

巨濟灣의 海水交換

金 鍾 華·張 善 德*

釜山水產大學 實習船·*海洋工學科
(1984년 11월 30일 수리)

Tidal Exchange of Sea Water in Kōje Bay

Jong Hwa KIM and Sun-Duck CHANG*

Training Ship and *Department of Ocean Engineering, National Fisheries
University of Pusan, 608, Korea.
(Received November 30, 1984)

The sea water exchange of Kōje Bay in the southeastern part of the Korean Peninsula was estimated on the basis of current measurements and oceanographic observation. The exchange ratio was estimated by salinity differences and tidal prism method. The range of exchange ratio at the central part at the entrance of the bay is estimated to be around 26% at spring tide and 5 to 15% at neap tide. The magnitude of exchange ratio, however, can be changed due to water exchange, hydrometeorological and geomorphological conditions. The flushing time deduced by tidal prism was about 48 hours at spring tide and 81 hours at neap tide. Tidal induced eddy motion may play an important role on the seawater exchange in the bay.

緒 論

巨濟島의 南西部에 位置하고, 閑山島와 봉암도에 의해 둘러싸인 巨濟灣은 南北의 길이 7.8 km, 最大幅 5.9 km이며, 平均水深 約 8 m, 表面積 22.1 km² 인 淺海의 小灣이다. 또한, 灣의 入口에는 서좌도, 송도 및 작은 섬들이 散在하고 狹水道에 接하여 地形이 복잡한 閉鎖性 灣이다(Fig. 1).

이 海域은 淸淨海域으로 貝類生産地이나 층무항과 진해만 서부해역(견내량수도)에 接하여 汚染物質等이 灣內로 流出入되고, 巨濟灣에 接한 周邊沿岸의 人口增加 및 工業化로 인한 廢水流入과 灣內의 굴養殖 등으로 水質惡化가 날로 심각하리라 豫想된다. 따라서, 狹水道에 接한 巨濟灣入口에서의 海水交換率을 파악하고, 交換을 촉진할 수 있는 대책을 確立할 必要가 있다.

閑山·巨濟灣의 굴養殖場 환경조사로서는 조 등(1977), 柳 등(1980)과 忠武海域의 海水流動에 關하여 金 등(1982)이 있으며, 鎮海灣의 海水流動 및

海水交換에 대해서는 張 등(1984)과 鎮海灣의 海水交換에 대해서는 金(1984)의 報告가 있다.

本 研究에서는 灣內의 物質收支와 굴養殖場管理를 위한 海洋環境改善 및 海洋工學의 기초자료를 마련코저, 巨濟灣의 海水交換과 그 機構에 關한 特性을 밝히고자 한다.

資料 및 方法

1. 觀測方法

巨濟灣의 斷面流動構造와 海水交換程度를 파악코저 1984年 8月 20日(月令 22.6日:小潮期)과 8月 27~28日(月令 0.3~1.3:大潮期) 두 차례에 걸쳐 灣口斷面에서 TS-V2型 流向流速計에 의한 連續測流, 水溫觀測 및 鹽分을 採水하였다. 測流는 灣口 3個定點(St. A, B 및 C)에서 表層으로부터 底層까지 1 m 간격으로 每 時間別 大潮期 25時間, 小潮期 13時間 동안 測定하였으며, 水溫과 鹽分은 上(0 m)·中(5 m)

下層(10 m)에서 測定 및 採水하였다. 또, 外海水의 濃도를 알기 위하여 枋安도 南端海域의 3點(St. O1, O2 및 O3)을 擇하여 上·中·下層에서 鹽分을 採水하여 分析하였다(Fig. 1).

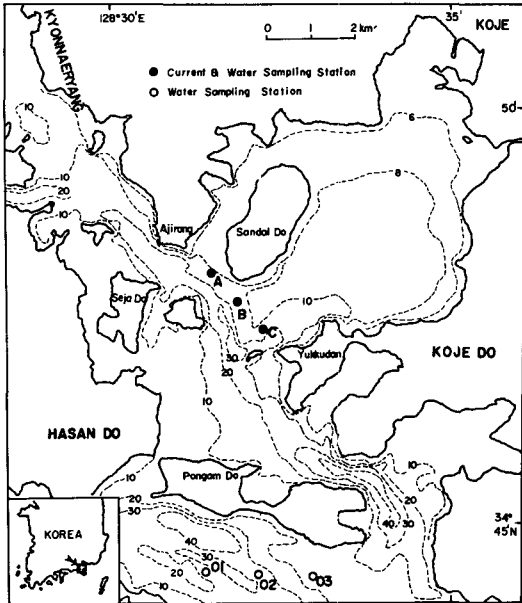


Fig. 1. Bathymetry and oceanographic stations in Kōje Bay.

