

## 인천 연안역의 수온 및 염분의 계절 변화

최 용 규·신 문 섭·이 병 길\*

서해수산연구소 군산분소 · \*군산대 토목공학과 · \*\*제주대 해양토목공학과  
(2000년 1월 20일 접수)

## Seasonal Variations of Temperature and Salinity in Incheon Coastal Area

Yong-Kyu Choi, Moon-Seub Shin\*, and Byung-Gul Lee\*\*

Kunsan Lab, West Sea Fisheries Research Institute, Kunsan, Jeonbuk 573-030

\*Dept. of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Jeonbuk 573-701

\*\*Dept. of Ocean and Civil Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756

(Manuscript received 20 January, 2000)

The seasonal data obtained at National Fisheries Research and Development Institute from 1989 to 1994 were analyzed to investigate the seasonal variations of temperature and salinity in Incheon coastal area.

In the tidal flats covering from Incheon harbor to Sorae, the mean temperatures are higher, the amplitudes of temperatures are larger, and the phases of temperatures are faster than those of outer tidal flats. In the tidal flats, the mean salinities are lower, its amplitudes are larger, and its phases are later than those of outer tidal flats.

These suggest that Incheon coastal area may be divided into two areas: the tidal flats from Incheon harbor to Sorae, which is largely influenced by the seasonal variation of solar heating, precipitation and evaporation and the outer tidal flats, which is slightly influenced by the effects of seasonal variation of salinity.

Key words : tidal flats, precipitation, evaporation

### 1. 서 론

우리나라 해안선의 총 연장은 11,542 km이며, 서해안이 차지하는 부분은 3,341 km로 약 28.9%에 해당한다. 경기도와 인천 지역의 해안선은 약 712 km로서 굴곡이 심하고 많은 도서들이 형성되어 있는 침수 해안의 특색을 나타낸다. 특히 인천 연안역은 서해안에서 산업적으로 중요한 지역으로 경인 지역으로의 해상 교통로에 속한다. 또한, 경기만의 일부로서 동쪽으로는 인천과 안산, 북쪽으로는 영종도 등의 도서와 남쪽으로는 시화호와 대부도 등의 도서들로 둘러싸여 있다. 인천 연안역에서는 지난 10년간 시화 방조제나 영종도 신공항 건설, 송도 가스 인수 시설등으로 대규모 간척 및 매립이 이루어졌다

이러한 인위적인 해안선의 변화는 해수 유동 및 순환에 영향을 미치며, 국지적인 수온 및 염분의 변동으로 수피의 변화를 일으킬 수 있다. 이에 따라, 생태계 변화를 초래하여 수산 자원의 감소를 가져오기도 한다. 담수 유입이 많은 경우, 염분의 농도를 저하시키고 이에 따라 영양염의 농도 분포에 영향을 미쳐, 수산 자원 특히 저서 생물에 영향을 주게 된다.<sup>1-3)</sup>

우리나라 연안에서는 태양 복사 에너지 및 담수의 계절적인 변화로 수온과 염분이 크게 변동하고 있으며,<sup>4,5)</sup> 서해에서는 계절에 따른 수피 분포의 변화도 크다.<sup>6)</sup> 인천 연안역은 큰 조차에 의한 조류의 세기 및 담수의 유입량 변동과 같은 복잡한 물리적 해황 특성을 보인다. 이로 인한 퇴적물 및 저서 동물의 분포가, 인공적인 해안선의 변화와 더불어 급격히 변화하는 경향을 나타내고 있다.<sup>4,7)</sup>

해수의 특성을 쉽게 나타내는 방법의 하나는, 수온과 염분으로 나타나는 수피를 파악하는 일이다. 수온이나 염분의 변화는 계절에 따른 일사량의 변동이나 강수와 증발등에 의한 담수의 유출입 등에 따라서 변화한다. 인천 연안역은 해상 교통로로서 이용되는 수로를 제외하고는 수심이 아주 얇고 또한 조간대가 많아서 기상 변동과 조류의 변동을 그대로 받으리라 생각된다. 또한 조간대는 산업적 가치가 있는 수산 생물의 생산성이 높은 곳이며, 생물상이나 저질상 뿐만 아니라 물리적인 측면에서 수피의 계절 변화에 대한 접근도 필요하리라 생각된다. 따라서 본 연구는 인천 연안역에서 계절에 따른 수피의 변화 양상을 구명하기 위하여, 수피의 특성을 나타

내는 수온과 염분의 계절 자료를 이용하여 조화 분석을 행하였다.

