

經驗的 固有函數法에 의한 韓國東海 海況變動解釋*

張 善 德 · 李 宗 燮 · 徐 琮 文

Empirical Orthogonal Function Analysis on the Monthly Variation of Flow Pattern in the East Sea of Korea

Sun-Duck CHANG, Jong-Sup LEE, and Jong-Moon SUH

Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan

The spatial distribution of sea water temperature variation pattern in the South-eastern coastal region of Korea was studied by empirical orthogonal function (E. O. F) analysis in several depths from surface to 300m using the monthly mean water temperature averaged for 23 years, water mass analysis by T. S diagram and sectional diagram of water temperature. Typical type of water temperature variation in this area can be divided into surface (0m-50m), subsurface (100m-150m) and intermediate (200m-300m) layer. The first mode value of water temperature change on the surface layer showed 99% of total variation, and decreased with the increase of the depth. It is deduced to be in the range of 60-70% on the 300m layer.

The representative type of water temperature fluctuation by the first mode in each layer is as follows :

Water temperature change in the surface layer showed a seasonal variation. In the subsurface layer, it is governed by the interaction of the Tsushima Warm Current water with the cold water and by the heat transfer process from the upper layer. In the intermediate layer, water temperature variation seems to be governed by the advection of the bottom cold water.

緒 論

韓國 東海의 海況變動은 大韓海峽을 통하여 韓國 東岸에 인접하여 북상하는 Tsushima 난류와 韓國 北部 東岸을 따라南下하는 北韓寒流 및 年中 지속적 으로 存在하는 東海 深層部의 固有水(須田, 1932; 關, 1942) 및 大氣-海洋간의 상호작용 등에 의하여 주로 지배된다고 할 수 있다.

Tsushima 난류와 관련하여 東海의 海況, Tsu-

shims 난류의變動과 流量輸送, 냉수역 등에 관하여는 Fukuoka (1957, 1965), 山中 (1951), Ichiye (1954), 谷岡 (1962a, b), Moriyasu (1972) 張 등 (1980) 등에 의하여 많은 연구가 행하여졌다.

한편, 韓國 東岸의 南部 및 中部海域에서는 表層 부근까지 냉수괴가 출현하는데, 이러한 現象에 대하여는 孔과 朴 (1969), An (1974), 承 (1974), Lee (1978), 朴 (1978) 등에 의하여 연구되었다. Lim and Chang (1969) 은 大韓海峽에서 냉수는 크게 季節變動을 보

*부산수산대학 해양과학연구소 연구업적 제206호

(Contribution No. 206 of Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Pusan)

이며 6월 부터 부산-대마도 단면에 나타나기 시작하여 2월에 사라진다고 하였다. 孔과 朴 (1969)은 韓國 東岸에 出現하는 냉수역을 100m중에서 5°C 이하의 해역으로 규정하는 냉수역을 그 출현현상과 규모 및 수괴의 성질로 봐서 A, B, C 및 D형으로 구별하였다.

최근, Kawabe (1982) 및 Byun and Chang (1984)은 大韓海峽 및 西水道에서 Tsushima난류수의 分枝에 대하여, Yi (1966)는 大韓海峽에서의 體積輸送量에 대하여, Lee (1983)와 Byun and Seung (1984)은 한국 남동연안에서의 沿岸湧昇과 水面變動 및 유동구조와의 관계에 대하여 각각 연구 하였다. 이와같은 연구는 韓國 東海에서의 海況變動의 해석 및 예측과 관련하여 선결하여야 할 과제의 하나이다. 따라서, 水温變動機構를 해석하기 위하여는 海水循環의 力學的 기구의 해명이 필요하다.