灣口定點의 수심은 測流와 併行하여 每 時間別로 鉛測深儀에 의해 測定하였다. 그 이외에 1975年과 1976年의 水振院 水溫·鹽分資料와 1984年 8月의 忠武港 實測潮位 및 氣象資料를 併用하였다.

2. 海水交換率

海水交換率의 算定은, 潮流가 強한 경우, 灣口斷面에서 Euler的인 連續觀測에 의해서 求할 수 있다. Parker et al(1972)은 灣口斷面에서 流出時와 流入時의 流量 및 鹽分分布를 알므로써 海水交換率을 求하였다. 즉, 流出時에 灣外로 나간 水塊가 다음 流入時에 外海水와 어느程度 交換해서 灣內로 流入되는 가를 求한 것으로서, 海水交換率(r_0)

$$r_0 = \frac{C_F - C_E}{C_0 - C_E} \quad (1)$$

여기서, C_F 는 流入水塊의 平均濃度, C_E 는 流出水塊의 平均濃度, C_0 는 外海水의 濃度이다.

海水交換이 主로 潮汐運動에 의한 混合과 分散으로 일어나거나, 하나의 灣口를 가진 小灣인 경우, "Tidal Prism"方法을 利用하여 海水交換率을 求하는 것이 좋다(Bowden, 1967). tidal prism은 潮汐의 半週期間에 水道 혹은 灣口를 出入하는 總水量이며 海

水交換·交換의 側面에서 重要な 量이다. 感潮狹水路에서의 tidal prism (P)은 近藤(1979)에 의하면

$$P = - \int_{t''}^{t'+T/2} Q dt = - \int_{t''}^{t'+T/2} \bar{u} A dt = UA \int_{t''}^{t'+T/2} \sin(\sigma t - r) dt$$

$$= Q_{max} \int_{t''}^{t'+T/2} \sin(\sigma t - r) dt = \frac{Q_{max} T}{\pi} = 2AbS \quad (2)$$

但, $Q_{max} = AU$, $t' = r/\sigma$, $\sigma = \frac{2\pi}{T}$, A 는 灣口의 斷面積, \bar{u} 는 灣口斷面의 平均流速, Ab 는 灣內潮位振幅, S 는 灣의 表面積, U 는 最大流速이다. 式(2)의 마지막 項은 灣內의 水位가 一定하게 오르내린다는 前提로서 얻어진다. 만약, V 를 底潮때의 灣內容積, P 를 漲潮때에 들어온 물의 容積(tidal prism)이라 하면 海水交換率(r_p)

$$r_p = P/(V+P) \quad (3)$$

따라서, 조석주기동안의 灣內潛留時間(t_p)는 式(3)의 역으로서,

$$t_p = (V+P)/P \quad (4)$$

가 된다.

結果 및 考察

1. 斷面流動構造

Fig. 2는 觀測期間동안 各 定點別 上層(1m)과 下層(10 m)의 流速測定結果이다. 이 그림에서 流速값(+)는 灣內로 流入하는 流速의 크기이며, (-)는 灣外로 流出하는 流速의 크기를 나타내었고, 最大流速은 大潮期 2.1 m/sec, 小潮期 0.5 m/sec이다. 大潮期는 灣內外로 流出入하는 流速의 變化가 小潮期에 비해 매우 크고, 灣內流入보다 流出되는 流速의 持續時間이 우세하므로써 流出量이 많음을 알 수 있다. 특히, 灣口斷面에서 볼 때, 아지랑側(St. A)은 流出入이 거의 週期的으로 變하는 傾向을 보였으나 육구단側(St. C)은 灣外로 流出하는 流速이 長時間 지속되었다. 이와같이 斷面에서 流入流와 流出流가 서로 다른 것은 強한 潮流로 인하여 灣口周邊의 속도, 산달도 및 육구단 等의 地形의 影響으로 생각된다. 또, 灣外로 流出流速이 우세한 原因은 灣內에 流入된 淡水量으로 생각된다. 小潮期는 流速이 현저히 적고 흐름의 週期的인 變化가 뚜렷하지 않다. 水深이 깊고 外海側에 가까운 육구단側을 通하여 上層에서 流出하고 下層에서 流入됨을 認볼 수 있다. 이것은 大潮期와 다른 現象으로서 流速이 매우 弱함으로 일어난 것으로 推測된다.