2. 자료 및 방법

인천 연안역의 수온 및 염분의 계절 변화 특성을 보기 위하여 한국 연안 어장환경 오염조사 결과 보고서<sup>8)</sup>를 사용하였다. 한국 연안 어장환경 오염조사 결과보고서는 우리나라 연안역이나 주요 만의 185개 정점에서 연안 어장 환경에 대한 오염도를 측정하기 위하여 1989년에서부터 1994년까지 각 계절별(2, 4, 8, 11월)로 한 번씩 수온을 비롯한 11개의 수질 항목에 대해서 관측한 자료를 정리해 놓은 것이다. 이 자료중에서 인천 연안역의 16개 정점의 자료를 사용하였다(Fig 1). 그리고 연구 기간 동안의 태양 복사 에너지, 강수량 및 증발량은 기상청<sup>9)</sup>의 기상 연보를 이용하였다.

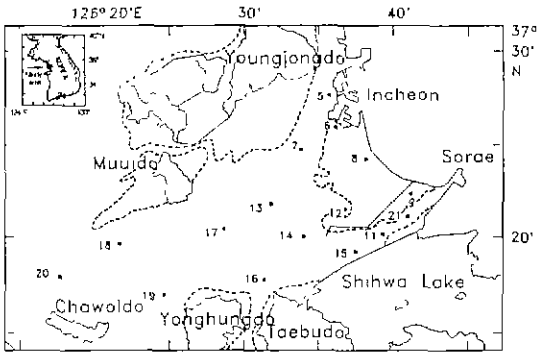


Fig. 1. Hydrographic stations of the National Fisheries Research and Development Institute in Incheon coastal area during 1989~1994. Numerals denote the station numbers and dash lines the boundary of the tidal flats.

수온과 염분의 계절 변화를 보기 위해서 조화 분석을 행하였다. 조화 분석은 Kang and Jin<sup>15)</sup> 및 Jo et al.<sup>10)</sup>의 방법에 따랐다. 즉, 수온 혹은 염분에 대한 각각의 조화 함수를  $\bar{X}(t)$ 라고 하면,

$$\bar{X}(t) = \bar{X} + X_1 \cos(\omega_1 t - \phi_1) + X_2 \cos(\omega_2 t - \phi_2) \quad (1)$$

여기서  $\bar{X}$ 는 수온 혹은 염분값의 평균,  $X_1$ 과  $X_2$ 는 연 변화 및 반년변화의 진폭,  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 는 각속도,  $\phi_1$ 과  $\phi_2$ 는 위상. 그리고  $t$ 는 1월 1일을 시작으로 하는 일별 간격을 나타낸다. 식 (1)은

$$\bar{X}(t) = x_1 + x_2 \sin \omega_1 t + x_3 \cos \omega_1 t + x_4 \sin \omega_2 t + x_5 \cos \omega_2 t \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (\bar{X}, X_1 \sin \phi_1, X_1 \cos \phi_1, X_2 \sin \phi_2, X_2 \cos \phi_2)$ 이다. 벡터  $\mathbf{X}$ 는 오차 함수(the squared error function)  $E$ 를 최소화함으로써 얻어질 수 있으며,  $E = \sum [X(t) - \bar{X}(t)]^2$  이다. 최소화 조건  $\partial E / \partial x_i$  ( $i=1 \sim 5$ )는 5개의 기지수  $x_i$  ( $i=1 \sim 5$ )에 대한 선형 방정식을 만든다. 이 5개의 식을 행렬식으로 쓰면,

$$\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{B} \quad (3)$$

가 된다. 행렬  $\mathbf{A}$ 와 벡터  $\mathbf{B}$ 의 원소는 각각  $A_{ij} =$

$\sum (f_i(t) - f_j(t), B_i) = \sum X(t) - f_i(t)$ 이며, 여기서  $(f_1, f_2, f_3, f_4, f_5) = (1, \sin \omega_1 t, \cos \omega_1 t, \sin \omega_2 t, \cos \omega_2 t)$ 이다. 식 (3)에서 벡터  $\mathbf{X}$ 는 수치 해법으로 해가 구해진다.  $\mathbf{X}$ 에서 평균, 진폭, 위상은 각각  $\bar{X} = x_1, X_1 = \sqrt{x_2^2 + x_3^2}, \phi_1 = \tan^{-1}(x_3/x_2), X_2 = \sqrt{x_4^2 + x_5^2}, \phi_2 = \tan^{-1}(x_5/x_4)$ 이다

