

## 錦江 河口의 海水循環力學

### I. 鹽分境界層의 變化性

鄭 鍾 律 · 李 載 學 · 安 希 洙

서울大學校 海洋學科 · 仁荷大學校 海洋學科 · 서울大學校 地球科學科

## CIRCULATION DYNAMICS OF THE KEUM RIVER ESTUARY\*

### I. Variability of the Salinity Boundary Layer

*Jong Yul Chung · Jae Hak Lee · Hui Soo An*

Department of Oceanography, Seoul National University Seoul 151, Korea

Department of Oceanography, Inha University Incheon 160, Korea

Department of Earth Science, Seoul National University Seoul 151, Korea

**要約:** 錦江河口의 6個定點에서 大·小潮期에 Instantaneous profiling技法으로 同時 觀測한 鹽分値를 分析하여 鹽分境界層의 變化特性을 밝혔다.

錦江河口를 鹽分境界層의 變化特性으로 分類해 본 結果 定常波型河口(standing wave type estuary)임이 再次確認(Chung, 1981)되었으며 變化의 크기는 上流로 갈수록 커진다 아울러 밝혀졌다. 또한 鹽分境界層의 變化는 大潮期 보다 小潮期에 큼도 밝혀졌다.

鹽分境界層( $S < 10‰$ )의 持續時間은 小潮期에 越等히 긴데, Shinri-Saugke斷面보다 上流域에서는 6時間以上 持續되고 Sochigot-Kupo斷面과 Shinri-Saugke斷面사이에서는 3~6時間 동안 持續되며 Yongdang-Dangmal斷面과 Sochigot-Kupo斷面 사이에서는 0~3時間동안 持續됨이 밝혀졌다. 따라서 錦江河口에서의 堆積作用은 鹽分境界層의 持續時間의 分布特性에 다른 區域別의 Flocculation作用의 強弱에 依해 주로 支配되고 있음도 아울러 밝혀졌다.

**Abstract:** In order to understand the circulation dynamics of the Keum River estuary, an extensive study was conducted; (i) variability of salinity boundary layer (ii) fluid dynamic characteristics (iii) tides and tidal currents (iv) circulation, diffusion, and dispersion (v) numerical modelling. As first part of this series of work, the salinity data obtained at six sites by using instantaneous profiling technique were analyzed in detail.

It is found that the amplitude of salinity variation increases toward the upstream direction and its magnitude is greater at neap tide than spring tide. And also duration of salinity boundary layer is much longer during the neap tide than the spring tide. As a result of this study, the Keum River estuary is classified as a typical standing wave type estuary. Finally, we present a schematic diagram for the duration of the salinity boundary layer, which will be useful for further study on flocculation phenomena and sedimentation dynamics.

### 1. 序 論

本 研究는 錦江河口의 海水循環力學을 究明하

기 爲하여 1980년부터 1983년까지 調査하여 밝힌 一連의 研究 即 I. 鹽分境界層의 變化性, II. 流體力學的 諸特性, III. 潮汐과 潮流特性, IV.

\* This research was supported by the Graduate Implementation Fund (Ministry of Education: 82) and the Agricultural Development Agency (RIBS-TC-82-503).

海水循環과 物質의 擴散 및 分散特性, V. 海水循環力學의 數值模型研究中 그 첫번째에 屬하는 것이다.

河口(estuary)의 海水循環이나 浮遊物質의 堆積, 運搬作用等에 關한 研究는 錦江과 같이 生活環境의 改善을 爲해 開發이 要望되는 곳에서는 매우 重要한 研究課題이다.

河口처럼 境界條件이 매우 複雜한 곳에서의 海水의 循環力學을 究明하기 爲해서는 于先 鹽分이나 水溫과 같은 物理的 特性을 分析研究하여 數值研究의 基本資料로 삼아야 한다. 또한 堆積環境의 研究도 力學的 立場에서 究明하려면, 于先 flocculation 作用과 關聯되는 密度의 變化特性을 밝혀야 한다. 堆積作用과 關聯되는 Flocculation 現象은 海水의 密度變化에 依해 그 強弱이 左右되므로(Postma, 1967; Kranck, 1981) 河口처럼 海水의 密度가 主로 鹽分의 變化에 依해 支配되는 곳에서는 이의 變化特性을 밝히는 것이 必要하다.

