

## 1982年 夏季 西海岸 潮汐前線의 構造

秋 孝 尚 · 曹 圭 大  
釜山水産大學 海洋學科

## The Structure of Tidal Front in the Eastern Yellow Sea in the Summer of 1982

Hyo Sang CHOO and Kyu Dae CHO

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan,  
Namgu, Pusan, 608 Korea

The formation and structure of tidal front in the eastern part of the Yellow Sea were studied based on the oceanographic data compiled during the periods of 1982~1983 and 1966~1970. Well-defined fronts occurring in the Yellow Sea in summer mark the boundary between the stratified and vertically mixed regimes. The occurrence of vertically mixed regimes may be interpreted in terms of available turbulent kinematic energy of tidal currents. The tidal frontal regions were determined by horizontal gradients of temperature, salinity and dissolved oxygen, and were verified by water colour and transparency. In summer the tidal fronts were found at depths of 15~25m at about 20 miles from the shore.

Potential energy of vertical stratification in the tidal frontal region was 10 Joule/m<sup>3</sup>. The stratification parameter in the frontal region computed from the numerical tidal model was  $S_p=1.0$ . Tidal front is formed in regions with  $S_p=1-1.5$ , if surface heat flux are constant. Waters in the stratified region have the layer structures of wind-mixed surface layer, thermocline and tidal-mixed bottom layer. In the vertically mixed region, however, sea water is nearly homogeneous. In winter no distinctive tidal front was seen.

## 緒 論

海洋에 나타나는 前線중, 夏季에 水深이 얇은 沿岸 가까이에서는 太陽輻射熱에 의한 表層水溫의 上昇으로 이루어진 成層이 강한 潮流에 의한 亂流로 인하여 破壞되므로 前線이 形成되는 경우가 있다 (Bowmann and Esais, 1977). 이러한 前線을 潮汐前線(tidal front)이라고 부른다.

Fearnhead(1975)는 英國 沿岸域에서 이러한 前線이 形成되는 基本的 機構를 調査하였고, Simpson and Hunter(1974), Simpson *et al.*(1978) 등은 沿岸에서 A. R. T. (airborne radiation thermometer)

에 의한 表面水溫 및 STD에 의한 觀測 등으로 前線域을 把握하였다. 또한 Simpson *et al.* (1977)는 夏季 英國 周邊域에서 鉛直混合이 일어나는 곳의 位置에너지는 約 10 Joule/m<sup>3</sup>이며, 이 값보다 큰 海域은 成層이 이루어져 이 값을 基準으로 潮汐前線의 位置를 把握하였다.

曹(1982)는 夏季 西海에서 外洋水와 沿岸水 사이에 形成된 潮汐前線은 潮流에 의한 低層亂流때문이라 하였고, Kim and Lee(1982)는 夏季 濟州島 西岸에서 出現하는 鉛直均一 水塊의 形成 原因을 潮流에 의한 混合으로 說明하였다. 그러나 夏季 우리나라 西海에서 形成되는 潮汐前線의 具體的인 形成要因과 그 位置 및 構造에 關한 研究는 드물다.

本 研究에서는 群山附近 沿岸域의 1982年 夏季와 1983年 冬季 海洋觀測資料와 過去의 資料를 使用하여 潮汐前線의 構造를 調査하고 位置에너지를 根據로 하여 前線의 位置를 把握하였다.

本 論文作成中 많은 助言을 아끼지 않으신 張善德, 姜容均과 金喜俊 博士님들께 깊은 感謝를 드립니다.

### 資料 및 方法

資料는 釜山水產大學 釜山 403號와 國立水產振興院 한라산호로 群山 앞 바다의 觀測點에서 1982年 8月과 1983年 2월에 調査한 海洋觀測結果를 使用하였다(Fig. 1).

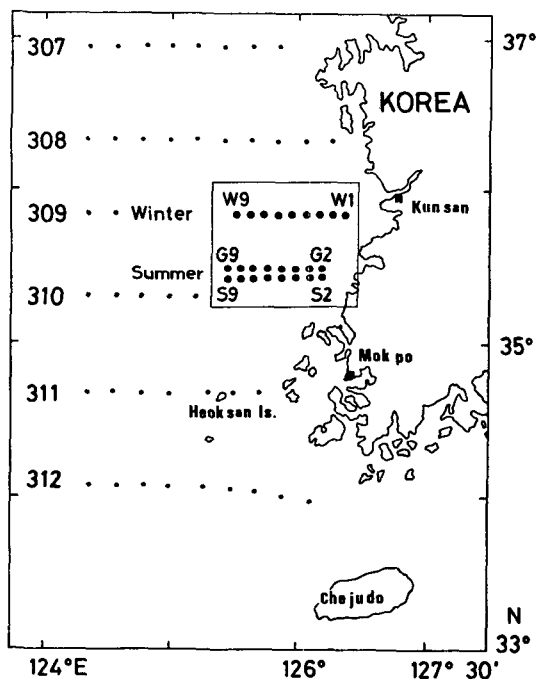


Fig. 1. Location of oceanographic stations G<sub>2</sub>-G<sub>9</sub>, S<sub>2</sub>-S<sub>9</sub> and W<sub>1</sub>-W<sub>9</sub>, as well as the serial oceanographic stations of Fisheries Research and Development Agency.