이와 같은 조화 분석 방법은 시계열 자료가 일정하게 분포하지 않더라도, 수온 및 염분에 대한 계절 변화를 잘 나타낸다.<sup>15)</sup>

그리고 수피의 계절 변화를 보기 위하여 T-S도 및 이변량 확률 타원도를 사용하였다. 이변량 확률 타원도는 Choi<sup>11)</sup>의 방법에 따랐으며, 이를 T-S도에 적용하면, 어떤 해역에서 수피의 계절 변화나 혹은 수피의 분포 특성을 쉽게 파악할 수 있다. 본 연구에서 염분의 단위(psu)는 생략하였다

3. 결 과

인천 연안역 수온의 계절 변화를 보기 위하여 표층 및 저층 수온에 대한 조화 분석 결과를 연평균, 진폭 그리고 위상에 대해서 Fig 2에 각각 나타내었다. 표층 및 저층 수온의 연평균과 연진폭, 그리고 연위상들은 거의 차이가 없이 유사한 분포를 보이고 있다. 인천항과 소래에 이르는 조건대에서 표층 및 저층 수온의 연평균이 다른 수역에 비하여 약 14°C 이상으로 높게 나타났으며, 진폭도 조건대에서 약 3.5°C 이상으로 크게 나타났다. 최대 수온이 나타나는 위상을 보면, 인천항과 소래에 이르는 조건대는 대부분 북쪽 해역과 유사하게 210° (7월 하순) 이하로 인천 연안역 서쪽의 210~240° (8월)보다 최대 수온이 약 1개월 빨리 나타났다.

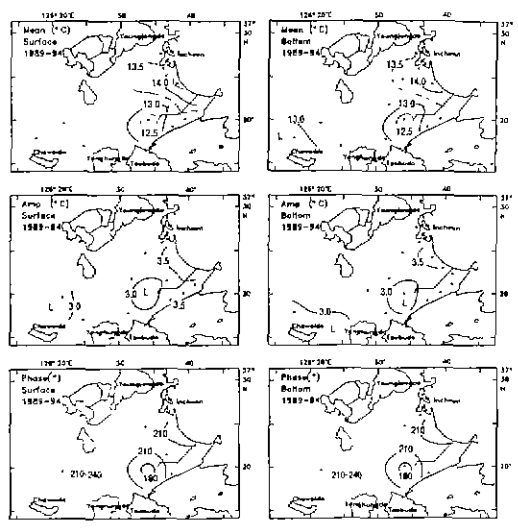


Fig. 2. Annual mean (upper), amplitude (middle) and phase (lower) of water temperature at the sea surface (left panel) and near bottom (right panel).

인천 연안역의 수온 및 염분의 계절 변화

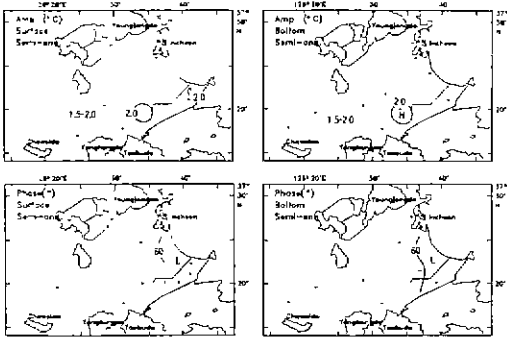


Fig. 3 Semi-annual amplitude (upper) and its phase (lower) of water temperature at the sea surface (left panel) and near bottom (right panel)

Fig. 3은 표층 및 저층 수온에 대한 반년 진폭과 그 위상을 각각 나타낸 것이다. 반년 진폭과 위상은 일정 주기 성분으로부터의 차이(distortion)를 나타낸다. 표층 및 저층 수온의 반년 진폭과 위상은 차이가 없었다. 표층 및 저층 수온의 반년 진폭은 대부도 북쪽 해역에서만 약 2°C 이상이고, 그 외의 해역은 2°C 이하였다 위상은 인천항과 소래의 조간대 해역에서 위상이 60° 이내로 60° 이상인 만의 서쪽 해역과 약간 차이가 있다.

