

# 河口의 海水의 鹽度變動에 관한 研究

— 群山外港부근을 中心으로 —

## A Study on the Salinity Variation of Salt Water in an Estuary

李 正 圭\*  
Lee, Jong Kyu

### Abstract

Since the estuary is a very complex place in which the sea water and the fresh water meet, it is very difficult to make a general analytical description of salinity distribution in the estuary.

As an attempt to investigate the characteristics of salinity variation in the estuary of the Geum River, the field observations were continuously carried out at three points near the Gunsan New Harbor at the time intervals 1 to 1.5 hours during one tidal cycle and the data were analysed.

The following results were obtained;

1. It was reconfirmed that most of the ratios of the salinity to the conductivity were widely distributed between the range of 0.5 to 1.0.
2. The salinity showed the peak at the high water, and then it began to decrease gradually and had the lowest value 0 to 2 hours after the low water.
3. The density current was generally the intense mixing type and when the river discharge was very large it was of the moderate type.
4. The vertical salinity distribution was not significantly affected by the wave height.
5. The maximum vertical salinity differences were generally less than 10 g/l and the time of the occurrence of the minimum value was 0 to 3 hours after the low water when in the spring tide and in the neap tide it occurred 2 to 3 hours after the high water.

### 要 旨

河口는 海水와 淡水가 만나는 아주 複雜한 地點으로 河口에서의 鹽度分布에 대한 水理學的인 一般的인 解析은 대단히 어렵기 때문에 本 研究에서는 現地觀測을 통하여 鹽度の 分布特性을 알기 위하여 潮差가 큰 群山 外港부근의 3地點에서 潮汐一週期동안 1~1.5시간 간격으로 連續的으로 現地觀測을 실시하였으며 分析結果 다음과 같은 몇가지 結論을 얻었다.

1. 鹽도와 전기전도도의 比가 0.5~1.0 사이에 大部分이 산만하게 分布되어 있음이 再確認 되었다.
2. 鹽度は 滿潮時에 가장 크고 滿潮에서 干潮로 됨에 따라 점점 작아져서 干潮後 0~2時間

\* 正會員 · 漢陽大學校 工科大学 副教授

사이에 가장 작았다.

3. 錦江河口の 密度流는 대체로 強混合型이었고 流量이 클 때는 緩混合型이었다.
4. 鉛直鹽度分布에 波高의 영향은 別로 없었다.
5. 最大鉛直鹽度差는 대체로 10 g/l 以下였으며 最小値가 나타나는 時期는 大潮時에는 干潮後 0~2 時間後였고 小潮時에는 滿潮後 2~3 時間 後에 나타났다.

## 1. 緒 論

河口는 淡水와 鹽水가 만나는 水理特性이 대단히 복잡한 地點으로써 感潮河川의 河口에서의 염도의 수평, 鉛直분포는 時間과 空間의 함수이다.

염도分布에 영향을 미치는 要因으로는 河口의 形狀, 淡水의 流入量, 염수와 담수의 密度差, 波浪, 潮流, 潮汐, 流水抵抗等 여러가지를 들 수 있다. 이들 量의 相對的 크기에 따라서 염도의 수평鉛直方向의 分布狀態가 決定된다<sup>(9)</sup>.

지난 20여년간의 研究는 河口에서의 鹽水侵入에 對하여 鹽水와 淡水가 서로 混合이 잘 되어 있지 않은 成層流(stratified flow)에 대한 解析的<sup>(5), (10), (14)</sup> 및 실험적 研究<sup>(15), (16)</sup>와 現地觀測<sup>(3), (5), (10), (20)</sup>이 행하여졌으며 최근에 混合流(mixed flow)에 대한 연구가 활발히 進行되고 있다<sup>(2), (6), (11), (12), (17), (18)</sup>.

大部分의 개발된 數學的 模型은 예측형(predictive)보다는 記述形(descriptive)이었다<sup>(9)</sup>. 다시 말하면 이와같은 模型은 현장觀測을 通하여 얻어진 자료나 실험실에서 얻어진 자료에 근거한 경험적인 특징을 포함하고 있기 때문에 河口系(estuary regime)의 變化에 대한 鹽度分布에 미치는 영향을 예측하는 것이 대단히 어렵거나 不可能하게 만든다.