觀測은 夏季에 沿岸에서 10~14mile 떨어진 海域(35°25'N, 126°13'E~35°30'N, 126°11'E)에서 부터 西쪽으로 2個의 觀測線을 따라 約 6 mile의 間隔으로 8個 定點을 設定, 觀測하였으며 冬季에는 夏季보다 다소 寬 海域의 1個 觀測線(35°51'N, 126°18.8'E~35°51'N, 125°30'E)에서 9個 定點을 設定하여 觀測

하였다. 아울러 國立水產振興院의 1982年 8月과 1983年 2月의 海洋觀測資料 및 1966~70年 8月의 C. S. K 觀測資料로써 比較하였다.

水溫과 鹽分은 Tsurumi Seiki의 T-S meter로써 깊이 5 m 間隔으로 觀測하였고, 容存酸素는 YSI Model 57로써 現場에서 깊이 10 m 間隔으로 測定하거나 難選採水器로 採水하여 Winkler 方法에 의해 測定하였다. 透明度는 白色 透明度板으로써, 水色은 Forel 水色計를 使用하여 調査하였다.

各 觀測點에 대한 位置 에너지는 Simpson *et al.* (1977)의 式에 의해 成層係數(stratification parameter)  $V(\text{Joule}/\text{m}^3)$ 로 나타내었다.

$$V = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 (\rho - \bar{\rho}) g z dz; \bar{\rho} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho dz$$

여기서  $h$ 는 水深(m),  $\rho$ 는 密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\bar{\rho}$ 는 鉛直平均密度,  $g$ 는 重力加速度( $\text{m}/\text{sec}^2$ ), 그리고  $z$ 는 鉛直座標로서 陽(+) $의 方向을 鉛直 上方으로 잡았다.$

### 結 果

#### 1. 夏季

##### 가. 水溫分布

Fig. 2는 1982年 8월에 觀測한 G와 S線의 表面 및 低層水溫과 位置에너지의 分布를 나타낸 것이며, Table 1은 1982年 8月과 1983年 2월에 觀測한 水溫, 鹽分, 容存酸素의 最大水平傾度를 나타낸 것인데 夏季에는 0m, 10m, bottom 別로, 冬季에는 0m, 20m, bottom 別로 表示하였다. 夏季에 表面水溫은 沿岸에서 約 10~14mile 떨어진 G<sub>2</sub>\*와 S<sub>2</sub>에서 約 9~12 mile의 거리에 있는 G<sub>4</sub>와 S<sub>4</sub>까지는 모두 25°C 以下의 水溫分布를 보였으나, 이로부터 外海쪽은 約 25°C 였다. 低層水溫은 沿岸쪽인 G<sub>2</sub>와 S<sub>2</sub>의 24.5°C에서 부터 시작하여 外海쪽으로 갈수록 점차 낮아져 15°C였다. 夏季에 表面水溫의 水平傾度가 큰 곳은 G<sub>3</sub>와 G<sub>4</sub>사이의 0.16°C/mile, S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub>사이의 0.21°C/mile로서 이중 後者の 값이 더 크게 나타났다. S線의 低層에서는 조금 外海쪽으로 치우쳤지만 表面과 비슷하게 나타났고 그 값들은 水深에 따라 다소 달랐다. 여기서 表面水溫은 外海에 비해 沿岸에서 다소 낮은 傾向이 있지만 低層水溫은 外海에 비해 오히려 높게 나타나 表面과 低層이 서로 反對였다. 이와같은 水溫의 構造는 潮汐前線域의 典型的인 現象이다.

\* G<sub>2</sub>는 G-line의 정점 2를 뜻함.

Table 1. Positions and the maximum values of the horizontal gradient of temperature, salinity, dissolved oxygen and potential energy

Month	Depth	Temp. (°C/mile)		Sal. (‰/mile)		D. O. (ml/l/mile)		P.O. E. (J/m <sup>2</sup> /mile)	
Aug., 1982	0 m	0.16 (G <sub>3</sub> -G <sub>4</sub> )	0.21 (S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> )	0.03 (G <sub>3</sub> -G <sub>4</sub> )	0.08 (S <sub>6</sub> -S <sub>7</sub> )	0.02 (G <sub>4</sub> )	0.01 (S <sub>6</sub> )		
	10 m	0.13 (G <sub>3</sub> -G <sub>4</sub> )	0.26 (S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> )	0.02 (G <sub>5</sub> -G <sub>6</sub> )	0.04 (S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> )	0.01 (G <sub>8</sub> )	0.01 (S <sub>8</sub> )	0.22 (G <sub>3</sub> -G <sub>4</sub> )	0.19 (S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> )
	Bottom	0.50 (G <sub>3</sub> -G <sub>4</sub> )	0.34 (S <sub>5</sub> -S <sub>6</sub> )	0.03 (G <sub>5</sub> -G <sub>6</sub> )	0.06 (S <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> )	0.02 (G <sub>6</sub> )	0.04 (S <sub>8</sub> )		
Feb., 1983	0 m	0.27(W <sub>7</sub> -W <sub>8</sub> )		0.0 (W <sub>5</sub> )		0.12(W <sub>8</sub> )			
	20 m	0.14(W <sub>7</sub> -W <sub>8</sub> )		0.02(W <sub>5</sub> )		0.11(W <sub>8</sub> )		0.06(W <sub>7</sub> -W <sub>8</sub> )	
	Bottom	0.13(W <sub>7</sub> -W <sub>8</sub> )		0.03(W <sub>8</sub> )		0.11(W <sub>8</sub> )			

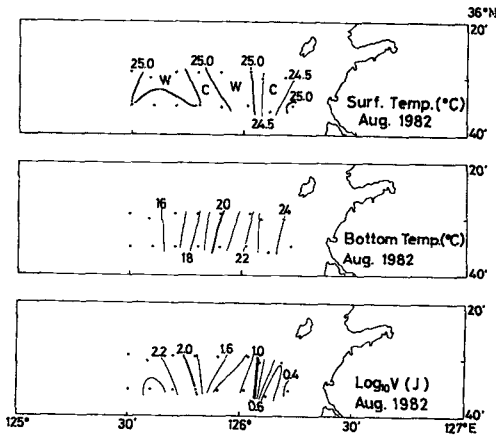


Fig. 2. Horizontal distributions of surface and bottom temperature and potential energy (log<sub>10</sub> V) in August, 1982.

