

# 洛東江 河口의 混合特性

The Characteristics of Mixing Process in the  
Nakdong River Estuary



〈目 次〉

Abstract	3. 河口의 分類
記號說明	4. 混合過程
目次目錄	5. 結 論
1. 序 論	參考文獻
2. 鹽分及流速의 特性	

## Abstract

A sound understanding of mixing process in tidal rivers is needed especially when the engineering works have direct effects upon the aquatic environment.

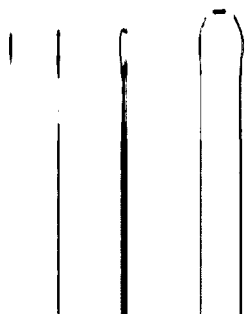
In order to investigate the mixing process of the Nakdong River Estuary, many observations have been made during past three years. From the series of data obtained in 1985, 1986 & 1987, the following results which are somewhat different from that of 1983, 1984 was found;

Salinity and velocity profiles of all stations but C station of 1986 showed intense stratification and a stable salt wedge flow condition along the estuary. Tidal trapping due to East Tributary also was found in A station.

As a result of highly stratified condition, the values of vertical diffusion coefficient were much reduced to  $1.4 - 1.8 \text{ cm}^2/\text{sec}$  compared to previous year and high Richardson number at mid-depth, ranging 3.2 - 9.9, made the entrainment play a dominant role in vertical mixing in 1985. Tidal diffusion contribution to longitudinal salt flux also much decreased and thus, the standing wave system in tidal current was enhanced.

## Notation

- A : Observation station
- $\bar{A}$  : Mean cross-sectional area of estuary
- $A_0$  : Value of  $K_z$  in well mixed condition
- C : Observation station
- h : Estuary depth
- HW : High water
- $K_x$  : Coefficient of longitudinal eddy-diffusion
- $K_y$  : Coefficient of lateral eddy-diffusion
- $K_z$  : Coefficient of vertical eddy-diffusion
- LW : Low water
- N : Observation station
- $\bar{Q}$  : Salt flux over a tidal cycle
- R : River discharge
- $R_i$  : Richardson number
- $S_b$  : Bottom salinity
- $S_s$  : Surface salinity
- $\bar{s}$  : Tidal mean salinity
- $s_0$  : Tidal variation of salinity



## Notation

- A : Observation station
- $\bar{A}$  : Mean cross-sectional area of estuary
- $A_0$  : Value of  $K_z$  in well mixed condition
- C : Observation station
- h : Estuary depth
- HW : High water
- $K_x$  : Coefficient of longitudinal eddy-diffusion
- $K_y$  : Coefficient of lateral eddy-diffusion
- $K_z$  : Coefficient of vertical eddy-diffusion
- LW : Low water
- N : Observation station
- $\bar{Q}$  : Salt flux over a tidal cycle
- R : River discharge
- $R_i$  : Richardson number
- $S_b$  : Bottom salinity
- $S_s$  : Surface salinity
- $\bar{s}$  : Tidal mean salinity
- $s_0$  : Tidal variation of salinity
- $s_1$  : Deviation from  $\langle \bar{s} \rangle$
- $s'$  : Turbulent fluctuation of salinity
- $\langle \bar{S} \rangle$  : Tidal mean salinity averaged over depth
- T : Tidal period

- $\bar{u}$  : Tidal mean longitudinal velocity
- $u_0$  : Tidal variation of longitudinal velocity
- $u_1$  : Deviation from  $\langle \bar{u} \rangle$
- $u'$  : Turbulent velocity fluctuation
- $\langle \bar{u} \rangle$  : Tidal mean longitudinal velocity averaged over depth
- $U_s$  : Surface velocity
- $v$  : Lateral velocity
- $v_1$  : Longitudinal velocity of the upper layer
- $v'$  : Critical velocity
- $w$  : Vertical velocity
- $W_{en}$  : Entrainment velocity
- $\nu$  : Tidal diffusive fraction
- $Z$  : Vertical distance
- $-$  : Tidal averaged
- $\langle \rangle$  : Depth averaged

## LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1. Study area .....	8
Figure 2. Time variation of salinity at N (1985 4,25) .....	9
Figure 3. Salinity profile at N (1985 4,25) .....	10
Figure 4. Time variation of velocity at N (1985 4,25) .....	10
Figure 5. Velocity profile at N (1985 4,25) .....	10
Figure 6. Time variation of depth, velocity & salinity at N (1985 4,25) .....	11
Figure 7. Time variation of salinity at A (1985 4,27) .....	12
Figure 8. Salinity profile at A (1985 4,27) .....	13
Figure 9. Time variation of velocity at A (1985 4,27) .....	14
Figure 10. Velocity profile at A (1985 4,27) .....	14
Figure 11. Time variation of depth, velocity & salinity at A (1985, 4,27) .....	14
Figure 12. Time variation of salinity at C (1985, 4,26) .....	15
Figure 13. Velocity profile at C (1985 4,26) .....	16
Figure 14. Salinity profile at C (1985 4,26) .....	16
Figure 15. Time variation of velocity at C (1985 4,26) .....	17
Figure 16. Time variation of depth, velocity & salinity at C (1985 4,26) .....	17
Figure 17. Stratification-circulation diagram for	

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1. Study area.....	8
Figure 2. Time variation of salinity at N (1985 4,25) .....	9
Figure 3. Salinity profile at N (1985 4,25) .....	10
Figure 4. Time variation of velocity at N (1985 4,25) .....	10
Figure 5. Velocity profile at N (1985 4,25) .....	10
Figure 6. Time variation of depth, velocity & salinity at N (1985 4,25) .....	11
Figure 7. Time variation of salinity at A (1985 4,27) .....	12
Figure 8. Salinity profile at A (1985 4,27) .....	13
Figure 9. Time variation of velocity at A (1985 4,27) .....	14
Figure 10. Velocity profile at A (1985 4,27) .....	14
Figure 11. Time variation of depth, velocity & salinity at A (1985, 4,27).....	14
Figure 12. Time variation of salinity at C (1985, 4,26) .....	15
Figure 13. Velocity profile at C (1985 4,26) .....	16
Figure 14. Salinity profile at C (1985 4,26) .....	16
Figure 15. Time variation of velocity at C (1985 4,26) .....	17
Figure 16. Time variation of depth, velocity & salinity at C (1985 4,26) .....	17
Figure 17. Stratification-circulation diagram for Nakdong river estuary .....	17

Figure 18. Time variation of stratification parameters at N, A & C stations in 1985 .....	20
Figure 19. Longitudinal distribution of salinity during the ebb tide in 1985 .....	23
Figure 20. Longitudinal distribution of salinity during the flood tide in 1985 .....	23





## 1. 序 論

洛東江 河口의 海洋物理學的 特性研究의 重要性은 그 立地의 條件과 自然環境의 可變性 때문에 現在 國內의 他河口보다 더욱 크다고 할 수 있으며 1987年 11月에 洛東江 河口둑이 完工되어 이 곳에 對한 보다 體系的이고 持續的인 研究分析이 必要하다고 하겠다.

本 大學研究陣은 洛東江 河口의 海洋物理學的 特性을 調查하기 爲해 1983年 以後 해마다 觀測을 實施하였다. 이미 申(1983)<sup>1)</sup>, 金(1984)<sup>2)</sup> 등이 當時 觀測資料에 따른 研究結果를 報告하였다.

本 論文에서는 洛東江 河口의 海洋物理學的 特性中 混合過程에 重點을 두어 N, A, C 觀測點들의 擴散係數를 連續方程式과 實驗式을 使用하여 求하였고 이에 따라 洛東江 河口의 混合過程을 數量化하여 年度別 混合特性의 變化와 그 原因을 糾明하고자 하였다.

觀測은 1m 水深別로 1 潮汐週期동안 N, A, C의 水溫, 鹽分, 流速, 流向 및 電氣傳導度를 測定하였고 觀測點은 一貫性 있는 比較, 分析을 爲해 1984年과 同一한 位置, 즉 N은 洛東大橋에서 1 km 下流, A는 中央水渚의 上端, C는 河口의 西側 下端(그림 1)을 擇하였다.

觀測資料는 Dyer(1973), Hansen and Rattray(1966), Bowden(1978), Officer(1976) 등의 方法에 따라 1985年 4月, 1986年 6月, 1987年 2月의 觀測點 N, A, C의 觀測資料를 潮汐時間 및 相對水深에 對해 分析하였다.