河口에서의 鹽度分布의 一般的인 解析은 3次元 不定流에 관한 접근方法으로만 可能하다. 3次元 不定流에 관한 미분方程式이 알려져 있기는 하지만 아직 數值解法의 計算結果를 효율적으로 實際問題에 적용할 수 있는 단계에까지는 이르지 못했다.

어느정도 正確한 解析이 可能的인 일차원 不定流에 관한 研究도 농도의 時間平均値를 使用하고 있으며 이 方法 또한 擴散係數에 대한 확실한 메카니즘을 모르기 때문에 신뢰도가 그렇게

높은 편은 아니다.

따라서 本 研究에서는 錦江河口に 위치한 群山外港 부근에서 일주기 潮汐期間동안 연속하여 觀測한 염도의 實測値를 中心으로 염도의 潮汐에 따른 時間的 變動狀態를 分析하여 보고자 한다.

## 2. 河口의 一般의 水理特性

海水의 密度가 淡水의 密度보다 크기 때문에 海水가 淡水의 밑으로 侵入하여 들어가고 河水는 그 위를 흘러서 海上으로 나온다. 이와 같은 密度差에 基因하여 海水와 淡水가 力學的 平衡에 달하려고 하여 생기는 河口부근의 흐름을 密度流(density current)라고 한다.

河口부근은 염수와 淡水가 共存하고 있으며 兩者의 混合(mixing)을 촉진하는 作用이 적은 경우는 兩者는 鉛直方向으로 2層으로 分離되어 海水는 소위 염수쐐기(salt wedge)를 만든다<sup>(4)</sup>.

混合을 촉진시키는 直接的인 作用은 2層의 接觸面에 發生하는 內部波가 主體로 되어 있으며 內部波를 촉진하는 原因으로는 潮汐, 저기압의 通過, 강풍의 吹送, 淡水流量의 감소, 河幅의 증대, 수심의 감소, 河床粗度の 증가 등이 있으나, 潮汐의 영향이 가장 크다고 생각되고 있다<sup>(4)</sup>.

河口密度流는 鹽水와 淡水의 混合狀態에 따라 그림 1과 같이 3가지 型으로 分類하고 있다<sup>(1), (4), (5), (7)</sup>.

즉, 弱混合(negligible mixing) : 鹽水와 淡水가 混合되지 않고 각각의 層을 形成한다. 各層 사이에 약간의 混合만이 이루어지므로 水平方向의 密度勾配(density gradient)는 실질적으로 무시할 수 있다. 이러한 型은 조차가 작은 河口에 나타나기 쉽다.

緩混合(moderate mixing) : 弱混合과 強混合의 中間型으로 밑도구배가 水平, 鉛直方向에 다 같이 存在한다.

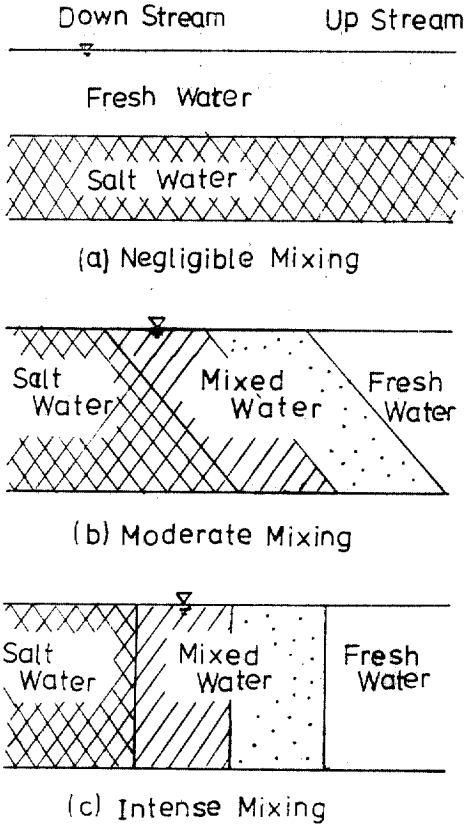


그림 1. 密度流의 混合狀態

强混合(intense mixing) : 염수와 淡水 사이에 강한 混合이 생기기 때문에 일어나며 이 경우에는 密度差가 垂直方向으로는 존재하지 않으며 밀도 구배는 水平方向으로만 分明하게 존재한다.