巨濟灣의 海水交換

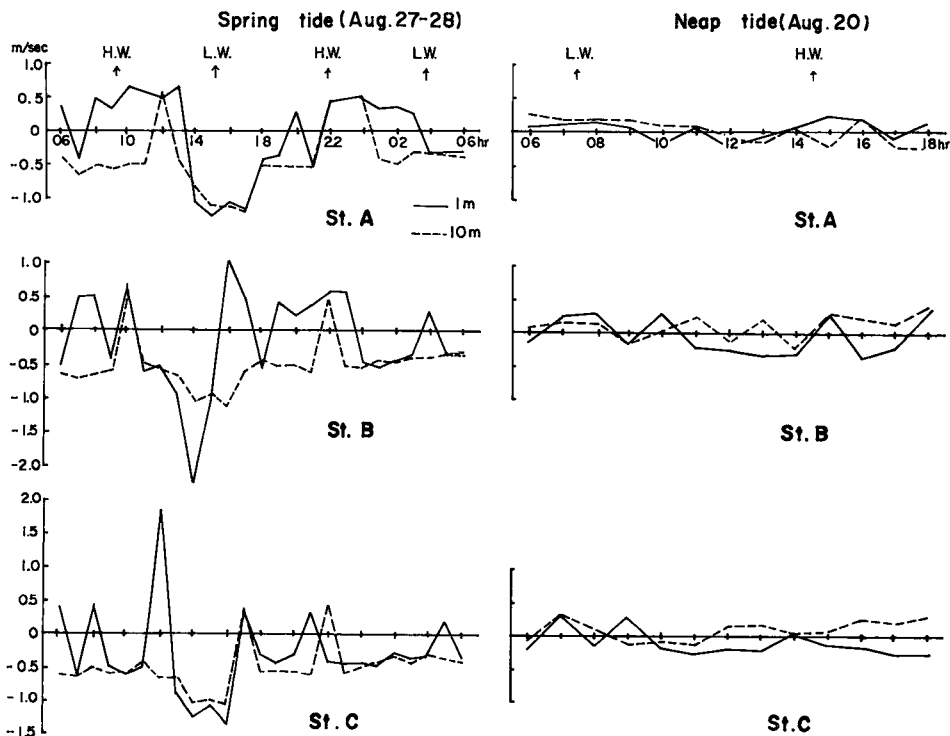


Fig. 2. Time changes in current velocity at the mouth of Kōje Bay.

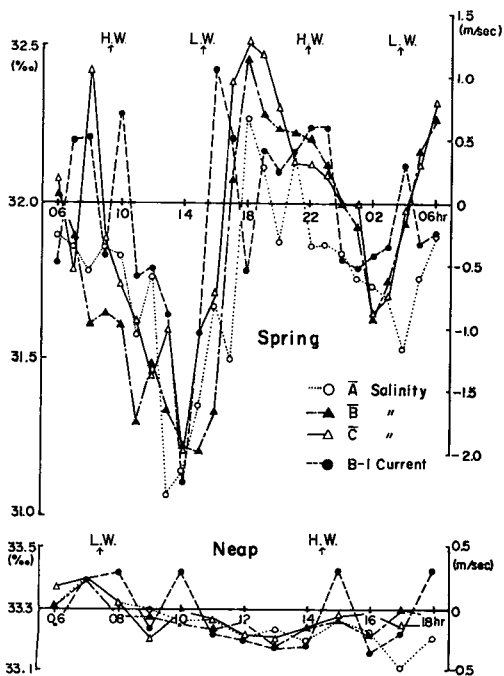


Fig. 3. Time changes in mean salinity and current velocity at the mouth of Kōje Bay.

Fig. 3 은 大小潮期의 各 定點別 平均鹽分의 時間變化와 中央點(St. B) 上層의 流速變化를 함께 나타내었다. 이 그림에서 大潮期의 鹽分은 漲潮時와 거의 同時에 變化되나, 약간의 위상차를 가지고 變한다. 그러나, 灣의 中央點에서는 漲潮時에 鹽分濃度가 하강하는 경향도 있다. 鹽分의 最大差는 約 1.4%이고 범위는 31.1~32.5% 程度이다. 小潮期의 鹽分은 變化幅이 적고 流速과의 變化도 뚜렷하지 않다. 鹽分의 最大差는 約 0.3%이며, 범위는 33.1~33.4% 이다. 小潮期보다 大潮期에 鹽分差가 훨씬 큰 것은 降水量의 灣內流入과 灣口를 통한 外海水의 流出入이 많은 때문이다. 小潮期는, 鹽分差가 적고 大潮期보다 鹽分값이 높게 나타났다. 이것은 外海水의 流出入이 적고, 갈수기동안 觀測되었기 때문으로 생각된다.

