

駕莫灣의 海水交換

李明哲·張善德*

麗水水產專門大學, *釜山水產大學海洋工學科

TIDAL EXCHANGE OF SEA WATER IN GAMAG BAY

*Myeong-Cheol Lee and Sun-duck Chang**

Dept. of Fishing Technol., Yeosu Junior Fisheries College

*Dept. of Ocean Eng., National Fisheries Univ. of Busan

ABSTRACT

Tidal exchanges of sea water are studied by using drogoue experiments and tidal current measurement data in Gamag Bay which has two channels. At the spring tide, the volume of tidal transport in the bay was estimated to be 46~52% of the total volume of sea water in Gamag Bay, $7.1 \times 10^8 \text{m}^3$. The tidal transport through the wide channel occupies 87% of the total tidal transport of the bay. Residual current was deduced to flow north-northeastward at the rate of $3.254 \times 10^6 \text{m}^3$ per tidal cycle.

The tidal exchange of the sea water during the flood flow was estimated to be approximately 26% of the tidal transport, while that during the ebb flow was 41%. The tidal exchange through the wide channel during the flood flow occupies 77% of total tidal exchange of the bay through both channels, whereas that during the ebb flow does 88%. The diffusion coefficient of $2.08 \sim 2.30 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$ at the narrow channel was greater than that at the wide channel which was $1.2 \sim 2.8 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$.

序 言

麗水半島의 南端과 突山島에 依해 둘러싸인 駕莫灣은 面積 112km^2 , 容積 $7.09 \times 10^8 \text{m}^3$, 南北方向의 길이 約 15km , 平均水深 約 6.3m 인 淺海이다. 大潮差는 約 3m 이며 灣內海水는 潮流에 依하여 2個의 水路를 통해 外海水와 交流·交換된다. 退潮時 灣의 北쪽에 있는 麗水港水路와 南쪽의 灣口를 通하여 서로 다른 方向으로 流入된 海水는 灣內에서 만나고, 退潮時 다시 이들 灣口를 通하여 流出한다.

이 海域은 麗水港에 隣接한 굴 主産地로서 生産性이 매우 높은 곳이며 都市 및 産業廢水가 날로 늘어날 것으로 豫想되는 곳이다.

內海나 內灣에서의 生物의 生産과 環境汚染은 物質의 舉動과 關係가 깊은 海水交換能力에 依하여 크게 달라지며(宇野木, 1980), 潮流가 탁월한 淺海域에서는 潮流의 往復運動에 依한 海水의 移動과 交換의 程度가 魚卵, 稚子 或은 物質의 輸送과 分布에 큰 影響을 미친다.

海水交換強度는 Parker *et al.* (1972), 川村等(1975), 柏井(1977)가 灣口斷面 觀測資料에 依하여 推定하였으며, 中田·平野(1976)는 測流板 追跡方法에 依하여, 宇野木·岸野(1977)는 海洋要素分布로 부터 推定한 바 있다. 이러한 海水交換은 海灣의 地形條件과 外部條件에 依하여 크게 달라진다(宇野木, 1978).

本研究에서는 2個의 灣口를 갖는 駕莫灣에서 實施한 測流板實驗 및 流速計에 依한 測流資料

를 사용하여 灣口別 海水交換량을 推定·比較함으로써 內灣의 海水交換特性을 밝히고자 한다.

資料 및 方法

1. 觀測方法

駕莫灣의 流動構造 및 海水交流·交換의 程度를 알기 위하여 1981年 5月 25日부터 6月 5日까지 水專 2號, 水專 3號 및 전마선 2隻을 動員하여 測流板 漂流實驗과 流向流速計(MTCM-5B)에 의한 測流를 實施하였다. 駕莫灣의 海底地形 및 觀測點은 Fig. 1과 같다. 모든 觀測은 6個斷面(A~F)中에서 各各 4個點을 定하여 退潮와 漲潮의 最強流時로부터 轉流時까지 實施되었다. 測流板은 3隻의 船舶으로 追跡하였으며, 15~30分 間격으로 sextant에 의해 三標兩角法으로 位置를 求하였다. 同時에 船舶 1隻은 觀測斷面上의 測點을 往來하면서 停船測流를 2~3時間동안 계속하였고, 測流水深은 0, 2, 5, 8, 10m였다. 測流板은 水面下 1m에서 漂流되도록 調整하였으며 抵抗板의 크기는 Table 1과 같다. 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 , 測流板의 空氣抵抗 및 水中抵抗을 R_a, R_w 라 하면 水中과 空氣中の 抵抗比는