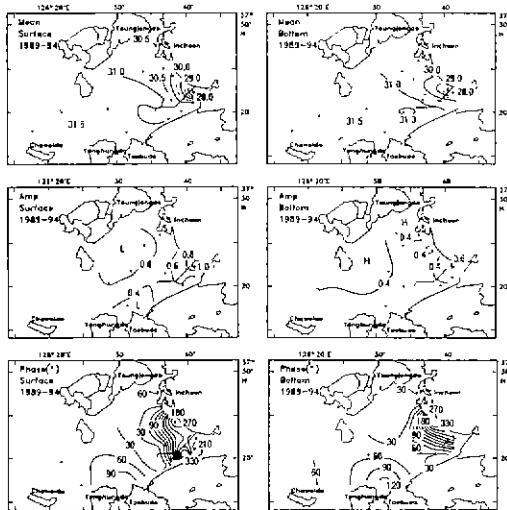


Fig. 4. Annual mean (upper), amplitude (middle) and phase (lower) of salinity at the sea surface (left panel) and near bottom (right panel).

염분의 계절 변화를 보기 위해서 조화 분석한 결과를 표층 및 저층 염분에 대해서 연평균과 연진폭 그리고 연위상을 Fig. 4에 각각 나타내었다. 표층 및 저층 염분의 연평균과 연진폭 그리고 연위상들은 수온과 같이 거의 차이가 없이 유사한 분포를 보이고 있다. 염분의 연평균

은 표층과 저층 모두 인천과 소래의 조간대에서 28.0 이하로 낮으며, 만의 서쪽으로 갈수록 31.0 이상으로 연평균이 높았다 표층 염분의 연진폭은 저층 염분의 연진폭보다도 0.2 이상 높지만 그 분포상은 큰 차이가 없이 소래 연안역에서 표층 염분의 연진폭이 1.0, 저층 염분의 연진폭이 0.6 이상으로 가장 크게 나타났다. 최대 염분이 나타나는 시기를 보면, 인천과 소래에 이르는 조간대에서 표층 및 저층 염분의 연위상이 270° (9월말) 이상으로 나타나며, 영흥도와 대부도에서의 연위상은 90° (3월말) 이상으로 나타났다. 그 외의 인천 연안역의 서쪽 해역에서는 30~60° (1월말~2월말)로 나타났다.

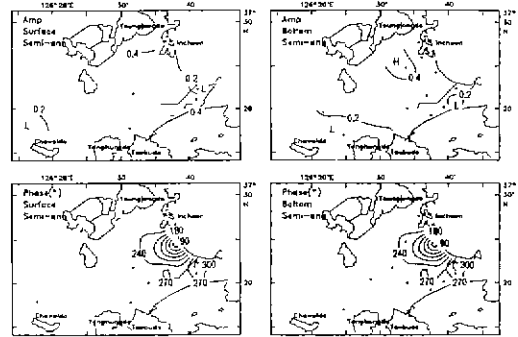


Fig 5 Semi-annual amplitude (upper) and its phase (lower) of salinity at the sea surface (left panel) and near bottom (right panel).

Fig 5는 표층 및 저층 염분에 대한 반년 진폭과 그 위상을 각각 나타낸 것이다. 수온과 같이 표층과 저층간의 분포상은 큰 차이가 없이 유사하다. 반년 진폭은 만월만 전체 해역에서 0.2~0.4 정도이다. 위상은 인천과 소래의 조간대에서 90°로 가장 빠르며, 조간대 이외의 서쪽 해역에서는 240° 정도이다

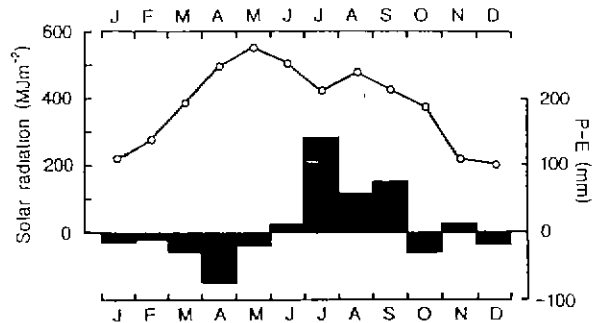


Fig. 6 Monthly mean values of solar radiation (open circles) and precipitation-evaporation (filled stick) in Incheon from 1989 through 1994.

