

水營灣의 淡·鹽水の 混合特性에 관한 研究

朴哲析·金鍾圭·張善德
釜山水產大學校 海洋工學科

The Characteristics on the Mixing of Freshwater in Suyoung Bay

Cheol-Suck PARK · Jong-Kyu KIM and Sun-Duck CHANG
*Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea*

Behaviors of effluent are observed and discussed with reference to the tide and freshwater discharge in the estuary of Suyoung Bay.

The estuarine front is located at 0.5~1.3km seaward from of the Suyoung Bridge at the spring tide, and 0.8~1.0km at the neap tide. After the heavy precipitations, the front moved seaward and was located at 1.3~2.5km southeast of the Suyoung Bridge.

Internal Froude numbers in the estuarine salinity front are estimated approximately to be 1 both at the spring and neap tide.

Entrainment coefficient decreases down stream to the estuarine front, and then increases seaward from the estuarine front due to the tidal mixing.

緒 論

河口域은 河川과 海洋의 接觸部로 陸地에서 流出된 淡水와 海水가 마주치는 곳이다. 이와 같은 河口部에서의 水理現象은 河川流와 潮汐의 作用에 의하여 아주 複雜하고 多様な 樣相을 띤다. 特히, 河川으로부터 流出水의 舉動은 底層과 表層의 相對鹽分濃度差 및 1周期 平均潮流와 斷面平均淡水流速과의 比에 의하여 크게 변한다.

本 研究對象海域인 水營灣은 流路延長이 28km, 流域面積이 106km²으로 水營江이 流入하는 內灣이다. 水營灣의 河川固有流量은 거의 없고 平水流量은 約 2.1m³/s에 不過한데 이들의 大部分은 都市 및 産業廢水로 이루어져 있다. 最近에는 河口의 東側에 Yacht harbor가 建設되어 汚染物의 負荷量이 심각한 問題로 대두되고 있다.

水營灣에 관한 最近까지의 調査研究은 김(1978)의 水營江 流出量 變化에 따른 流速分布豫測에 대한 研究가 있으며, 元等(1979)은 水營灣으로 流入

되는 都市下水가 廣安理 海수욕장에 미치는 影響에 대하여 調査하였다. 그리고 金(1983)의 水營灣에서의 流動과 擴散係數에 관한 研究, 金·李(1992)의 水營灣의 潮流, 鹽分 및 浮遊物質分布에 관한 研究 및 金·李(1993)의 3次元 粘性土 輸送모델의 開發과 水營灣의 浮遊物質擴散에 관한 研究 등이 있다. 또한 Abbot(1959), Hansen and Rattary(1972)과 Eric and Dungan(1978) 등 外國學者들에 의해서도 이런 類型의 研究가 實施된 바 있다.

本 論文에서는 水營灣 河口에서 淡水와 鹽水の 鉛直 및 水平混合現象에 관하여 研究하였다. 特히 淡水·鹽水の 混合에 미치는 外力의 影響을 調査하기 위하여 流量, 潮令 및 潮流變化에 따른 鹽水 췌기의 侵入과 成層特性 및 連行係數를 算定하였고, 河口前線(estuarine front)의 舉動도 調査하였다.

따라서 本 研究의 結果는 水營灣 河口附近의 水質豫測과 水質改善 等の 問題에 重要な 資料가 될 것으로 생각된다.

資料 및 方法

1. 觀測

水營灣河口的 水營橋를 中心으로 上流에 9개점, 下流에 23개점 등 총 32개 觀測點을 定하여(Fig. 1) CM-2 流速計 및 SCT-meter(鹽分計)로 流向流速, 鹽分 및 水溫을 觀測하였다. 觀測水深은 水面下 1 m까지는 20cm 간격으로 그 以下 底層까지는 1m 간격이다.

觀測은 平水時 大潮期인 1986년 9월 7일~9월 8일과 小潮期인 9월 13일~9월 14일에 實施하였으며 流出時(降雨 직후)인 1987년 5월 5일과 8월 6일 에도 각각 實施하였다.

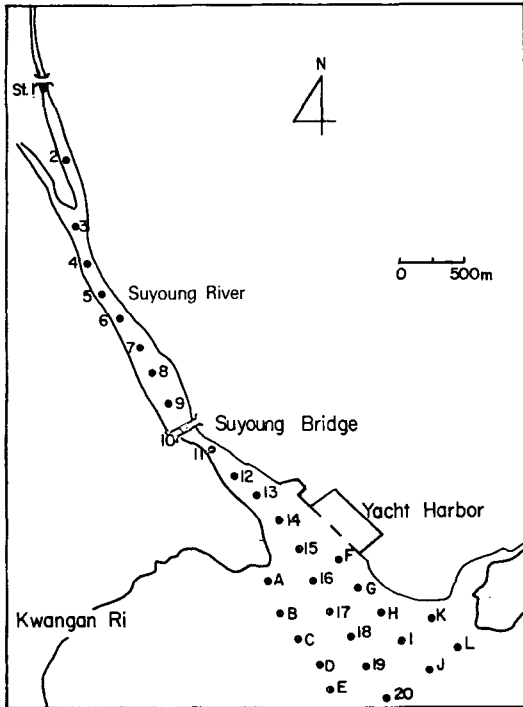


Fig. 1. Sampling station in Suyoung Bay.

2. 解析方法

河口域에서의 淡·鹽水の 密度差에 의한 密度流 問題는 염수쟁기 및 産業用 취·배수와 관련하여 研究되어지고 있다. 이러한 河口域의 密度流 現象을 支配하는 무차원량은 内部 Froude數이다. 한편, 粘性을 考慮한 二層 密度流와 安定性 問題의 安定條件에는 内部 Froude數 및 레이놀즈 수가 있으며, 이로부터 淡·鹽水の 連行係數를 計算함으로써

河口域에서의 淡·鹽水の 混合特性을 究明할 수 있다.