G線의 水溫, 鹽分, 容存酸素의 鉛直分布를 Fig. 3에 그리고 S線에 대한 것을 Fig. 4에 나타내었다. G와 S線의 約 30m에는 顯著的한 躍層이 있으며 G<sub>3</sub>와 G<sub>4</sub> 사이 및 S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub> 사이의 沿岸側은 거의 23.5~24.5°C로서 水溫躍層이 殘存하는 外海의 表層에 비해 約 0.7~1°C 낮으며, 低層은 1~1.5°C 정도 높게 나타났다.

한편, 부산 403號에 의한 觀測結果와 水産振興院의 1982年 8月 觀測結果와의 關聯性을 調査하기 위하여 西海 全域의 表層과 50m 및 低層附近의 水溫水平分布를 Fig. 5에 나타내었다. 表層水溫은 309線을 基準으로 北쪽 海域이 G와 S線의 水溫分布와 같이 沿岸쪽이 水溫이 낮고 (23~25°C) 外海쪽이 높았지만 (25°C 以上) 南쪽 海域에서는 거의 全域이 26~27°C로 北쪽 海域보다는 높았다. 50m 및 低層附近의 水溫分布는 G와 S線의 低層과 같이 沿岸(21°C)

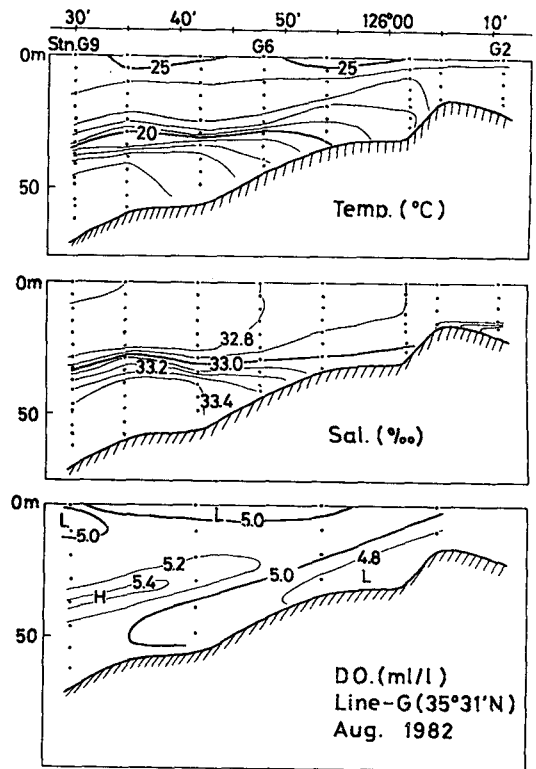


Fig. 3. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen along G line in August, 1982.

에서 外海(9°C)로 갈수록 점차 낮아졌다.

나. 鹽分 및 容存酸素 分布

1982年 8月의 G線과 S線의 表面 및 低層 鹽分分布를 Fig. 6에 나타내었다. 表面은 32.6~33.0‰로서 外海에서 沿岸쪽으로 갈수록 점차 높아졌으나, G<sub>3</sub>와

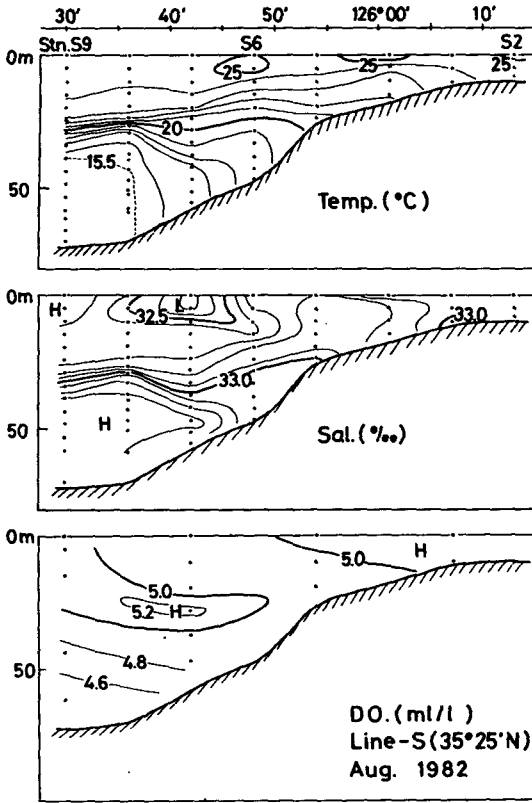


Fig. 4. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen along S line in August, 1982.