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

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

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

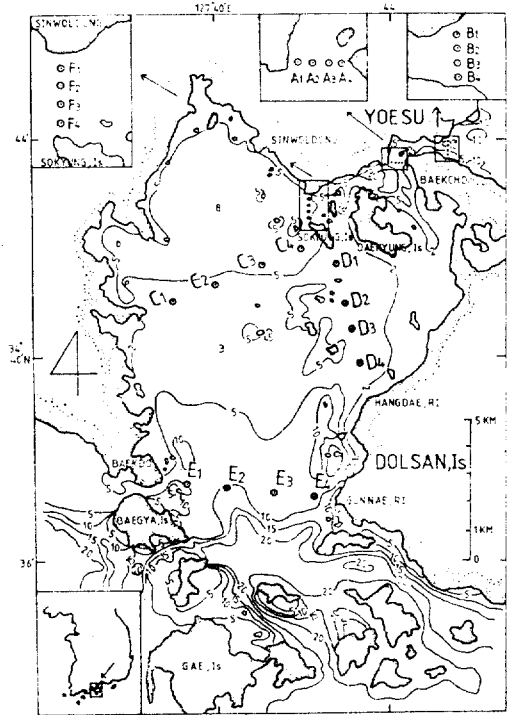


Fig. 1. Bathymetry and oceanographic stations of Gamag Bay.

2. 海水交換率의 推定方法

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의 流量과 그 流動範圍로부터 推定했다(中田·平野, 1976).

半潮汐週期동안에 대상水域에 流入한 物質量 q 에 對한 交換量 Δq 의 比率을 交換率 γ 라 하면,

$$\gamma = \Delta q / q \quad (2)$$

이다. 여기서 半潮汐週期 동안의 測流板의 灣口 斷面通過 移動範圍에 해당하는 容積을 混合容積 V_0 , 이 期間에 通過한 流量을 Q 라 할 때, Q 의 海水는 混合容積內에서 잘 섞였다고 가정한다.

이때 流入한 物質의 平均濃度를 C_0 , 混合容積內에서 均一하게 섞인뒤에 되돌아 나가는 海水의 平均濃度를 C_1 이라고 하면,

$$q = C_0 Q \quad (3)$$

$$\Delta q = C_0 Q - C_1 Q \quad (4)$$

이다. 가정에서 $C_0 Q = C_1 V_0$ 이므로.

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{C_0 Q - C_1 Q}{C_0 Q} \\ &= 1 - \frac{Q}{V_0} \\ &= \frac{V_0 - Q}{V_0} \end{aligned} \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 斷面通過流量 Q 는 森北(1966)의 式을 利用하여 計算하였다.

순간 流量 Q_t 는,

$$Q_t = B \{ 0.174(q_{0.07} + q_{0.93}) + 0.326(q_{0.33} + q_{0.67}) \} \quad (6)$$

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 거리比

半潮汐週期間의 流量 Q 는,

$$Q = \int_0^{T/2} Q_t dt \quad (7)$$

이다. 또한 混合容積 V_0 는 灣口斷面에서 最強流時로부터 轉流時까지 測流板을 追跡하여 그 流動範圍의 容積(觀測容積) V_0' 를 求한 뒤, 아래와 같이 計算하였다.

$$\begin{aligned} V_0 &= a V_0' \\ &= \frac{Q}{Q'} V_0' \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 a 는 流量比이며, Q' 는 觀測期間內의 通過流量이다.

