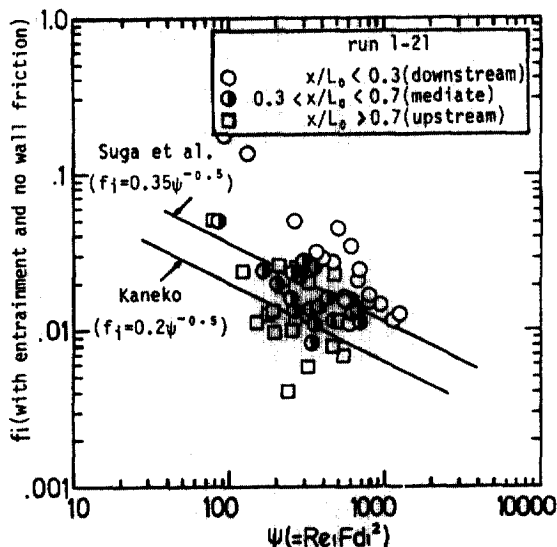


그림 7. 壁面摩擦의 考慮有無에 의한 界面抵抗係數의 比較(連行考慮)

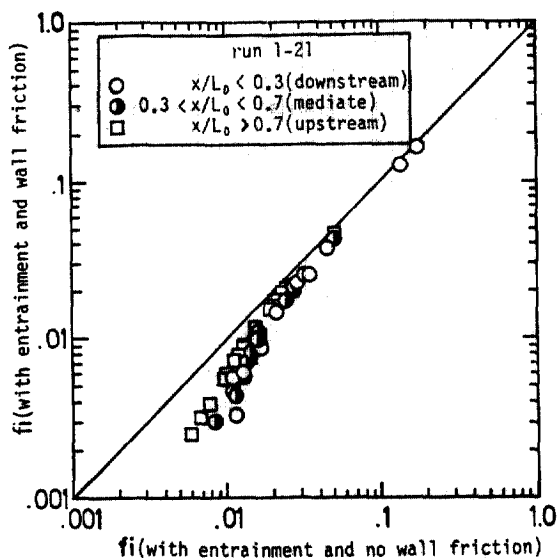


그림 8. 壁面摩擦을 考慮하지 않은 경우의 Iwasaki數와 界面抵抗係數 f_i 와의 關係

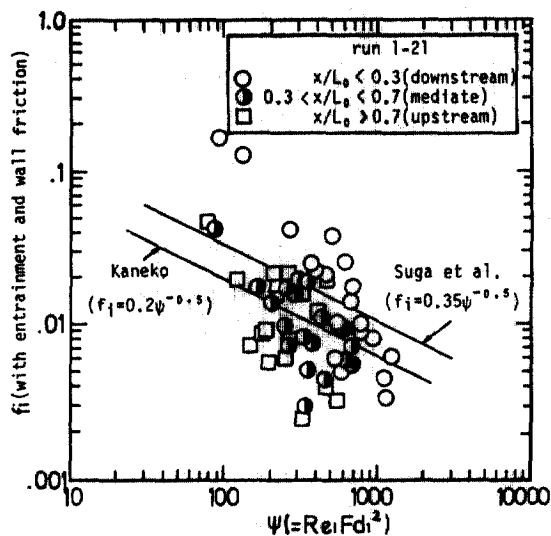


그림 9. 壁面摩擦을 考慮한 경우의 Iwasaki數와 界面抵抗係數 f_i 와의 關係

3.3 Iwasaki數와 界面抵抗係數와의 關係

上記에서와 같이 얻어진 界面抵抗係數 f_i 와 從來의 研究成果와의 比較를 行하기 위한 Iwasaki 數 (또는 Keulegan數)와의 關係에 對하여 檢討한다.