本 研究海域인 錦江河口는 黃海의 東南部에 位置한 感潮鹽河口로써 江의 總延長은 412km이고 感潮域은 河口의 入口로부터 上流로 約 60餘 km에 達하고 있으며 年平均 淡水의 流出量은 約  $6.4 \times 10^9$  ton에 이른다. 河口附近(群山新港)에서의 大潮差는 約 5.7m에 達하고 大潮期 最強流速은 約 200cm/s에 達한다. 潮汐은 半日週潮

型이고 流速은 漲潮流가 落潮流보다 強하나 持續時間은 落潮流가 漲潮流보다 長다. (Chung, 1982).

本 研究에서는 海水의 循環力學과 堆積力學의 究明에 先決要件인 鹽分境界層의 變化特性을 潮汐과 關聯시켜 究明했다.

## 2. 資 料

本 研究에 使用한 資料는 錦江 河口의 6個 定點(그림 1)에서 1982年 6월에 3個 定點씩 同時 觀測한 結果이다. 觀測은 大·小潮期別로 25時間 Instantaneous Profiling技法으로 연속 실시하였으며 자세한 觀測 概要는 表 1과 같다.

鹽分과 水溫의 測定은 NIO T-S測定器(英國國立海洋研究所) 및 ECT-5 T-S測定器(Toho dentan Co.)를 利用하여 每 時間마다 水深 1m 間隔으로 實施하였다. 絶對鹽分値의 補正을 爲하여 採水를 한 後 Autosal(Guild line Co. M-8400) 鹽分測定器로 測定한 結果를 基準値로 하여 ECT-5 T-S測定器의 結果値를 補正하였다. 鹽分 및 水溫의 測定과 同時 流速測定을 하였으며 鹽分測定 期間을 포함한 1個月間 潮位觀測(沿岸 5點)도 實施하였다. 本稿에는 鹽分 및 水溫의 資料 分析 結果만을 收錄하였다.

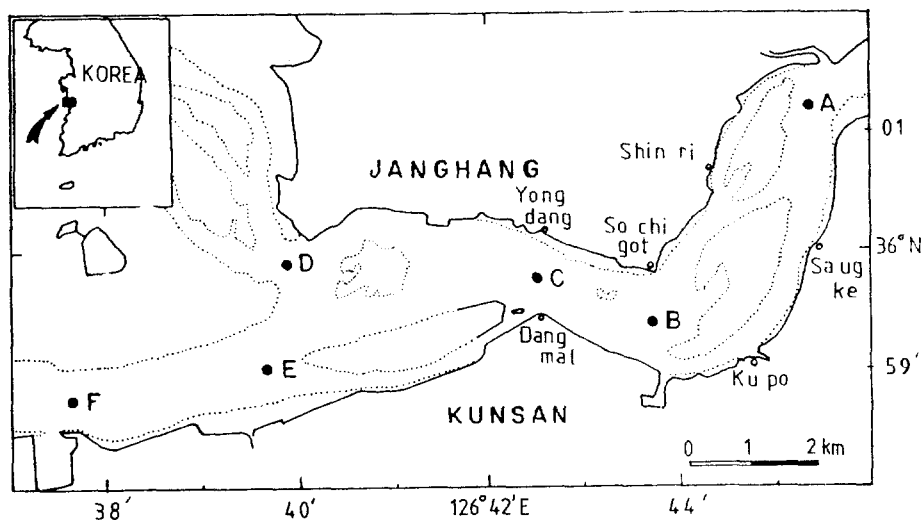


Figure 1. Station map: Dotted line is low tidal boundary contour (after Lee (1982)).