水温變動를 분석하기 위하여 觀測資料의 統計的 해석방법이 많이 쓰여지고 있다. Kang and Jin (1984)은 東海 水温의 季節的變動에 대하여, Kang (1985)과 Kang and Kang (1987)은 水産振興院의 累年 平均資料에 의한 東海 南東 海岸의 外海 表層 300m 층 貯熱量的 季節的變動과 각 水層別 水温의 季節的變動에 관한 調和分析를 행하였다.

Kang and Choi (1985)와 Choi and Kang (1987)은 Tsushima난류해역 연안 表面水温變動에 대한 시계열해석 및 E.O.F 분석을 행하였다. Lie et al. (1986)는 東南 黃海에서 수온의 E.O.F 분석을 통하여 表層水温이 季節變化와 밀접한 관계를 나타내고 있음을 보였다. 한편, Lie (1987)는 韓國 東海에서 表面水温의 E.O.F 분석을 통하여 表層水温의 前변동량의 95.4%를 설명할 수 있는 첫째, 둘째 고유함수와 이에 해당하는 시간계수를 나타냈다. 그러나 어떤 海域에서 水温을 場所와 時間의 함수로 分離하는 1차원 E.O.F 분석에 있어서는 水温이 特定 場所와 時間에 따라 어떻게 변동하는지를 알 수 있지만, 韓國 東海에서와 같이 水温變動에 作用하는 인자들이 다양하고 장소에 따라 변동이 큰 경우에 있어서는 1차원 E.O.F 분석에 있어서 장소에 대한 함수는 그다지 커다란 의미를 갖지 못하며, 時間係數 자체에 대하여도 物理的 의미를 부여하기 어렵다.

한편, 이와같은 E.O.F 분석방법은 표사이동에 의한 地形變動 機構의 해석과 관련하여 Winnant et al. (1975)에 의하여 연구 되었으며, 1차원 또는 2차적인 지형변화의 예측에 적용되고 있다 (Uda and Hashimoto, 1982, Hsu et al., 1986).

본 연구에 있어서는 공간적인 수온의 변동양상을 파악하기 위하여 연속된 水温資料간의 水温差를 각

각 x 및 y 방향으로 분리하는 2차원 E.O.F 분석을 행하였다. 한편, 각 수층별 수온의 변동기구를 파악하기 위하여 T-S diagram과 斷面別 水温分布圖를 作成하여 比較 검토하였다.

資料 및 方法

본 연구에 사용한 E.O.F 분석의 수학적 배경은 다음과 같다.

空間的인 水温의 變動量 $\Delta T(x, y, t)$ 는 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$\Delta T(x, y, t) = T(x, y, t+1) - T(x, y, t) \quad (1)$$

여기서, x는 南北方向의 좌표, y는 東西方向의 좌표, t는 觀測月을 나타낸다.

어느 시간 t'에 있어서 $\Delta T(x, y, t')$ 는 각각 x와 y 방향의 함수로서 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T(x, y, t') = \sum_k e_k(x, t') \cdot e_k(y, t') \quad (2)$$

여기서, k는 mode수이다.

한편, x방향의 固有함수는 (3)식과 같이 orthogonal set를 구성한다.

$$\sum_n e_n(x, t) \cdot e_m(x, t) = \delta_{mn} \quad (3)$$

correlation matrix와 같이 x방향의 고유함수를 만들기 위하여, symmetrix matrix A는 다음과 같이 주어진다.

$$a_{ij} = \frac{1}{N_x N_y} \sum \Delta T(i, x, t') \cdot \Delta T(j, y, t') \quad (4)$$

여기서, N_x, N_y 는 각각, x, y 방향의 定點數를 나타낸다. 결국, (4)식은 固有值問題로서 다음과 같이 나타내어진다.

$$Ae_k(x, t) = \lambda_k e_k(x, t) \quad (5)$$

여기서, λ_k 는 $e_k(x, t)$ 에 對應하는 固有值이다.