結果 및 考察

1. 海水 流動

5月 25일부터 6月 5일까지 日暮과 日拂의 最強流時로부터 轉流時까지 A~F의 6個斷面에서 實施한 測流板追跡結果는 Fig. 2와 같다. 日暮 때 北쪽 斷面A(麗水港쪽)의 最強流速은 約 3노트로 流入하며, 南쪽 斷面E(군내리와 백도)에서 1노트 정도로 北流하는 主流 西쪽이 東쪽보다 빠른 흐름을 보이고 內灣 깊숙히 流入해 간다. 이때 流速은 灣의 北東쪽으로 갈수록 減少하는 傾向을 보이며, 小鏡도와 大鏡도 부근에서는 각기 다른 方向에서 流入한 海水가 서로 만나 매우 복잡한 渦流를 形成한다. 군내리 부근에서는 逆流가 나타나는데 이것은 局地的右旋過動現象에 起因되는 것 같다. 日拂때는 다시 各各 流入한

灣口로 되돌아 가는 傾向을 보이며, 小鏡도와 大鏡도 부근에서는 계속 渦流가 나타난다. 이러한 渦流는 灣의 海岸 및 海底地形과 關聯이 있는 것으로 생각된다.

2. 海水 交流量

斷面A 및 E에서의 潮流調和分解資料(金, 1968) 및 麗水海灣 潮流豫報值(潮汐表)로부터 推算한 觀測日의 潮流曲線과 麗水檢潮所에서 實測한 潮汐曲線은 Fig. 3과 같다. 또 斷面E에서 6月 3日 日暮과 日拂의 最強流時로부터 轉流時까지 測流한 結果는 Fig. 4와 같다. 여기서 6月 3日 斷面E의 潮流推算值와 各觀測點의 鉛直平均流速實測值를 比較한 結果(Fig. 5), 兩者는 거의 一致하였다. 그러므로 觀測이 이뤄지지 않은 部分은 이들을 比較하여 Fig. 5와 같이 斷面直角平均流速을 推定한 뒤 斷面E의 通過流量 Q_E 를 求하였다.

斷面A의 通過流量 Q_A 는, 式(9)로 計算하였다.

$$Q_A = \Delta H \cdot \Sigma - Q_E \quad (9)$$

但, ΔH : 潮差, Σ : 灣의 面積
이 結果는 Table 2와 같다.

6月 3日 午後의 流量은 潮差比를 利用하여 推定한 것이다. 두 個의 灣口를 通해 灣內로 流入하는 全體海水量은 鵝莫灣의 平均海水容積($7.1 \times 10^6 m^3$)에 對하여 46%(潮差 290cm), 全體流出量은 52%(潮差 326cm)나 된다.

이 差는 主로 日潮不等에 起因하는 것으로서 潮差를 同一하게 取할 경우에는 거의 같아질 것이다. 灣口別로 살펴보면 斷面積이 20배나 큰 斷面E가 日拂때에 全交流量의 86.7%, 日暮때 86.8%였고, 斷面A는 日拂때 13.3%, 日暮때 13.2%로서, 灣內의 海水交流는 主로 斷面E를 通하여 이루어지고 있다. 또한 兩斷面의 流入量과 流出量을 比較하면 斷面E는 流入量이 約 0.1% 닮은 데 比하여 斷面A는 이와 反對로 流出量이 닮다.