潮差가 큰 感潮河川에서는 一潮汐주기 사이에 河口부근에 있어서 지극히 짧은 시간 밖에 弱混合의 상태가 나타나지 않고, 潮汐의 영향 때문에 河川內의 교란(turbulence)이 비교적 크고 混合이 잘 이루어진다(7).

### 3. 基本資料

#### 3.1. 鹽度(salinity)와 電氣傳導度(conductivity)

##### 3.1.1. 試料채취位置

試料는 錦江河口에 있는 群山外港의 泊地內外의 3개 地點에서 채취하였으며 위치는 그림 2와 같다.

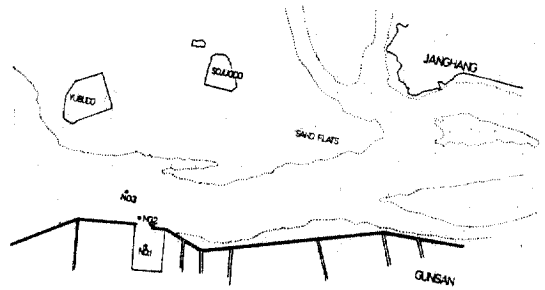


그림 2. 위치도

##### 3.1.2. 試料채취方法

試料채취 方法은 潮汐變動에 따라 約 12時間(潮汐의 일주기)에 걸쳐서 1~1.5時間 간격으로 연속적으로 試料 1l를 채취하였다. 每 채취시마다 水深이 변하므로 그림 3과 같이 水深 h를 4等分하여 水面과 바닥을 포함한 5點에서 施行하였다. 試料채취는 Nansen 轉倒型 Water Bottle을 使用하였다.

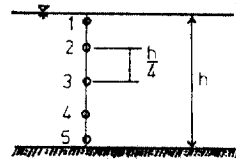


그림 3. 試料채취수심

##### 3.1.3. 試料分析方法

채취된 試料는 전기전도도계(日本 DENKI K-AGAKU KEIKI 會社의 DKK Model Ao-6)에 의하여 전기전도도(25°C로 보정된 값)를 측정하였으며, 試料 50cc를 乾燥法(105°C 恒溫 Oven을 使用하였음)에 의하여 檢出된 염도(salinity)를 測定하였다.

##### 3.2. 潮位 및 波高

潮位觀測値는 群山外港內에 있는 檢潮所의 觀測기록과 1980年 潮汐表를 利用하였으며 波高는 外港부근에 設置된 水壓式波高計가 있으나 1980年 8月까지는 기계고장으로 관측기록이 없으며 9月 이후는 波高觀測기록은 있으나 試料채취시

의 海象과 一致하지 않는 것 같아 이용하지 않았다.

### 3.3. 水位 및 유량

錦江河口는 潮差가 크기 때문에 感潮區間에서 河川水의 正確한 流入量을 알기 어렵기 때문에 금강의 수위와 流量으로 河口에서 가장 가까운 無潮地域 水位標지점인 규암수위표(河口로부터 약 63 km)의 수위와 流量관측기록을 利用하였다(그림 4).

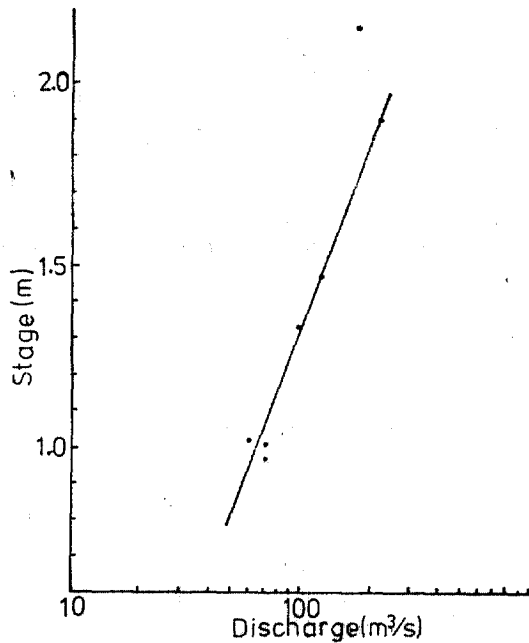


그림 4. 수위 유량 관계곡선(규암지점)

以上の 수집된 자료를 정리하면 表 1과 같다.

