

汝自灣의 海水交換*

李 明 哲**

The Exchange of Sea Water in Yeoja Bay*

Myeong-cheal LEE**

Tidal exchange of sea water was studied by using drogoue experiments and tidal current measurement data in Yeoja Bay which has a narrow channel. At the spring tide, the volume of tidal transport in the bay was estimated to be 43% of the mean volume of the sea water in Yeoja Bay, $1.96km^3$.

Residual current was deduced to flow southward at the rate of $3,658 \times 10^4 m^3$ per tidal cycle. The mean tidal exchange of sea water during the flood flow was estimated to be approximately 5.0% of the volume of sea water at the mean high water level in the bay, $2.33km^3$, while that during the ebb flow was 6.3%. One dimensional diffusion coefficient of $1.69-1.97 \times 10^6 cm^2/sec$ was obtained at the channel in the bay.

序 言

麗水半島와 高興半島에 依해 깊숙히 둘러싸인 汝自灣은 平均直徑 約 $21.6km$ 의 大內灣으로 面積 $365km^2$, 容積 $2km^3$, 平均水深 約 $5.4m$ 인 淺海이다. 大潮差는 約 $3.2m$ 로서 灣內의 海水는 潮流에 依하여 總幅 $3.6km$, 길이 $6km$ 인 南쪽의 複雜한 水道를 통해 外海水와 交流·交換되나, 多少 閉鎖的이다. 이 海域은, 低潮때 灣內의 깊고 작은 浦가 거의다 千出하는 等 天然의 條件을 갖춘 貝類生産地로서 生産성이 매우 높은곳이며, 中小都市의 發達에 따라 都市排水의 增加가 豫想되는 곳이다. 中田·平野(1976)는 潮流가 탁월한 淺海域에서 潮流의 往復運動에 依한 海水의 移動과 交換의 程度가 魚卵·稚仔 혹은 流入汚染物質의 輸送과 分布에 큰 影響을 미친다고 하였다. 따라서, 특히 閉鎖性이 강한 內灣의 海水交換程度를 안다는것은 그곳의 水域環境을 理解하고 利用하는데 重要하다고 생각된다. 이러한 海水交換程度는 海灣의 地形條件(水深, 地形, 灣의 形態)과 外部條件(淡水流入, 外洋水影響, 海面의 加熱과 冷却)에 따라 크

게 달라진다(宇野木, 1978). 여러가지 地形構造를 갖는 內灣에 對해서 Parker et al.(1972), 高橋(1977), 樋口·步岡(1977), 藤原·早川(1978), 李·張(1982) 등의 많은 研究가 있다. 그러나 比較的 크고 水深이 얕으며 閉鎖的인 地形構造를 보이는 內灣에 對해서는 具體的인 언급이 없다.

以上的 見地에서, 著者는 內灣의 環境調査 및 漁場管理를 위한 海洋物理學의 基礎資料를 얻기위하여, 汝自灣의 灣口에서 實施한 測流板追跡 및 流速計에 依한 測流資料를 使用하여 上記 灣의 海水交換量을 推定하고 그 海水交換特性을 밝히고자 한다.

資料 및 方法

1. 觀測方法

汝自灣의 流動構造 및 海水交流·交換程度를 알기 위하여 1982年 10月 30日부터 11月6日까지 水專2號, 水專3號 및 전마船 2隻을 動員하여 測流板(Table 1) 漂流實驗과 流速計(MTCM-5B)에 依한 測流를 實

* 이 論文은 1982年度 文敎部 學術研究助成費에 依하여 研究되었음.

** 國立麗水水產專門大學 : National Yeosu Fisheries Junior College

Table 1. Specifications of the current drogues

Item	Specifications
Resistance board	Two rectangular canvas, 50cm×50cm, perpendicularly fixed
Buoy	A plastic buoy, 10cm in diameter
Rope	Synthetic fiber, 1m
Pole	A 1-m bamboo pole with a red flag

施하였다. 또한 灣口의 海水混合構造를 알아보기 위하여 測溫 및 採水를 행한 汝自灣의 海底地形 및 觀測點은 Fig. 1과 같다.