따라서 斷面E로 부터 斷面A 方向으로 흐르는 恒流가 存在함을 알 수 있다. 斷面A에 直角 方向으로 流出하는 斷面平均恒流速 v 는 斷面積

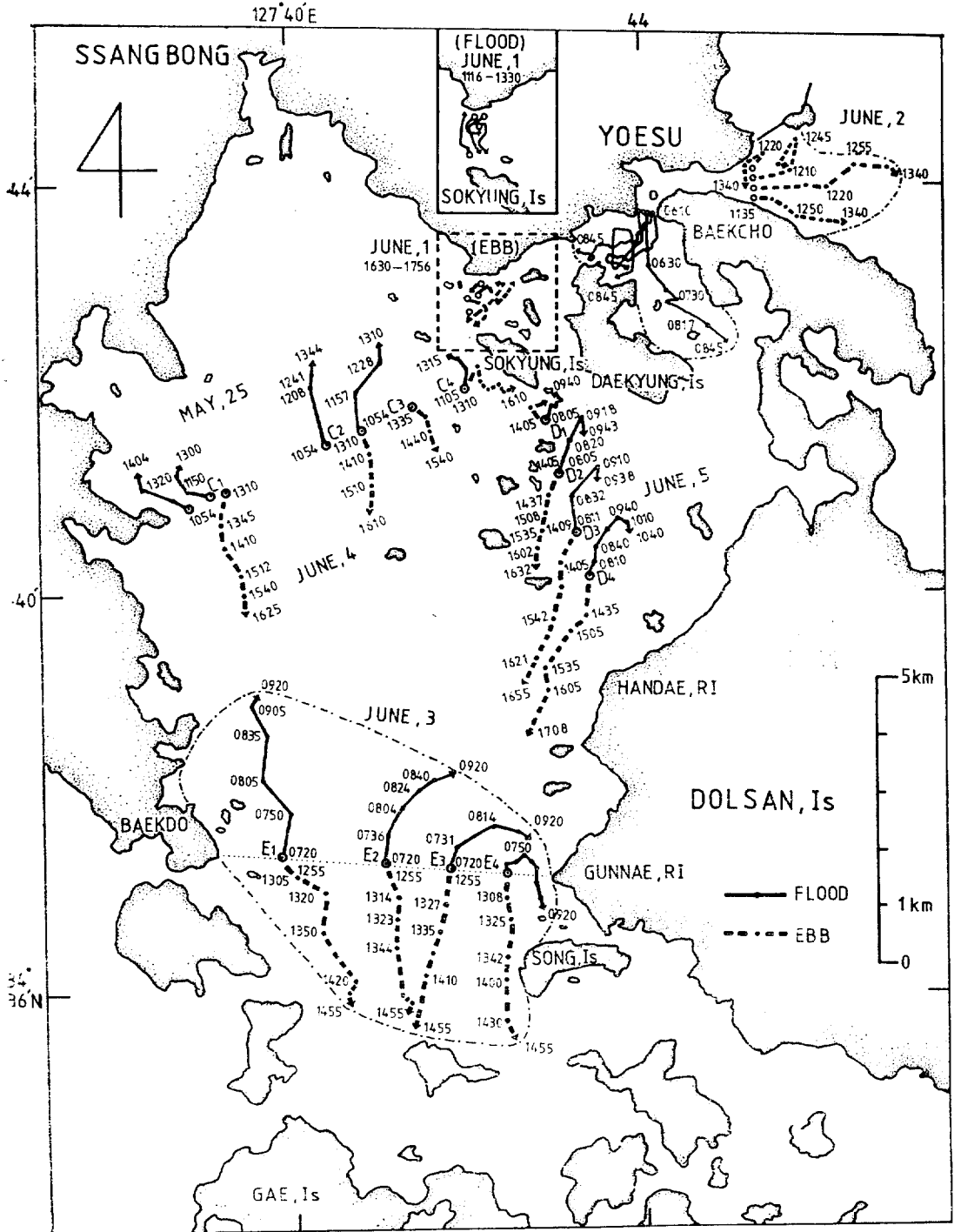


Fig. 2. Results of drogue experiments from May 25 through June 5, 1981. Solid lines denote tracks of drogues drifted during flood flow, while dotted lines denote those during ebb flow. Thin dotted lines denote tidal mixing area deduced from drogue experiments carried out at both channels in Gamag Bay.