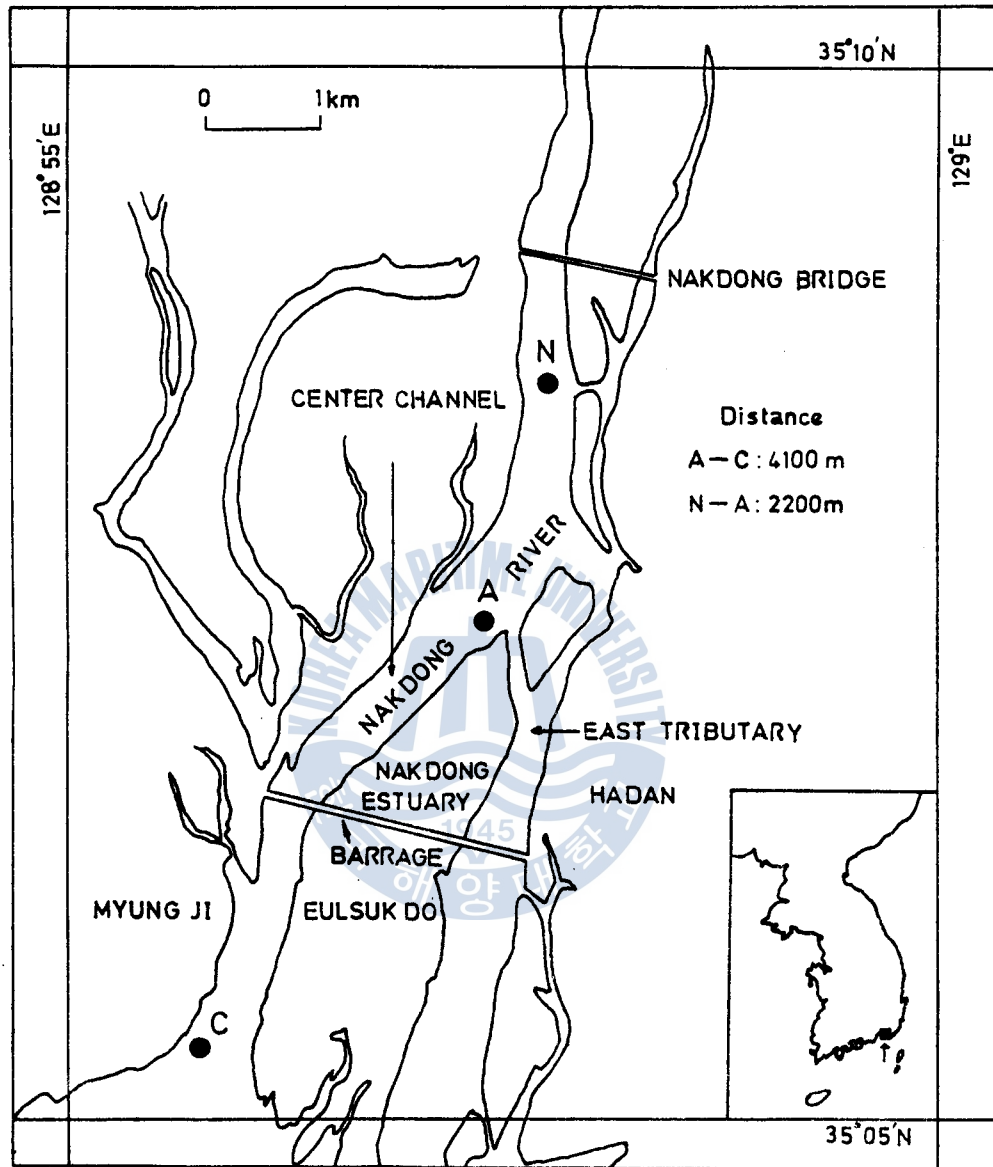


Figure 1. Study area

## 2. 鹽分과 流速의 特性

estuary 內의 海水와 淡水의 混合에 關聯되는 基本的인 機構는 鹽分과 流速의 時間的 變化와 空間的 分布를 考察함으로써 理解될 수 있다. 따라서 各 觀測點들의 1 潮汐週期동안의 鹽分 및 流速의 變化와 相對水深 ( $Z/h$ ) 에 對한 分布를 中心으로 鹽分과 流速의 特性을 살펴보았다.

우선 觀測點 N에서 1 潮汐週期동안 鹽分の 時間變化(그림 2)를 보면 低層의 鹽分은 밀물에서 썰물로의 轉流 約 1時間前에 最大値를 보이며 그 後 減少하여 低潮 1時間後 最低値를 나타낸다. 低潮後 高潮까지는 上層과 中層은 完全한 淡水가 얇은 低鹽分層 위를 흐르고 있음을 알 수 있다. 밀물期間中 淡水量의 減少로 因해 低層의 鹽分이 增加하며 鹽分層의 두께도 增加함을 보인다(그림 3).

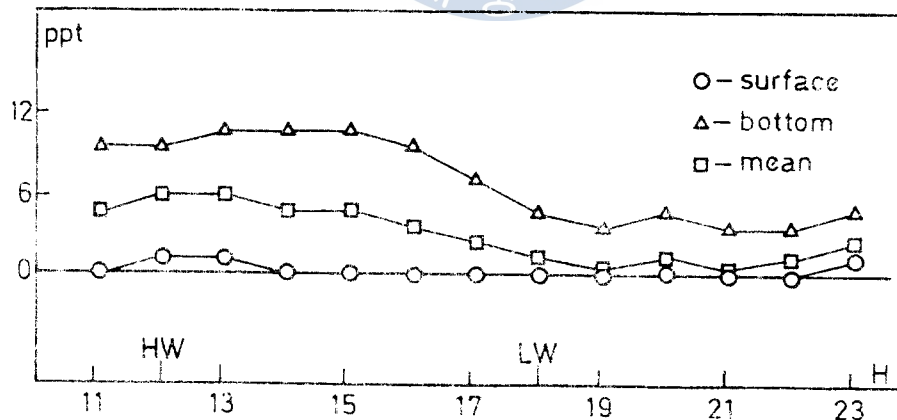


Figure 2. Time variation of salinity at N (1985 4, 25)

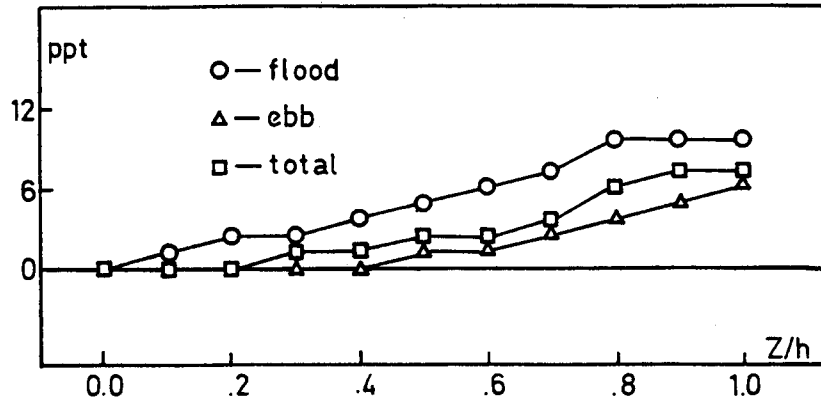


Figure 3. Salinity profile at N (1985 4, 25)

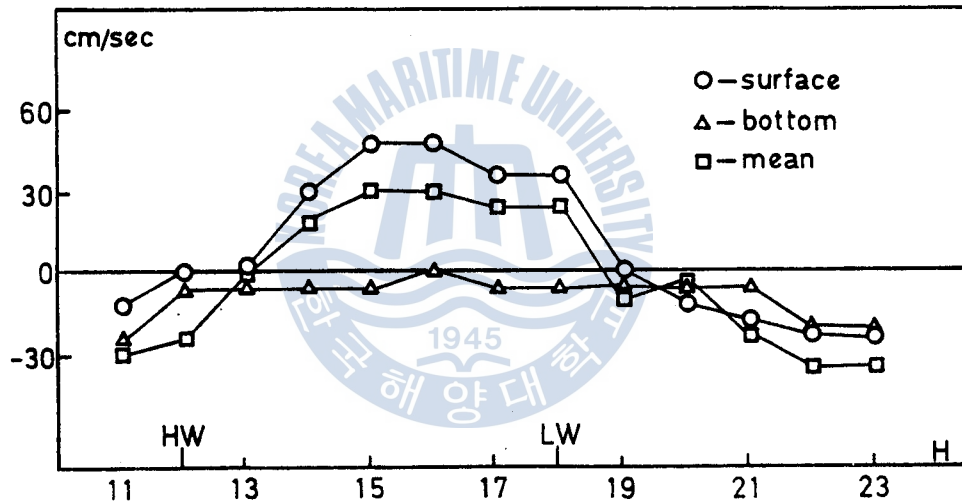


Figure 4. Time variation of velocity at N (1985 4, 25)

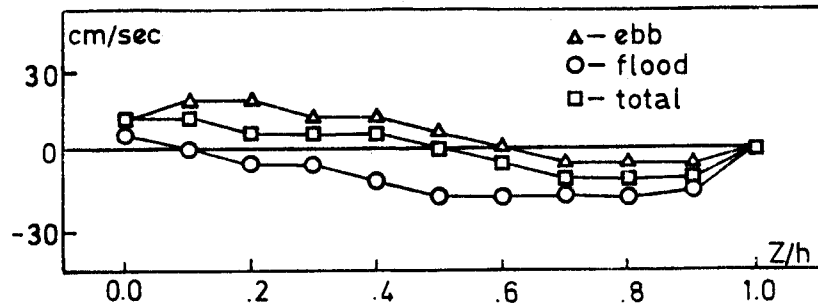


Figure 5. Velocity profile at N (1985 4, 25)

觀測點 N의 1 潮汐週期동안의 流速의 時間變化 (그림 4)는 低層流速은 全潮汐期間中 一定한 變化를 보이며 上層과 平均流速은 潮汐振動에 따라 變化함을 나타내며 相對水深에 따른 流速의 變化 (그림 5)는 中間水深에서 流向이 逆轉하는 二層流의 모습을 보인다. 또한 潮位에 對한 鹽分과 流速의 變化 (그림 6)는 約 3時間의 位相差를 가지므로 觀測點N에서의 潮汐波는 定常波의 性格을 나타낸다고 할 수 있다.