2. 海水交換率

Fig. 2와 3에 나타난 流速分布 및 鹽分濃度로부터 灣口斷面 各 點의 流出水塊의 平均濃度, 流入水塊의 平均濃度를 구하고 式(1)에 代入하여 交換率을 求하면 Table 1과 같다. 大潮期의 交換率은 12.7~

Table 1. Seawater exchange ratio by Parker's method

Tide	Station	$C_F(\%)$	$C_E(\%)$	$C_0(\%)$	$r_0(\%)$
Spring (Aug. 27~28)	A	31.834	31.654	33.07	12.7
	B	31.828	31.378		26.6
	C	32.123	31.817		24.4
Neap (Aug. 20)	A	33.246	33.231	33.70	3.2
	B	33.261	33.239		4.8
	C	33.273	33.271		0.5

C_F , mean concentration at flood flow; C_E , mean concentration at ebb flow; C_0 , concentration of open sea water; r_0 , exchange ratio

Table 2. Seawater exchange ratio by tidal prism method at the central part (St. B) of the bay mouth

Tide	$V(\times 10^6 m^3)$		$P(\times 10^6 m^3)$	$r_p(\%)$	t (h)	Tidal range (m)
	H. W.	L. W.				
Spring	298.4	221.0	77.4	25.9	48	3.5
Neap	287.3	243.1	42.2	15.4	81	2.0

V, bay volume; P, tidal prism volume; r_p , exchange ratio by tidal prism method; t, flushing time

26.6%로 나타났다. 여기서, 灣의 中央部(26.6%)와 육구단側(24.4%)이 아지랑側(12.7%)보다 約 2 倍程度 큰 값을 나타낸 것은, 狹水道와 灣入口의 地形에 의하여 灣口 各 定點의 流出入量이 서로 다르기 때문이다. 또한, 灣口 中央部와 육구단側이 降水量의 主된 流出口이므로 海水交換이 더욱 活潑해진 것으로 推測된다. 小潮期는 大潮期보다 훨씬 交換率이 적어서 灣口 全體가 모두 5% 미만의 적은 값을 보였다. 이것은 流速의 크기가 大潮期보다 현저히 작음으로 海水의 流出入量이 적고, 漲潮流와 落潮流의 鹽分差가 거의 없기 때문에 海水交換이 거의 일어나지 않은 것으로 생각된다.

灣口 中央部の 潮位를 測定하여 式(2)에 의해 tidal prism을 求한 후 式(3)에 代入하여 交換率을 求하면 Table 2와 같다. 大潮期의 交換率(r_p)은 25.9%로서, 灣口의 濃度差에 의한 交換率(r_0) 26.6%와 거의 같다. 그러나, 小潮期는 15.4%로서, 灣口의 濃度差에 의한 交換率 4.8%와는 크게 다르다. 이것은 海水交換의 概念差와 水文氣象으로 인한 海洋要素의 變化 및 周邊地形으로 인하여 海水交換機構가 다르기 때문일 것이다.

1) 大潮期의 交換率

大潮期의 灣 中央部는 濃度를 追跡物로 한 交換率이 tidal prism에 의한 값과 거의 비슷하였다. 이들 값은, 觀測 2 日前부터 觀測當日 午前까지 내린 46 mm

의 降雨로 인하여 灣內 淡水流入量이 增加하였으므로, 小潮期의 鹽分값보다 현저히 낮을뿐만 아니라 強한 潮汐流에 의해 落·漲潮流의 鹽分差가 커졌고 또 tidal prism量도 增加하였다.

Fig. 4는 윗쪽이 巨濟灣口의 觀測潮位와 忠武港 檢潮所의 實測潮位를 나타내었고, 아랫쪽은 8月 1~31일까지의 忠武港 潮位偏差와 氣壓과의 關係를 나타내었다. 大潮期의 巨濟灣 觀測潮位를 보면, 8月 27日 07時에는 忠武港 潮位와 差異가 커서 約 1 m 정도의 조위상승이 있었고, 그 이후의 時刻에는 거의 같은 變化를 보였다. 따라서, 첫번째 半潮汐週期間의 潮差는 約 4 m이므로 tidal prism은 $88.4 \times 10^6 m^3$ 이고, 交換率은 28.6%였다. 두번째 半潮汐週期間의 潮差는 約 3 m이므로 tidal prism은 $66.3 \times 10^6 m^3$ 이고, 交換率은 23.1%였다. 이들의 平均潮差 3.5 m를 적용하면 交換率은 25.9%가 된다. 그러므로, 大潮期의 交換率은 降水量의 影響을 받아서 乾期의 交換率보다 다소 큰 값을 보였다고 생각된다.