1) 内部 Froude數의 計算

内部 Froude數는 다음과 같이 定義된다.

$$F_1 = U\sqrt{\epsilon g h_1} = U\sqrt{g'h_1} \quad (1)$$

여기서 U는 淡水層의 流速, h_1 은 淡水層의 깊이, ϵ 은 相對密度差로서 $\epsilon = \rho_2 - \rho_1 / \rho_2$ 이며, ρ_1 은 淡水密度, ρ_2 는 海水密度, $g' = (\rho_2 - \rho_1 / \rho_2)g$, g는 重力가속도이다(Fig. 2).

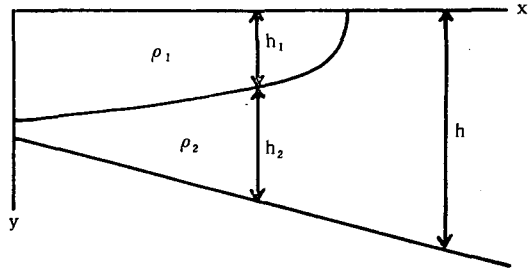


Fig. 2. Schematic representation of density structure in an estuary.

2) 連行係數(entrainment coefficient)의 計算方法

측대칭 表層密度噴流에 관한 質量·體積方程式 및 運動方程式에서 連行係數 E를 고려한 方程式은 식 (2), (3) 및 (4)와 같다.

$$\frac{d(Uh_1 l)}{dx} = EUl \quad (2)$$

$$\frac{d(\rho_2 U h_1 l)}{dx} = \rho_1 EUl \quad (3)$$

$$\frac{d(\rho_2 U^2 h_1 l)}{dx} = -(\rho_1 - \rho_2) g h_1 l \frac{dh_1}{dx} \quad (4)$$

여기서 l는 流線間隔을 나타낸다.

(2)식과 (3)식, 그리고 (3)식과 (4)식에서

$$\frac{d\rho_1}{\rho_1} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \frac{E}{h_1} dx \quad (5)$$

$$Udu + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} g h_1 = - \frac{\rho_2}{\rho_1} E \frac{U^2}{h_1} dx \quad (6)$$

이 두 식을 利用하여 連行의 식(7)을 구할 수 있다.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} U^2 + \epsilon g h_1 \right) = \frac{\rho_2}{\rho_1} E \frac{U^2}{h_1} - \frac{g h_1}{\rho_2} \frac{d\rho_1}{dx} \quad (7)$$

을 얻는다. 한편, 流出水의 運動方程式에 抵抗係數를 利用하면 식(8)이 얻어진다.

$$U \frac{du}{dx} + \epsilon g \frac{dh_1}{dx} + \tau \left(\frac{1}{\rho_1 h_1} + \frac{1}{\rho_2 h_2} \right) = 0 \quad (8)$$

식(8)에 $\tau = \frac{1}{2} f_i \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} U^2$ 을 代入하면

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} U^2 + \epsilon gh_1 \right) = - \frac{gh_1}{\rho_2} \frac{d\rho_1}{dx} - \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \cdot \frac{f_i}{2} U^2 \left(\frac{1}{\rho_1 h_1} + \frac{1}{\rho_2 h_2} \right) = 0 \quad (9)$$

가 求해진다. 여기서 f_i 는 界面抵抗係數로서 $f_i \approx (F_i^2 Re)^{1/2}$ 이 成立하며(日本水理公式集) F_i 수와 Re 수로부터 連行係數 E 를 計算할 수 있다. 連行의 식(7)과 抵抗式(9)을 같이 놓으면

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} E \frac{U^2}{h_1} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \frac{f_i}{2} U^2 \left(\frac{1}{\rho_1 h_1} + \frac{1}{\rho_2 h_2} \right) \quad (10)$$

이 되며 $\rho_2 \approx \frac{1}{2} (\rho_1 + \rho_2)$ 라고 두면

$$E = \frac{f_i}{2} \left(1 + \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (11)$$

이 求해진다. 河口로부터 外海로 나가면 $h_2 > h_1$ 으로 생각되므로 식(11)은

$$E \approx \frac{f_i}{2} \quad (12)$$

가 된다.

結果 및 考察

1. 淡水와 鹽水の 鉛直混合特性

1) 鹽水뺨기의 侵入

潮汐週期에 따른 河口域 鹽分分布 變化는 密度 流 消長의 근본적인 原因이 되며, 水營橋에서 觀測한 潮汐과 鹽分의 相關關係를 나타낸 것은 Fig. 3과 같다.

河口域의 鹽分變化形態는 潮令에 따라 大潮期의 高潮에 가장 높은 값을 보이며 小潮期의 低潮에 가장 낮은 값을 보인다. 또한 염분최대값은 潮汐週期에 따라 高潮 1시간 전에 나타나 潮汐과 鹽分의 相關關係는 밀접한 것으로 나타났으나 河川水 流出量이 增加한 降雨直後의 鹽分變化는 潮汐에 關係없이 潮汐週期동안 거의 均等한 값을 나타내고 있다. 그리고 大潮期 및 小潮期의 鉛直混合度를 알아보기 위하여 水營橋에서 表·低層間의 鹽分差 ($S_b - S_s$)를 Table 1에 나타내었다.

大潮期의 경우 表·低層間의 鹽分差는 高潮時 7.1‰, 低潮時에는 18.5‰로 나타났으며, 小潮期의 경우에는 表·低層間의 鹽分交差가 커지고 潮汐에 따른 鹽分變化가 적어 高潮時에 12.8‰, 低潮時에 23.1‰로서 層別 鹽分差가 대단히 크게 나타났다.