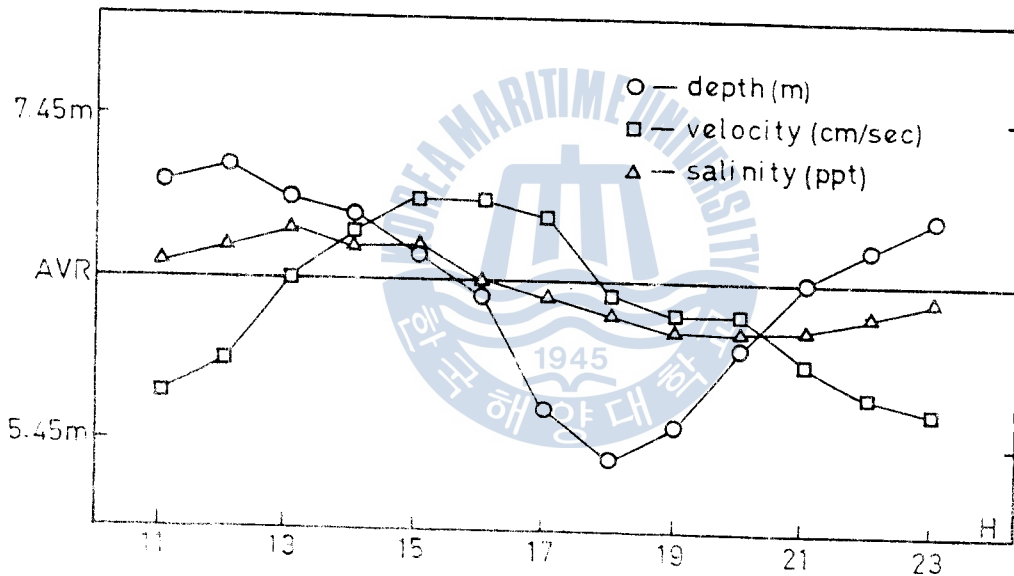


Figure 6. Time variation of depth, velocity & salinity at N (1985 4, 25)

觀測點 N에서 相對水深에 對한 鹽分變化 (그림 8)를 보면 中間水深에서 強한 鹽分躍層을 形成하고 있으며 全潮汐期間中 上層은 淡水로 이루어져 있음을 알 수 있다. 1984年의 觀測<sup>2)</sup>에서는 鹽分이 全層에 걸쳐 고르게 分布되어 상당한 混合이 이루어져 있었

지만 이와는 달리 1985년에는 成層이 顯著하여 低潮와 高潮의 中間에서 鹽分은 最大值를 보인다 (그림 7). 또한 高鹽分の 低層은 高潮부터 급격히 增加하여 低潮 2時間前 最大值를 나타낸다. 이처럼 上層과 低層의 鹽分變化가 相異함을 보이는 것은 東支流 (그림 1)에 의한 潮汐停滯의 結果라고 생각된다.<sup>6)</sup> 즉 밀물期間中 上向流에 의해 上流로 進行하였던 低層의 高鹽水가 高潮時 東支流에 停滯되었다가 潮位가 下降함에 따라 中央水路 (그림 1)에 다시 흘러나와 어느기간 上向成分을 가지나, 썰물로 轉流後에도 密물初期의 上向流와는 區分되는 高鹽分層을 維持한다고 생각된다.

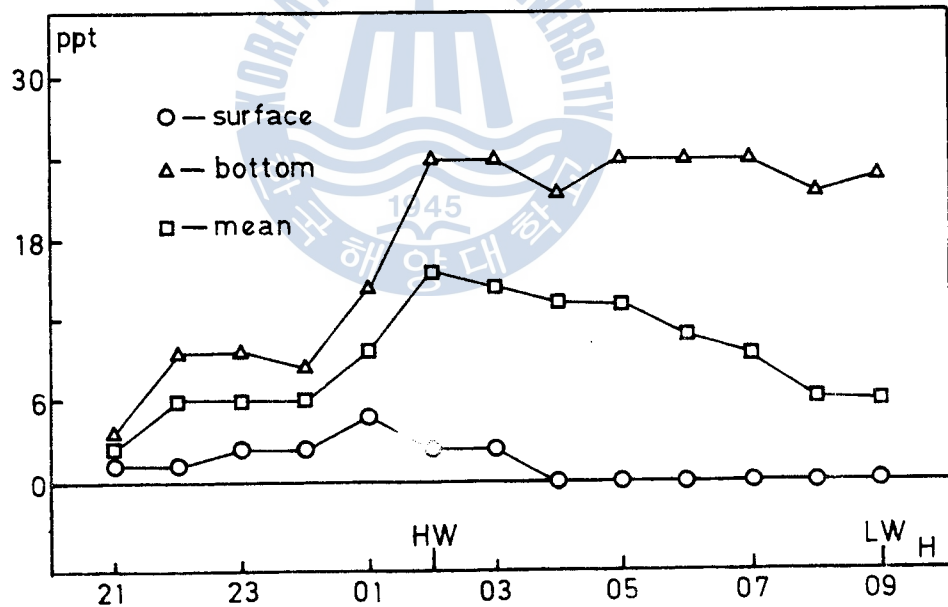


Figure 7. Time variation of salinity at A (1985 4, 27)

觀測點 A에서 流速의 時間變化(그림 9)를 보면 最大流速은 高潮 3時間後, 最低流速은 高潮 및 低潮에 나타나고 또한 潮位에 따른 流速과 鹽分의 時間變化(그림 11)를 보면 約 2~3時間의 位相差를 보이므로 潮汐波의 性格이 定常波에 가까움을 意味한다. 5) 相對水深에 對한 鹽分과 流速의 分布(그림 8,10)는 二層流의 흐름을 뚜렷히 나타내고 있다.

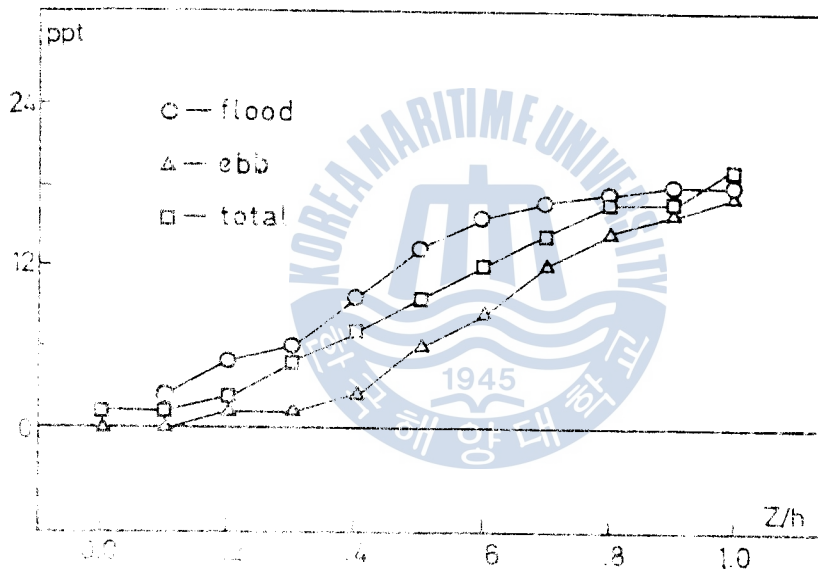


Figure 8. Salinity profile at A (1985 A, 27)