그림 8에 Iwasaki數와 壁面摩擦의 影響을 考慮하지 않은 경우의 界面抵抗係數와의 關係를 나타낸다. 同 그림에서 界面抵抗係數는 實驗 case에 따

라 꽤 흐트러짐은 있으나 經驗則으로 널리 쓰여지고 있는 金子의 式⁽⁹⁾ 또는 須賀堯三·高橋 晃의 式⁽¹⁰⁾에 가까운 傾向을 보인다. 또 區間別로 보면 塩水 쉼기의 中央部나 先端部에서는 大개 須賀·高橋의 式에 가까운 값을 나타내지만 흐트러짐은 先端部の 쪽이 약간 크다. 이것은 塩水 쉼기의 先端部에서의 界面이 中央部보다 不安定하다고 하는 界面波

의 觀察結果를 反映하고 있다. 河口部에서는 中央部나 先端部보다 약간 크고 金子의 式 等에 比해 기울기가 큰 函數關係를 나타내고 있다. 이것은 前述한 界面抵抗의 發生因別의 抵抗係數를 計算한 結果에 있어서도 河口部에 있어서의 計算值(f_{iw})의 總和는 實驗值로부터 逆算한 界面抵抗係數의 44% 程度에 지나지 않는 것과 같은 結果를 나타낸다.

그림 9는 壁面摩擦을 考慮한 경우의 界面抵抗係數의 逆算值과 Iwasaki數와의 關係를 나타낸다. 壁面摩擦의 影響을 考慮하지 않은 경우의 그림 8과 比較하면 全體의으로 界面抵抗係數가 작아지고, 塩水楔기의 先端部 및 中央部에서의 값은 須賀·高橋의 式보다 金子의 式과 잘 맞고 있는 것을 알 수 있다. 또 河口部에서는 界面抵抗係數가 작을수록 즉 Iwasaki數가 클수록 壁面의 影響을 考慮하지 않은 경우에 比하여 抵抗係數는 작아진다. 따라서 壁面摩擦을 考慮하지 않은 경우의 結果보다 한층 기울기가 큰 線을 타게 된다.

3.4 塩水楔기形狀의 計算

漸變流解析에 基礎한 基本式(1)~(3)을 써서 境界條件으로서 河口에서의 全水深 및 塩水深을 주고 塩水楔기의 形狀을 計算한 一例를 그림 10에 나타낸다. 須賀·高橋의 式^(7,10)을 利用한 경우는 金子의 式⁽⁹⁾에 의한 結果와 거의 變化없기 때문에 圖中에는 나타내지 않았다. 同 그림에 의해, 壁面摩擦을 考慮하면 塩水楔기의 길이 가 보다 實驗值에 가까워지며 連行이 界面形狀에 주는 影響은 작은 것을 알 수 있다. 또 岩崎의 式⁽¹¹⁾을 利用한 경우는 界面抵抗係數가 金子의 式(또는 須賀·高橋의 式)에

比해서 크게 評價되어, 河口部에서는 實驗值와 잘 맞지만 全體의으로는 크게 어긋나 있는 것을 알 수 있다. 이것은 前述한 바와 같이 區間마다 界面의 狀態가 다르고 따라서 抵抗特性이 다른 것에 起因하기 때문일 것이다.

따라서, 各區間別로 岩崎數 ψ 와 界面抵抗係數 f_i 의 關係를 나타낸 것을 그림 10에 나타낸다. 同 그림 11에 의해 塩水楔기의 中央部나 先端部에서는 金子의 經驗則⁽⁹⁾과 本實驗結果와의 차이는 거의 없지만 河口部에서는 金子의 式에 의해서는 表現할 수 없는 것이 分明하다. 그래서 實驗結果 얻어진 塩水楔기의 中央部에서의 連行係數(=0.00123)가 須賀堯三⁽¹¹⁾이 定義한 連行係數 $E(=2 \times 10^{-3} F_{a1}^3)$ 에 相當하는 것으로 생각, 그가 連行을 考慮한 경우와 같은 形으로 表現하면 各區間에 있어서의 界面抵抗係數 f_i 는 다음과 같이 表示된다.