2) 小潮期의 交換率

小潮期의 交換率이 큰 差를 보인 것은 小潮期 觀測期間이 乾期에 該當하여 鹽分값이 높았고, 小潮期의 流速이 大潮期보다 현저히 작고 海水의 流出入이 적었기 때문에 濃度差에 의한 交換率은 아주 적은 값을 보였다. 그러나, tidal prism에 의한 交換率은 流速과 濃度の 差에 影響을 받지않고, 氣壓變化에

巨濟灣의 海水交換

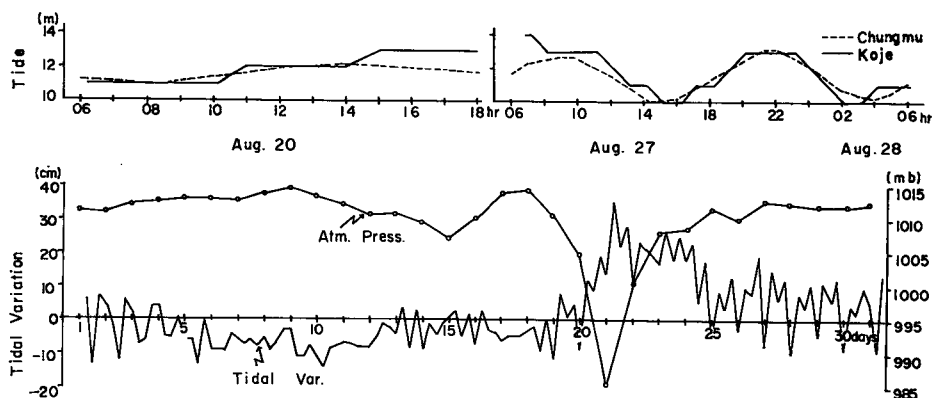


Fig. 4. Tidal level in Kōje Bay & Chungmu Port (upper), and changes in atmosphere pressure & tidal variation at Chungmu Port during August 1~31, 1984 (lower).

의한 潮位偏差에 크게 영향을 받는다.

Fig. 4를 보면, 忠武港의 潮位偏差값은 氣壓이 1010 mb 정도일 때 거의 +10~-10 cm로變動하였으나, 觀測當日인 8月 20日 午後부터 氣壓이 急降下하여 21日은 最高 985.4 mb로 떨어졌다. 이때의 潮位偏差값은 平均 +20 cm 정도이고 最高 +35 cm를 기록하였다. 이것은 中心氣壓 970 mb의 태풍 Holly (8410)號가 남해안지방을 경유 中이었으므로 定常狀態보다 水位가 상승하였음을 알 수 있다. 즉, 8月 20日 巨濟灣口와 忠武港의 潮位를 比較하면, 20日 14時까지는 거의 비슷하였으나 15時以後에는 巨濟灣口의 水位가 約 1 m 정도 더 높게 나타났다. 이것은 同一氣壓이 通過하더라도 灣口의 方向과 周邊地形으로 인한 流動구조가 서로 다르기 때문일 것이다. 따라서, 潮差가 2 m인 경우는 交換率이 15.4%이고, 底氣壓의 影響이 없는 경우라면 조석예보치의 潮差는 약 1 m가 되어 交換率은 8.3%일 것이다.

3. 滯留時間(Flushing time)

沿岸으로부터 流入物 質의 灣內 滯留時間은 어느 時間을 基準하여 灣內의 水塊가 完全하게 바뀌는데 걸리는 時間을 意味한다. 이것은 水質汚濁豫測에 重要한 基準이 된다.

巨濟灣은 灣口가 하나이고 小灣이므로 灣內의 海水가 各 潮汐週期마다 잘 混合된다고 할 경우, Table 2의 tidal prism으로부터 滯留時間을 求하면 大潮期 48時間(約 2日), 小潮期 81時間(約 3.4日)이 된다. 그러나, 한 潮汐週期間에 灣內는 完全한 混合이 이뤄지지 않기 때문에 最小限의 값으로 나타나는 경우가 많