수온 및 염분의 변화에 영향을 미치는 태양 복사열과 증발량의 영향을 보기 위하여 인천 지역의 태양 복사열과 강수량과 증발량의 차이의 월별 평균을 Fig. 6에 나타내

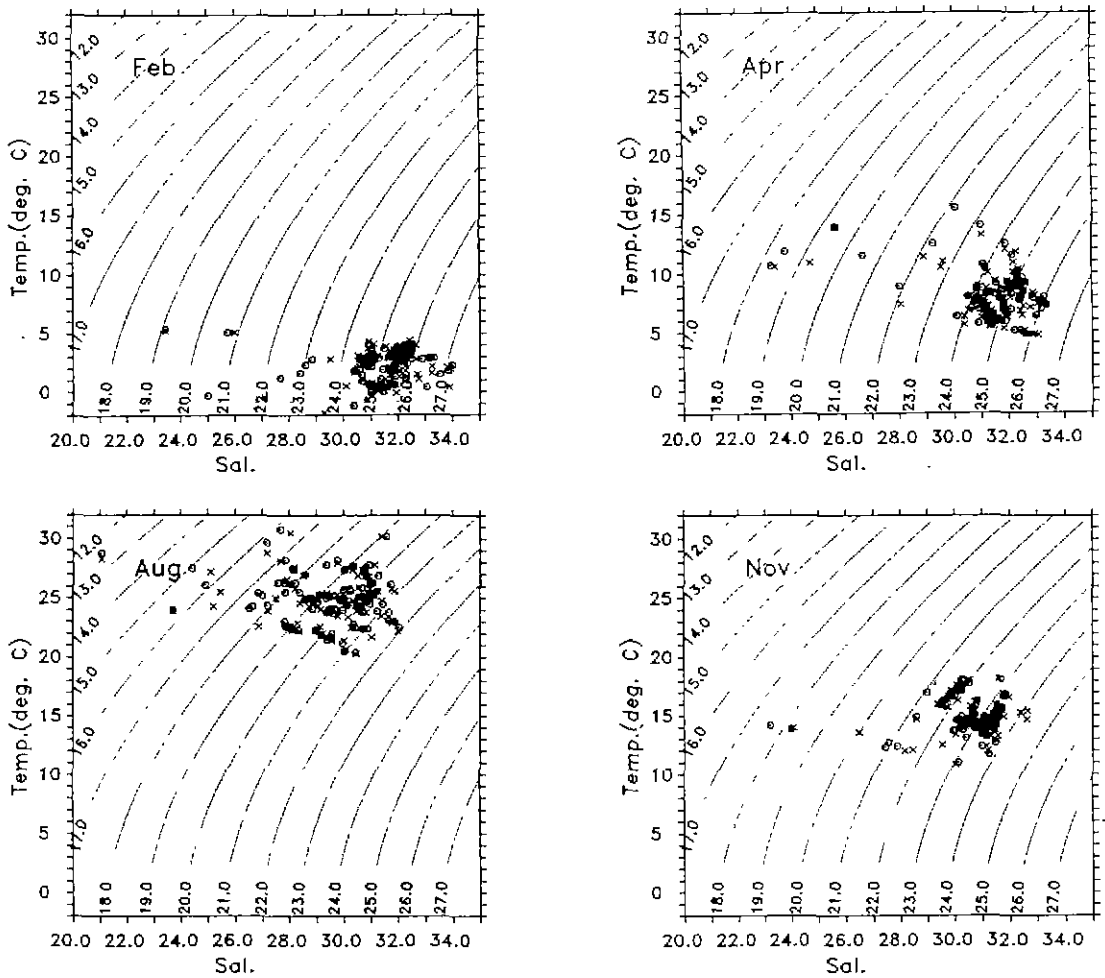


Fig 7 T-S diagrams on February (upper left), April (upper right), August (lower left) and November (lower right) during 1989~1994. Circles denote the water types of the sea surface and crosses the water types of the near bottom