S<sub>3</sub>을 境界로 33.0‰ 以下로 다시 낮아졌다. 沿岸에서 約 41mile 떨어진 S<sub>7</sub>에서 32.25‰로 鹽分이 가장 낮다. 低層은 33.5~32.9‰로 外海에서 沿岸쪽으로 愈수록 점차 낮아졌으며 S<sub>4</sub>에서 32.7‰로 가장 낮게 나타났다. 鹽分의 最大 水平傾度는 S<sub>6</sub>와 S<sub>7</sub>의 0.08 ‰/mile이었고, 容存酸素는 S<sub>3</sub>의 0.04ml/l/mile 이었으며 (Table 1), 一般的으로 鹽分의 水平傾度는 水溫 水平傾度 分布와 비슷함을 알 수 있다. Fig.3과 Fig.4에서 鹽分은 沿岸에서부터 G<sub>4</sub>와 S<sub>4</sub>사이까지 全層이 32.9~33.0‰로서 沿岸側이 表層은 0.05~0.1 ‰ 外海보다 높고, 低層은 0.3~0.4‰ 낮았다.

G線과 S線의 水色 및 透明度의 觀測結果를 Table 2에 表示하였다. 이 중 G<sub>2</sub>는 夜間觀測으로 인하여 透明度와 水色을 測定할 수 없었다. G<sub>3</sub>과 G<sub>5</sub>를 境界로 水色은 4에서 3 以下로, 透明度는 3m에서 20m 以上으로 갑자기 바뀌었다.

Table 2. Water colour and transparency observed in August, 1982

Stn.	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>
Colour	.	4	3	3	2-3	2-3	3	3
Transparency (m)	.	3	9	20	21	19	18	21
Depth(m)	.	17	31	34	44	56	60	70

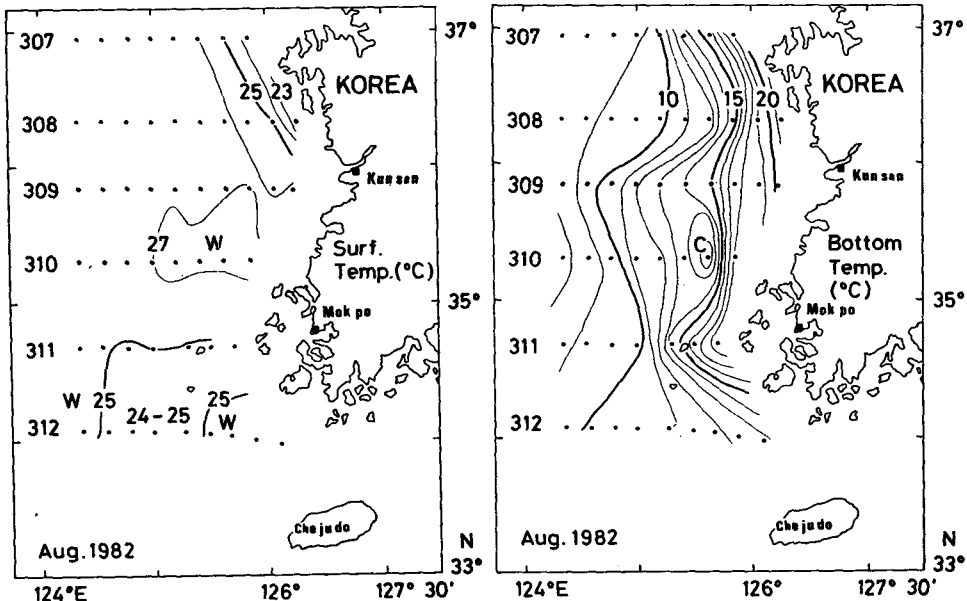


Fig. 5. Horizontal distributions of surface and bottom temperatures in the Yellow Sea on the basis of FRDA data in August, 1982.

1982年 夏季 西海岸 潮汐前線の 構造

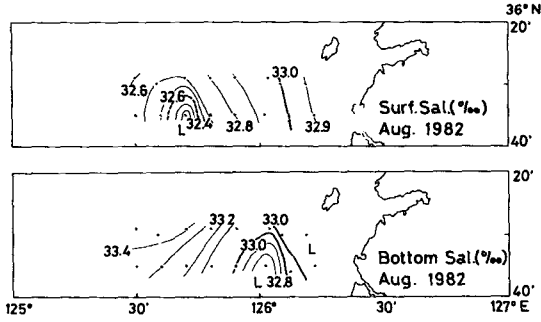


Fig. 6. Horizontal distributions of surface and bottom salinities along the G and S lines in August, 1982.

2. 冬季

가. 水温, 鹽分 및 容存酸素 分布

一般的으로 冬季에는 水温, 鹽分 및 容存酸素의 最大 水平傾度가 夏季보다 外海쪽(W<sub>7</sub>~W<sub>8</sub>)에서 나타나며 (Table 1), 그 값은 水温과 鹽分の 경우 夏季와 비슷하지만 容存酸素는 0.12 ml/l/mile로서 夏季보다 훨씬 크게 나타난다.

Fig. 7은 1983年 2월에 W線(35°51'N)의 水温, 鹽分, 容存酸素의 鉛直 斷面圖이다. 水温, 鹽分 및 容存酸素(5.5~7.3 ml/l)의 鉛直構造는 夏季와는 다르며, 특히 表面附近의 水温은 逆轉이 일어나는 곳도 있으나, 一般的으로 海底까지 거의 均一한 分布를 보인다. 水平傾度가 가장 큰 곳은 G<sub>7</sub>과 G<sub>8</sub>사이로서 水温은 0.27°C/mile, 容存酸素는 0.12 ml/l/mile이며, 鹽分은 約 32.5‰로서 거의 變化가 없다.

Fig. 8은 1983年 2월에 西海 表面水温의 水平 分布圖이다. 水温은 대략 5~7°C의 範圍이고 水平傾度는 5~6°C 海域附近에서 가장 크나 夏季처럼 顯著하지 않다.