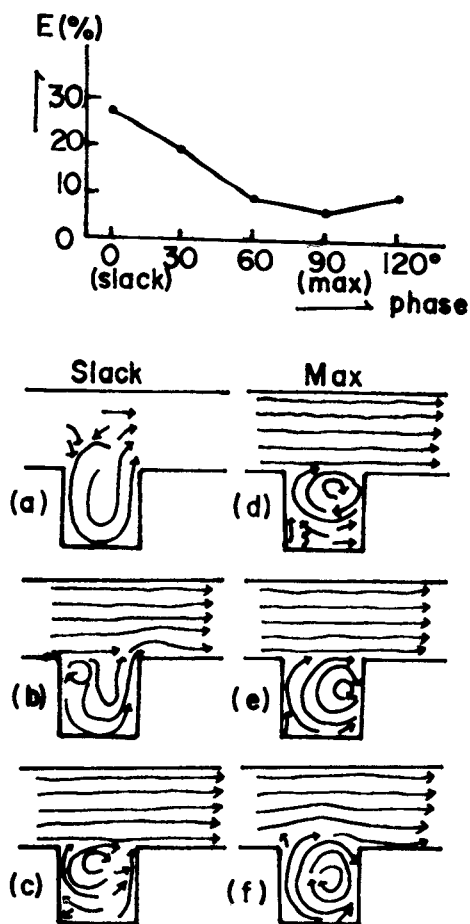


Fig. 5. Changes in exchange ratio(upper) and eddy motion of model bay(lower) adjacent to a narrow channel.

다. 한편, box model로 하여 淡水流入量을 追跡物로 한 滯留時間은 tidal prism方法으로 推定한 것보다 10 倍정도 큰 값을 나타내는 경우가 있다(Bowden, 1967). Bowden의 말을 引用하여 淡水流入量을 追跡物로 할 경우, 巨濟灣은 大潮期 20日, 小潮期 34日 정도로 나타날 것이다. 그러나, 灣의 크기와 混合程度에 의해 그 變化幅이 다를 것이다.

4. 海水交換에 미치는 地形性 渦流

Fig. 1에서의 같이 巨濟灣에 接한 水道는 南東과 北西로 通하여 形成되어 있고 潮流에 의해 흐름이 往復하는 곳이다. 또한, 外海와 接한 水道南端에는 枋安도를 사이에 두고 2個의 狹水道를 通해 外海水와 流出入된다. 이와 같이 巨濟灣은 潮流에 의해 強한 흐름이 왕복하는 水道에 接하여 있으므로 地形性 渦流가 일어날 것으로 생각된다. 또, 渦流가 일어날 다고 한다(水振院, 1978).

武岡·樋口(1982)와 武岡(1984)의 Model實驗에 의하면, 振動流가 흐르고 狹水道에 接한 小灣은 主流部인 狹水道의 流速이 弱한 轉流時에 海水交換이 活

潑하며, 最強流時에는 trap 現象으로 灣內水와의 流出入이 적기 때문에 交換이 아주 적게 일어난 것으로 報告하였다(Fig. 5).

Model實驗과 同一한 現象을 觀測에 의하여 확인하는 것은 쉽지 않다. 또 單時間內에 擴範圍하게 염료를 投入하는 것은 거의 不可能하다. 現場의 觀測으로 容易한 것은 流動現象, 水溫 및 鹽分등의 水平分布를 通하여 渦流現象을 파악함이 좋을 것이다.

Fig. 6과 7은 水振院이 1975年 8月 16日(雨期)과 1976年 8月 15日(乾期)에 觀測한 鹽分과 水溫의 水平分布를 나타내었다. 乾期는 高潮의 轉流時, 雨期는 底潮의 轉流時에 觀測된 것이다(水振院, 1976 및 1977).

Fig. 6은 鹽分分布이다. 乾期는 高鹽의 外海水가 枋安도의 兩水道를 通해서 巨濟灣의 육子단側으로 流入됨을 알 수 있다. 雨期의 0m層은 水道南端으로부터 31.0‰ 以上の 鹽分이 灣內 깊숙히 流入되고, 灣의 北端과 西쪽은 30.2~30.8‰ 정도의 比較的 낮은 鹽分分布를 나타냄으로써, 西쪽으로 偏向되는 흐름이 乾期보다 더 뚜렷하게 나타났다. 雨期의 5m層은 灣의 안쪽이 高鹽으로 形成되어 있고, 灣入口와