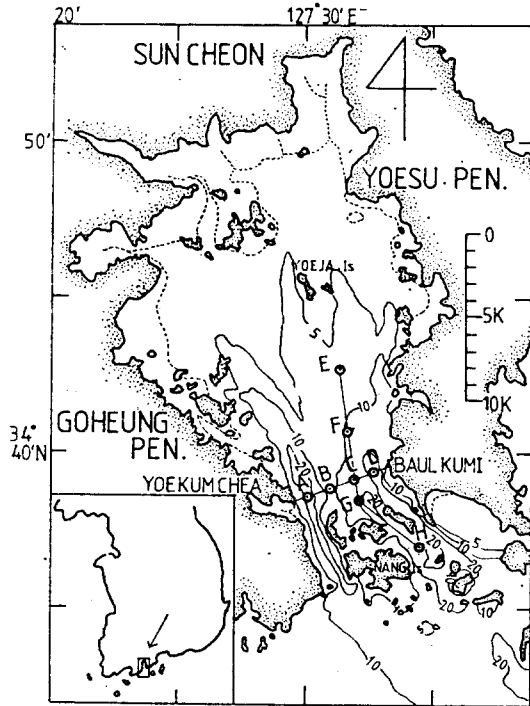


Fig. 1 Bathy-metry and oceanographic stations of Yeolja Bay.

灣口斷面上 A, B, C, D點에서 밀물과 썰물의 最強流時로부터 水面下 1m에 漂流시킨 測流板은 3隻의 船舶으로 轉流時까지 追跡하였으며, 15~30분간격으로 sextant에 依해 三標兩角法으로 位置를 求하였다. 同時에 船舶 1隻은 灣口斷面上을 往來하면서 停船測流를 2~3時間동안 계속하였다. 測溫 및 採水는 E, F, G, H點에서 별도로 實施하였으며, 모든 測定水深은 0, 2, 5, 8, 10, 15, 20, 25m 였다.

測流板의 水中과 空氣中の 抵抗比 R_a/R_w 는, 空氣 및 水中의 抵抗係數(Myers等, 1969)를 C_a , C_w , 密度를 各各 ρ_a , ρ_w , 投影面積을 A_a , A_w , 風速 및 流速을 各各 V_a , V_w 라 하면

$$\frac{R_a}{R_w} = \frac{C_a \rho_a A_a V_a^2}{C_w \rho_w A_w V_w^2} \dots \dots \dots (1)$$

이다. 여기에 觀測期間中 最大風速 3.7m/sec와 平均流速 25cm/sec를 代入한 結果 $R_a/R_w \approx 1/210$ 이었으므로 測流板에 미치는 空氣中の 抵抗은 無視하였다.

2. 海水交換率의 推定

海水交換率은 海水의 保存의 性質의 分布量 또는 收支로부터 求하기가 困難하므로, 海水流量과 그 流動範圍로부터 推定했다. 즉, 流動域內에서 海水의 混合이 往盛하여 高루 섞였다고 假定하고 海水交換率 r 은,

$$r = \frac{V_o - Q}{V_o} \dots \dots \dots (李·張, 1982) (2)$$

로 求하였다. 여기서 午潮汐週期동안에 通過한 流量 Q 는 森北(1966)의 式으로부터

$$Q_i = B \{ 0.174(q_{0.07} + q_{0.93}) + 0.326(q_{0.33} + q_{0.67}) \} \dots \dots \dots (3)$$

但, B : 灣口의 幅, q_i : 垂直平均流速×水深, i : 灣口幅과 觀測點과의 距離比

$$Q = \int_0^T Q_i dt \dots \dots \dots (4)$$

로 計算하였다. 混合容積 V_o (半潮汐週期동안의 測流板의 灣口斷面通過 移動範圍에 해당하는 容積)는 편의상 灣口斷面上에서 最強流時로부터 轉流時까지 測流板追跡을 行하여 그 流動範圍의 容積(觀測容積) V_o' 를 求한뒤 流量比 a 를 適用하여 아래와 같이 求하였다.