한편, y방향의 고유함수 $e_k(y, t)$ 는 (6)식으로부터 구할 수 있다.

$$e_k(y, t) = \sum_x \Delta T(x, y, t') \cdot e_k(x, t) \quad (6)$$

고유치 λ_k 의 합은 Trace A와 같으므로, 전 변동량 중 k번째 mode인 $e_k(x, t) \cdot e_k(y, t)$ 가 차지하는 비율은 $\lambda_k / \text{Trace A}$ 와 같다.

韓國 東海 沿岸域에서 水温變動의 空間的인 分布特性을 해석하기 위하여, 國立水産振興院 (1986)의 23년간 平均 月別 平年 水温分布圖를 사용하였다. Fig. 1은 대상해역을 나타내며, 정점수는 25개로 하였고 수심은 0m-300m사이의 水層을 택하였다.

여기서, (1) 식에 의하여 연속된 수온자료 $T(x, y, t)$ 로부터 $\Delta T(x, y, t)$ 를 구하고, 이것을 (4)식과 같이 전개하여 (5)식으로부터 λ_k 및 $e_k(x, t)$ 를 구한 후, (6)식에 의하여 $e_k(y, t)$ 를 구할 수 있다. 본 연구에서는 (2)식과 같은 각 mode별 水温의 變動分布 $\Delta T(x, y, t)$ 와 $\lambda_k / \text{Trace A}$ 값으로부터 空間

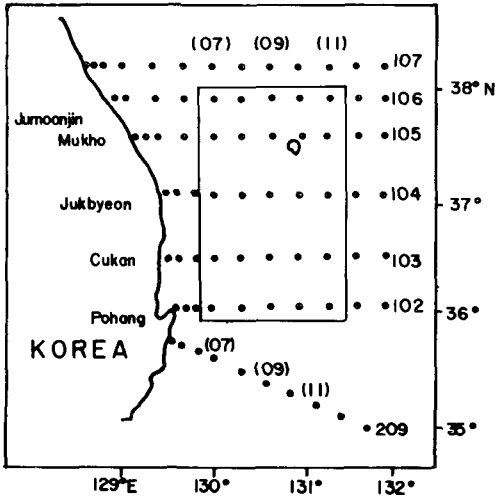


Fig. 1. Areas and the location of the serial oceanographic stations by the F. R. D. A.

의인 水温의 變動樣相을 해석하였다. 이와같은 2차원 E.O.F 분석은 주성분 분석의 일종으로서 data의 주요한 變동을 요약하여 특징을 파악하기 위한 통계적 수법이다. 따라서, (2)식과 같은 ΔT 의 E.O.F 분석을 통하여 수온변동량의 공간적 분포의 대표적인 양상을 그 크기별로 추출할수 있으며, 장차 공간적인 수온변동의 예측에로의 확장이 가능하다.

結果 및 考察

23년간에 걸친 長期 累年 月平均 水温資料를 0m, 50m, 100m, 150m, 200m 및 300m 水深층에 대하여 각각 E.O.F 분석을 행한 결과는 Fig. 2와 같다. 여기서, 가로축은 동서방향의 좌표 Y를, 세로축은 남북방향의 좌표 X를 나타낸다. 그리고 X좌표의 값은 공간계수이며, Y좌표의 값은 수온을 나타낸다. 또 X좌표의 값과 Y좌표의 값을 곱한 값이 +이면 수온의 상승을, -이면 수온의 하강을 나타낸다.

Fig. 2에서 실선은 고유함수의 1st mode, 점선은 고유함수의 2nd mode를 나타내며, 그 밖의 mode는 전체 변동량중 차지하는 비율이 적으므로 생략하였다. 위 그림으로부터 水層別 水温의 變動特性을 요약하면 다음과 같다.

1. 表層의 水温變動 特性

0m 층에서는 2월부터 전 영역에서 일제히 수온이 상승하기 시작하여 8월에 最高가 되며, 그 후 9월

부터 하강하기 시작하여 2월에 最低水温을 이룬다.