## 4. 分析結果 및 考察

### 4.1. 鹽度와 電氣傳導度와의 관계

염도 (s)와 전기전도도 (c)와의 비 (s/c)는 대략 0.64로 알려져 있으며<sup>(20), (21)</sup> 이 係數는 水質에 따라 0.5~1.0으로 變化한다<sup>(21)</sup>.

그림 5는 본 연구의 分析結果를 그린 것이다. 이 그림에서 보면 鹽度와 電氣傳導度와의 비는 0.5~1.0 사이에 約 93%가 分布되어 있으나 全體的으로는 s/c는 0.16~1.63의 범위에 걸쳐 상

表 1. 基本자료개요

측정일자	지점	조기	차	시수	유량	鹽	
				수위	(m³/s)	(%)	
		n:	m	CMS			
80. 2.20	No.2	대조	6.55	60	0.81	48	파고높음
80. 3.29	No.3	중조	5.00	60	0.90	56	파고낮음
80. 8.31	No.2	대조	6.00	40	2.95	홍수량	정온
80. 9.27	No.1	대조	7.00	40	1.56	140	파고낮음
80.11. 1	No.3	소조	2.50	39	0.96	62	정온
80.11.15	No.2	소조	3.50	39	0.92	57	정온
80.12.22	No.1	대조	7.10	31	1.03	66	파고낮음
81. 1.23	No.3	대조	6.67	40	1.47	125	파고낮음

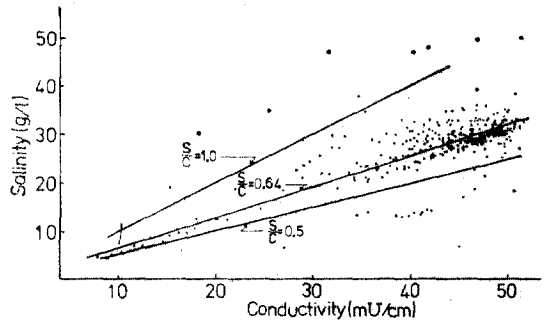


그림 5. 염도와 전기전도도의 관계

당히 산만하게 分布하고 있다.

### 4.2. 鹽度の 變動特性

鹽度の 變動은 全體的으로 보아 No.1. No.2. 및 No.3.의 地點別로 뚜렷한 차이를 發見할 수 없었으며 潮差, 流量, 波高等이 鹽度の 變動에 미치는 영향을 엄격히 分離하여 생각할 수 없었으므로 이를 구분하지 않고 考察하여 본다.

#### 4.2.1. 鹽度の 일주기사이의 變動

염도의 潮汐 1週期 사이의 變動狀態를 살펴보면 鹽度는 大體로 上下層에 關係없이 염분의 변동이 상당히 크게 나타나고 있으며 下層보다는 上層이 대체로 심한 것으로 나타났다. 이것은 염분변동이 작다고한 中村<sup>(14)</sup>과는 相反되는 것으로 이것은 本地點이 潮差가 크고 流速이 큰 곳이기 때문이라고 생각된다.