Table 1. Scheme of Observations

Station	Location	Tidal Phase	Date	Moon's Age	Moon's Declination
A	35°01'13"N 126°45'25"E	Neap tide	6.16-17	23.9 <sup>d</sup> -24.9 <sup>d</sup>	S 0°18'-N 4°58'
		Spring tide	6.22-23	0.6 <sup>d</sup> -1.6 <sup>d</sup>	N 22°45'- 22°14'
B	35°59'22"N 126°43'35"E	Neap tide	6.16-17	23.9 <sup>d</sup> -24.9 <sup>d</sup>	S 0°18'-N 4°58'
		Spring tide	6.22-23	0.6 <sup>d</sup> -1.6 <sup>d</sup>	N 22°45'- 22°14'
C	35°59'48"N 126°42'32"E	Neap tide	6.16-17	23.9 <sup>d</sup> -24.9 <sup>d</sup>	S 0°18'-N 4°58'
		Spring tide	6.22-23	0.6 <sup>d</sup> -1.6 <sup>d</sup>	N 22°45'- 22°14'
D	36°00'05"N 126°39'50"E	Neap tide	6.15-16	22.9 <sup>d</sup> -23.9 <sup>d</sup>	S 5°23'- 0°18'
		Spring tide	6.23-24	1.6 <sup>d</sup> -2.6 <sup>d</sup>	N 22°14'- 20°10'
E	35°59'10"N 126°39'43"E	Neap tide	6.15-16	22.9 <sup>d</sup> -23.9 <sup>d</sup>	S 5°23'- 0°18'
		Spring tide	6.23-24	1.6 <sup>d</sup> -2.6 <sup>d</sup>	N 22°14'- 20°10'
F	35°58'50"N 126°37'37"E	Neap tide	6.15-16	22.9 <sup>d</sup> -23.9 <sup>d</sup>	S 5°23'- 0°18'
		Spring tide	6.23-24	1.6 <sup>d</sup> -2.6 <sup>d</sup>	N 22°14'- 20°10'

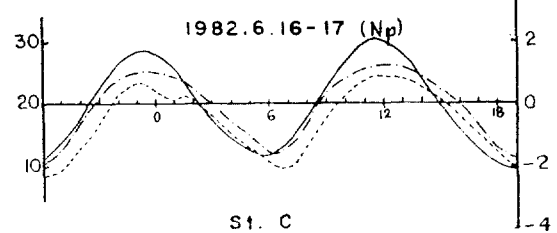
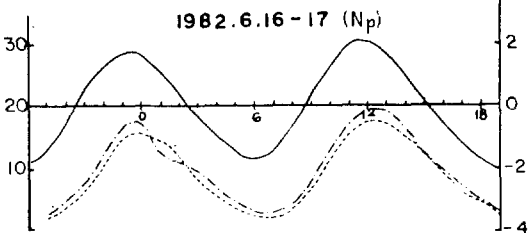
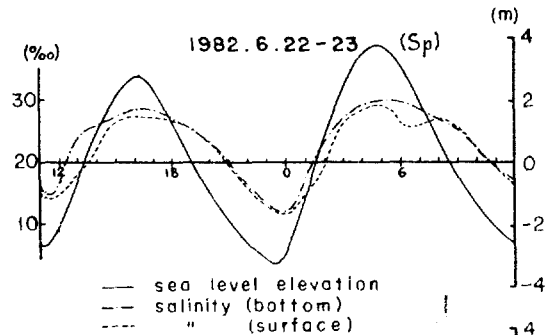
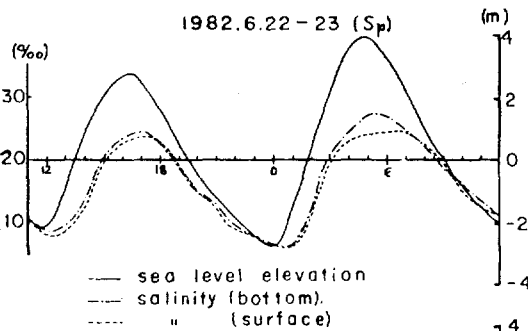
3. 分析結果

(1) 水溫의 變化

觀測定點別 水溫의 變化는 小潮期에는 上流쪽 (St. A,B)이 2.0°C로 河口의 0.8~1.8°C보다 높게 나타났으나 大潮期에는 全 地點에서 2.0~2.6°C로서 큰 差異를 보이지 않아 典型的인 河口의 水溫 分布 特性을 나타내고 있다. 調査期

間동안 最高水溫은 A 定點에서 大潮期에 25.9°C, 小潮期에 24.1°C, F 定點에서 大潮期에 24.2°C 小潮期에 22.9°C로서 大潮期에 水溫이 높아졌음을 알 수 있다. 또한 變化의 幅은 上流쪽으로 갈수록 크게 나타났다. 이러한 傾向은 最低水溫 値도 마찬가지로 나타났다.

各 觀測定點에서의 水溫의 垂直構造는 거의 一定하게 나타났으며 이렇다할 특징은 나타나지 않았다.