이와 같은 변동양상은 전체 변동량의 약 99% 이상을 차지한다. 따라서, 0m 층에서의 수온변동은 주로 기상조건의 계절변화가 뚜렷한 대기-해양간의 상호작용에 의하여 지배되는 것으로 사료된다. 그러나, 앞으로 이와같은 수온변동과 밀접한 관계가 있는 요인과의 관계를 정량적으로 규명할 필요가 있다고 생각한다. 50m 층에서는 0m 층보다 약 2개월정도 지연되어 수온이 상승 또는 하강하며, 이와같은 변동양상은 전체의 약 61%~99%를 차지한다. 따라서 50m 층에서의 수온변동은 주로 표층수온에 의하여 지배되는 계절적인 변동을 나타낸다고 할 수 있다. 그러나, 그 원인이 무엇인가에 대한 연구가 더 행해져야 할 것으로 생각한다.

2. 次層(100~150m)에서의 水温變動特性

100m 층에서의 1st mode의 값은 77%~98% 정도로 크게 나타났으며, 150m 층에서는 56%~87% 정도로 100m 층보다 약간 작은 셈이다.

수온의 변동양상은 夏季인 6월~8월 사이에는 연안쪽에서 약간 하강하고, 외양쪽에서 상승하는 양상을 나타냈다. 한편, 그 밖의 기간에 있어서는 4월~12월 사이에는 전 영역에서 수온이 일제히 상승하고, 12월~4월 사이에는 일제히 하강하는 양상을 나타냈다.

즉, 수온이 상승하는 시기는 50m 층에서와 같이 0m 층보다 약2개월의 지연을 나타냈다. 그러나, 수온이 하강하는 시기는 0m 층보다 약 4개월 늦게 나타났다. 바꾸어 말하면 100m~150m 층에서는 4월에 최저수온을 이루고, 12월에 최고수온을 이룬다.

이와 같은 수온의 변동양상을 조사하기 위하여, 국립수산진흥원(1980)의 정기 해양관측자료로부터 Fig. 1에 나타난 St. 105-05, St. 103-09 및 St. 209-06의 관측점에서 1925년~1975년 사이의 관측치를 누년 평균한 수온, 염분의 평균치를 이용하여 冬季(2월)와 夏季(8월)의 T-S diagram을 작성한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3으로부터 夏季(8월)에 있어서 100m 층에서의 수온과 염분값을 보면, St. 105-05에서는 수온 3.5℃, 염분 34.‰이고, St. 103-09에서는 수온 10℃, 염분 34.3‰로 나타났다. 여기서, 承(1974)이 설명한 中間水와 Tsushima난류의 混合境界層인 10℃ 수온을 Tsushima난류의 지표수온, An(1974)과 朴(1978)이 정의한 北韓寒流의 최대수온인 4℃를 북한한류의 지표수온으로 정의하면, 묵호 연안해역인 St. 105-05에서는 한류성수괴의 성질을 나타내고 있으며, 그