$A=2,860\text{m}^2$ 와 1潮汐週期 동안의 流入, 流出量의 差 $\Delta Q=32.54 \times 10^6\text{m}^3$ 및 潮汐週期 T 로 부터

$$v = \frac{\Delta Q}{AT} = 0.25\text{cm/sec}$$

이다. 이 값은 斷面A 부근에서의 恒流 0.12 노트(수로국 해양과, 1977)에 비해 적으나 容量이 적은 本水域에서는 淸송류, 조석간차류, 淡水流入等の 영향이 있어서 季節에 따라 變할 것으로 생각된다.

3. 海水交換特性

測流板의 移動範圍와 斷面通過流量으로 부터 推定한 海水交換率 및 交換量은 Table 3과 같다. 여기서 斷面A의 混合容積은 편의상 潮差比를 써서 斷面B의 觀測容積(Fig. 2)을 6月3日의 값으로 補正한 뒤, 流量比 a 를 곱하여 求하였다. 海水交換率은 斷面E가 썰물때 0.41로서 漲물때의 0.22에 比하여 훨씬 크게 나타났으나, 斷面A에서는 이와 反對로 漲물때 0.43으로서 썰물때의 0.37보다 큰 편이다.

이것은 兩水域의 海水混合過程이 다른을 나타낸다.

物質輸送에 寄與한다고 생각되는 灣全體의 海

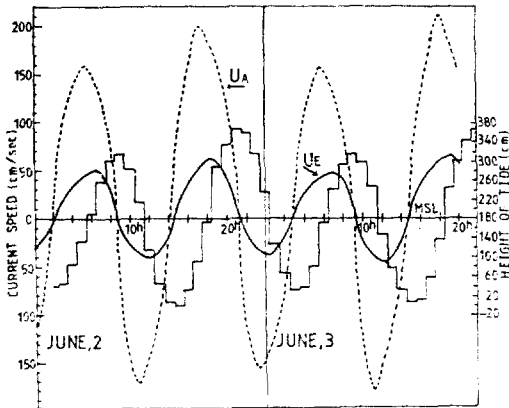


Fig. 3. Tidal heights referred to the mean sea level at Yeosu and the deduced tidal current speed at the cross sections A and E on June 2~3, 1981. Dotted line U_A denotes tidal current speed at the narrow section A, while solid line U_E that at the wide section E.

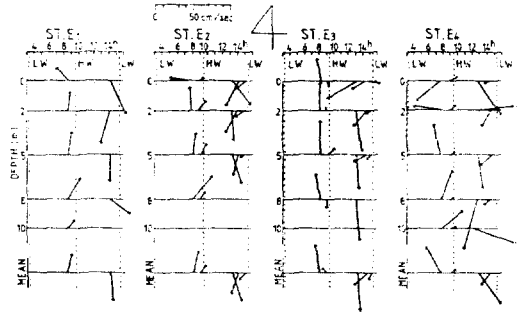


Fig. 4. Current vectors at section E in Gamag Bay. Moon's age was 1 and Moon's dec. was $N 20^{\circ}25'.5$.

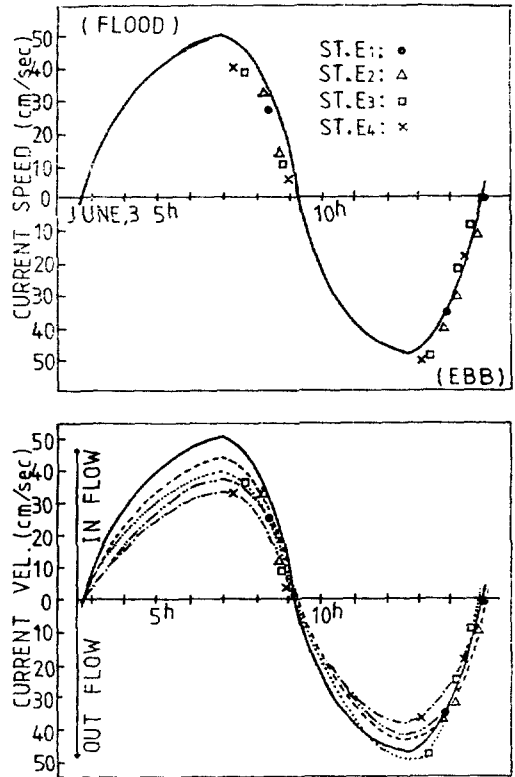


Fig. 5. Comparison of the predicted flow speed (solid line) and the observed tidal current (dotted line) at cross section E on June 3, 1981. Upper figure denotes vertically-averaged current velocity, while the lower one the component of the velocity normal to the cross section E.