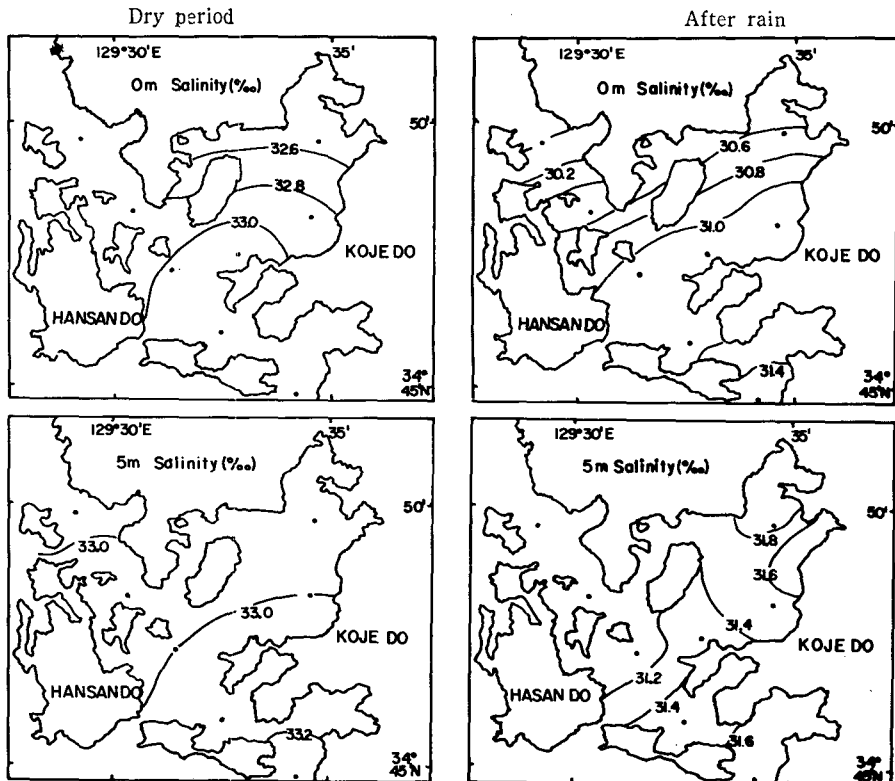


Fig. 6. Salinity distributions in tidal slack on August 16, 1975 (after rain) and August 15, 1976 (dry period) at Kōje Bay.

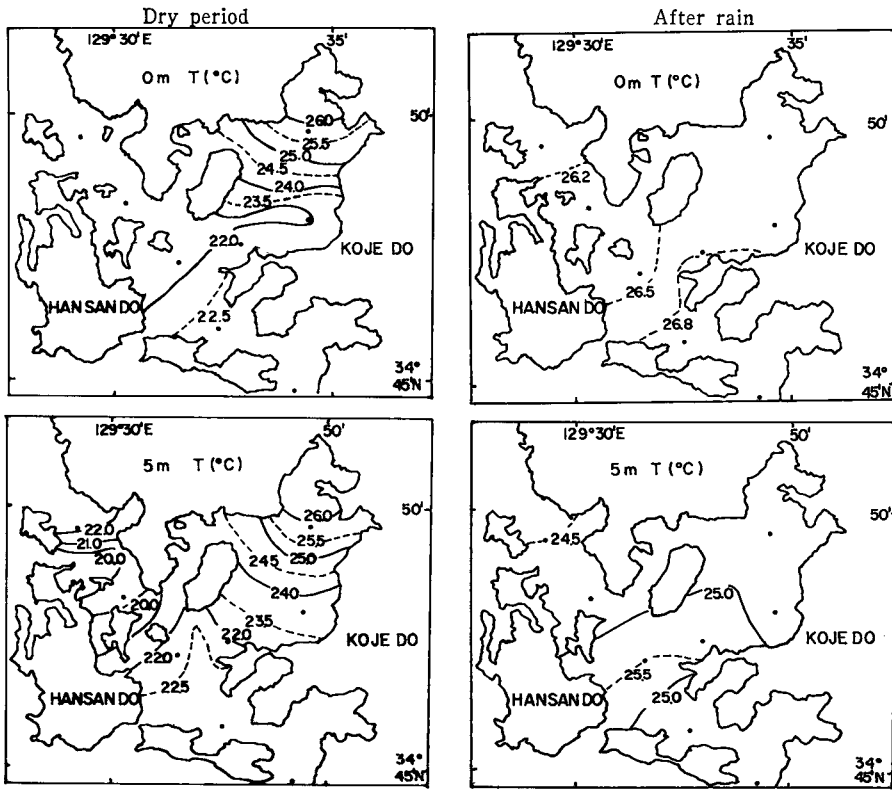


Fig. 7. Temperature distributions tidal slack on August 16, 1975(after rain) and August 15, 1976 (dry period) at Kōje Bay.

水道에는 보다 낮은 鹽分이 分布되어 있다.

Fig. 7 은 水溫의 分布로서, 乾期는 灣안쪽이 約 25°C를 넘고, 關山島에서 부터 水道를 通해 灣口 및 灣의 東쪽 中央附近까지 約 22°C의 等溫線이 펼쳐 있다. 또, 雨期의 0m 層은 灣의 南端과 東쪽이 26.5 ~ 26.8°C로 高루 分布하고, 灣의 西쪽 入口附近은 다소 낮다. 雨期의 5m 層은 25°C 前後의 水溫이 關山島와 枋安島 周邊에서 灣의 안쪽까지 高루 分布하고 있다.