區 間	界面抵抗係數
河口部($x/L_0 < 0.3$)	$f_i = 115.136\psi^{-1.294} + 1.525 \times 2E$
中央部($0.3 \leq x/L_0 < 0.7$)	$f_i = 0.680\psi^{-0.644} + 2E$
先端部($x/L_0 \geq 0.7$)	$f_i = 0.142\psi^{-0.432} + 3.633 \times 2E$

以上과 같이 區間別로 考慮된 界面抵抗係數를 써서 塩水楔기의 形狀을 計算한 結果를 그림 12에 나타낸다. 同 그림에 의해, 界面抵抗係數로서 金子의 經驗則을 使用한 경우는 表現할 수 없었던 河口部에서의 急한 界面傾斜를 良好히 再現할 수 있는 것을 알 수 있다. 그러나 連行係數가 多少 크게 評價되기 때문에 塩水楔기의 全長은 若干 짧아진다. 이것으로부터 區間的의으로 다른 界面抵抗係數를

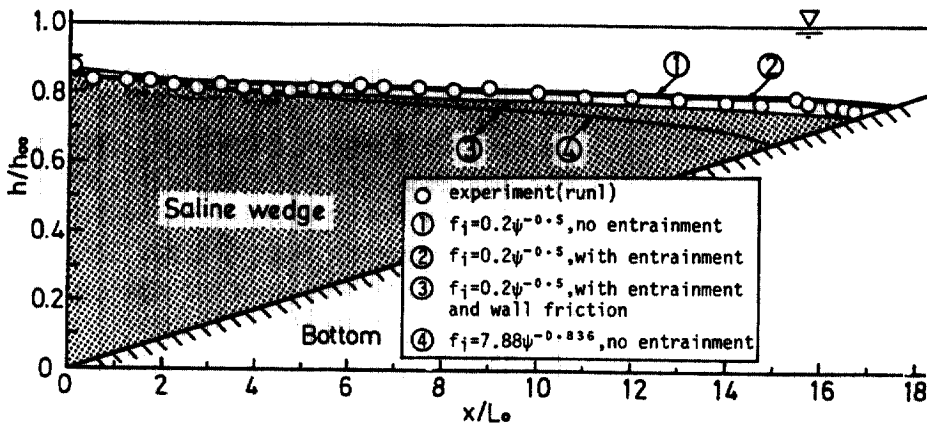


그림 10. 塩水楔기形狀의 計算結果

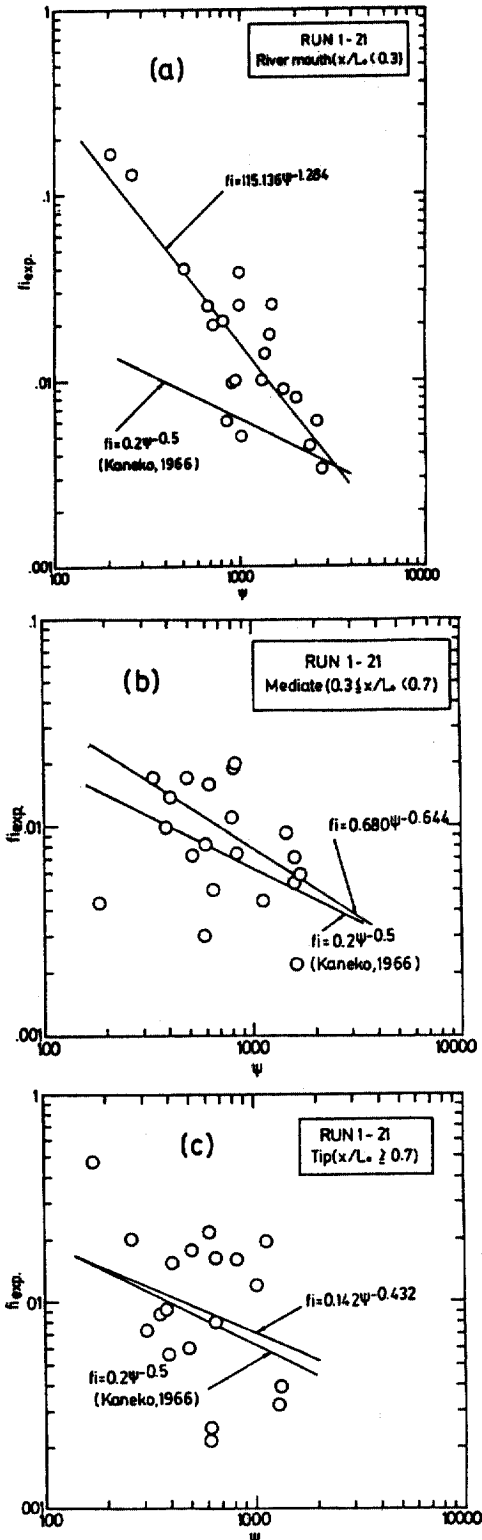


그림 11. 岩崎數 ψ 와 各區間別 界面抵抗係數 f_{exp} 와의 關係

사용하는 것에 의하여 塩水쇄기의 形狀을 再現할 수 있으며, 또한 이러한 試圖는 非定常塩水쇄기形狀의 計算에 있어서 意味있는 것으로 생각된다. 塩水쇄기形狀의 計算結果의 無次元表示를 그림 13에 나타낸다. 橫軸은 河口로부터의 距離 x 를 쇄기의 길이 L_0 에 의해, 縱軸은 各 測定點에 있어서의 塩水深 h_2 를 河口에서의 塩水深 h_{20} 에 의해 各各 無次元化하고 있다. 同 그림의 結果는 塩水쇄기의 形狀이 거의 直線에 가깝고 界面抵抗係數의 評價에 의한 差異 또는 實驗値와 計算値와의 差異는 明瞭하지 않다. 