3. 位置에너지의 分布

1982年 8月の G線과 S線의 位置에너지(log<sub>10</sub> V) 分布는(Fig. 2) 水温 및 鹽分の 最大傾度를 나타낸 G<sub>3</sub>와 G<sub>4</sub>, S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub> 사이에서 約 1.0 Joule/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 따라서 log<sub>10</sub> V가 1.0 Joule/m<sup>3</sup> 以下の 沿岸側에서는 密度가 鉛直方向으로 거의 一定하고, 1.0 Joule/m<sup>3</sup> 以上인 外海側에서는 成層을 이룬다. 두 觀測線에서 最大 水平傾度를 보인 곳은 G<sub>3</sub>와 G<sub>4</sub> (0.22 Joule/m<sup>3</sup>/mile), S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub>(0.19 Joule/m<sup>3</sup>/mile) 의 사이였다(Table 1).

Fig. 9는 1982年 8月 西海 全域의 位置에너지 分布

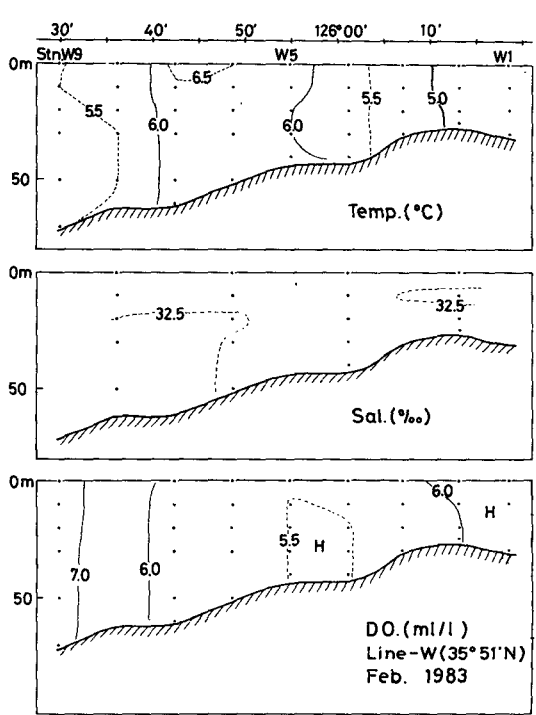


Fig. 7. Vertical distributions of temperature, salinity and dissolved oxygen along W line in February, 1983.

圖인데, 沿岸 가까운 곳은 觀測을 하지 않아서 1.0 Joule/m<sup>3</sup> 以下の 값은 없었다.

1983年 2月에는 密度 逆轉으로 不安定한 成層狀態에 있거나 全 水深에서 鉛直 混合으로 G線 全體가 log<sub>10</sub>V = 1.2 Joule/m<sup>3</sup> 以下로 나타났다(Table 3).

Table 3. Potential energy (log<sub>10</sub> V) along W line in February, 1983. The negative signs indicate density inversions

Stn.	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>8</sub>	G <sub>9</sub>
log <sub>10</sub> V	-	0.45	-	-	-	0.42	1.22	-

1966年~70年과 1982年 8月の 水産振興院의 309線 그리고 1982年 8月の G線 및 S線上의 log<sub>10</sub> V=1.0 Joule/m<sup>3</sup>인 觀測點과 그 값을 Table 4에 表示하였다. 여기서 log<sub>10</sub> V=1.0 Joule/m<sup>3</sup>인 곳은 G<sub>3</sub>와 G<sub>4</sub> 및 S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub> 사이였고, 1966年과 1970年은 309-01과 02 사이이고, 1967年은 309-01이었다. 309線에서 1968, 1969 및 1982년에는 나타나지 않았다. 이와같이 1966~70年 사이에 309線에서 log<sub>10</sub> V=1.0 Joule/m<sup>3</sup>이 나타난 位置는 309-01 내지 02에서와 309-01에서

Table 4. Frontal regions determined by the distribution of potential energy along line 309 in August

Year	1966	1967	1968	1969	1970	1982	G*	S*
Station	01~02	01	<01	<01	01~02	<01	G <sub>3</sub> ~G <sub>4</sub>	S <sub>3</sub> ~S <sub>4</sub>
log <sub>10</sub> V (V: Joule/m <sup>3</sup> )	0.33~1.68	1.01	—	—	0.82~1.55	—	0.66~1.35	0~1.18

\* determined by the observed data of Pusan No. 403. <01 : the frontal regions located outside of the observation stations.

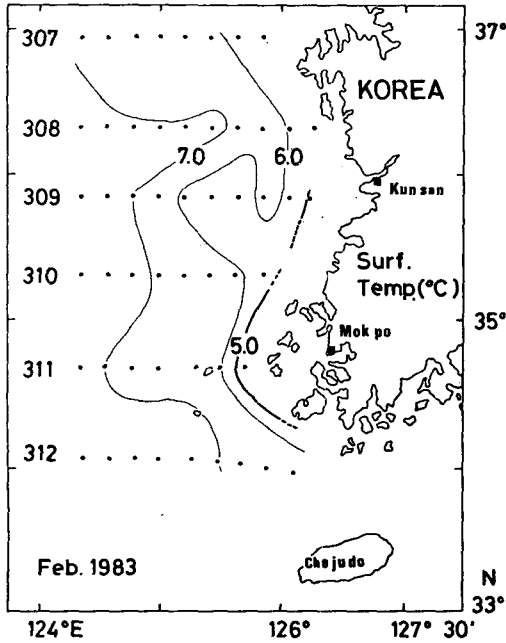


Fig. 8. Horizontal distribution of surface temperature in the Yellow Sea in February, 1983.