St. A

St. C

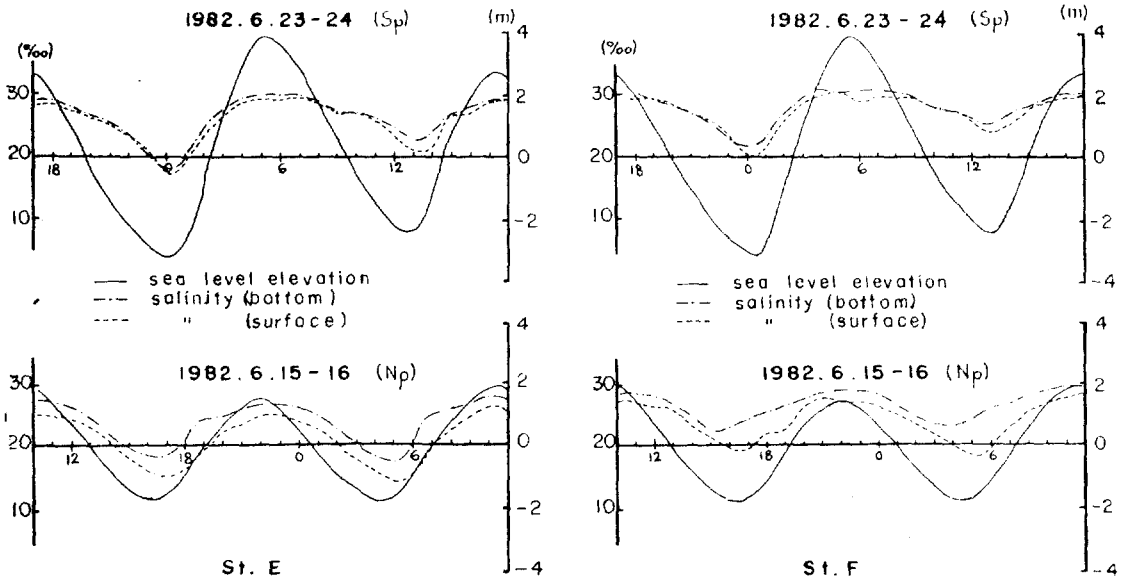


Figure 2. Variation of water elevation and salinity (—: Water elevation, - · - ·: Surface salinity, ·····: Bottom salinity). (Sp: Spring tide, Np: Neap tide.)