이것은 水平床에서 行한 Keulegan의 結果⁽¹²⁾와 뚜렷이 다르며, 急傾斜水路에서의 特徵의 하나이다. 同그림에 있어서 界面形狀의 曲線性을 誇張하여 보기 위하여 河口의 界面位置와 塩水쇄기先端部를 連結한 直線과 塩水쇄기形狀과의 偏差를 그림 14에 나타낸다. 同 그림에 의해 알수 있듯이 界面抵抗係數를 주는 式에 의한 差異 또는 連行이나 側壁의 影響을 考慮하는가 아닌가에 의한 塩水쇄기形狀의 差異는 거의 無視할 수 있을 程度라고 해도 좋다. 그러나 實驗値에 比較하여 보면 特히 河口部에서는 計算値와의 差異가 뚜렷하며, 漸變流에서는 河口部에서의 界面形狀을 再現할 수 없는 것을 알 수 있다. 이것에 대해, 쇄기의 中央部나 先端部に 있어서는 多少 흐트러짐은 있으나 漸變流解析에 의한 結果가 잘 맞고 있다고 생각된다.

二層流에 대한 漸變一次元解析에서는 側壁에 의한 影響을 考慮하고 界面抵抗係數로서 金子의 式을 쓰면, 塩水쇄기의 길이에 對해서는 實驗値와 잘 맞는다.

그러나 이러한 連行이나 壁面摩擦을 考慮한 것이 塩水쇄기의 形狀에 주는 影響은 작고, 部分的으로는 實驗에서 보는 바와 같은 쇄기兩端에서의 界面形狀을 再現할 수 없다. 本研究에서 사용하고 있는 實驗水路의 水路床기울기는 急하므로 塩水쇄기先端에서의 形狀의 變化가 작고, 漸變流一次元解析에 의한 界面形狀과의 差는 明確하지 않다. 한편, 河口에서는 水路部와 海部가 急遽하여 接續되어, 河口로부터의 淡水流出의 形態가 塩水쇄기의 形狀에도 影響하고 있다고 推察된다. 前 그림 14에서 보여지듯이 그 影響은 河口로부터 塩水쇄기길이의 約 3 割程度에까지 미치고 있는 것으로 생각된다. 特히 河口로부터 30 cm 程度의 範圍에서는 어떠한