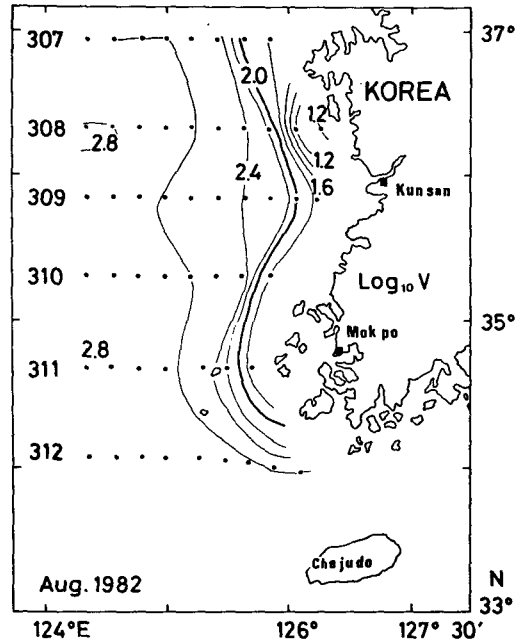


Fig. 9. Horizontal distribution of potential energy (log<sub>10</sub> V) in the Yellow Sea in August, 1982.

沿岸사이에 나타나므로 해마다 그 위치가變動하고 있음을 알 수 있다.

潮汐前線이 나타나게 된다(Bowmann and Esais, 1977).

### 考 察

#### 1. 潮汐前線의 形成 位置

西海는 平均 水深 44m인 淺海이고, 潮差가 커서 潮流는 대체로 약 1m/sec에 달하며, 低層의 摩擦損失도 크다. Choi(1980)의 黃海 潮汐 數值 모델에 의하면 M<sub>2</sub>潮에 의한 西海 全海域의 平均 摩擦損失은 全世界海洋의 約 3.4%(5.87×10<sup>10</sup> W)로 Fundy 灣과 Maine 灣의 3%(Greenberg, 1979), northwestern Europe shelf의 11%(Flather, 1976)에 비하여 상당히 크다. 西海의 이처럼 높은 摩擦損失은 太陽輻射量이 큰 夏季에 水深이 얇은 沿岸海域에서 鉛直混合으로 季節的인 成層을 이루지 않는다. 따라서 다소 水深이 깊어서 成層을 이룬 海域과 鉛直的으로 混合된 海域 사이에 表面水溫의 急激한 變化를 가지는

8월에 群山 앞바다에서 調査한 前線의 位置는 表層에서 水溫 水平傾도가 0.16~0.21 °/mile, 鹽分이 0.03~0.08 ‰/mile이고, 海低부근에서 0.34~0.50 °C/mile, 鹽分은 0.03~0.06 ‰/mile인 沿岸에서 約 20 mile 떨어진 水深 15~25 m 海域(經度 126°02'E~126°05'E)이었다(Table 1, Fig. 2).

一般的으로 夏季에 潮流가 強한 沿岸域에서 水深이 깊은 곳은 日射量의 增加와 더불어 安定된 成層을 이루고, 水深이 얇은 곳은 低層 亂流로 인한 鉛直混合이 크므로 沿岸과 外海에서 水溫差가 顯著하게 되어 前線이 形成된다.

또한 夏季에 太陽輻射量이 점차 增加하게 되면 表層은 水溫이 上昇하여 成層이 이루어진 水塊과 混合

된 水塊 사이의 溫度差가 작아지나 低層은 外海側의 淺 低層水와 鉛直 混合된 沿岸水가 接하여 表層보다 큰 水溫差를 가지므로 前線은 다소 水深이 깊은 곳 에서 뚜렷하게 나타나게 된다고 생각된다(Table 1).

英國 沿岸에서 Simpson *et al.* (1978, 1977), Simpson and Bowers(1979), Pingree and Griffiths (1978) 등은 ART와 赤外線 畫像으로 調査한 前線域의 水溫 水平傾度는 約  $1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (6月) 이었으나 그 값은 CTD나 STD로 觀測한 結果, 바다 表層 수 mm 에 局限되어 있음을 알았다.

T-S meter 觀測 중 水色과 透明度에 의한 前線의 位置는 水溫, 鹽分의 경우와 같이  $G_3$ 와  $G_4$  사이였다(Table 2). Simpson and Hunter(1974)는 Irish Sea의 前線을 境界로 水色과 透明度의 急激한 變化는 phytoplankton 群의 變化에 의한 것이며 鉛直 混合된 水塊의 葉綠素 濃度는 約  $1.5\mu\text{g}/\text{l}$  이었다. 따라서 表層前線을 境界로 沿岸의 鉛直 混合 水塊는 綠色 系統의 色을 띠고 外海쪽은 푸른 系統의 色을 나타내었다고 報告하였다.

그러나 이와같이 前線域은 推定하는 方法은 表層 前線에 限定되므로 全 水深의 成層效果를 考慮한 位置는  $\log_{10} V = 1.0 \text{ Joule}/\text{m}^3$ 인  $G$ 線과  $S$ 線의  $G_3$ 와  $G_4$  및  $S_3$ 와  $S_4$  사이로서 表層에서 본 位置와 一致하며(Fig. 2, Table 1), 이것은 Simpson *et al.* (1977)이 8月 英國 周邊 淺海域에서 구한 結果와도 잘 一致한다. 이런 觀點에서 볼 때 西海에서 位置에너지  $\log_{10} V = 1.0 \text{ Joule}/\text{m}^3$ 은 成層에 대한 基準值라 할 수 있다.