었다. 태양 복사열은 4월부터 9월까지 약  $400 \text{ MJm}^{-2}$  이상이며, 10월부터 3월까지의  $200 \sim 400 \text{ MJm}^{-2}$  이다. 5월에 약  $570 \text{ MJm}^{-2}$ 으로 최대값을 보이고, 12월에 약  $200 \text{ MJm}^{-2}$ 로 최소값을 나타내었다. 강수량과 증발량의 차이를 보면, 6월부터 9월까지 강수량이 많고, 11월을 제외한 10월부터 5월까지의 증발량이 많았다.

수온과 염분으로 나타나는 수괴의 계절 변화는 어떠한가를 보기위해서 2월(겨울), 4월(봄), 8월(여름) 그리고 11월(가을)의 T-S도를 Fig. 7에 나타내었다. 각 계절별로 표층과 저층 수형은 거의 유사한 분포를 나타내고 있다. 수형들의 분포는 겨울에서 봄을 거쳐 여름에 이르는 동안 고온 저염의 형태를 이루며, 여름에서 가을을 거쳐 겨울에 이르는 동안 저온 고염의 형태를 나타내었다.

위와 같은 분포 특성을 자세히 보기 위하여 각 계절별 이변량 확률 타원도를 도시해 보았다. 즉, 수온과 염

분으로 나타나는 수괴의 계절 변화는 어떠한가를 보기위해서 Fig 8의 왼쪽에 2월(겨울), 4월(봄), 8월(여름) 그리고 11월(가을)의 계절별 이변량 확률 타원도를 나타내었다. 각 계절별로 표층과 저층 수괴는 거의 유사한 분포를 나타내고 있었다. 수괴들의 분포는 겨울에서 봄을 거쳐 여름에 이르는 동안 고온 저염의 형태를 이루며, 여름에서 가을을 거쳐 겨울에 이르는 동안 저온 고염의 형태를 나타내었다.

Fig. 8의 오른쪽 그림은 인천 연안역 서쪽 해역의 각 계절별 수괴의 분포를 나타낸 것이다. 왼쪽 그림의 이변량 확률 타원도에서, 승온기인 4월(봄)과 8월(여름)에 수온과 염분의 분산이 크며, 강하기인 11월(가을)과 2월(겨울)에 수온과 염분의 분산이 작았다. 조간대의 정점을 제외한 서쪽 해역에 대한 수형의 계절 변화에 대한 회귀 곡선식은  $S = 31.6488 + 0.1574 T - 0.0163 T^2 +$

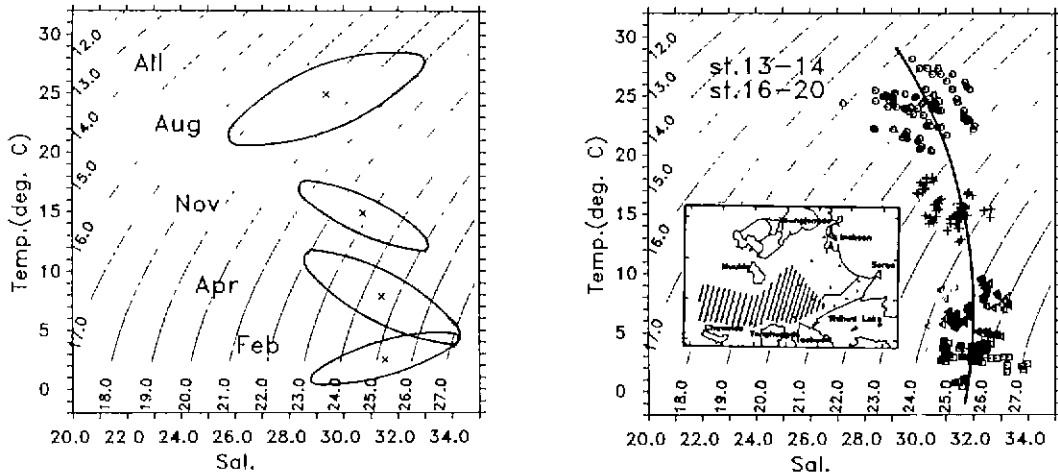


Fig. 8. Bivariate probability ellipses for February, April, August and November (left) and T-S diagram from the data of the stations from 13 to 20 except for station 15 as indicated in the hatched area of the inserted map. A least-squares fit of the data is drawn with a solid line (right). Circles denote the water types in August, crosses in November, triangles in April and squares in February.