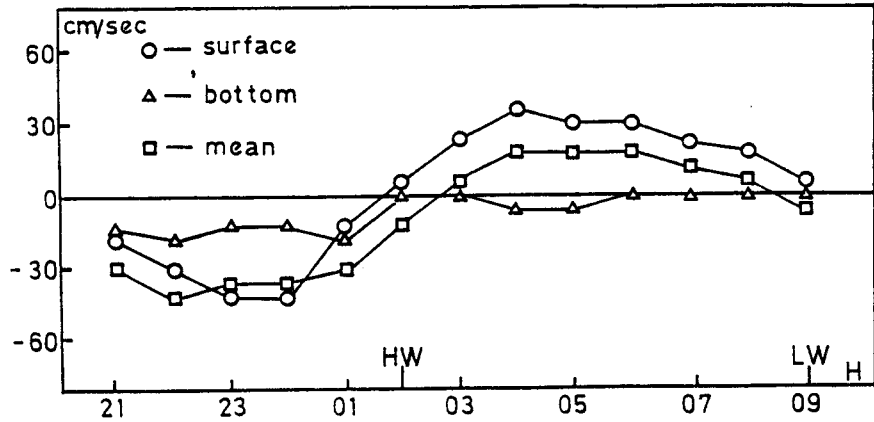


Figure 9. Time variation of velocity at A (1985 4, 27)

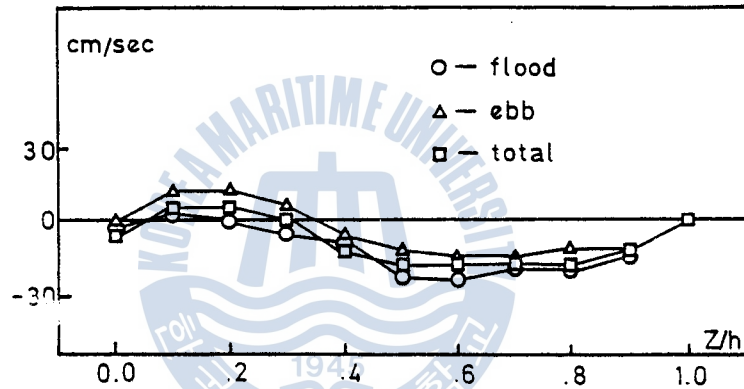


Figure 10. Velocity profile at A (1985 4, 27)

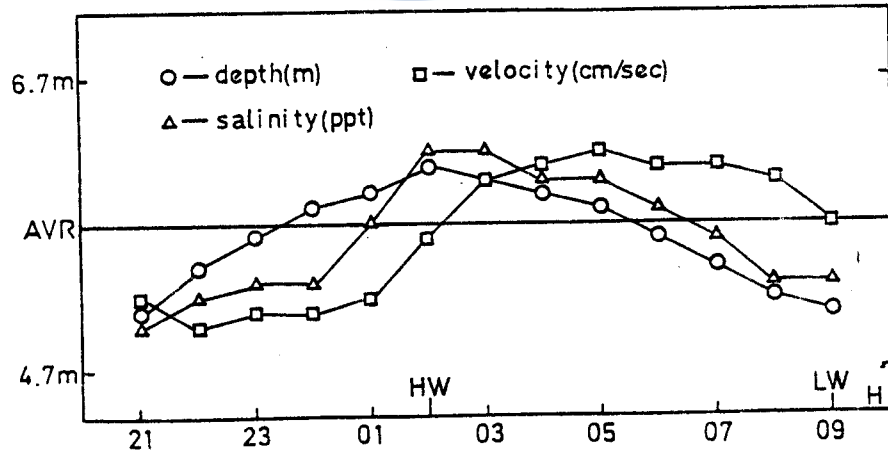


Figure 11. Time variation of depth, velocity &amp; salinity at A (1985, 4, 27)



觀測點 C에서 鹽分의 時間變化 (그림 12)를 보면 最大鹽分은 高潮時에 最低鹽分은 低潮時에 나타나며 潮位變化 (그림 16)와 類似한 모습을 보인다. 水深에 對한 鹽分의 變化 (그림 14)는 相對水深 ( $Z/h$ ) 0.3에서 1.0까지 鹽分의 기울기는 一定하게 增加함을 나타낸다. 流速은 高潮 및 低潮 1時間前에 最大値를 보이며 (그림 15), 中間水深에서 뚜렷한 流向의 境界層을 이루며 (그림 13) 全潮汐期間中 一定한 두께를 가진 二層流의 흐름을 이루고 있다. 潮位에 對한 流速과 鹽分의 時間變化 (그림 16)는 約 2~3時間의 位相差를 나타내고 있으므로 觀測點 C에서 潮汐波도 定常波의 性格을 보인다고 할 수 있다.

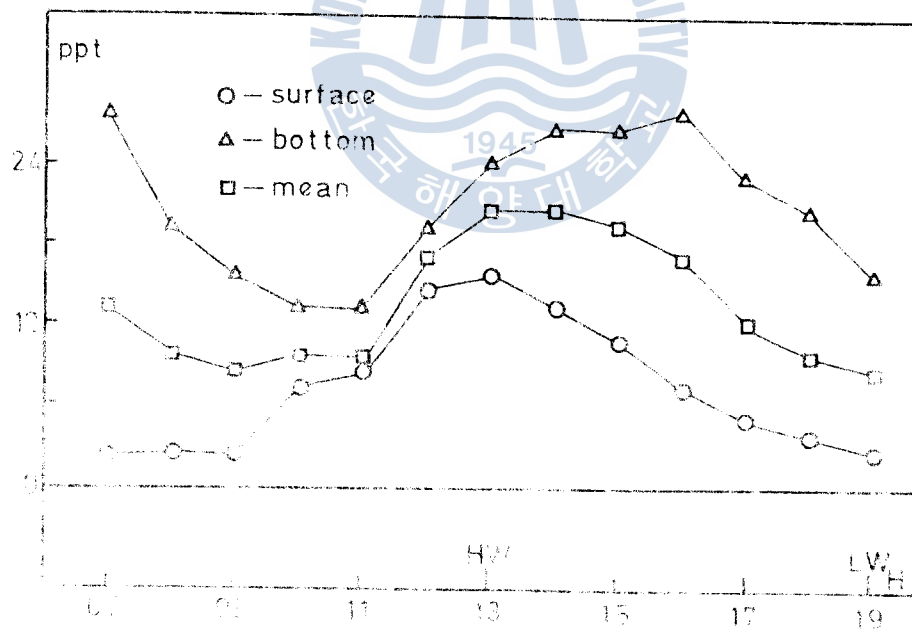


Figure 12. Time variation of salinity at C (1985, 4, 16)

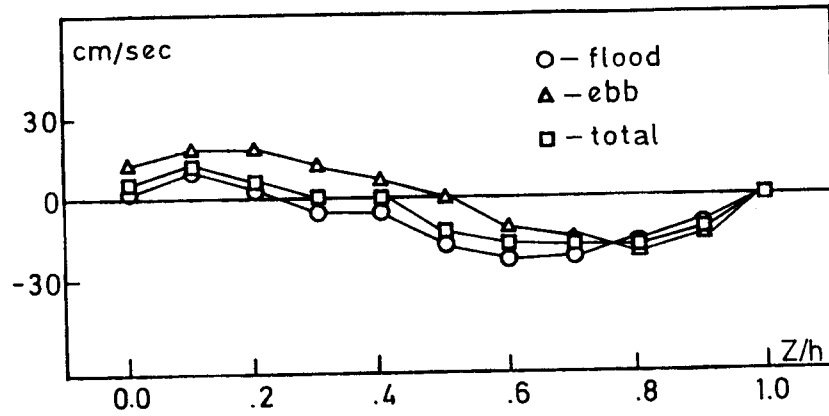


Figure 13. Velocity profile at C (1985 4,26)

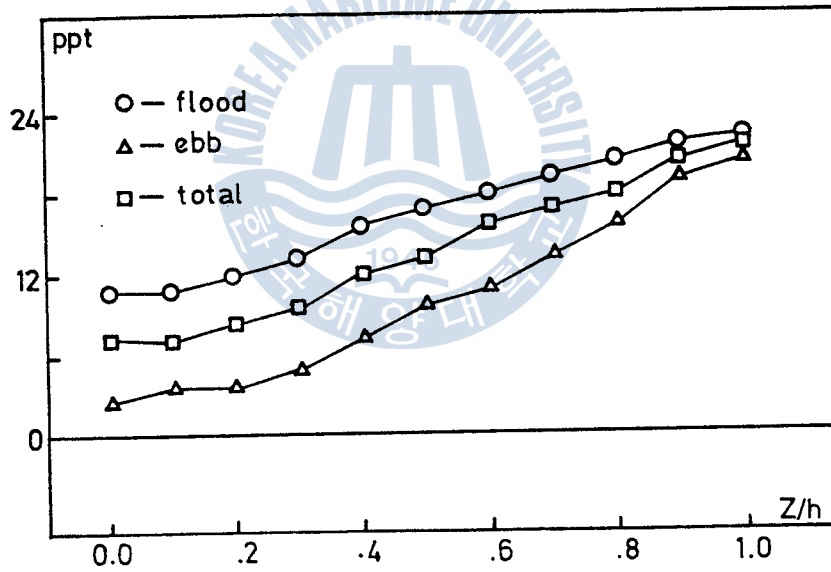


Figure 14. Salinity profile at C (1985 4,26)