이것은 小潮期에는 潮流의 流速이 느리기 때문에 潮流混合이 大潮期보다 작은 것이 주된 原因인 것으로 생각된다. 한편 降雨直後의 表·低層間의 鹽分差는 高潮 및 低潮에 각각 25.5‰과 28.3‰로 나타나 平水時의 大潮期 및 小潮期보다 5.2‰ ~ 12.7‰의 큰 差를 보였다. 이들 層別 鹽分差는 이 (1981) 등이 調査한 洛東江 河口에서의 값(大潮期 1.2~4.6‰, 小潮期 6.2~8.8‰)보다 훨씬 크게 나

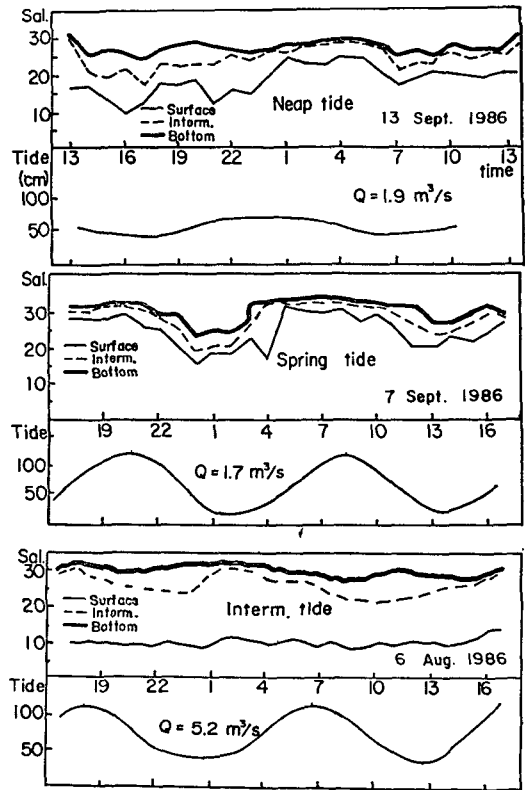


Fig. 3. Hourly change of salinity(‰) and sea level (cm) at the Suyong Bridge.

Table 1. Variation of salinity(‰) at the Suyong Bridge(St. 10).

St.	Layer	Spring tide		Neap tide		Precipitation	
		H. W.	L. W.	H. W.	L. W.	H. W.	L. W.
		Sal.	Sal.	Sal.	Sal.	Sal.	Sal.
10	Surface(S_s)	25.0	12.6	18.5	10.0	6.0	2.7
	Interm. (S_i)	30.2	29.2	30.7	25.4	29.6	29.0
	Bottom(S_b)	32.1	31.1	31.3	31.1	31.5	31.0
	$S_b - S_s$	7.1	18.5	12.8	21.1	25.5	28.3

타났다. 이것은 水營灣 河口에서의 淡水層의 流速이 8cm/s 洛東江의 30cm/s에 비해 아주 작아 鉛直 混合이 잘 이루어지지 않기 때문인 것으로 思料된 다.

그리고, 河口에서 염수쇄기의 擧動을 調査하기 위하여 河口域의 鉛直鹽分分布를 나타낸 것이 Fig. 4 및 Fig. 5이다. 大潮期 및 小潮期의 鹽分은 모두 15~32‰의 範圍로 0.5m미만의 表層에서 강한 鹽分躍層이 形成되며 이 鹽分躍層은 밀물때 다소 低層으로 移動하고 混合된 흔적을 보인다. 한편 降雨 直後인 5월에는 鹽分躍層이 0.2m 층에서 강하게 形成되었다. 8월의 경우는 다소 低層으로 移動하고 있으며 高鹽分水가 은천천과 수영천의 合流點(St. 3)까지 鞭어있다. 이것은 5월이 8월보다 河川流量 ($Q_5=6.4m^3/s$, $Q_8=5.2m^3/s$)이 $1.2m^3/s$ 로 增加되었고 潮汐에 의한 混合도 5월(moon's age 7.1)보다 8월(moon's age 11.3)이 다소 크게 나타났기 때문이다. 그리고 潮令 및 流量變化에 따른 염수쇄기의 侵入 形態를 알아보기 위하여 水營灣入口인 St. 19로부터 원동교(St. 1)까지의 層別 平均鹽分變化를 Fig. 6에 나타내었다. 鹽水쇄기의 形態는 潮令에 따라 큰 變化를 보이고 있지 않은 반면, 流量의 增加에 따라 뚜렷한 成層特性和 강한 鹽水쇄기의 侵入이 보인다. 觀測으로 얻어진 水理量으로부터 鹽水쇄기

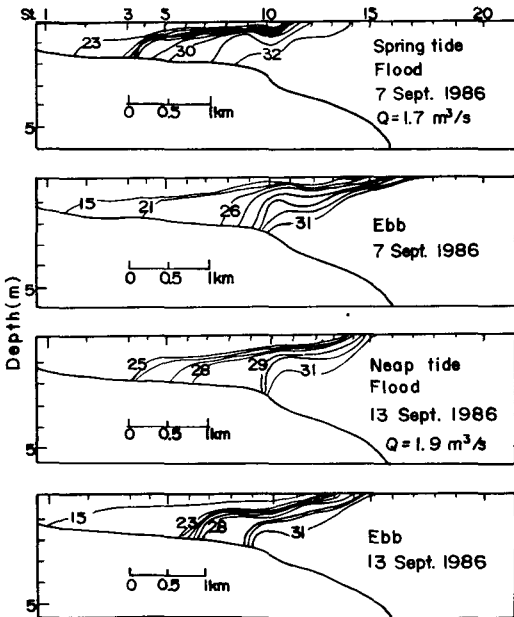


Fig. 4. Vertical distribution of salinity(‰) in September, 1986.