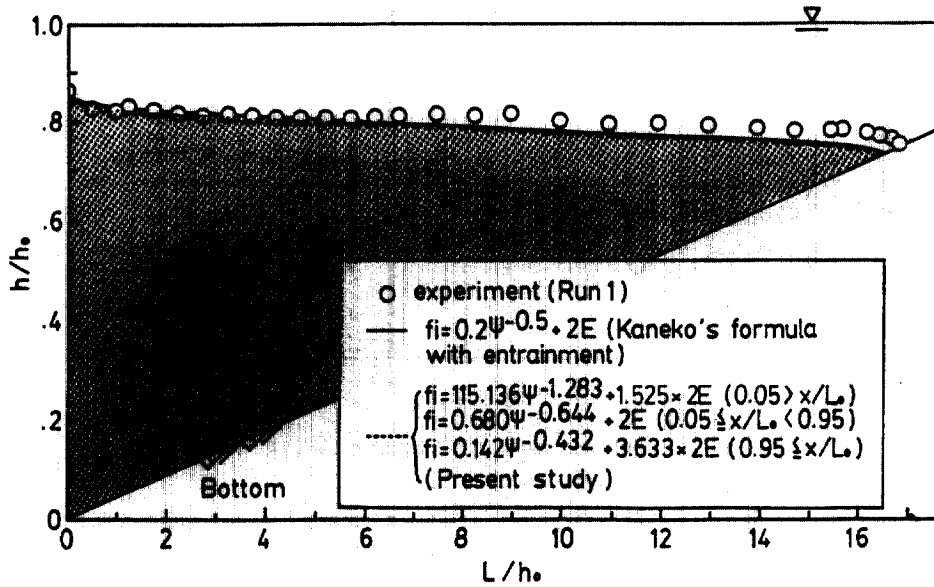


그림 12. 各領域別로 다른 界面抵抗係數 $f_{i, \psi}$ 를 사용한 경우의 塩水쇄기의 無次元形狀

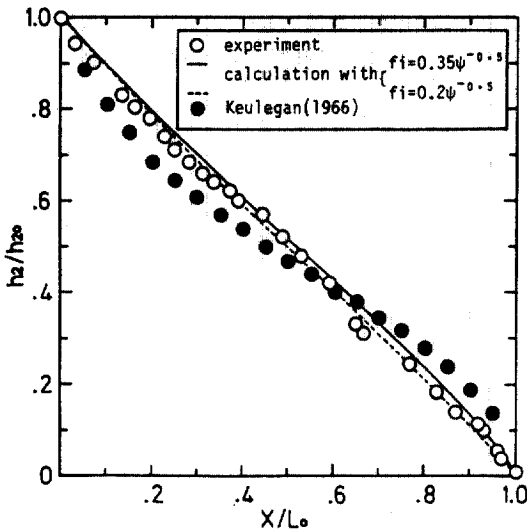


그림 13. 塩水쇄기의 無次元形狀

實驗 case 에 있어서도 漸變流一次元解析에서는 實驗値에 適合하지 않기 때문에 河口部에 있어서는 急變流로서의 解析이 必要하다고 생각된다.

4. 結 論

定常塩水쇄기의 形狀 및 그 길이를 規定하는 界面抵抗係數를 評價하기 위하여 橫方向과 鉛直方向의 流速分布 및 密度分布를 測定하고 또 可視化手

法을 利用하여 界面波를 觀測하였다. 이들에 의하여 界面抵抗의 發生要因을 明確히 한 다음, 漸變流一次元解析에 基礎하여 逆算된 界面抵抗係數로부터 連行 또는 側壁의 影響을 檢討하였다. 또 이 界面抵抗係數를 써서 行한 塩水쇄기形狀의 計算結果와 實驗結果와를 比較하고 그 妥當性을 評價하였다. 本研究에서 얻어진 主要結果는 以下와 같다.

1) 塩水쇄기의 形狀은 거의 直線的이며 密度Froude數 및 Reynolds數와는 獨立이다. 이것은 水平床에서 얻어진 Keulegan의 結果와 다르며, 急勾配水路에서의 하나의 特徵으로 보여진다. 또 塩水쇄기의 形狀은 河口로부터 쇄기길이의 約 60%로 되는 點을 起點으로 하여 위로 凹部(河口쪽)와 아래로 凹部(先端쪽)로 나누어진다.