그림 6~11을 보면 염도는 大體로 潮汐-一週期 사이에 河川流量, 潮差, 波高等에 關係없이 滿潮時에 가장 크게 나타나며, 滿潮에서 干潮로 바뀔 때 따라 鹽度는 점점 작아져서 干潮後 0~2시

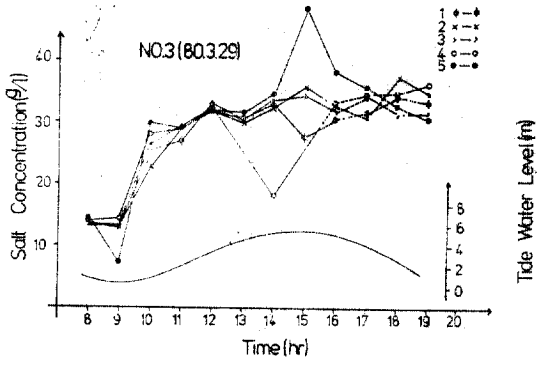


그림 6.

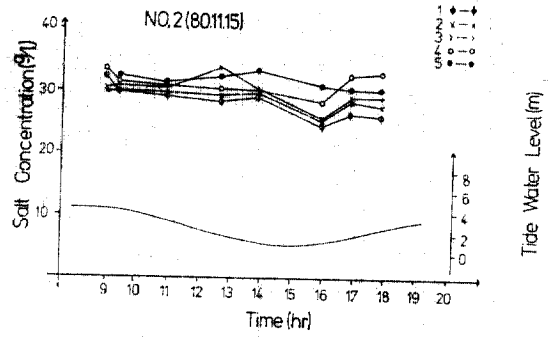


그림 9.

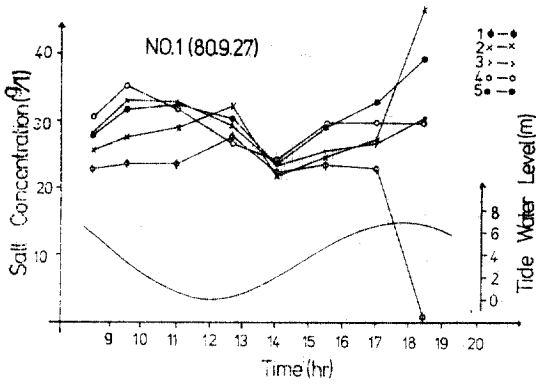


그림 7.

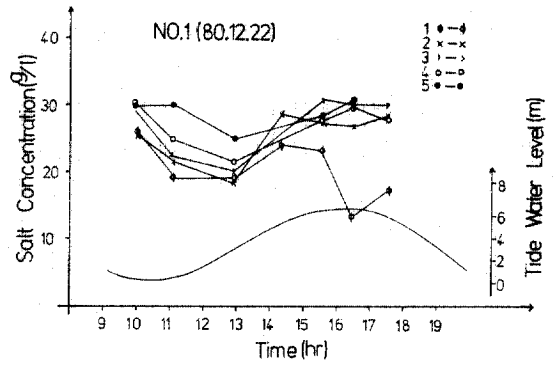


그림 10.

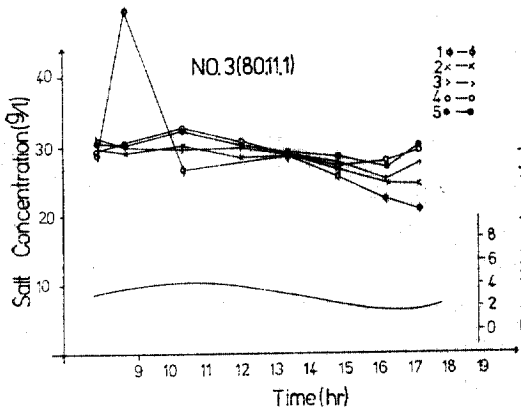


그림 8.

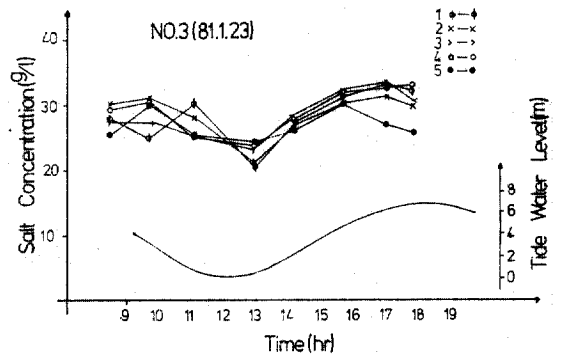


그림 11.