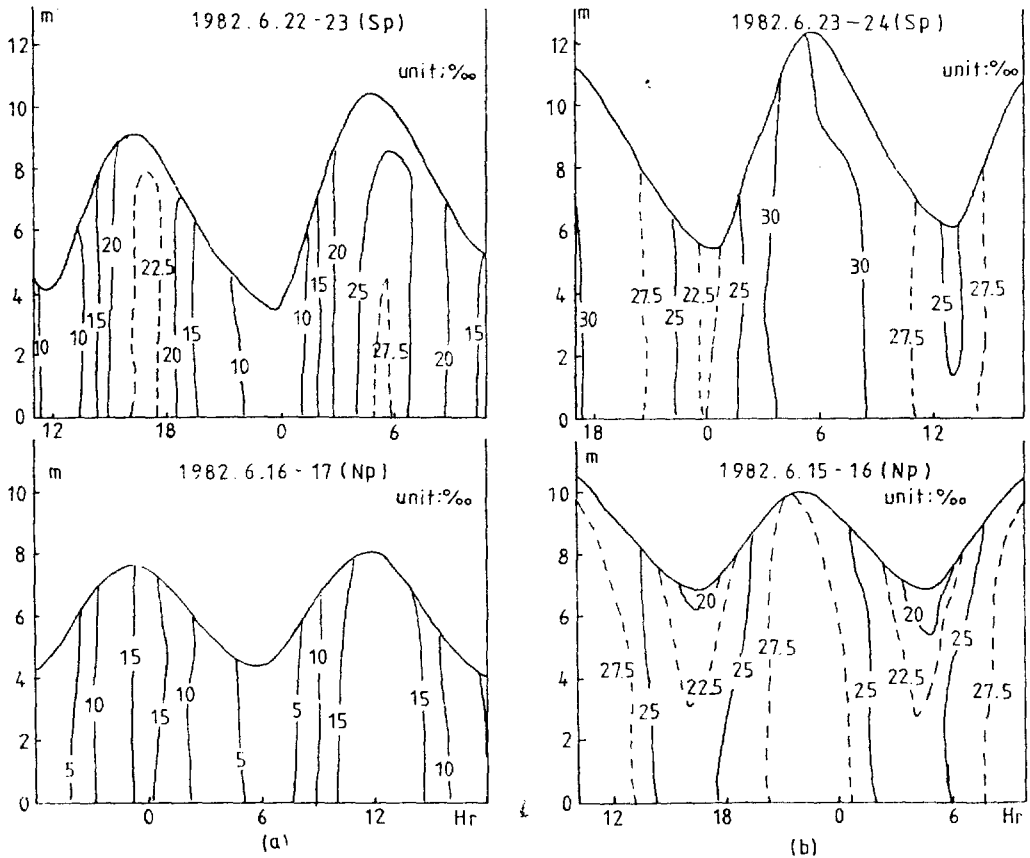


Figure 3. Vertical distribution of salinity variation over a tidal cycle (a: St. A, b: St. F). (Sp: Spring tide, Np: Neap tide)

潮汐 週期에 따른 水溫 變化, 즉 漲 · 落潮流에 따른 水溫 分布 特性은 差異를 나타내지 않았다. 다만 垂直 分布에 있어서 漲潮流때보다 落潮流때 低層의 水溫이 表層보다 약간 낮게 나타났다. 潮汐의 變化와 水溫의 變化位相差는 180°정도로 나타났다.

(2) 鹽分의 變化

鹽分의 時間에 따른 變化는 水溫과는 달리 큰 값으로 뚜렷이 나타났다. 그림 2는 時間에 따른 大 · 小潮期別 鹽分의 變化를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 다음과 같은 特徵이 나타나고 있다. 첫째, 鹽分의 變化는 潮汐과 位相이 같다. 最高鹽分值도 全 觀測點에서 高潮때 나타나고 있어 이는 張等(1981)이 洛東江에서 調査한 結果와는 差異를 나타내고 있다. 둘째, 上流에서 河口쪽에 이르면 表層과 低層의 鹽分 差異가 커진다. 이러한 傾向은 大潮期보다 小潮期에 顯著한데 그 差異는 最高 約 5‰(St.F)에

이르고 있다. 이는 大潮期에는 小潮期보다 鹽分 層이 뚜렷하게 形成되지 않음을 나타내는 것이다. 셋째, 한 觀測點에서의 鹽分 變化 振幅은 St.A(그림 2-a)와 St.F(그림 2-d)의 比較에서 알 수 있듯이 上流에서 河口쪽으로 갈수록 작아진다. 即 St.A에서는 大潮期에 約 25‰, 小潮期에 約 20‰의 振幅을 보이는 반면, St.F에서는 大潮期, 小潮期에 各各 約 10‰, 8‰의 差異를 보이고 있다. 이는 鹽分의 變化가 潮汐의 變化 및 세기에 左右됨을 나타내는 것이라 思料된다. 넷째, 各 測點間의 鹽分 差異는 St.A와 St.F 사이에서 大潮期에 約 3‰, 小潮期에 約 10‰로 나타났다.

그림 3은 St.A와 St.F에서 鹽分의 垂直 分布의 時間에 따른 變化를 나타낸 것이다. 鹽分 分布는 最高潮, 最低潮點을 中心으로 대칭성을 보인다. St.A에서는 大潮期때 高潮 前後를 제외하고 거의 一定한 鹽分의 垂直 分布를 나타낸다. 이러한 傾向은 St.B~St.E에서도 마찬가지로 나타났다.