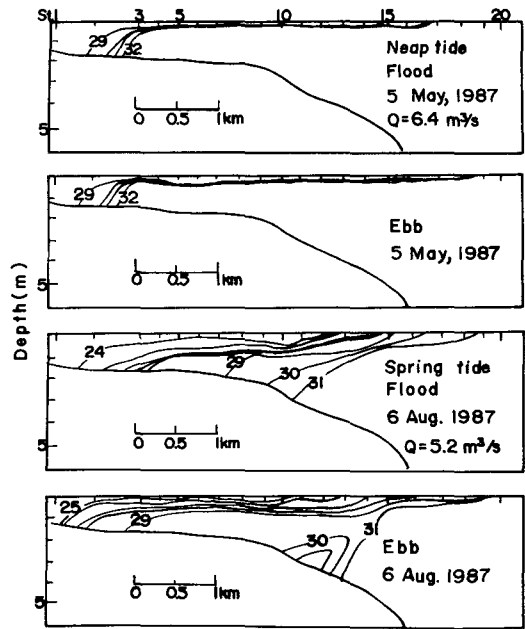


Fig. 5. Vertical distribution of salinity(‰) in May and August, 1987.

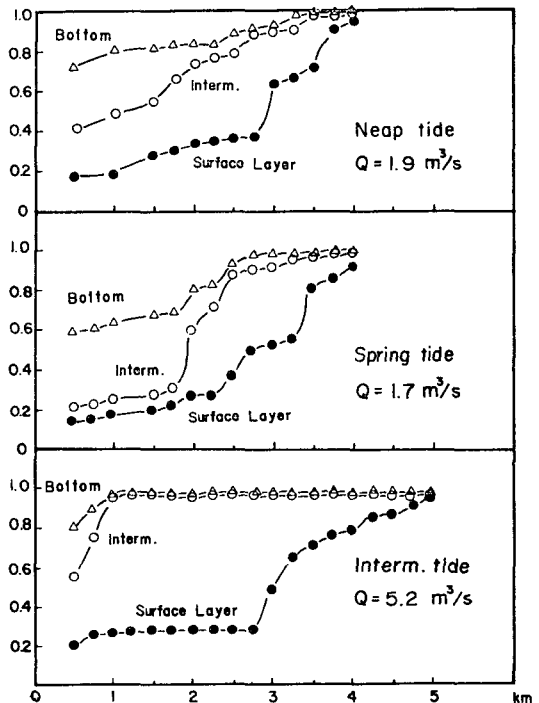


Fig. 6. Salinity ratio(S/S_0) versus distance from the mouth of the Suyoung River estuary during the neap tide, spring tide and intermediate tide. S_0 denotes the salinity at the st. 19.

侵入길이(L_0)를 식(13)에 의하여 계산하였다.

$$\frac{L_0}{H_0} = \frac{2}{f_i} \left(\frac{1}{5F_{i0}^2} - 2 - \frac{6}{5} - \frac{6}{5} F_{i0}^{1/3} + 3F_{i0}^{1/3} \right) \quad (13)$$

이 結果 大潮期 및 小潮期때 L_0 는 4.3km, 降雨直後($Q_8=5.2m^3/s$) 5.4km로 推定되었다. 이 값은 실제 觀測值의 4km 및 5km보다 약간의 差가 있으나 이는 L_0 가 f_i 값에 크게 좌우되므로 各條件에 따른 f_i 값을 推定하면 식(13)에 의해 鹽水漑기의 侵入거리를 計算할 수 있을 것으로 생각된다.

2) 成層特性

水營灣口의 成層特性을 究明하기 위하여 水營灣口의 鹽分分布와 河川水의 流速을 사용한 층化순환도(Stratification-circulation diagram)를 Fig. 7에 나타내었다. 여기서, 縱축은 潮汐週期동안의 低層과 表層間의 平均鹽分差 $S_b - S_s$ 와 全水深平均鹽分(S)에 대한 比를, 그리고 橫축에는 한 潮汐週期동안의 河口表面 平均流速 U_s 와 上層平均流速 U_x 의 比를 나타낸다. 大潮期와 小潮期의 경우 모두 $S_b - S_s/S$ 가 10^{-1} 의 크기로서 弱混合形河口에 該當하였다. 한편, 河川水 流出量이 增加된 降雨直後에는 $S_b - S_s/S$ 가 1의 크기로서 層化形河口의 구조를 보이고 있다. 이는 Fig. 6에서 나타낸 鹽分의 層別구조와 잘 일치하고 있다.

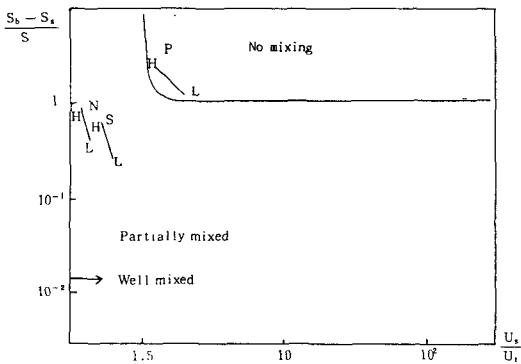


Fig. 7. Stratification-circulation diagram in the estuary of Suyong River.

P: precipitation, N: neap tide, S: spring tide, H: high water, L: low water

2. 河口域의 鹽分前線

河口域에 있어서 潮差 및 河川流量에 따른 河口前線(front)의 移動을 究明하기 위하여 鹽分水平分布를 Fig. 8~Fig. 11에 나타내었다. 大潮期($Q=1.7m^3/s$)의 경우 밀물때는 水營橋에서 0.5km(St. 12) 지점에서 河口前線이 形成되고 썰물때는 1km(St.