$$V_o = a V_o' \dots \dots \dots (5)$$

但, Q' 는 觀測期間內의 通過流量

結果 및 考察

1. 灣口의 海水流動과 海洋構造

10月30일부터 11月 6일까지 밀물과 썰물의 最強流時로부터 轉流時까지 2時間동안 灣口斷面上 A~D點

汝自灣의 海水交換

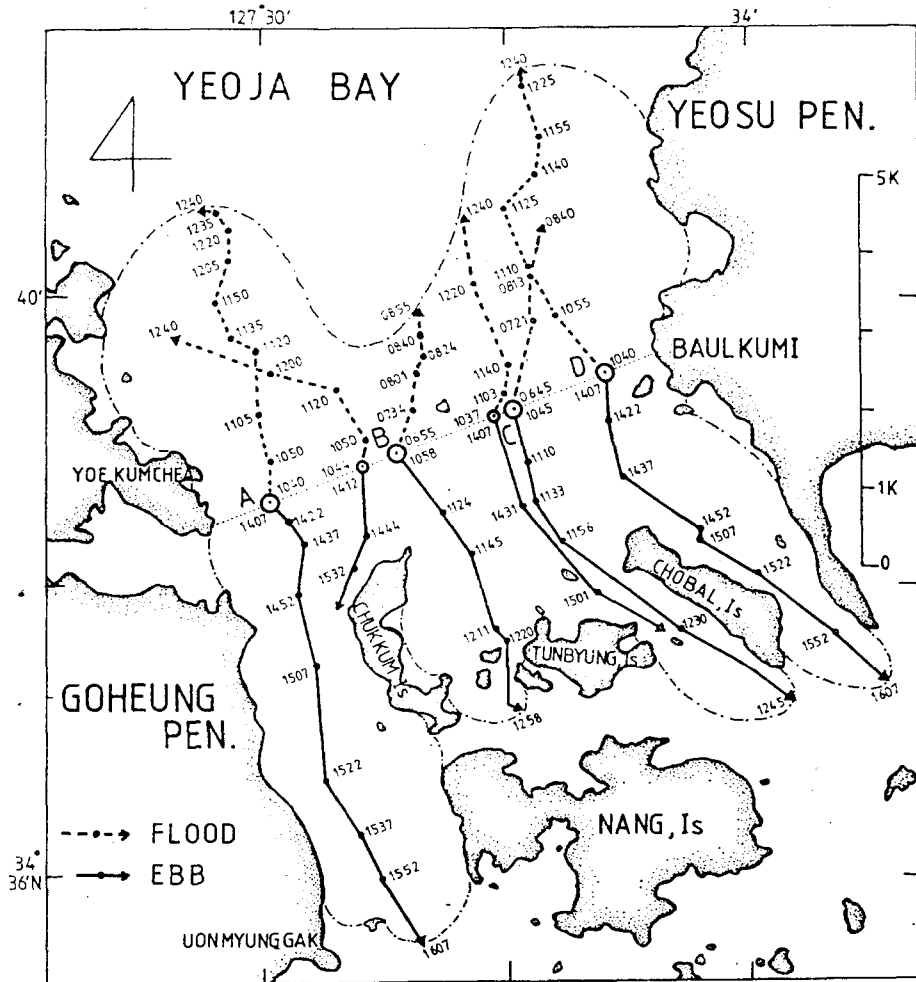


Fig.2 Results of drogue experiments from Oct. 30 through Nov. 6, 1982. Dotted lines denote tracks of drogues drifted during flood flow, while solid lines those during ebb flow. Thin dotted lines denote tidal mixing area deduced from drogue experiments during measurement.

에서 實施한 測流板 追跡結果는 Fig.2와 같다. 밀물 때 灣口斷面(여금취와 벌구미)을 通過하는 海水는 最強流速이 約 1.7kts로서 A, D點 北部에서는 強勢을 보이나 B, C點에서는 弱勢를 보이며 灣內로 進入한다. 이때의 流動形態는 이곳의 海底地形과 一致하고 있는데, 이것은 B點北部에서 時計方向의 環流가 發生하는 것으로 보아 地形의 要因에 依한 局地的 右旋渦動現象에 起因되는것 같다. 썰물때는 灣口斷面을 約 1.7kts로 지나며, 狹水道를 通過할때 A, D點南部에서는 約 3.2kts로 強勢를 보이나 B點南部에서는 弱한 流出이 보여진다. 이것은 섬들에 依해 複雜하게 가로막힌 地勢와 더불어 水道가 極히 狹小함에 起因한다고 생각된다. 觀測中 狹小한 水道에서는

역시 地形的 要因에 依한다고 생각되어지는 渦流가 자주 여러곳에서 肉眼으로 識別되었다.