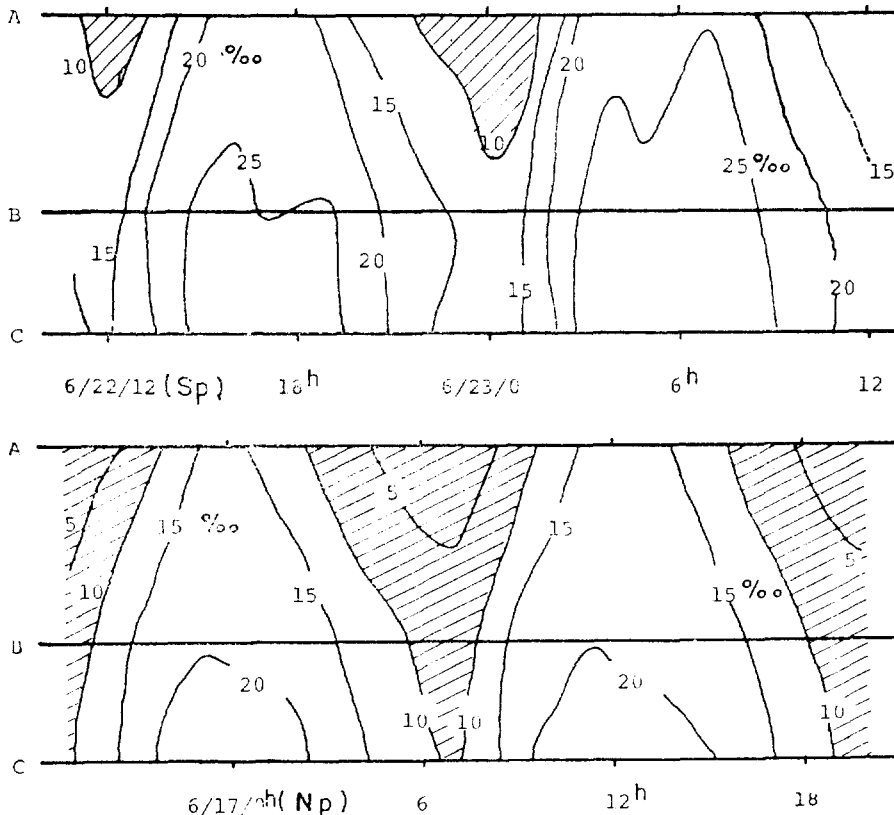


Figure 4. Horizontal distributions of salinity variation over a tidal cycle. (Sp: Spring tide, Np: Neap tide.)

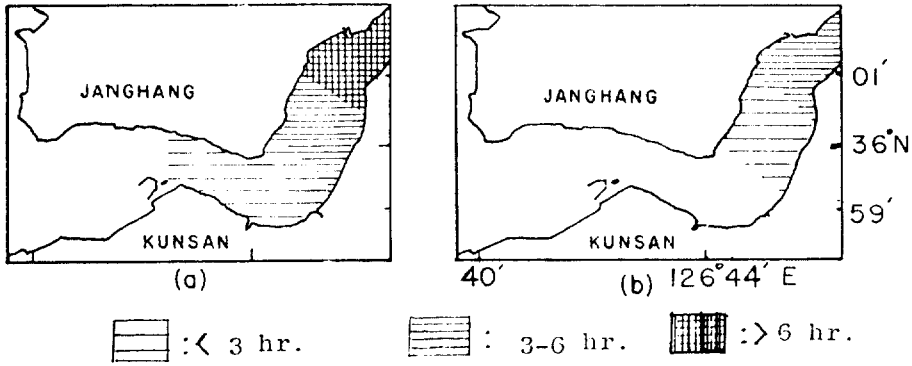


Figure 5. Duration of low saline water (a: Neap Tide, b: Spring Tide).

반면 St.F에서는 약간의 成層現象이 일어남을 나타냈다. 小潮期때는 大潮期 前後해서 St.A를 제외한 모든 測點에서 成層現象이 나타나는데 그 강도는 河口쪽에 이룰수록 강하게 나타났다. 또 低潮時에는 St.C~St.F에서 成層現象이 나타나고 있다.

低鹽分(10%以下)의 現象은 St.A~St.C의 區域에서 나타나고 있는데 大潮期보다 小潮期에 더 낮은 低鹽分 現象을 나타낸다. 그림 4는 St.A~St.C에서 時間에 따른 鹽分 變化를 圖示한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 St.A에서 低鹽分の 持續時間은 大潮期에 約 4時間, 小潮期에 約 7時間을 나타낸다. St.B에서는 小潮期에만 約 2時間의 低鹽分 持續時間을 나타내고 St.C에서는 小潮期の 低層에서만 約 1時間동안 低鹽分을 나타내고 있다. 그림 5는 大·小潮期에 따른 低鹽分(鹽分境界層)持續時間을 模式的으로 나타낸 것이다.

#### 4. 結果 討議

以上の 分析 結果 錦江河口의 物理的 特性은 潮汐의 效果가 큰곳에서 보편적으로 나타나는 特性을 보인다고 할 수 있다. 即 水溫의 變化보다는 鹽分の 變化가 顯著하다는 것이다. 따라서 錦江河口에서의 海水循環을 研究하려면 鹽分の 變化를 더 重點的으로 考慮해야 할 것이다.