Table 2. Volume of tidal transport and tidal range at two cross sections in Gamag Bay on June 3, 1981

Cross section	Width (m)	Area of cross section ($\times 10^3 \text{m}^2$)	tidal	Volume of transport		Mean speed of tidal current (cm/sec)	Tidal range (cm)
				($\times 10^6 \text{m}^3$)	%		
E	5,820	56.47	flood(A.M.)	2.826	86.8	22	290
			ebb	3.173	86.7	28	326
			flood(P.M.)	3.800	86.8		390
A	370	2.86	flood(A.M.)	0.428	13.2	65	290
			ebb	0.485	13.3	84	326
			flood(P.M.)	0.580	13.2		390
Total			flood(P.M.)	3.254	100.0		290
			ebb	3.658	100.0		326
			flood(P.M.)	4.380	100.0		390

水交換량은 썰물때에全體의海水交流量의 41%, 밀물때에 26%였다.

그 중 斷面 E는 灣全體交換量中 88%(썰물때)와 77%(밀물때)를 차지하여, 上記海域의 物質輸送과 分布에 큰 영향을 미친다고 생각된다. 이것은 2개의 灣口를 통해 灣內로 流入·流出하는 海水가 소경도와 대경도에서 만나는 것으로 보아(Fig. 2) 斷面 E를 通過하는 海水交流量 및 交換량이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 즉 灣口가 좁은 곳은 流速이 빠르기는 하나 斷面積이 작으므로 海水交換·交流量은 斷面積이 큰 灣口에 비해 적다. 그러나 單位斷面積當交換量 즉

交換能率을 比較하면, 斷面積 E는 斷面積 A에 比하여 20배나 큰 規模이면서도 交換能率은 斷面 A가 斷面 E보다 밀물때에 5.8배, 썰물때에는 2.7배나 크게 나타났다. 이것은 灣內의 物質分散에 큰 效果를 나타내게 될 것으로 생각된다.

4. 水平擴散係數

一般的으로 潮流에 依한 海水의 混合은 潮汐 scale의 渦動擴散效果로 생각된다. 潮流의 平均流速을 \bar{v} , 最大移動距離를 L 이라 할때, 水平擴散係數 K 는(川村, 1975),

Table 3. Estimated volume of tidal transport and tidal exchange of sea water during a semi-tidal period in Gamag Bay on June 3, 1981

Cross section		V_0 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	Q ($\times 10^6 \text{m}^3$)	r	Q_r		Q_r/A ($\times 10^6 \text{m}^3$)
					volume ($\times 10^6 \text{m}^3$)	%	
E	flood	4.065	3.173	0.22	0.622	77.2	1.1
	ebb	6.448	3.800	0.41	1.301	87.9	2.3
A	flood	0.850	0.485	0.43	0.184	22.8	6.4
	ebb	0.914	0.580	0.37	0.179	12.1	6.3
Total	flood	4.915	3.658	0.26	0.806	100.0	1.4
	ebb	7.362	4.380	0.41	1.480	100.0	2.5

V_0 : Volume of tidal mixing area
 Q : Volume of tidal transport
 r : Rate of tidal exchange

Q_r : Volume of tidal exchange
 Q_r/A : Volume of tidal exchange per unit cross section area

Table 4. Estimated value of horizontal diffusion coefficient in Gamag Bay on June 3, 1981

Cross section	Tidal period	K ($\times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$)
E	flood	0.12
	ebb	0.28
A	flood	2.08
	ebb	2.30

$$K = \frac{1}{2} \gamma \bar{u} L \quad (10)$$

이다. 이것은 斷面積을 A , 交流량을 Q , 半潮汐週期를 T 라 하면,

$$K = \gamma Q^2 / 2A^2 T \quad (11)$$

로 나타내어진다(中田·平野, 1976). 式 (11)에 의하여 斷面 A 및 E의 水平擴散係數를 求한 것이 Table 4인데 斷面 A는 $2.08 \sim 2.30 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$ 로서 斷面 E의 $1.2 \sim 2.8 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$ 에 비해 한 order 크게 나타났다.