한편 灣口附近(E~H點)의 海水混合構造를 알아 보기 위하여 水溫, 鹽分 및 密度를 觀測한 結果 이들의 縱斷面分佈는 Fig.3과 같았다. 灣內水는 18°C 이하, 32‰이하, $\sigma_t=23.1$ 이하의 低溫, 低鹽, 低密度 水로서, 이 灣의 垂直的 海水混合은 往盛하게 나타났다. 이것은 冬季에 混合層이 깊어지는 一般의 理由外에도 上記灣이 水深이 얇고 潮差가 큰點과 特別 밀물때 灣口附近에서는 時計方向의 環流發生이, 썰물때는 灣口附近의 強한 潮流와 狹水道 및 複雜한 地勢에 依해 發生되는 渦流가 往盛한 海水混合을 일으킨다고 생각된다.

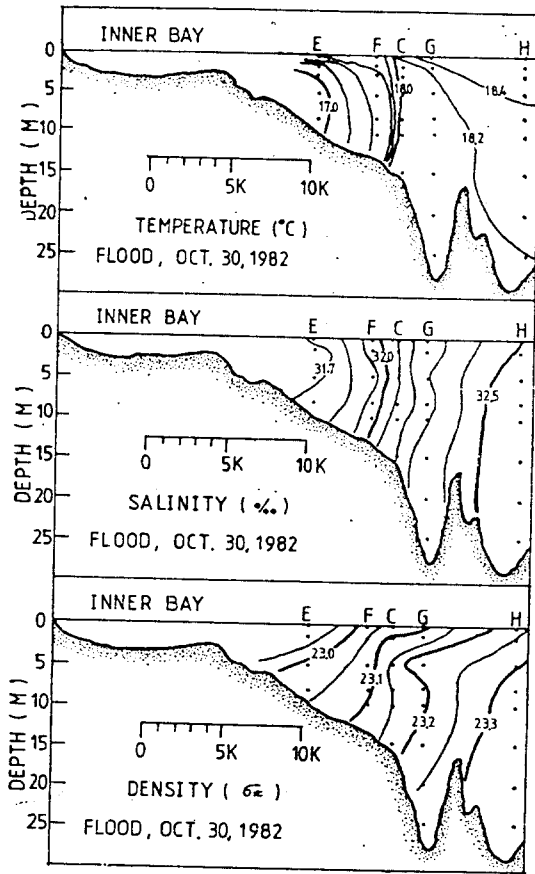


Fig. 3 Temperature, salinity and density distributions along the centol line at the Yeolja Bay.

2. 海水交換量

汝自灣의 潮流調和分解資料(水路局, 1978) 및 麗水海灣 潮流豫報值(潮汐表)로부터 推算한 觀測當日 灣口斷面의 潮流曲線과 麗水檢潮所에서 實測한 潮汐曲線은 Fig. 4와 같다. 또 이때 灣口斷面(A~D點)에서 밀물과 썰물의 最強流時로부터 轉流時까지 水深別 測流結果는 Fig. 5와 같다. 여기서 觀測日의 潮流推算値와 各觀測點의 鉛直平均 流速 實測値를 比較한 結果(Fig. 6의 左), 썰물때는 實測値가 多少 있으나 밀물때는 兩者가 거의 一致하였다. 그러므로 觀測이 이루어지지 않은部分은 이들을 比較하여 Fig. 6의 右와 같이 灣口斷面 直角平均流速을 推定하였고, 이에 依해 求한 灣口通過流量 Q는 Table 2와 같다.

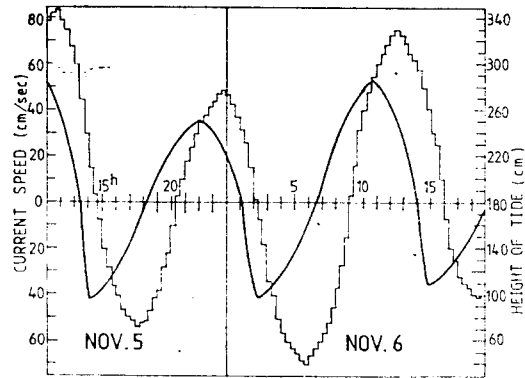


Fig. 4 Tidal heights referred to the mean sea level at Yeosu and the deduced tidal current speed at the mouth of the bay on Nov. 5-6, 1982.