小潮期の 高潮 前後와 大潮期の St.F에서의 高潮 前後를 除外하고는 강한 成層現象이 나타나지 않음은 鹽水쇄기(Salt wedge)가 나타나지 않는

것을 시사해 주는데 이는 潮流의 세기가 淡水의 흐름의 세기보다 월등히 크고 潮流의 流速이 全層에 걸쳐 거의 一定함을 暗示해 Chung(1982)의 報告와도 一致하고 있다.

鹽分の 變化가 潮汐 變化와 位相이 같은 것은 錦江이 Dyer(1973)에 依해 提示된 것처럼 'standing wave type estuary'임을 나타내는 것이다. 한편 最大鹽分値가 潮汐의 高潮때와 時間差 없이 거의 同時に 나타나는데 이는 大部分의 河口에서 最大鹽分値가 最高潮의 1~2時間後에 나타나는 것과는 다른 錦江河口의 特徵이다. 이러한 것은 錦江河口에서 潮汐의 세기와 關聯된 것이라 思料된다.

觀測點中 가장 上流에 해당되는 St.A에서 鹽水쇄기가 나타나지 않는 것은 淡水와 鹽水의 境界面이 St.A보다 훨씬 上流에 위치하고 있음을 示唆해준다. 鹽水의 境界面의 위치는 最高混濁度(Turbidity maximum)의 위치와 關聯되기 때문에 (Meade, 1972) 堆積環境의 究明을 爲해서는 St.A보다 上流쪽의 研究도 함께 수행되어야 할 것이다. 低鹽分の 持續時間이 小潮期에 더 오래 나타나는 것으로 미루어 堆積作用과 關聯된 flocculation의 現象이 大潮期보다는 小潮期에 強할 것으로 思料되며 觀測點內의 錦江河口에서는 大潮期보다 小潮期에 flocculation이 활발하리라 思料된다. 또한 Sochigot과 Kupo를 잇는 斷面의 上流에서는 大·小潮期 구분없이 堆積作用이 활발히 일어나리라 판단된다. 그러나 堆積環境의 기초가 되는 物理的 現象의 이해를 爲해서는 鹽分 資料 分析만으로는 充分한 解釋을 할 수는

없으므로 流速의 分析和 浮流堆積物 等の 研究가 수행되어야 할 것이다.

## 5. 結 論

1982年 6월에 錦江河口 6個 定點에서 觀測된 水溫 및 鹽分의 分析 結果는 다음과 같다.

첫째, 潮汐에 따른 水溫의 變化는 鹽分의 變化에 비해 무시할 수 있다.

둘째, 鹽分의 變化樣相으로 보아 錦江은 'standing wave type estuary'로 區分할 수 있다.

셋째, 鹽分의 變化幅은 大潮期보다 小潮期에 크게 나타난다.

넷째, 鹽分境界層의 持續時間은 小潮期에 원 등히 길다. 따라서 flocculation現象은 小潮期에 활발할 것으로 思料된다. 錦江河口의 堆積作用은 小潮期에 활발하며 特히 소치곶과 구포를 잇는 斷面 上流域에서는 大·小潮期 區分없이 堆積作用이 활발할 것으로 판단된다.

## 謝 辭

本 研究를 爲하여 測器를 支援해준 海洋研究所에 謝意를 表한다.

## 參 考 文 獻

- Chung, J.Y., 1981. Estuarine dynamics of the Keum Estuary. In a basic study on oceanographic environments off the west coast of Korea-the Keum Estuary and the adjacent continental shelf. S.N.U. RIBS-ED-80-134 p.58-115.
- Chung, J.Y., 1982. Numerical study on the surface elevation for the Keum River Estuary wier (Progress Report) S.N.U. RIBS-TC-82-503, 239p.
- Dyer, K.R., 1973. Estuaries: A physical introduction, John Wiley & Sons, New York, 140p.
- Kranck, K. 1981. Particulate matter grain-size characteristics and flocculation in a partially mixed estuary. *Sedimentology*. 28: 107-114.
- Meade, R.H., 1972. Transport and deposition of sediments in estuaries. *Mem. Geol. Soc. Am.* 133: 91-119.
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In Estuaries (Ed. by G.H. Lauff). *Am. Ass. Adv. Sci. Publ.* 83, 158-179.
- 李錫祐, 1982. 群山港水深測量用役報告書, 海運港灣廳 群山港建設事務所.
- 張善德, 柳青魯, 李文沃, 李在喆, 1981. 洛東江 河口의 鹽水運動, 韓國海洋學會誌, 16(1):31-37.