간 사이에 가장 작게 되고 그 後는 鹽度는 다시 滿潮時까지 증가하는 현상을 나타내었다.

이와같이 염도가 滿潮時에 가장 크게 되는 것은 滿潮時에는 河川水의 영향이 아주 미미해져 거의 河口全體가 海水와 같게 되기 때문이며 滿潮에서 干潮로 될 때는 潮流의 흐름方向이 反轉되며 河川水의 流入이 증가하게 되며 流速이 커지므로 海水와 淡水의 混合作用이 활발히 일어나게 되므로 鹽度의 分布는 고르게 되며, 鹽度는 점점 떨어지는 것으로 생각된다.

干潮에서 滿潮로 될 때는 다시 潮流의 方向이 反轉되면서 海水의 영향이 커지고 河川水의 相對인 비율은 점점 적어지므로 염도는 증가하게 되는 것이다.

#### 4.2.2. 鹽度의 鉛直分布

그림 12~17은 鹽度의 鉛直分布를 그린 것으로 全體적으로 보아 下層의 염도가 上層의 염도 보다는 약간 큰 것을 알 수 있으며 그림 12를 제외하고는 潮汐一周期의 鹽度의 연직分布狀態는 滿潮에서 干潮로 될 때(이 때는 대개 流速이 크다) 연직염도구배가 잠시 존재하는 緩混合狀態를 나타내는 경우가 있으나 大體로 鹽度의 鉛直구배가 거의 없는 強混合狀態를 나타내고 있다.

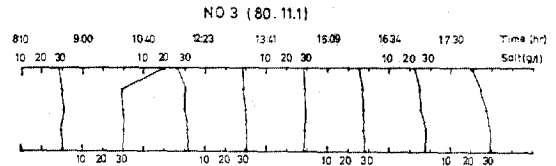


그림 14.

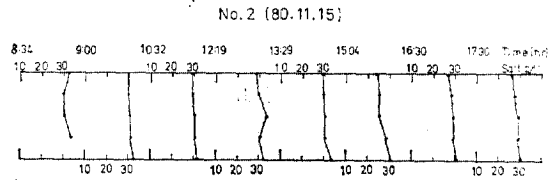


그림 15.

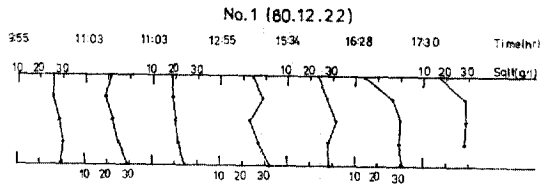


그림 16.

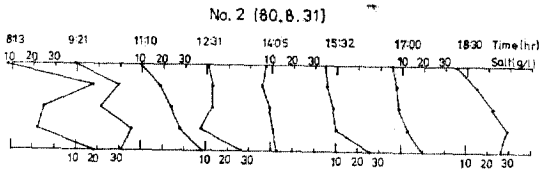


그림 12.

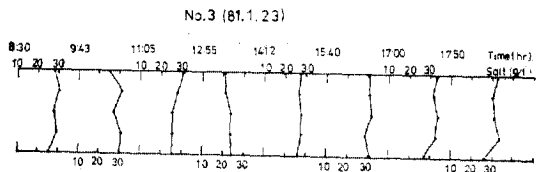


그림 17.

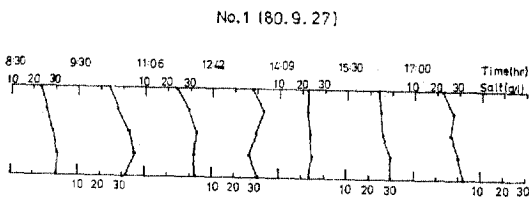


그림 13.

이것은 錦江 河口가 潮差가 매우 크고 밀물과 썰물일 때 流速이 상당히 크게 되어 海水와 淡水 사이에 混合作用이 대단히 활발히 일어나기 때문에 密度流은 緩混合型 또는 強混合型으로 된다(1), (6), (7).