0.0003T<sup>3</sup> (r=0.64)로 나타낼 수 있었다. 반월만의 서쪽 해역에서 각 계절별로 보면, 염분의 분산이 전체 반월만 해역의 염분의 분산보다 크지 않고, 계절 변화가 일정한 형태로 나타난다고 할 수 있다.

#### 4. 고찰

수산 자원이 잘 보전되기 위해서는 해수의 유동 및 조류 소용돌이 원활하여 해수 교환이 비교적 잘 이루어져야 한다. 수심이 얇은 연안역의 수괴는 태양 복사열의 계절 변화에 의해서 가열과 냉각의 영향을 그대로 받으며, 또한 강한 조류에 의해서 표면에서 저층까지 연직 혼합되기가 쉽다.<sup>12)</sup> 경기만 일대의 조석의 비(F-ratio)는 0.16으로 반월주조가 우세한 해역으로 대기 최대 유속은 123~147cm s<sup>-1</sup>에 이른다.<sup>3)</sup> 경기만의 일부에 속하는 인천 연안역에서 표면 수온과 저층 수온, 그리고 표면 염분과 저층 염분의 연평균이나 진폭, 그리고 위상들은 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 강한 조류로 인하여 수층이 연직 연직 혼합되어 있음을 시사하고 있다.

인천과 소래에 이르는 조간대에서 수온과 염분의 연진폭은 컸으며, 수온의 위상은 만의 서쪽 해역보다도 빨랐다. 이것은 수심 차이에 의한 열용량의 차이가 있기 때문으로, 수심이 얕을수록 연교차(annual range)는 크고, 위상은 빠르다.<sup>4)</sup> 조간대에서의 염분의 위상은 만의 서쪽 해역과 거의 반대의 위상을 나타내고 있다. 만의 서쪽 해역은 갈수기인 겨울(위상이 30~90°)에 염분의 최대가 나타나지만, 조간대에서는 여름과 가을(위상이 180~330°)에 염분의 최대가 나타나고 있다(Fig. 4) 한국 연안 해역에서 염분의 계절 변화에 영향을 주는 주요한 요인으로는 강수와 증발 그리고 담수의 유입 등이 다<sup>2)</sup> 만일 주조가 우세한 해역인 인천 연안역의 조간대

(정점 8과 11)에서 여름과 가을에 최대 염분이 나타나는 것은, 여름과 가을의 강한 태양 복사열로 인하여 생기는 증발에 의한 염분 증가 효과가 겨울의 갈수로 인한 염분의 계절적인 증가보다도 더 큰 영향을 주기 때문이라 생각된다.

수온과 염분으로 나타나는 수괴는 뚜렷하게 계절 변화를 보이고 있다(Fig. 7) 수온 상승기(2월→8월)에는 염분의 감소가 나타나고 수온 강하기(8월→2월)에는 염분의 증가를 보이고 있다(Fig. 7). 이것은 태양 복사열이 많은 수온 상승기(봄부터 여름)에는 강수량이 많고, 태양 복사열이 적은 수온 강하기(가을-겨울)에는 증발이 많기 때문이다(Fig. 6).

인천과 소래에 이르는 조간대는 수온의 연평균이 높고, 연진폭이 크며, 염분의 연평균이 낮고 연진폭이 크게 나타난다(Fig. 2, Fig. 4). 이러한 특성을 나타내는 조간대를 제외한, 인천 연안역의 서쪽 해역은 강수나 증발, 담수의 유입 등으로 인한 염분의 계절 변화가 인천과 소래에 이르는 조간대보다도 계절적인 영향이 크지 않음을 시사하고 있다(Fig. 7) Koh et al.<sup>2)</sup>은 인천과 소래에 이르는 조간대에서는 저서 동물 군집의 공간적 분포가 구분된다고 하였다. 수온과 염분의 분포에서도 외양역과는 다른 분포 양상을 나타내고 있다. 조석 간만의 차이가 크고 조류가 강한 인천 연안역에서의 해양 환경은 물리적인 인자에 의해서 많은 영향을 받는다. 특히 조간대에서의 해양 환경에 대한 연구를 물리적인 측면에서도 접근할 필요가 있다고 생각된다.