2) 界面抵抗의 發生에는 界面波의 造波抵抗에 의한 것이 卓越하며 이것은 目視 및 可視化에 의한 觀測結果와 一致한다.

3) 摩擦기울기에 있어서 連行 및 壁面摩擦의 影響을 생각한 경우의 界面抵抗係數는 金子의 經驗則에 따르며, 이것을 사용한 塩水쇄기길이의 計算結果는 實驗値와 잘 맞는다. 그러나 이러한 連行이나 壁面摩擦이 塩水쇄기의 形狀에 주는 效果는 작고 河口部에서 보여지는 것과 같은 急한 界面形狀은 再現할 수 없다. 따라서 河口部에 있어서는 漸

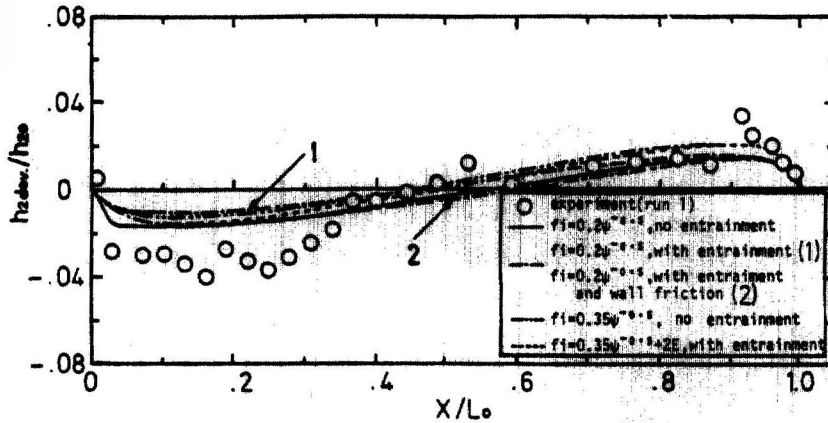


그림 14. 無次元化한 塩水楔기形狀의 直線形狀으로부터의 偏差

變流一次元解析에 의하여 正確히 再現할 수는 없으며, 急變密度流로서의 解析이 必要하다.

參 考 文 獻

1. 須賀堯三, “感潮河川における塩水楔の水理に関する基礎的研究”, 日本建設省土木研究所資料, 第1537號, 1979, pp. 1~255.
2. 江頭進治, “水路實驗データにおける側壁の影響”, 日本文部省科學研究費補助金綜合研究(A) (研究代表者: 玉井信行) 密度流現象における連行概念の統一化とその應用, 1986, pp. 30~40.
3. 栢村正和・吉田靜男, “河口の流れの構造(2)”, 第16回海岸工學講演會論文集, 1969, pp. 209~212.
4. 室田 明・平田健正, “成層密度流における内部波特性と混合機構について”, 第22回水理講演會論文集, 1978, pp. 107~112.
5. Dermisis, V. and E. Partheniades, “Interfacial resistance in stratified flows”, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 110, No. 2, ASCE, 1984, pp. 231~252.
6. 室田 明・平田健正・道與康治, “斜面上における内部重力波の碎波について”, 第23回水理講演會論文集, 1979, pp. 375~380.
7. 須賀堯三・高橋 晃, “淡・塩二層流の連行係數”, 第31回年次學術講演會講演概要集, II, 1976, pp. 383~384.
8. 江頭進治, “密度成層場の流れと混合機構に関する基礎的研究”, 京都大學大學院工學博士學位請求論文, 1980, pp. 1~87.
9. 金子安雄, “二層流界面抵抗係數の一例”, 第13回海岸工學講演會論文集, 1966, pp. 263~267.
10. 須賀堯三・高橋 晃, “塩水くをびに関する大型水路實驗による二・三の考察”, 第28回年次講演會論文集, II, 1971, pp. 137~140.
11. 岩崎敏夫・岸田州生・富岡亮一, “二成層流における密度混合について”, 第17回年次學術講演會講演概要集, II, 1962, pp. 5~6.
12. Keulegan, G. H., “*The mechanism of arrested saline water*”, *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1966, pp. 546~574.

(接收: 1988. 12. 15)