이것은 斷面 E를 통한 交換能率이 斷面 A보다 約 2.7~5.8倍 크게 나타난 事實과 아주 좋은 대응관계를 보인다. 한편 斷面 A 및 E의 擴散係數값은 큰 差를 보였는데 이것은 交換量의 大小에 따라 左右되는 것이 아니라 斷面 A 부근의 복잡한 海岸, 海底地形, 빠른 流速과 그 shear等 여러가지 要因에 따라 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 灣口를 통한 海水의 交換特性을 명백히 하기 爲해서는 交換率 및 交換量 뿐만 아니라 交換能率도 함께 고려하는 것이 좋다고 생각된다.

以上에서 駕莫灣의 兩灣口를 통한 海水交流 및 交換量이 서로 다르다는 것을 알 수 있었으나, 이 海域은 容量이 적으므로 季節的變動이 클 것으로 보아진다. 따라서 今後 海水流動의 季節的變動에 對하여 詳細하게 검토할 必要가 있다고 생각된다.

要 約

2個의 灣口를 갖는 駕莫灣에서 1981年 5月 25日부터 6月 5日까지 實施한 測流板追跡 및 測流

資料를 使用하여 兩灣口別 海水交流 및 交換量을 검토했었다.

駕莫灣의 容積 $7.1 \times 10^8 \text{m}^3$ 에 對하여 灣內로 流入하는 量은 46%(潮差 290cm)였다. 斷面積이 20倍나 큰 灣口の 海水交流量은 約 87%로서 大部分을 차지하며, 恒流成分은 큰 灣口로부터 작은 灣口쪽으로 流出量은 $3.254 \times 10^5 \text{m}^3$ 였다.

灣의 海水交換量은 밀물때 全交流量의 26%, 썰물때 41%였다. 큰 灣口の 交換量은 全交換量의 77~88%로서 灣의 物質輸送과 分布를 거의 支配하는 것으로 보아진다.

水平擴散係數는 작은 灣口에서 $2.08 \sim 2.30 \times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec}$, 큰 灣口에서는 $1.2 \sim 2.8 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$ 였다.

灣口の 海水交換特性을 알기 爲해서는 交換率 및 交換量뿐만 아니라 交換能率도 함께 고려하는 것이 좋다고 생각된다.

參考文獻

- 柏井誠, 1977. 潮汐による海水交換について, その 1; 海水交換の概念と海水交換率. 日本海洋學會春季大會講演要旨集, 96~97.
- 川村雅彦, 清水浩轉, 小山治行, 中嶋秀夫, 前川力, 1975. 豊後水道の海況と擴散係數, 海と空 50: 43~58.
- 金三文, 1968. 수로기술연보, 157~180.
- 森北常雄, 1966. 水工學便覽, 221~222. 森北出版社, 東京.
- Myers John et al., 1969. Hand Book of Ocean & Under-water 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. Norris and A.W. Nelson, 1972. Tidal exchange at Golden Gate. Proc. ASCE 98: SA2 305~323.
- 水路局 海洋課, 1977. 1977년도 여수항일대 조류관측 결과, 수로기술연보, 91~122.
- 宇野木早苗, 岸野元彰, 1977. 第24回 海岸工學講演會論文集, 486~490.
- 宇野木早苗, 1978. 內灣における海水の交換, 海洋科學 10(10): 821~830.
- 宇野木早苗, 1980. 海水交換とその素過程について, 沿岸海洋研究 Note 17(2): 89~98.