西海 全域에서 이 基準值로 定義한 1966~70年 8月의 前線의 位置는 各各 다르게 나타났으며(Table 4), 이러한 原因은 潮流에 의한 海水 混合 程度와 日射量의 變動, 그리고 時 空間적으로 不均一한 바람의 影響(Pingree and Griffiths, 1978) 등인 것으로 생각된다.

Pingree and Griffiths(1978)는 英國 周邊海域의 潮汐數值모델을 使用하여 水塊의 成層狀態를 測定하는 成層係數  $R = h/C_D(|\underline{U}_T|^3)$ 을 使用하였다. 여기서  $h$ 는 水深,  $C_D$ 는 抗力係數( $C_D = 0.0025$ ),  $\underline{U}_T$ 는 水深에 대한 鉛直 平均流速이다.  $R$ 은 海低에서 潮流에 너지 消耗比率에 대하여 水塊가 鉛直 混合狀態를 維持하는데 必要한 位置에너지 比率을 나타낸다. 西海에서 실제 海洋觀測을 통해 調査된 前線의 位置는 黃海 潮汐 數值모델(Choi, 1980)로 구한 parameter  $Sp = -\log_{10}[C_D(|\underline{U}_T|^3)/h]$ 의 分布圖(Fig. 10)에서  $Sp = 1.0$  (c. g. s. unit)이었다. 이 값은 Central Nor-

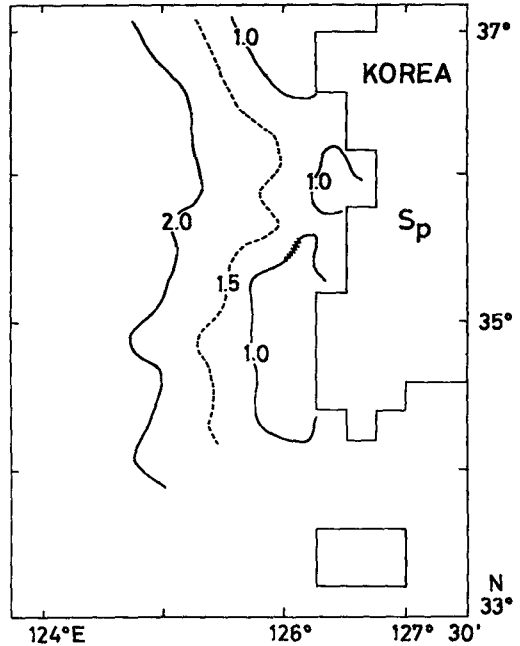


Fig. 10. Contours of stratification parameter  $Sp$  ( $= -\log_{10}(C_D|\underline{U}_T|^3/h)$ ) based on numerical tidal model (Choi, 1980). The zig-zag features represent positions of the front observed in August, 1982. (Choi, 1980): Personal communication.

th Sea (Pingree and Griffiths, 1978)의 觀測으로 調査한 실제 前線의 位置에서  $Sp$ 가 1.5 이하로 나타난 것과 類似하다. 따라서 夏季에 表面 熱流量이 一定하다면 西海에서 形成되는 前線은 水深 約 15~40 m인  $Sp = 1 \sim 1.5$  範圍이고 이 海域은 Fig. 2의 前線域과 一致한다. 冬季 西海에서는 位置에너지가 海域에 따라 0 또는 陰(密度逆轉)으로 나타나서 夏季와 같은 構造의 前線이 西海에서 形成되지 않는 것은 (Table 3) 冬季에 太陽 輻射量의 減少로 인한 表面에서의 熱損失로 西海 全體가 混合되어지기 때문이다.

### 3. 潮汐前線의 構造

$G$ 線과  $S$ 線에 있는 前線의 沿岸쪽은 表面水溫이 낮고, 外海쪽은 높으며, 低層은 表面과 反對 現象을 보인다(Fig. 2). 이 現象은 潮汐前線域에서 一般的으로 나타나는 水溫構造로서 그 原因은 潮流에 의한 低層 亂流에 의해 沿岸부근의 水塊를 鉛直混合하기

때문이다. 그러나 염분은 수온이 낮은 저층에서 높으며,沿岸쪽으로 갈수록 차츰 낮아지는데(Fig. 6), 이것은 수온의 경우와 같이 저층亂流에 의한 것으로 생각된다. 따라서 表面鹽分은 점차 沿岸으로 갈수록 높게 나타나지만 沿岸으로부터 G<sub>3</sub> 및 S<sub>3</sub> 사이의 表面鹽分이 다소 낮아진 것은 (33.0% 以下) 河川水에 의한 影響으로 보인다(海洋研究所, 1983).

夏季 西海의 表面과 低層水溫 分布(Fig. 5)는 潮汐前線에서 나타나는 典型的인 水溫分布와 비슷하지만, 309線以南 海域의 表面에는 이 前線이 나타나지 않았다. 이는 309線以北의 觀測定線은 1982年 8月 13~14日 사이에 颱風 Cecil (11號, 中心氣壓 940 mb)이 東支那海에서 NNE 方向으로 通過하기 前에 觀測하였고, 309線의 以南 域은 颱風 通過 後 觀測하였으므로, 이로 인한 鉛直混合이 外海에 까지 옮겨져서 沿岸쪽과 外海쪽이 모두 均一한 水溫이 되었기 때문이라고 생각된다. 淺海에서의 海水의 混合은 潮流에 의한 低層 亂流뿐만 아니라 表面의 바람 應力의 影響을 받는다(Simpson *et al.*, 1978). 바람 應力에 의한 位置에너지 變化는 風速의 3乘에 比例한다고 하였다. 따라서 颱風이 通過 前과 後의 前線 位置와 構造는 다소 差異가 있으리라 생각되며 앞으로 이에 관한 보다 詳細한 研究가 要望된다.