그러나, 이들 分布로서는 明確한 渦流現象을 볼 수 없으나, Fig. 5의 (a)에서 처럼, 轉流時임에도 불구하고 水溫과 鹽分 分布가 水道南端에서부터 灣內로 펼쳐 있고 水道北端과 南端의 水塊 分布가 다르므로 灣內는 渦流現象이 일어난다고 생각된다. 그러므로, 巨濟灣에 있어서는 地形性渦流가 活潑하여 海水交換에 미치는 영향이 클 것이다. 今後, 地形性渦流에 의한 海水交換機構를 보다 定量的으로 規明함이 좋을 것이다.

境改善 및 海洋工學의 기초자료를 마련코저, 1984年 8月의 大潮期 25時間 및 小潮期 13時間 동안 巨濟灣入口의 斷面에서 連續測流와 測深 및 採水를 實施하였다. 巨濟灣의 海水交換과 그 機構에 關한 結果는 다음과 같다.

1. 巨濟灣入口의 海水流出入現象은 灣의 中央部 및 楸구단側이 灣의 西部인 아지랑側보다 淡水流出이 많은 雨期에 流出이 優세하고 乾期에는 上層에서 流出되나 底層에서는 流入이 優세하였다.
2. 海水交換率은 大潮期 26%, 小潮期 5~15% 範圍이다. tidal prism에 의한 滯留時間은 大潮期 約 48時間, 小潮期 約 81時間으로 나타났다. 그러나, 海水交換程度는 交換概念과 水文氣象學的 要素 및 季節에 따라 變動된다.
3. 狹水道에 接한 巨濟灣은 地形과 潮流의 영향으로 渦流現象이 活潑하다. 따라서, 巨濟灣은 地形性渦流가 海水交換에 미치는 영향이 클 것으로 推定된다

要 約

巨濟灣의 物質收支와 굴養殖場管理를 위한 海洋環

文 獻

張善德·李文沃·金鍾華·朴光淳·金福起·林琦璋.

1984. 鎮海灣 東部海域의 海水流動. 水振院研報 32, 7—23.
- 조창환 · 김용술. 1977. 굴 養殖場의 微細 環境에 關하여. 1. 巨濟灣의 養殖場 密度 및 富榮養化에 關하여. 韓水誌 10(4), 259—265.
- Parker D. S., D. P. Norris and A. W. Nelson. 1972. Tidal Exchange at Golden Gate. Proc. ASCE 98, SA2, 305—323.
- 柏井誠. 1984. 海水交換概念と 海水交換率. Jour. Oceano. Soc. Japan Vol. 40, 135—147.
- Bowden. K. F. 1967. Circulation and Diffusion. Estuaries Factors. Amer. for the Adv. of Sci, 15—36.
- 近藤叔郎. 1979. 感潮狹水路の 水理. 土木學會 水工學 리스 B7. 1—17.
- 金福起 · 韓炳均. 1982. 忠武海域의 海水流動에 關하여. 水振院研報 30, 31—48.
- 金鍾華. 1984. 鎮海灣의 海水交換. 釜山水產大學 大學院 碩士學位請求論文.
- 國立水產振興院. 1976. 事業報告. 沿岸漁場環境調查. 33, 83—84
- 國立水產振興院. 1977. 事業報告. 沿岸漁場環境調查 34, 89—90
- 國立水產振興院. 1978. 沿岸漁場 및 臨海工團周邊海域의 海水流動. p. 121.
- 堀江 · 村上和男 · 龜山豊 · 入尾野幸雄. 1977. 水理模型實驗による海水交換率の算定. 第 24 回海岸工學講演會論文集, 491—495.
- 武岡英隆. 1984. 沿岸海域の海水交換. 沿岸海洋ノート, 20(2), 169—182.
- 武岡英隆 · 樋口明生. 1982. 地形性過流による小港灣の海水交換. 沿岸海洋ノート 19(2), 175—182.
- 中村武弘 · 富樫宏由. 1976. 木村灣の潮汐水理模型實驗による水質汚濁豫測に關する研究(第 3 報). 第 26 回海岸工學講演會論文集 613—617.
- 柳晟奎 · 朴周錫 · 陳平 · 張東錫 · 林琦璿 · 朴清吉 · 洪性潤 · 趙昌煥 · 許宗秀 · 李三碩. 1980. 굴양식장 종합조사. 수진연보 24, 7—46.