灣內로 流入하는 海水量은 汝自灣의 平均海水容積 ($1.96km^3$)에 對하여 43%(潮差, $320cm$), 流出量은 42%가 된다. 한편 이 海水交換量은 潮差에 따라 다르므로 潮差를 同一하게 取한다면, 거의 같아지거나 혹은 灣內淡水流入量만큼 流出量이 더 커질 것이다. 즉, 潮差가 $320cm$ 일때의 流入, 流出量을 各各 Q_{F320} , Q_{E320} 이라면, $Q_{E320} = Q_{E304} + (3.2 - 3.04) \times (\text{灣의 面積}; 3.65 \times 10^8) = 8.9865 \times 10^8 m^3$ 로 $Q_{F320} = 8.6207 \times 10^8 m^3$ 보다 더크게 나타나며, 이 差 $Q_{E320} - Q_{F320} = 3658 \times 10^4 m^3$ 은 대략 1潮汐週期當 灣內淡水流入量으로 解析된다. 이로부터 外海로 向하는 灣口斷面($9.84 \times 10^4 m^3$)의 平均恒流 V_m 을 求하면, $V_m = 3.658 \times 10^4 \div 9.84 \times 10^4 \div 12 \times 25 = 0.83 cm/sec$ 가 된다. 이 값은 灣口附近에서 實測한 恒流 $94^\circ, 0.12 kts$ (水路局, 1978)와 比較할 때 이것이 平均的 灣口斷面直角成分임을 감안 한다면 큰 差가 없을 것으로 생각된다. 또한 灣口附近의 恒流는 複雜한 吹送流, 潮汐殘差流, 淡水流入量 等の 變化에 따라 크게 좌우되므로 季節에 따라 어느程度 差異가 있을 것으로 보여진다.

3. 海水交換特性

測流板의 移動範圍와 灣口斷面通過流量으로부터 推定한 海水交換率 및 交換量은 Table 2와 같다. 여기서 混合容積 V 는 觀測容積(Fig. 2)에 流量比 a 를 곱하여 求하였다. 海水交換率 r 은 썰물때 0.241로 밀물때 0.197보다 컸으나, 이 값들은 隣接하고 있는 鵝英灣의 값 0.26~0.41(李·張, 1982)에 비해 低하다. 이것은 上記 灣이 外海와는 隔離되는 地形

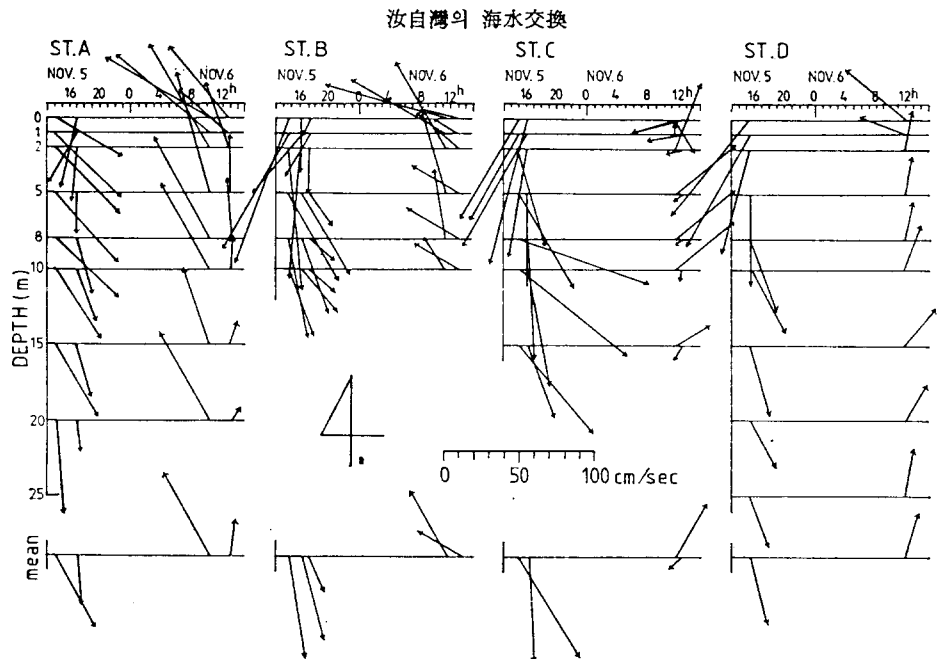


Fig. 5 Current vectors at each station in Yeolja Bay. Moon's age was 19-20^d and Moon's dec. was 23°-33°N.