14)~1.5km(St. 16)까지 넓게 形成되어 潮時에 따라 河口前線의 移動의 幅이 크게 나타났지만 小潮期($Q=1.9m^3/s$) 경우에는 밀물·썰물에 關係없이 거의 水營橋로부터 0.8km(St. 13) 지점에서 停滯하고 있음을 알 수 있다(Fig. 9). 한편 降雨後인 5월($Q=6.4m^3/s$)의 경우 밀물때 水營橋로부터 1.3km(St. 15)지점에서 河口前線이 形成되고 썰물때는 2.5km(St. 19)에서 河口前線이 形成되었다(Fig. 10).

降雨直後($Q=5.7m^3/s$)인 小潮期의 경우와 流量이 거의 없는 小潮期의 경우에 있어서 河口前線 形成 位置를 比較하면 밀물시에는 거의 一致하고 있지만 썰물시에는 1.5km의 큰 差異를 보이고 있어 河川流出水의 增加가 河口前線의 擴張에 크게 影響을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 8월의 경우에는 5월과는 달리 썰물시 0.8km(St. 13) 附近에서 23‰의 강한 河口前線이 1차

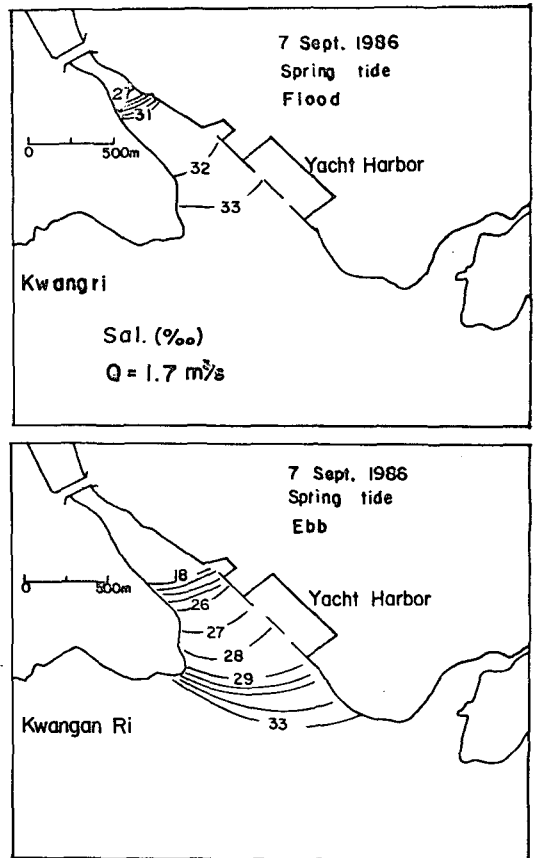


Fig. 8. Horizontal distributions of surface salinity(‰) on 7 September, 1986.

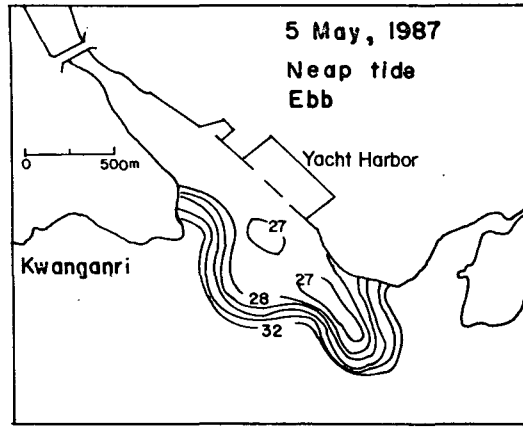
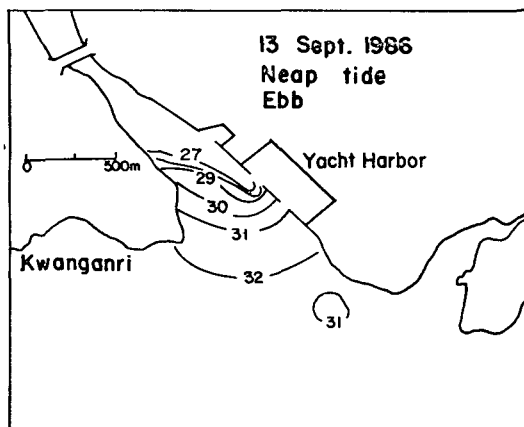
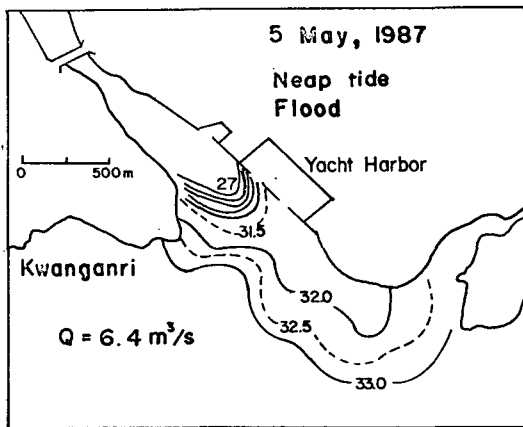
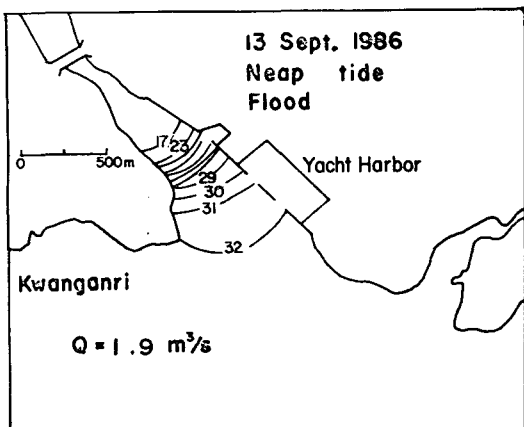


Fig. 9. Horizontal distributions of surface salinity(‰) on 13 September, 1986.

Fig. 10. Horizontal distributions of surface salinity(‰) on 5 May, 1987.