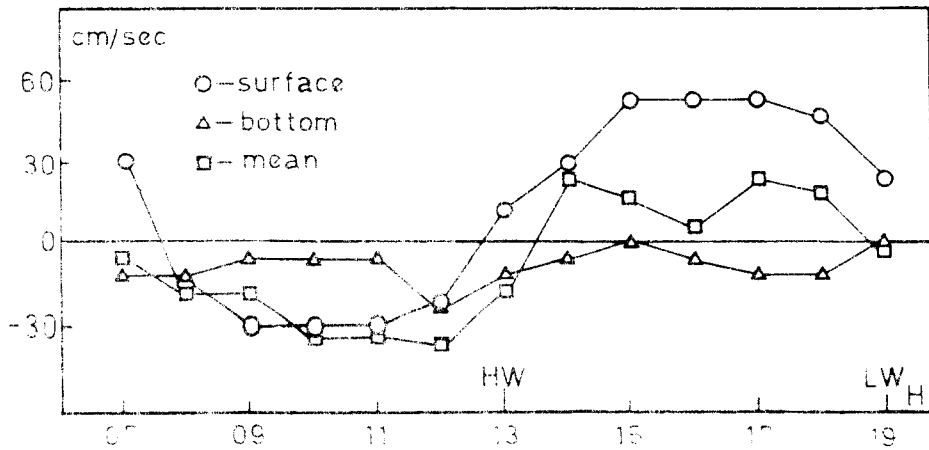


Figure 15. Time variation of velocity at C (1985 4, 26)

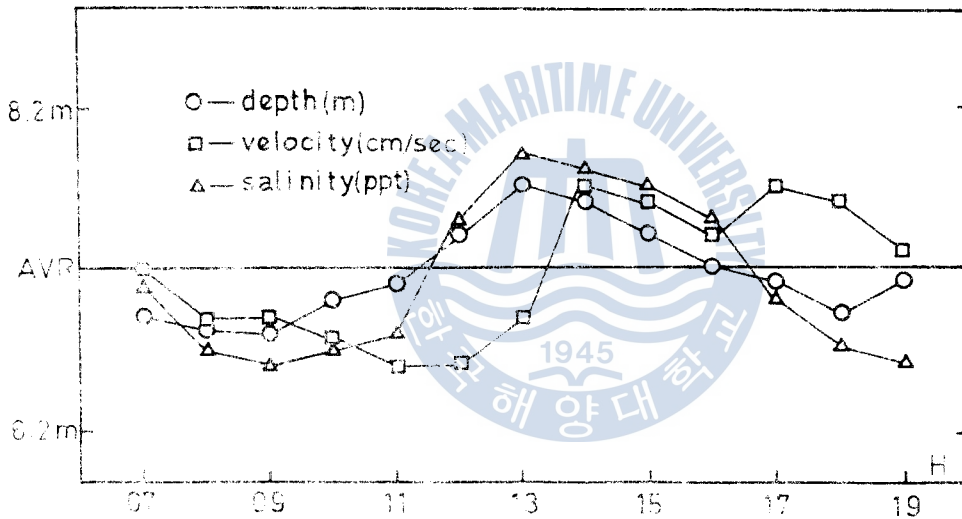


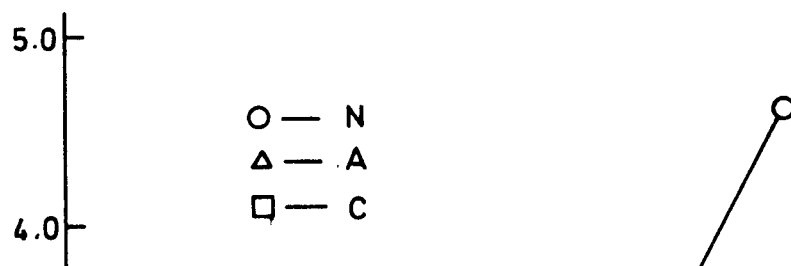
Figure 16. Time variation of depth, velocity & salinity at C (1985 4, 26)

觀測點 A에서는 1984 年의 觀測<sup>2)</sup> 과 比較하여 成層係數의 增加가 크고 循環係數가 1985 年에는 減少하였으나 1987 年에는 循環係數는 크게 늘어났음을 알 수 있다(表 1). 成層-循環圖에 따르면 觀測點 A는 4 型과 2 b 型의 境界부근에 屬하며 時間에 따른 成層係數의 變化(그림 20)는 低潮時 가장 強化되고 高潮時에 弱화됨을

## 3. 河口의 分類

estuary는 地形이나 鹽分의 構造, 成層係數 그리고 成層循環圖에 依해 分類될 수 있으며 이 중에서도 觀測可能한 量, 즉 鹽分과 流速만으로 表現되는 Hansen and Rattray의 成層循環圖(그림 17)에 따른 分類가 一般的인 傾向이다.<sup>8)</sup> 모두 4가지 型을 그림에서 나타내며 1型은 全水深에 걸쳐 純흐름이 下流方向이며 上流鹽分輸送은 擴散에 起因하며 2型은 部分的으로 混合된 形態이고 3型은 fjord를 4型은 鹽分쇄기(salt wedge)를 나타낸다. 添字 a는 混合이 잘 된(well mixed) 狀態를 b는 成層을 의미한다. 또한 曲線  $\nu$ 는 全上向水平擴散에 依한 鹽分流動量에 對한 潮汐擴散에 따른 鹽分流動量의 比를 나타낸다.

따라서 成層一循環圖에 따라 觀測點 N을 表示하면 停滯된 鹽分層위를 淡水가 흐르는 것을 意味한다. 水深에 對한 鹽分과 流速의 變化(그림 3, 5)를 보면 流速은 相對水深 0.6 以下에서 느린 上向流를 보이며 鹽分도 이 水深에서 급한 기울기를 나타낸다. 全體적으로 淡水인 上層이 얇은 低鹽分層의 위를 흘러나가는 모습을 보인다. 즉 低層의 鹽分層이 潮汐振動에 따라 移動하는 鹽分쇄기型이라 할 수 있다. 安東 dam이 斷續적으로 放流되었던 1984年 3月の 觀測에 비해 持續적으로 放流되었던 1985年 以後 觀測에는 顯著한 鹽分의 減少와 함께 강한 成層을 이루고 있으므로 觀測點 N에서의 垂直混合은 擴散에 따른 混合보다는 淡水와 鹽分層의 境界面에서의 entrainment 混合이 優勢할 것으로<sup>3), 8), 9)</sup> 判斷된다.



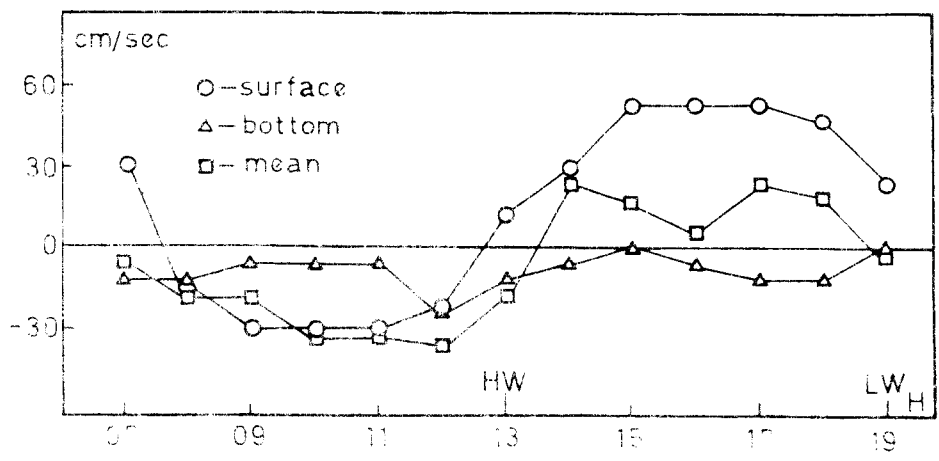


Figure 15. Time variation of velocity at C (1985 4, 26)

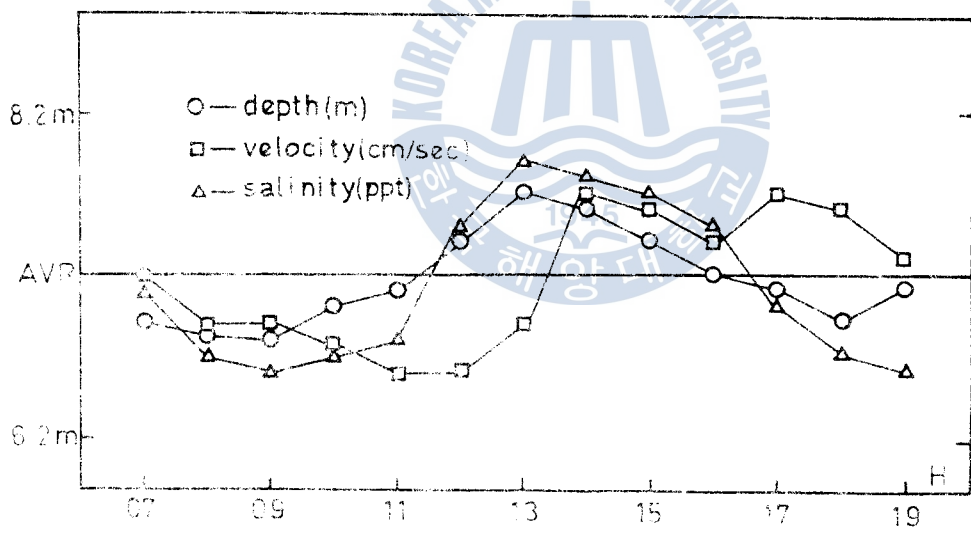


Figure 16. Time variation of depth, velocity & salinity at C (1985 4, 26)