한편, 前線을 境界로 沿岸쪽은 鉛直的으로 密度가 거의 均一한 混合層으로 되어 있으며 外海쪽은 表面에서부터 바람에 의한 表面의 混合層, 水溫躍層 및 潮流에 의한 混合層의 順으로 그 水塊의 構造가 形成되어 있다(Eig. 3).

沿岸쪽은 潮流로 인한 海低 亂流로 水溫, 鹽分, 容存酸素 등의 上下 交換이 일어나 混合層이 形成되며, 이 때 低層의 堆積物도 같이 混合되어 透明度도 낮아지게 된다(Table 2). 그러나 外海쪽에서 成層 現象이 그대로 殘存하는 것은 水深이 깊어 低層亂流가 季節躍層까지 미치지 못하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 단지 低層 亂流層이 미치는 海低로부터 30m 層까지는 水溫과 鹽分의 鉛直 變化가 거의 없는 混合層으로 나타나게 되고 이 層內的 容存酸素는 一般的으로 낮다(約 5.0ml/l 以下). 그러나 S<sub>3</sub>와 S<sub>4</sub> 부근에서 다소 容存酸素量이 높고, 鹽分이 낮은 것은 河川水의 影響이 아닌가 생각된다(Fig. 5).

한편, 겨울에 西海는 日射量의 減少와 차고 強한 北西 季節風의 影響으로 바다 表面의 熱 損失로 인한 冷却效果에 의한 水溫의 逆轉現象이 일어나게 된다(Kim *et al.*, 1982) (Fig. 7). 또한 Kim and Cho(1982)에 따르면 겨울에 卓越한 北西 季節風이

北쪽의 冷水를 持續的으로 南쪽에 供給하여 水溫 逆轉이 일어난다고 보고 있다. 따라서 이러한 逆轉에 따른 鹽分 및 容存酸素의 構造도 水溫構造와 類似하게 나타나게 되어 鉛直的으로 均一한 分布를 가지게 된다.

冬季에는 西海 全 海域의 表面과 低層에서 對流에 의한 混合을 일으킬 수 있는 機構를 가지므로 夏季와 같은 構造의 前線은 形成되지 않았다(Fig. 8).

## 要 約

1982~83年과 1966~70年의 海洋觀測資料를 使用하여 夏季 우리나라 西海 沿岸에서 形成되는 潮汐前線의 形成原因과 그 位置 및 構造를 調査하였다.

夏季에 形成되는 前線은 潮流에 의한 海低 亂流로 鉛直混合이 일어나는 곳과 外海와의 境界域이며, 그 位置는 水溫, 鹽分, 容存酸素의 水平傾度와 水色 및 透明度로써 調査한 結果, G線(35°31'N)과 S線(35°25'N)의 沿岸에서 約 20 mile 떨어진 海域이었다. 成層狀態를 考慮한 位置에너지는  $V=10 \text{ Joule/m}^3$  였으며, 水溫, 鹽分, 容存酸素와 水色 및 透明度로 調査한 前線의 位置는 이와 대체로 一致하였다. 따라서 이 域을 境界로 沿岸쪽은 物理, 化學的인 特性이 鉛直的으로 均一한 混合層을 形成한다.

外海쪽에는 水面에서 約 10~20 m 까지 表面 混合層, 躍層, 그리고 低層 混合層의 順으로 水塊의 構造가 形成되어 있다.

冬季에는 西海 全 域이 表面冷却으로 인하여 全 海域에서 鉛直混合이 일어나므로 夏季의 構造와 같은 前線은 明確하게 形成되지 않는다.

## 文 獻

- Bowmann, M. J. and W. E. Esais. 1977. Oceanic fronts in coastal processes. Springer-Verlag p. 6.
- Choi, B. H. 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the East China Sea. KORDI Report 80-02, 11-23.
- Fearnhead, P. G. 1975. On the formation of fronts by tidal mixing around the British Isles. Deep-Sea Res. 22, 311-321.
- Kim, H. J., H. J. Yoon, S. K. Yang. 1982. Inversion phenomena of temperature in the Yellow Sea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc.



- 18, 91—96.
- Kim, H. J. and K. D. Cho. 1982. Inversion phenomena of density in the Japan Sea. Jour. Oceanol. Soc. Korea 17, 51—58.
- Kim, K. and S. H. Lee. 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. Jour. Oceanol. Soc. Korea 17, 59—68.
- Pingree, R. D. and D. K. Griffiths. 1978. Tidal fronts on the shelf seas around the British Isle. JGR 83, 4615—4622.
- Simpson, J. H., C. M. Allen and N. C. G. Morris. 1978. Fronts on the continental shelf. JGR 83, 4607—4614.
- Simpson, J. H. and D. Bowers. 1979. Shelf sea fronts' adjustments revealed by satellite IR imagery. Nature 280, 648—651.
- Simpson, J. H., D. G. Hughes and N. C. G. Morris. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. In : A voyage of Discovery (ed. by M. Angel), Pergamon 327—340.
- Simpson, J. H. and J. R. Hunter. 1974. Fronts in the Irish Sea. Nature 250, 404—406.
- 曹圭大 · 1982. 黄海底層冷水가 底魚類 漁場에 미치는 影響. 韓國漁業技術學會誌, 18, 25—33.
- 海洋研究所 · 1983. 韓國海域綜合 海洋環境圖 作成研究, p.91.