적으로 생성되고 그 후의 河口前線은 Yacht harbor 左岸을 따라 동백섬 附近까지 길게 擴張되어 形成되고 있다. 밀물의 경우에는 썰물시와 마찬가지로 St. 13 附近에서 강한 河口前線이 形成되지만 그 후의 河口前線은 潮流의 影響으로 인하여 길게 뻗지 못하고 있다(Fig. 11). 이러한 St. 13 附近에서의 강한 河口前線生成은 觀測當時 St. 13 앞에 設置되어 있는 폭기기의 作動으로 인하여 層別混合이 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다.

外海로 流出한 淡水는 成層을 形成하지만 海水와 混合하여 密度差가 어느 限界에 到達하기까지 海面에 淡水의 擴散域을 形成하며, 現地調査를 통하여 淡水의 擴散域과 淡水流量과의 相關이 있다고 알려져 있다. 한편, Fig. 12는 河川流量과 水營橋로부터 河口前線 形成거리의 關係를 나타내고 있다. 流量과 거리의 相關關係式은 資料의 부족으로 구하지 못하였으나 그 相關係數는 0.95로 높은

相關程度를 나타냈다. 이 結果로 보아 水營灣 河口에서의 河口前線 生成은 河川流量과 밀접한 關係가 있으며 流量 및 潮時을 알면 河口域에서의 河口前線 生成의 거리를 대략 推定할 수 있으리라 생각된다.

以上 서술한 것에 대하여 理論的 考察을 위해 式(1)에 의해서 内部 Froude數 F_i 를 水營橋(St. 10)를 原點으로 구하고 式(11)에 의하여 連行係數 E 를 計算하여 Table 2와 Table 3 및 Fig. 13과 Fig. 14에 각각 나타내었다. 하구에서는 유출되는 담수가 주위의 海수를 연행가입하면서 海面상으로 퍼질 때 담수의 유출속도와 조류 등에 의해 담수의 선단은 퍼지지 않고 위치가 고정되어 하구전선이 形成되어진다. 한편, 하구전선에서 내부 Froude數 F_i 는 근사적으로 1과 같다.

平水時(Table 2, Fig. 13)의 F_i 는 大·小潮期 모두 外海로 갈수록 增加하는 現象을 보이며 大潮期의

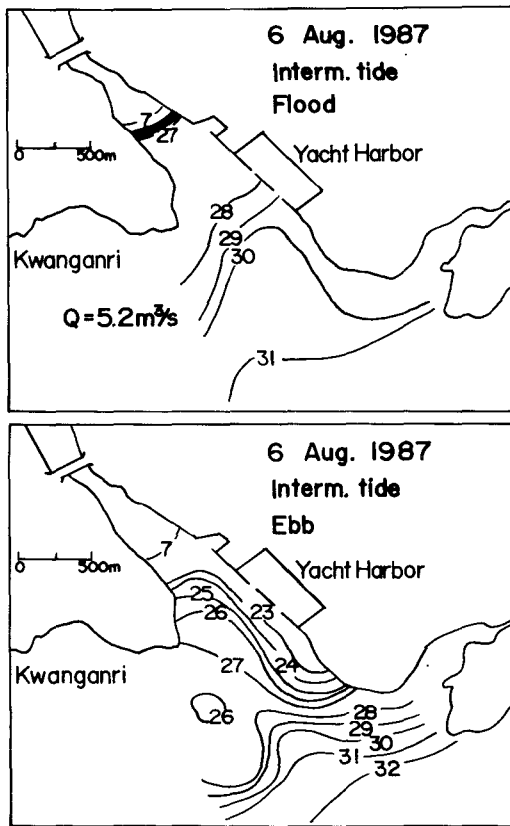


Fig. 11. Horizontal distributions of surface salinity(‰) on 6 August, 1987.

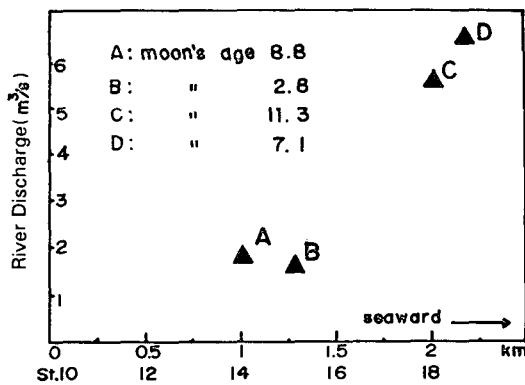


Fig. 12. Relation between river discharge and distance of front from the Suyoung Bridge.

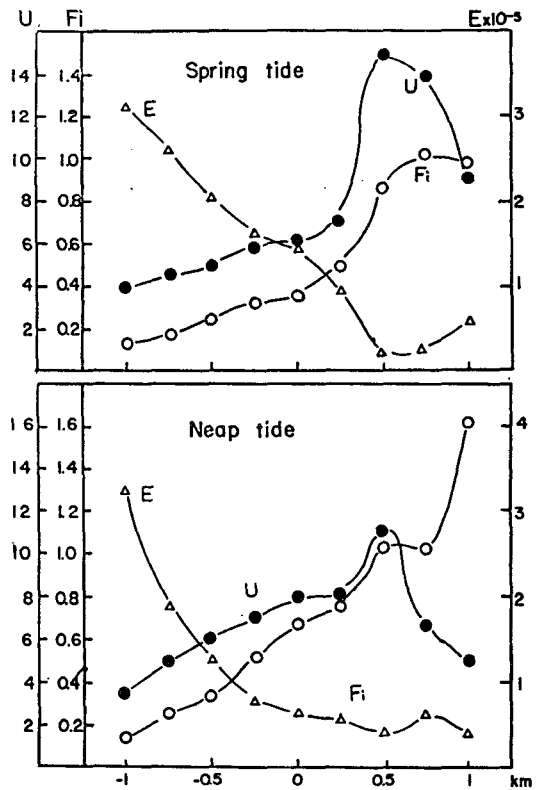


Fig. 13. Internal Froude number(F_i), entrainment coefficient(E) and the fresh water flow speed (U) along the flow axis of fresh water at the estuarine region of Suyoung Bay, in September, 1986.