## 3. 河口의 分類

estuary는 地形이나 鹽分의 構造, 成層係數 그리고 成層循環圖에 依해 分類될 수 있으며 이 중에서도 觀測 가능한 量, 즉 鹽分과 流速만으로 表現되는 Hansen and Rattray의 成層循環圖(그림 17)에 따른 分類가 一般的인 傾向이다.<sup>8)</sup> 모두 4가지 型을 그림에서 나타내며 1型은 全水深에 걸쳐 純흐름이 下流方向이며 上流鹽分輸送은 擴散에 起因하며 2型은 部分的으로 混合된 形態이고 3型은 fjord를 4型은 鹽分쇄기(salt wedge)를 나타낸다. 添字 a는 混合이 잘 된(well mixed) 狀態를 b는 成層을 의미한다. 또한 曲線  $\nu$ 는 全上向水平擴散에 依한 鹽分流動量에 對한 潮汐擴散에 따른 鹽分流動量의 比를 나타낸다.

따라서 成層一循環圖에 따라 觀測點 N을 表示하면 停滯된 鹽分層 위를 淡水가 흐르는 것을 意味한다. 水深에 對한 鹽分과 流速의 變化(그림 3, 5)를 보면 流速은 相對水深 0.6 以下에서 느린 上向流를 보이며 鹽分도 이 水深에서 급한 기울기를 나타낸다. 全體적으로 淡水인 上層이 얇은 低鹽分層의 위를 흘러나가는 모습을 보인다. 즉 低層의 鹽分層이 潮汐振動에 따라 移動하는 鹽分쇄기型이라 할 수 있다. 安東dam이 斷續적으로 放流되었던 1984年 3月の 觀測에 比해 持續적으로 放流되었던 1985年 以後 觀測에는 顯著한 鹽分의 減少와 함께 강한 成層을 이루고 있으므로 觀測點 N에서의 垂直混合은 擴散에 따른 混合보다는 淡水와 鹽分層의 境界面에서의 entrainment 混合이 優勢할 것으로<sup>3), 8), 9)</sup> 判斷된다.

과는 反對現象을 보이며 이 時期는 小潮期에 해당하므로 全潮汐期間中 江水流出이 優勢하여 退潮期間中 潮汐에너지가 크지 않다는 것을 意味한다. 9)

觀測點 C에서는 1985 年의 경우 4 型인 鹽分쇄기에 屬하며 鹽分의 成層은 다른 觀測點과 같이 高潮時에 最低值를 低潮 1 時間前에 最小值를 보이고 있다 (그림 20). 1986 年에는 1985 年에 비해 成層係數는 減少하였으나 (表 1) 循環係數는 급격히 增加하여 2 b 型에 屬하며 流向이 中間水深에서 反轉하는 部分的으로 混合된 estuary 의 特性을 나타낸다. 따라서 이곳에서의 混合過程은 移流와 擴散에 依한 上流鹽分輸送이 存在하리라 생각된다. 5), 7) 1987 年의 경우 退潮期間中에는 流向이 中間水深에서 바뀌는 二層流의 흐름을 形成하나 漲潮期間中에는 모두 下向인 즉 1 b 型에 屬하는 性格을 보이므로 上流鹽分輸送은 擴散에 따라 支配된다 할 수 있다. 5), 9)

Table 1 Calculated values of stratification, circulation parameters and Ri numbers for Nakdong estuary

Classif. Year Station	$\bar{S}_b - \bar{S}_s / \langle \bar{S} \rangle$			$\bar{U}_s / \langle \bar{U} \rangle$			Ri
	1985	1986	1987	1985	1986	1987	1985
N	2.92			4.03			3.2
A	1.80			0.15		1.47	4.5
C	1.15	0.47	1.32	4.33	8.73	2.14	9.9

이상의 estuary 特性 分析을 綜合하면 1985年 4月의 洛東江河口는 강한 成層을 이루고 있는 염분쇄기型으로 全體적으로 安定한 低層을 形成하므로 높은  $Ri$ (表 1) 보여 垂直混合은 entrainment 에 依한 混合이 높은 比重을 차지할 것으로 판단된다. 5), 8)

그리고 各 觀測點들의 垂直鹽分分布에 따라 等鹽分線을 連結하여 全觀測水域의 水平鹽分分布를 썰물 및 밀물期間中에 각각 그림 19와 그림 20에 나타내었다. 썰물期間中 鹽分分布(그림 19)를 보면 上層의 5 ppt 以下の 低鹽分層이 N에서 C까지 넓게 分布되고 中間水深부근에서 뚜렷한 成層을 보이며 低層으로 갈수록 鹽分の 기울기가 급격히 增加함을 나타내며 바닥부근의 高鹽分쇄기는 觀測點 A의 바닥地形을 境界로하여 形成되어 있음을 알 수 있다. 밀물期間中 鹽分分布(그림 20)에서 5 ppt 以下の 저염분층은 觀測點 A까지 後退하였고 成層과 기울기의 減少도 增加하였으며 염분쇄기의 두께도 증가하였음을 알 수 있다. 그러나 염분쇄기의 침입거리는 썰물期間中の 分布에 비해 크게 늘어나지 않았고 觀測點 A의 바닥水深부근에 한정되고 있으므로 이 근처의 바닥地形傾斜가 크다는 점을 판단할 수 있다.

따라서 全潮汐期間中 鹽分の 水平分布는 上層의 淡水層은 潮汐振動에 따라 왕복운동하며 低層의 20 ppt 以上の 高鹽分쇄기는 두께는 變化하나 바닥地形으로 인해 침입거리는 크게 變하지 않으므로 상당히 安定된 低層을 형성하고 있다.