한편 그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 이때는 流域에 豪雨가 내린 직후로 河川流量이 대단히 많았기 때문에 鹽度의 連직구배가 어느 정도

존재하는 것을 보여주고 있다.

이것은 河口的 潮差가 상당히 크다 하더라도 河川水의 流入量이 클 때(여기서는 자료가 충분하지 않아 定量的인 分析은 하지 않았음)은 緩混合狀態가 된다는 것을 알 수 있으며 이것은 河川水의 流入量이 河口的 密度流의 混合狀態에 미치는 영향이 크다는 것을 뜻하며 柏村, 吉田<sup>(6)</sup>과 南, 田中<sup>(16)</sup>의 研究와도 一致한다.

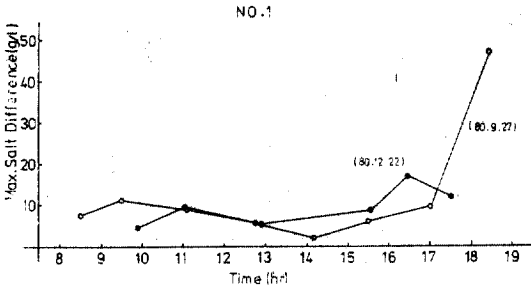


그림 18.

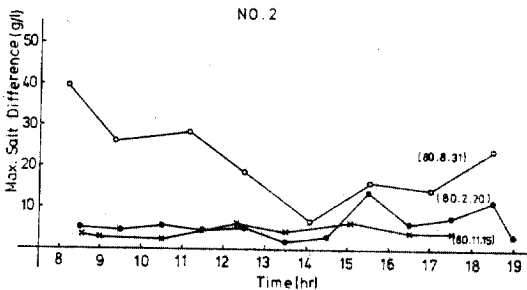


그림 19.

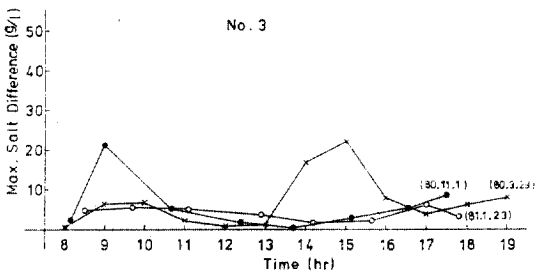


그림 20.

또한 分析結果에 의하면 大體로 波高의 크가에는 관계없이 비슷한 연직분포를 나타내고 있는 것으로 보아 潮差가 클 때는 파고가 높지 않은 한 鹽度의 連직분포에 큰 영향이 없는 것으로 생각된다.

#### 4.2.3. 鉛直方向의 最大鹽度差

上層과 下層사이의 最大鹽度差는 그림 18~20에서 알 수 있는 바와 같이 洪水때를 除外하면 大體로 10 g/l 以下로 變動하고 있으며 最大鹽度差가 最小로 되는 것은 그림 6~11과 비교하여 볼 때 大潮時에는 干潮後 0~2 시간 후에 나타나며 小潮時에는 滿潮後 2~3 시간 후에 나타나는 것 같다.

한편 洪水時(80.8.31)에는 緩混合狀態가 分明하며 鹽度差가 크게 나타나는 것은 河川水의 流入量이 많기 때문에 海水와 淡水의 混合作用이 충분히 이루어지지 않기 때문으로 생각된다<sup>(14)</sup>.

### 5. 結 論

本 研究에서 潮差가 대단히 큰 群山外港의 現地實測資料를 分析 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 鹽度와 電氣傳導度와의 比 s/c는 0.5~1.0 사이에 約 93%가 分布되어 있으며, s/c는 全體的으로 0.16~1.63의 범위에 걸쳐 산만하게 分布되어 있다.

2) 鹽度는 河川流量, 潮差, 波高等에 관계없이 滿潮時에 鹽度가 가장 컸고 滿潮에서 干潮로 變함에 따라 鹽度는 점점 작아져서 干潮後 0~2 時間 사이에 가장 작았다.

3) 潮汐의 一週期에 따른 鹽度의 時間的 變動을 보면 鹽度의 變動이 상당히 크게 나타났으며 下層보다는 上層이 대체로 심하였다.