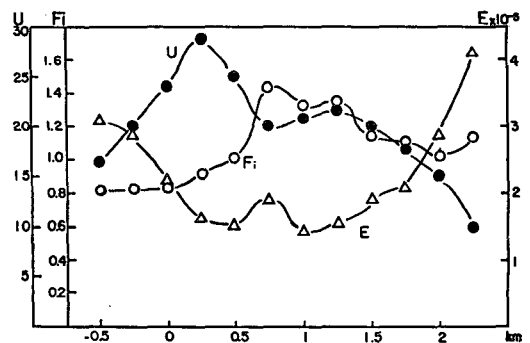


Fig. 14. Internal Froude number(F_i), entrainment coefficient(E) and the fresh water flow speed (U) along the flow axis of fresh water at the estuarine region of Suyoung Bay in August, 1987.

Table 2. Parameters of the Suyoung River estuary in September, 1986.

Tidal condition	D (m)	ε	U	h_1	F_i	R_i	Re $\times 10^8$	E $\times 10^{-5}$	$f_i \times 10^{-4}$
Spring tide Q=1.7m ³ /s	-500	0.001	5	40	0.241	17.210	2.0	2.000	2.936
	-250	0.013	6	30	0.308	10.540	1.8	1.511	2.418
	0	0.012	6	30	0.319	9.827	1.8	1.461	2.338
	250	0.010	7	20	0.500	4.000	1.4	0.918	1.690
	500	0.010	15	30	0.882	1.285	4.5	1.292	0.534
	750	0.009	14	20	1.075	0.865	2.8	0.293	0.556
	1,000	0.009	9	10	0.968	1.067	0.9	0.558	1.089
Neap tide Q=1.9m ³ /s	-500	0.008	6	40	0.339	8.702	2.4	1.297	1.908
	-250	0.008	7	40	0.511	4.380	2.8	0.798	1.170
	0	0.007	8	20	0.684	2.137	1.6	0.627	1.155
	250	0.007	8	20	0.777	1.656	1.6	0.544	1.017
	500	0.011	11	10	1.057	0.895	1.1	0.464	0.902
	750	0.004	6	10	1.038	0.928	0.65	0.612	1.195
	1,000	0.001	5	10	1.613	0.384	0.5	0.449	0.876

h_1 : Upper layer depth
 R_i : Richardson number
 E : Entrainment coefficient
 U : Velocity of upper layer
 ε : $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$
 F_i : Internal Froude number
 Re : Reynolds number
 f_i : Internal friction coefficient
 D : Distance from the Suyoung Bridge

Table 3. Parameters of the Suyoung River estuary in August, 1987.

Tidal condition	D (m)	ε	U	h_1	F_i	R_i	Re $\times 10^8$	E $\times 10^{-5}$	$f_i \times 10^{-4}$
Interm. tide Q=5.2m ³ /s	-500	0.010	17	50	0.809	1.528	8.5	3.15	0.42
	250	0.013	20	50	0.815	1.506	10.0	2.85	0.38
	0	0.014	24	60	0.836	1.431	14.4	2.11	0.32
	250	0.013	27	70	0.906	1.218	18.9	1.63	0.25
	500	0.010	25	60	1.020	0.961	15.0	1.51	0.25
	750	0.011	20	20	1.428	0.490	4.0	1.84	0.35
	1,000	0.007	21	40	1.312	0.580	8.4	1.44	0.26
	1,250	0.009	22	30	1.358	0.542	6.6	1.54	0.29
	1,500	0.010	20	30	1.163	0.739	6.0	1.84	0.35
	1,750	0.009	18	30	1.111	0.810	5.4	2.02	0.39
	2,000	0.011	15	20	1.028	0.946	3.0	2.86	0.56
	2,250	0.008	10	10	1.130	0.783	1.0	4.44	0.88

경우 St. 14에서 0.968, 小潮期에는 St. 13에서 1.038
 로서 F_i 가 1에 가장 가까운 값을 보임으로써 이들
 모두 Fig. 8과 Fig. 9와 잘 一致하고 있으며, 이 지
 점에서는 실제 河口原點으로 볼 수 있는 河口前線
 이 나타난다. 연행계수 E는 중래에는 밀도성층 분
 포의 안정조건에 관한 무차원량인 층평균 Richard-
 son수 R_i , 즉, 부력과 관성력과의 비, 만으로 나타

내어 왔는데 최근 加藤等(1981)과 浦等(1985)에
 의하여 난류의 영향을 많이 받는다고 알려졌다. 한
 편, E는 外洋으로 갈수록 減少하는 現象을 보이다
 가 F_i 가 1의 값 近處에서 최소값을 나타내고 그 이
 後 다시 增加하는 現象을 보이고 있다. 이런 現象은
 水營灣 河口의 河川流出이 매우 작아 河口内에서
 는 鉛直混合이 잘 이루어지지 않기 때문이며, E는

같은 값의 R_1 이라도 레이놀즈수 R_c 가 큰 만큼 크게 나타나 연행계수 E 가 R_c 의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 그리고 河口外에서 E 값이 커지는 것은 潮流의 影響으로 인하여 潮汐混合이 活潑해지기 때문인 것으로 思料된다. 즉, 하구내외의 밀도차는 담수유량에 비례하고 연직혼합에 관한 연직확산계수의 크기를 결정하는 중요한 요인은 조류진폭의 크기이기 때문이다.