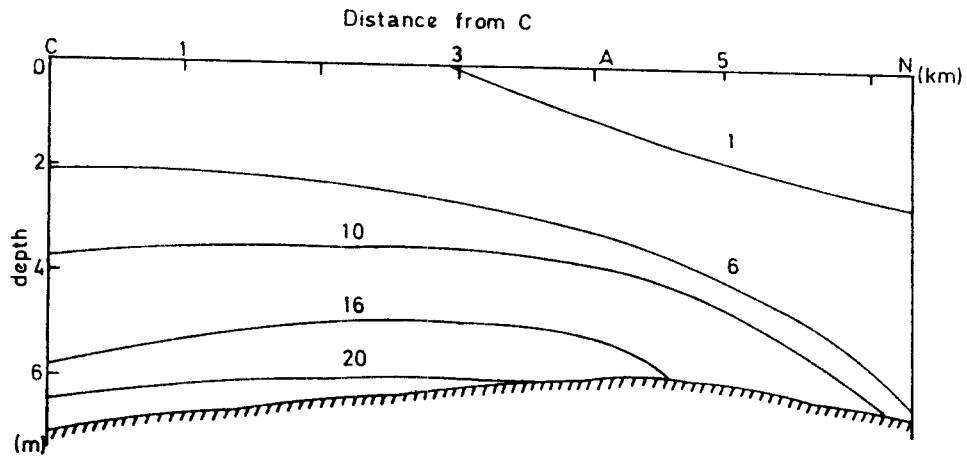


Figure 19. Longitudinal distribution of salinity during the ebb tide in 1985

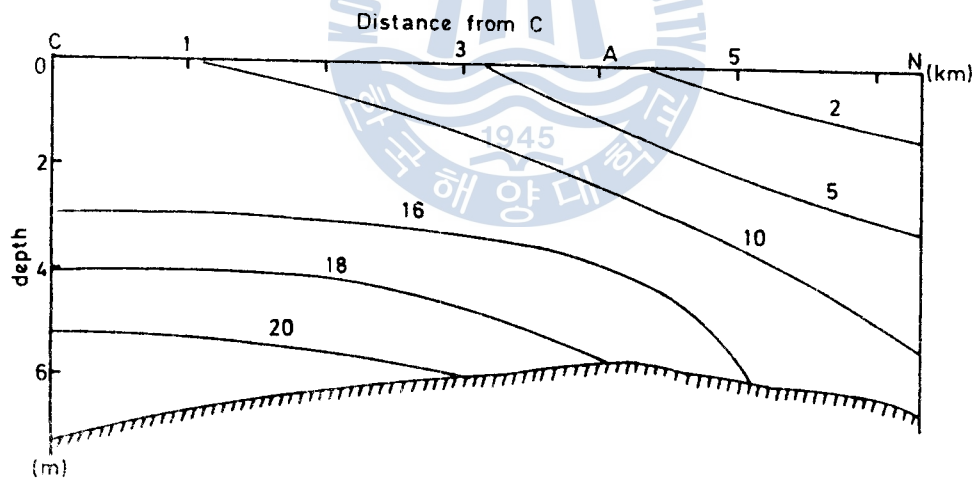


Figure 20. Longitudinal distribution of salinity during the flood tide in 1985

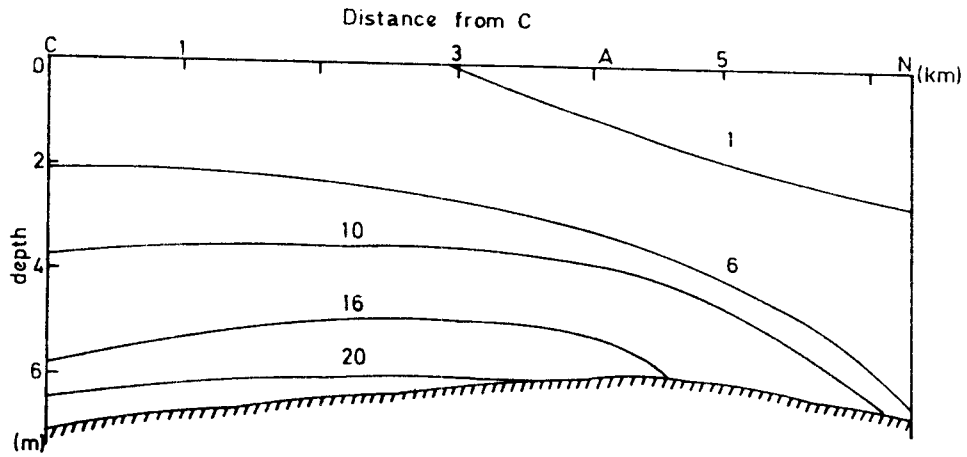


Figure 19. Longitudinal distribution of salinity during the ebb tide in 1985

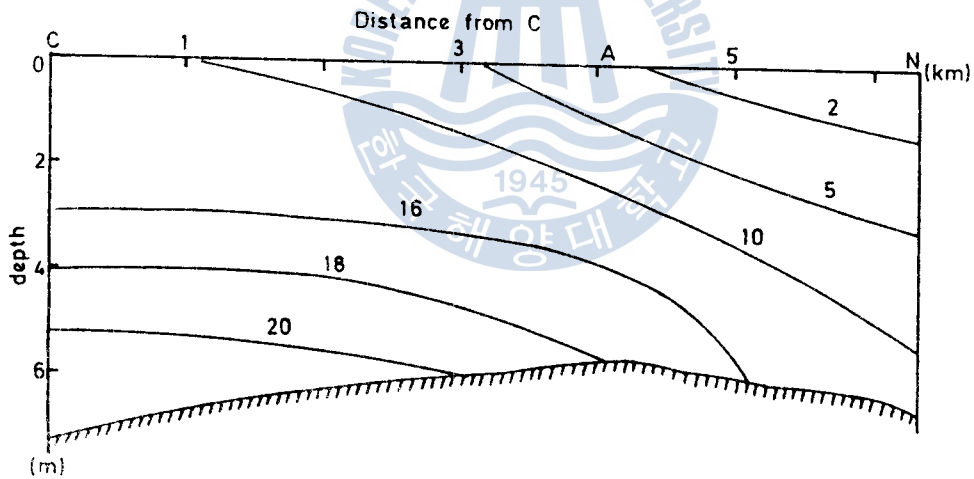


Figure 20. Longitudinal distribution of salinity during the flood tide in 1985

## 4. 混 合 過 程

estuary의 混合過程은 平均흐름에 依한 單一方向運動인 移流(advection)와 亂流(turbulence)에 依한 3次元 擴散(diffusion)으로 이루어지나 洛東江과 같이 幅이 좁고 地形의 灣曲이 작으며 水深에 對한 幅의 比(1/100)가 작을 경우 混合은 江軸方向의 水平混合과 垂直混合으로 이루어진 2次元적으로 취급할 수 있다.<sup>3),9)</sup> 一般的으로 混合은 平均흐름의 速度기울기와 水平密度差에 依해 助長되나 鹽分의 垂直기울기의 增加에 따라 減少된다. 그리고 潮汐 에너지가 작다면 垂直擴散은 減少되어 鹽分섞기를 形成하나 垂直鹽分輸送은 entrainment에 依해 可能하다.<sup>9)</sup>

따라서 estuary의 特性을 糾明하기 爲해서는 混合過程을 數量化할 必要가 있다. 이는 estuary內的 鹽分變化量을 方程式化 함으로써 可能하므로 鹽分과 流速分布의 正確한 分析이 必須的이다.

鹽分の 連續方程式(The equation of continuity for salt)는 다음과 같이 表現된다.<sup>8)</sup>

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial \bar{s}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} \right) - \bar{u} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial \bar{s}}{\partial y} - \bar{w} \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} \dots \dots \dots (1)$$

式(1)의 右邊 1~3項은 擴散項으로 單週期 渦(eddy)에 依한 鹽分流動量(salt flux)이며 分子擴散보다 훨씬 크고, 4~6項은 移

流項으로 平均흐름에 依한 鹽分流動量이다. 移流項은 鹽分과 물의 質量流動量이지만 擴散項은 鹽分流動量에만 關係가 있으므로 물의 純交換은 없다. 그리고  $K_x, K_y, K_z$  는 渦擴散係數이며 潮汐期間동안 의 混合條件을 나타낸다.)

(2) 水平分散 (Longitudinal dispersion)

江軸을 محور로 水平混合을 潮汐擴散과 速度 shear による 循環에 依한 擴散等을 包含하는 複合的인 意味을 가진 分散이란 用語로 表現된다. 따라서 以下가 水平混合要因의 寄與度 比較를 爲해 平均흐름의 垂直단 單位幅에 對한 鹽分流動量은

$$Q = \int_0^H \int_0^B u \, ds \, dz \cdot dL$$

$$= \int_0^H \int_0^B \{ a_0 \bar{u} + b_0 \bar{u}_0 + b_1 \langle u_1 s \rangle + b_2 \langle u_2 s \rangle \} dz \cdot dL$$

$$= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad \dots \dots \dots (1)$$

로 表現된다.)

여기서  $Q_1$  은 江水流出에 해당하는 平均흐름에 依한 移流의 寄與度 ( $Q_1 = \bar{u} B \Delta L$ ) 表示할 수 있다.  $Q_2$  는 潮汐擴散의 寄與度로 潮汐期間에  $\langle u_1 s \rangle$  와  $\langle u_2 s \rangle$  의 變化에 따른 結果이며 流速과 鹽分の 變化가 90° 位相差를 가질 때, 즉 潮汐波가 定常波의 性格을 나타낼 時에 이 項의 寄與度는 0 이 된다.  $Q_3$  는 速度 shear による 循環의 寄與度를 나타내며 水深에 對한 流速과 鹽分の 變化에 따라 起因한다.  $Q_4$  는 小規模亂流의 寄與度로 他項에 비해 작으므로 보통 無視한다.)

定常狀態下에서  $Q = 0$  이며 充分히 混合된 estuary 에서는  $K_x$  가 크고  $s_1$  이 작으므로  $Q_3$  項은 그 寄與度가 減少하여  $Q_2$  와  $Q_1$  이 均衡을 이루며 成層 estuary 에서는  $Q_2$  와  $Q_3$  의 기여도가  $Q_1$  과 均衡을 이룸을 알 수 있다.<sup>8)</sup>

式(2)는

$$\langle \bar{u} \rangle \langle \bar{s} \rangle = K_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \dots\dots\dots (3)$$

로 表現할 수 있으며

$$\bar{A} \langle \bar{u} \rangle = R \dots\dots\dots (4)$$

과 함께 水平分散係數를 計算할 수 있다.<sup>8)</sup> 여기서  $K_x$ 는  $Q_2$ ,  $Q_3$  및  $Q_4$  의 寄與度를 包含하고 있으며 充分히 混合된 estuary 에서는 潮汐擴散係數를, 成層 estuary 에서는 潮汐擴散과 速度 shear 를 包含하는 係數를 意味한다.<sup>8)</sup>

式(3), (4)에서

$$K_x = R \langle \bar{s} \rangle / \bar{A} (d\bar{s}/dx) \dots\dots\dots (5)$$

가 되며 式(5)에 따라 1984 年과 1985 年의 各 觀測點들의 水平分散係數를 求해 보면 表 2 와 같다. 1985 年 觀測點 C에서  $K_x$  의 값이 減少하였음을 알 수 있다. 이는 前年에 比해 鹽分의 減少와 水平鹽分 기울기가 減少하였기 때문이라 생각된다.