#### 5. 요약

국립수산진흥원의 한국 연안 어장환경 오염조사 결과 보고서를 사용하여, 인천 연안역의 수온 및 염분의 계절

변화의 특성을 살펴 보았다. 수온의 연변화는 인천항과 소래에 이르는 조간대 해역이 만의 바깥쪽 해역보다도 수온의 연평균이 높고, 진폭도 크며, 위상도 빨랐다. 염분의 연변화는 인천항과 소래에 이르는 조간대 해역이 만의 바깥쪽 해역보다도 연평균은 낮고, 진폭은 크며, 위상은 느리게 나타났다. 이러한 특성은 T-S도를 이용하여 나타낸 수괴의 계절 변화에서도 뚜렷하게 볼 수 있었다. 즉, 인천 연안역의 수괴는 수온과 염분의 연교차가 큰 인천과 소래에 이르는 조간대 해역과 염분 변동에 영향을 주는 강수나 증발, 담수 유입의 계절적 변화에 비교적 영향을 적게 받는 만의 바깥쪽 해역으로 구분할 수 있었다. 또한 알은 수심과 강한 조류로 인하여 수층이 연중 거의 혼합된 분포를 보이고 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Hong, J. S. and J W Yoo, 1996, Salinity and Sediment Types as Sources of Variability in the Distribution of the Benthic Macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 31(4), 217~231.
- 2) Koh, B. S., J. H. Lee, and J. S. Hong, 1997, Distribution Patterns of the Benthic Macrofaunal Community in the Coastal Area of Incheon, Korea. *The Sea, J. Oceanol. Soc. Korea*, 2(1), 31~41.
- 3) Huh, S. H. and I. S. Oh, 1997, Ecological Studies on the Man-made Lake Shihwa and Adjacent Coastal Area. Introduction *The Sea, J. Korean Soc. Oceanogr.*, 2(2), 49~52.
- 4) Kang, Y. Q. and M-S Jin, 1984a, Seasonal Variation of Surface Temperature in the Neighbouring Seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19(1), 31~35.
- 5) Kang, Y. Q. and M-S Jin, 1984b, Annual Variation of Salinity in the Neighbouring Seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19(2), 105~110.
- 6) Pang, I. C. and K. H. Hyun, 1998, Seasonal Variation of Water Mass Distributions in the Eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 33(3), 41~52.
- 7) Lee, J. H., J. S. Yi, B. S. Kim, C. B. Lee, and C. H. Koh, 1998, Characteristics of Metal Distribution in the Sediment in Kyeonggi Bay, Korea. *The Sea, J. Korean Soc. Oceanogr.*, 3(3), 103~111.
- 8) National Fisheries Research and Development Institute, 1996, Environmental Survey to Assess the Water Quality of the Korean Coastal Area (1989~1994). *Nat'l Fish Res. Dev. Inst.*, Korea, 255pp.
- 9) Korea Meteorological Administration, 1989~1994, Annual Climatological Report. Seoul, Korea, 241pp.
- 10) Jo, Y. J., S. D. Hahn, and Y. Q. Kang, 1997, Long-term Fluctuations of the Sea Surface Temperatures between Pusan and Tsushima Island. *Bull. Nat'l Fish Res. Dev. Inst. Korea* 53, 1~16(in Korean).
- 11) Choi, Y. K., 1994, Oceanographic Characteristics of the Japan (East) Sea Proper Water. Ph. D. Thesis Pukyong Nat'l Univ., 116pp.
- 12) Mann, K. H. and J. R. N. Lazier, 1991, Dynamics of Marine Ecosystems—Biological-Physical Interactions in the Oceans, Blackwell Scientific Publications Inc., Boston, U.S.A., 466pp.