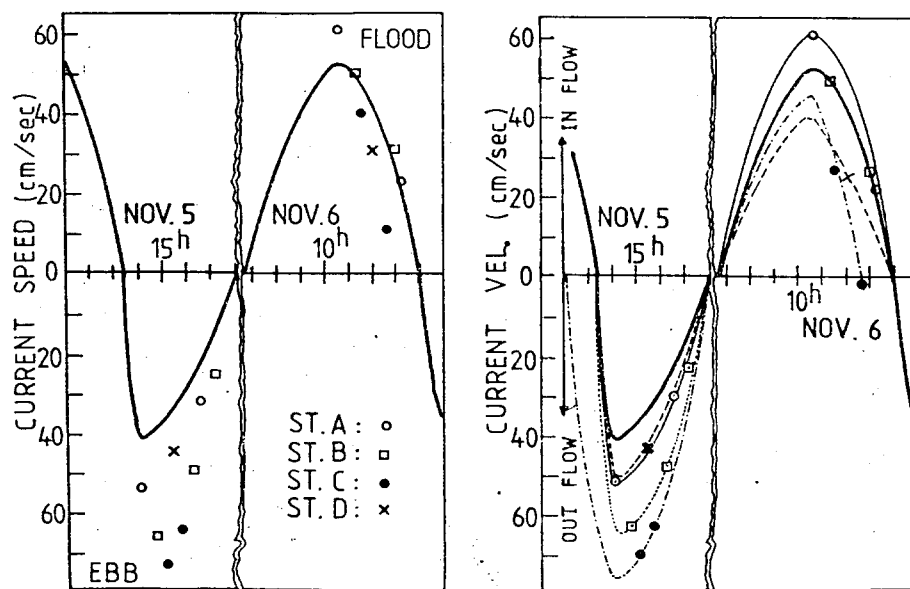


Fig. 6 Comparison of the predicted flow speed (thin solid line) and the observed tidal current (dotted line) at each station on Nov. 5-6, 1982. Left figure denotes vertically-averaged current velocity, while the right one the component of the velocity normal to cross section.

Table 2. Estimated volume of tidal transport and tidal exchange of sea water during a semi-tidal period in Yeolja Bay on Nov. 5, 1982

	$Q(\times 10^8 m^3)$	$V_o(\times 10^9 m^3)$	$r(\%)$	$Q_r(\times 10^8 m^3)$	$Q_r/A(\times 10^3 m^3)$	Tidal range(cm)
ebb	8.403	11.07	24.1	2.03	2.06	304
flood	8.621	10.74	19.7	1.70	1.73	320

Q : Volume of tidal transport, Q_r : Volume of tidal exchange, V_o : Volume of tidal mixing area, Q_r/A : Volume of tidal exchange per unit cross section area, r : Rate of tidal exchange

汝自灣의 海水交換

- 洋學會論文集 17(1), 12~18.
- 森北常雄(1966): 水工學便覽. 森北出版社, 221~222.
- Myers John et al.(1969): Hand Book of Ocean & Underwater Engineering, McGraw-Hill, New York.
- 中田英昭, 平野敏行(1976): 瀬戸水域における海水の交流・交換について. 水産海洋研究會報 29, 7~14.
- Parker, D.S., D.P. Norries and A.W. Nelson (1972): Tidal exchange at Golden Gate. Proc. ASCE 98, SA₂, 305~323.
- 水路局海洋課(1978): 羅老島附近一帶潮流觀測結果. 수로기술연보, 151~184.
- 高橋淳雄(1977): 沿岸海洋研究 ノート, 14. 19~24.
- 樋口明生, 武岡英隆(1977): 海洋學會秋季大會講演要旨集. 3~4.
- 宇野木早苗(1978): 内灣における海水の交換. 海洋科學10(10), 821~830.