4) 鉛直鹽度分布는 大體로 下層의 鹽度가 上層보다 약간 크게 나타났고 河口密度流는 全體的으로 強混合狀態를 나타내었으나 特히 유량이 많을 때는 緩混合狀態를 나타내었다.

5) 鉛直염도分布에 波高의 영향은 別로 없었다.

6) 最大鉛直鹽度差는 大體로 10 g/l 以下였으며 最小值가 나타나는 時期는 大潮時에는 干潮後 0~2 시간 後에 나타났고 小潮時에는 滿潮後

2~3 시간 후에 나타났다.

끝으로 본 연구는 群山外港浮遊砂調査研究(研究責任者: 서울大 安守漢교수)의 成果의 一部이며, 연구비의 一部를 支給하여 준 한양대학교에 감사한다.

#### 참 고 문 헌

1. Takeshi Ito, Sei-ichi Sato, Tsutomu Kishi and Masateru Tomina, "On the Density Currents in the Estuary" *Coastal Eng. in Japan Vol. 3*, 1960.
2. Wiegell, R.L. "Oceanographical Engineering" Prentice-Hall, 1964, pp.384-421.
3. Hisao Fukushima, Masakazu Kashiwamura, Isao Yakuwa and Susumu Takahashi, "A Study on Salt Water Wedge at River Mouth by Ultrasonic Method," *Coastal Engineering in Japan, Vol. 7*, 1964.
4. 柏村正和, "河口密度流論" B-海岸港灣コース, 65 水工學에 關する 夏期研修會講義集, 日本土木學會 水理委員會 1965, 8.
5. Ippen, A.T., "Estuary and Coastline Hydrodynamics" MGH, 1966, pp.598-629.
6. 柏村正和, 吉田靜男, "河口密度流의 解析", 第14回, 海岸工學講演會講演集 1967.
7. 吉川秀夫, "Estuary의 水理" 水工學シリーズ 70-18 日本土木學會 1970, 8.
8. 柏村正和, 吉田靜男, "河口流と潮汐と地形", 第18回 海岸工學講演會論文集 1971.
9. Harleman, D.R.F., and M.L. Thatcher, "Longitudinal dispersion and unsteady salinity intrusion in estuaries," Staff Publication 302 LA HO
10. 八鐵功, 高橋將, 大谷守正, "天鹽川河口にわける 鹽水の侵入" 第21回 海岸工學講演會論文集 1974.
11. 吉田靜男, 柏村正和, "潮汐による鹽水くさび의 應答(2)" 第22回 海岸工學講演會 1975.
12. 戶原義男, 加藤治, 瀬口昌洋, "有明海의 潮流と擴散, 混合に關する研究(1)" 第25回 海岸工學講演會論文集, 1978.
13. 中村充, 萩野靜也, "密度成層流體中の海水交換機構に關する研究" 第26回 海岸工學講演會論文集 1979.
14. Agnew R. "Estuarine Currents and Tidal Streams" *Proc. of 7-th Conference on Coastal Engineering* Vol. 2, 1960.
15. 南勲, 田中雅史, "定常流にわける鹽分의 鉛直分布について, 第12回 海岸工學講演會講演集 1965.
16. 住友恒, 山田豊實, 松岡讓, 栗山田彦, "淡鹽水二層境界面にわける水質混合について" 第21回 海岸工學講演會論文集, 1974.
17. 中村 安, "河口密度流に關する二, 三の問題", 第17回 海岸工學講演會論文集 1970.
18. 吉田靜男, 柏村正和, "河口二成層의 流水構造의 解析" 第25回 海岸工學講演會論文集 1978.
19. 柏村正和, 吉田靜男, "天鹽川의 河口密度流", 第23回 海岸工學講演會論文集 1976.
20. Thomas, R.C. and L.M. Robert, "Water and Its impurities," 2-nd ed. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1974.
21. 김원만, 최의소, "상수도 수원으로써의 하구호의 수질문제" 제 2회 국토건설기술세미나 發表文概要集, 대한토목학회 1976, 10.

(接受: 1981.9.23)