그리고 全上向 水平擴散流動量에 對한 潮汐擴散의 比인  $\nu$ 는

$$\nu = 1 - 1.20 \frac{\bar{u}_s}{\langle \bar{u} \rangle} \frac{\bar{S}_b - \bar{S}_s}{\langle \bar{s} \rangle} \dots\dots\dots (6)$$

로 表示된다. 8) 各 觀測點에 對한  $\nu$ 값을 求하여 表 2 에 나타내었다.  $\nu$ 가 1 에 가까울수록 그 地點에서의 上向水平鹽分輸送은 潮汐擴散에 依存하며 0 에 가까울수록 速度 shear 또는 循環에 依한 鹽分輸送이 優세하다는 것을 알 수 있다. 8) 表 2 에서 보면  $\nu$  값이 觀측點 C에서는 1984 年에 比해 1985 年에는 크게 減少하였음을 나타내고 있다. 이는  $Q_2$ 의 寄與度가 감소하였음을 意味하며 이 地點의 垂直鹽分 速度分布 (그림 13, 14)를 볼 때  $Q_3$ 項의 기여도가 증가하였음을 알 수 있고 潮汐波가 定常波의 性格을 強하게 나타내고 있음을 意味한다. 1984 年의 경우 평균  $\nu$ 값이 約 0.82 로  $Q_2$ 의 기여도가 優勢하였고 進行波의 性格을 띤 潮汐波를 추측할 수 있으며 1985 年에는 橫方向循環에 따른 N의 陰의 값을 無視한다면 0.35의 평균값을 나타내어 前年에 比해  $Q_2$ 項의 기여도가, 즉 潮汐擴散에 依한 上流鹽分輸送이 크게 감소하였다는 점을 판단할 수 있다.

Tab.2 Calculated longitudinal dispersion coefficient and  $\nu$  for Nakdong estuary

Station Year Classifi.	N		A		C	
	1984	1985	1984	1985	1984	1985
Kx ( $\times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ )	6.4	0.3	2.4	5.6	7.3	3.7
$\nu$	0.61		0.93	0.62	0.93	0.08

## (2) 垂直混合

連續方程式에서 垂直方向만을 고려하고 垂直速度(w)를 無視하면 式(1)은

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x} (K_z \frac{\partial \bar{s}}{\partial z}) - \bar{u} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (7)$$

水深에 對해 積分하면 式(7)은

$$\frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial \bar{s}}{\partial z}) = \frac{1}{T} \int_0^T (u \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} - \langle u \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \rangle) dt \quad \dots\dots\dots (8)$$

로 表示되어 垂直擴散係數  $K_z$  의 計算이 可能하다.<sup>8)</sup> 式(8)을 使用하여 1985年 各 觀測點들의  $K_z$  값을 求해보면 N-A사이에서는  $1.8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ , A-C사이에서는  $1.4 \text{ cm}^2/\text{sec}$  의 값을 나타내고 있다. 이 값들은 1984年에 얻어진 값<sup>2)</sup>에 比하면 훨씬 작은 값이다. 一般的으로 강한 潮汐流을 가진 中立安定條件에서  $K_z$  는  $100 \text{ cm}^2/\text{sec}$  order 이고 流速이 弱하고 成層이 强하면  $K_z$  는  $5 \text{ cm}^2/\text{sec}$  의 order 를 나타낸다.<sup>3)</sup> 따라서 1985年 觀測點에서 求한  $K_z$  값의 條件을 감안할 때 一般的인 事實과 妥當한 結果를 나타내고 있다. 여기서  $K_z$  를  $Ri$  의 函數로 表示하여 成層으로 因한  $K_z$  의 減少 效果를 알아보기 爲해 Munk and Anderson 과 Officer 의 實驗式<sup>4),8)</sup>

$$K_z = A_0 (1 + 10/3 Ri)^{-\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$K_z = A_0 (1 + Ri)^{-2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

에 觀測點 N,A,C에서의  $Ri$ 를 代入하면 表 3과같이 나타난다. 여기서  $A_0$ 는  $Ri = 0$ 일때의  $Kz$ 값이다. 즉 充分히 混合된 中立條件에서  $Kz = A_0$ 이다.

Tab. 3 Effect of stability on vertical mixing coefficient

Station	Ri number	$Kz/A_0$	$Kz/A_0$
		Eqn. 9	Eqn. 10
N	3.2	0.49	0.056
A	4.5	0.15	0.033
C	9.9	0.097	0.0064

表 3에서보면 모든 觀測點에서의  $Kz$ 값이 中立安定條件下의  $Kz$ 값보다 顯著하게 減少하였음을 알 수 있다. 따라서 1985年 各 觀測點에서의 垂直混合은 減少되었으며 擴散에 依한 混合보다는 entrainment에 依한 混合이 優勢하다고 판단할 수 있다.

또한 Officer (1973)에 따르면  $Ri > 10$ 에서는 entrainment에 依한 混合만이 存在한다고 하였으며  $50 < Ri < 100$ 에서는 擴散에 의한 垂直混合은 거의 無視할 정도이다. 이므로 各 觀測點들의 垂直混合特性을 판단할 수 있다.

특히 1985年 觀測點 C에서는 높은  $Ri$ 와 安定한 低層의 흐름을



가지므로 이곳의 垂直混合은 entrainment 에 의한 混合이 월등하  
 리라 생각된다. 그리고 C 點의 entrainment 速度 (Wen) 를 Keule-  
 gan(1949) 의 實驗式

$$Wen = 3.5 \times 10^{-4} (v_1 - 1.15 v') \dots\dots\dots (11)$$

에서 求하면 0.14 cm/sec 의 近似值가 얻어진다.



## 5. 結 論

1985, 1986, 1987 年에 洛東江河口의 觀測點 N,A,C에서 얻은 觀測資料를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 1986 年の 觀測을 除外하고 모든 觀測點에서 洛東江 estuary는 강한 成層을 보이며 成層-循環圖에 따라 分類하면 鹽分 쪼기 (salt wedge) 型으로 分類되었다.
2. 1984 年 觀測結果에 比해 1985 年 觀측에는 潮汐波가 定常波의 性格을 더 強하게 나타내었다.
3. 潮汐擴散에 依한 上流鹽分輸送은 1985 年에는 1984 年에 比해 그 寄與度가 크게 減少하였다.
4. Ri number 는 큰 값을 나타내어 entrainment 에 依한 垂直混合이 擴散에 依한 混合보다 優勢하였다.
5. 垂直擴散係數 ( $K_z$ ) 는 강한 成層으로 인해 1984 年보다 크게 감소한  $1.4 \sim 1.8 \text{ cm}^2/\text{sec}$  의 값을 나타내었다.

## REFERENCES

1. 俞洪善外 2名(1984) ; 洛東江河水の 混合 및 循環過程에 關한 研究, 韓國海洋大學 海事基礎科學研究所 論文集 第1輯, 韓國海洋大學 海事基礎科學研究所
2. 俞洪善外 2名(1985) ; 洛東江 河口에서의 河川水の 循環과 混合의 物理的特性, 韓國海洋大學 海事基礎科學研究所 論文集 第2輯, 韓國海洋大學 海事基礎科學研究所.
3. Bowden, K.F. (1983) : Physical oceanography of coastal waters, Elis Horwood, pp.185-186, 274, 275-277.
4. Bowden, K.F. (1978) : Mixing process in estuaries, symp. Estuarine transport processes edited by Kjerfve, B., South Carolina univ., pp.11-32.
5. Dyer, K.R. (1973) : Estuaries ; A Physical introduction, John Wiley & Sons, pp.6-18, 21-22, 64-84.
6. Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., Brooks, N.H. (1979) : Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, pp.234-237.
7. Hansen, D.V. and Rattray, Jr. M. (1966) : New dimensions in estuary classification, Limnol. Oceanogr. 11, pp.319-325.
8. Officer, C.B. (1976) : Physical oceanography of estuaries, John Wiley & Sons, pp.3-5, 165-217, 259-266.

9. McDowell, D.M., O'Conoor, B.A. (1977) : Hydraulic behaviour of estuaries, McMillan Press, pp.13-16, 49-78.



# 韓國沿岸의 交通管制對象海域 評價에 關하여

On the Mathematical Model for Evaluating the Applicability  
of the Vessel Traffic Management System



Abstract	3.2.1. 海難事故件數
1. 序 論	3.2.2. 海上交通量
2. Model 의 構成	3.2.3. 안개發生日數
2.1. 問題의 記述	3.2.4. 海域의 複雜性
2.2. 評價項目	4. 綜合評價
2.3. Model 의 構成	4.1. 重要度의 同定
3. 海域의 特性	4.2. 對象海域의 綜合評價
3.1. 對象海域	5. 結 論
3.2. 海域의 特性	參考文獻