한편 降雨後의 경우에는 Fig. 14에 나타난 바와 같이 F_1 가 St. 12 및 St. 18에서 各各 1.02와 1.028로 나타나 이 地點이 河口前線 生成地域임을 알 수 있고 Fig. 11과 잘 일치하고 있으며, 河口原點이 移動되었음을 알 수 있다. 그리고 이 때 E 의 變化도 平水時와 비슷한 樣相을 보이나 0.8km(St. 13)地點에서 E 가 일시적으로 크게 나타나는데 이것도 前述한 바와 같이 폭기기의 作動으로 인한 二層界面의 不安定 때문인 것으로 생각된다.

이상의 결과로부터 内部 Froude數 F_1 의 정의에 따른 河口原點은 실제 觀測한 河口前線의 位置와 잘 一致하였고, 連行係數 E 는 河口原點을 基準로 하여 河口内에서는 運動量이 卓越한 領域과 浮力 効果에 의한 水平擴散이 卓越한 外海쪽에 크게 나타났으며 河口原點附近에서는 最小값을 보임을 알 수 있다.

要約 및 結論

水營灣에 있어서 淡水·鹽水の 混合特性을 규명하기 위하여 潮令 및 河川流量의 變化에 따른 鉛直混合도와 鹽水漉기의 侵入거리, 成層特性, 河口前線의 形成 및 連行係數 등에 관하여 研究하였다. 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 上·下層間의 鉛直混合도 및 成層特性에 있어서는 潮差가 클수록 鉛直混合이 강하게 나타났지만, 流量의 增加에 따라서는 層別混合이 잘 이루어지지 않아 成層現象이 뚜렷하게 나타났다.

2. 鹽水漉기의 侵入거리에 있어서는 潮差에 따라서는 거의 變化가 없으나 流量의 增加에 따라 鹽水漉기의 侵入거리가 크게 나타났다. 한편 鹽水漉기의 侵入거리는 算定式에 의한 計算結果와 거의 一致하였다.

3. 河口前線의 形成과 關聯하여 流量이 클수록 河口前線은 外洋쪽으로 移動되며, 한 潮汐週期 동안에는 河口前線의 變動幅은 河川流量보다 潮差에 의한 影響이 큰 것으로 나타났다.

4. 内部 Froude數로부터 정의한 河口原點은 실제 觀測한 河口前線의 位置와 잘 一致하였다. 또한, 連行係數는 河口原點을 基準로하여 河口内에서는 運動量이 卓越한 領域과 浮力 効果에 의한 水平擴散이 卓越한 外海쪽에 크게 나타났으며 河口原點附近에서는 最小값을 보였다.

參考文獻

- 김성득. 1978. 水營江 流出量 變化에 따른 水營灣 内の 流速分布豫測. 釜山大學校 土木工學科 工學碩士學位論文.
- 金次謙·李宗燮. 1992. 水營灣의 潮流, 鹽分 및 浮遊物質의 分布. 韓水誌, 25(5), 359~370.
- 金次謙·李宗燮. 1993. 3次元 粘性土 輸送모델의 開發과 水營灣의 浮遊物質擴散. 大韓土木學會誌, 13(1), 179~192.
- 金榮燮. 1983. 水營灣에서의 流動과 擴散特性에 관한 研究. 釜山水產大學 環境工學科 工學碩士學位論文. 33p.
- 釜山直轄市. 1984. 水營灣 埋立 및 요트 競技場 建設工事 水理模型實驗을 위한 海洋調査 報告書.
- 元鍾勳·李培靜. 1979. 水營江 水質汚濁과 그것이 廣安리 海水浴장에 미치는 影響에 대하여. 韓水誌, 12(4), 257~276.
- 張善德·柳青魯·李在喆. 1981. 洛東江河口の 鹽水 運動. 韓海誌, 16(1), 31~37.
- 柳哲雄. 1983. 肱川の河口フロント(I), 環境科學研究報告集 B253-R14-10, 4~12.
- 柏村正和·梶井浩. 1979. 河口の内部フルート數の 持つ意味とその分布. 第26回 海岸工學講演集, 563~566.
- 加藤 始·地田高則. 1981. 下層二層流의 實驗(1) - 流速分布と連行係數. 第28回 海岸工學講演集, 520~524.
- 中村由行·早川典生·椎名弘·福嶋祐界. 1986. 密度フロント의 形成·類推機構. 第33回 海岸工學講演集, 611~615.
- 西田修三·吉田靜男. 1986. 天鹽川河口二戶流의 水理特性. 第33回 海岸工學講演集, 601~610.
- 浦 勝·椿東一郎·松永信博·竝川 正. 1985. 密度界面における連行に及ぼす亂れの寄與. 第29回 水理講演集, 401~406.
- Abbot, M. R. 1959. Salinity effects in estuaries. J. Mar. Res., 18, 101~111.

- Bowden, K. F. and M. R. Howe. 1963. Observations of turbulence in a tidal current. *J. of Fluid Mechanics*, 17, 271.
- Donald, V. Hansen and Maurice Rattray, Jr. 1965. Gravitational circulation in Straits and Estuaries. *J. Mar. Res.*, 23(2), 104~122.
- Eric N. Partch and J. Dungan Smith. 1978. Time Dependent Marine Science, 6, 3~19.
- Hansen, D. V. and Maurice Rattray. 1972. Estuarine circulation induced by diffusion. *J. Mar. Res.*, 30, 281~294.
- Kashiwamura, M. and S. Yoshida. 1967. Outflow pattern of fresh water issued from a river mouth. *Coast. Eng. in Japan*, 10, 109~115.
- Kenneth Hunkins. 1981. Salt dispersion in the Hudson Estuary. *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 729~738.
- Pritchard, D. W. 1954. A study of the salt balance in a coastal plain estuary. *J. Mar. Res.*, 15, 33~42.
-
- 1993년 6월 18일 접수
1993년 7월 10일 수리