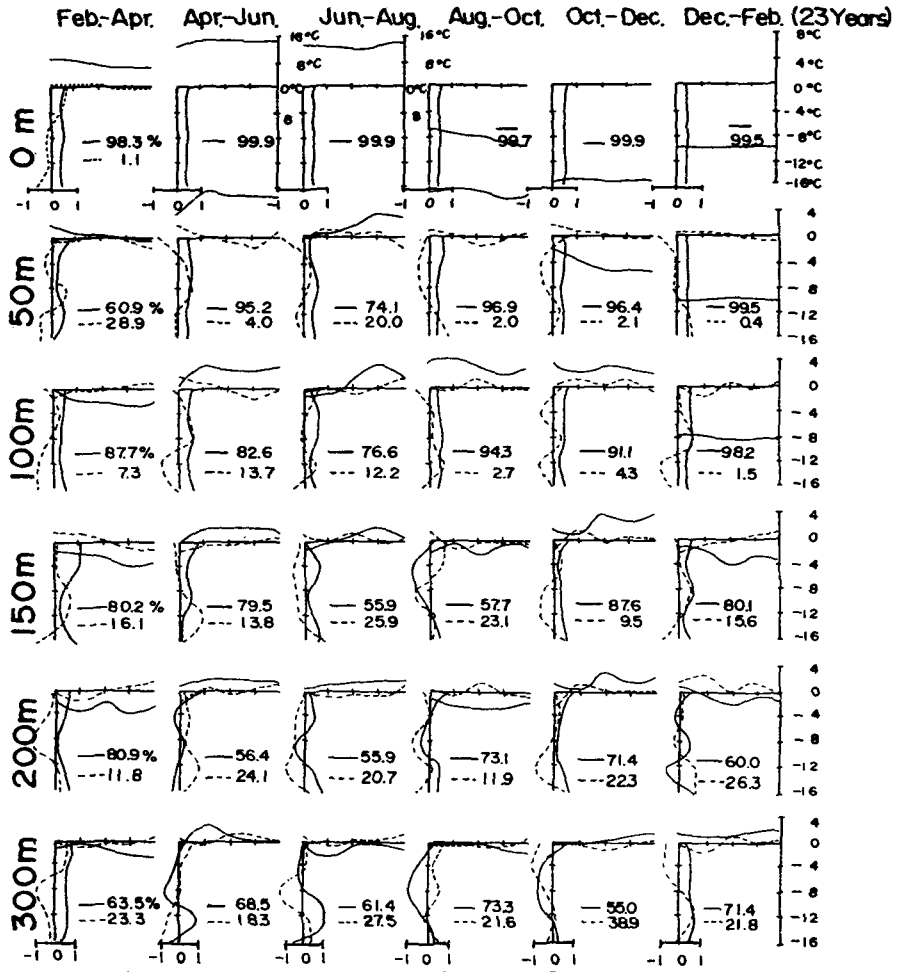


Fig. 2. Monthly variation of mean water temperature for a period of 23 years by E. O. F analysis at each depth in the area indicated in Fig. 1.

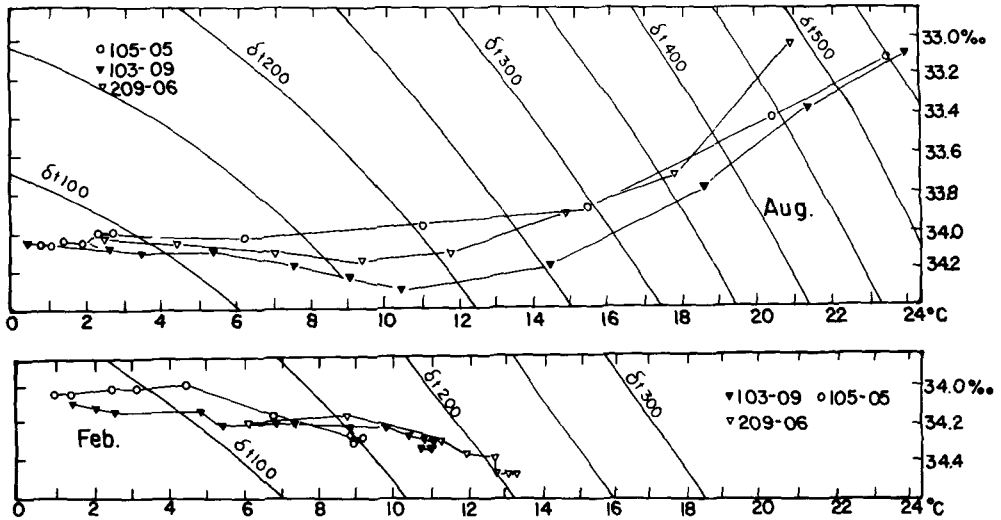
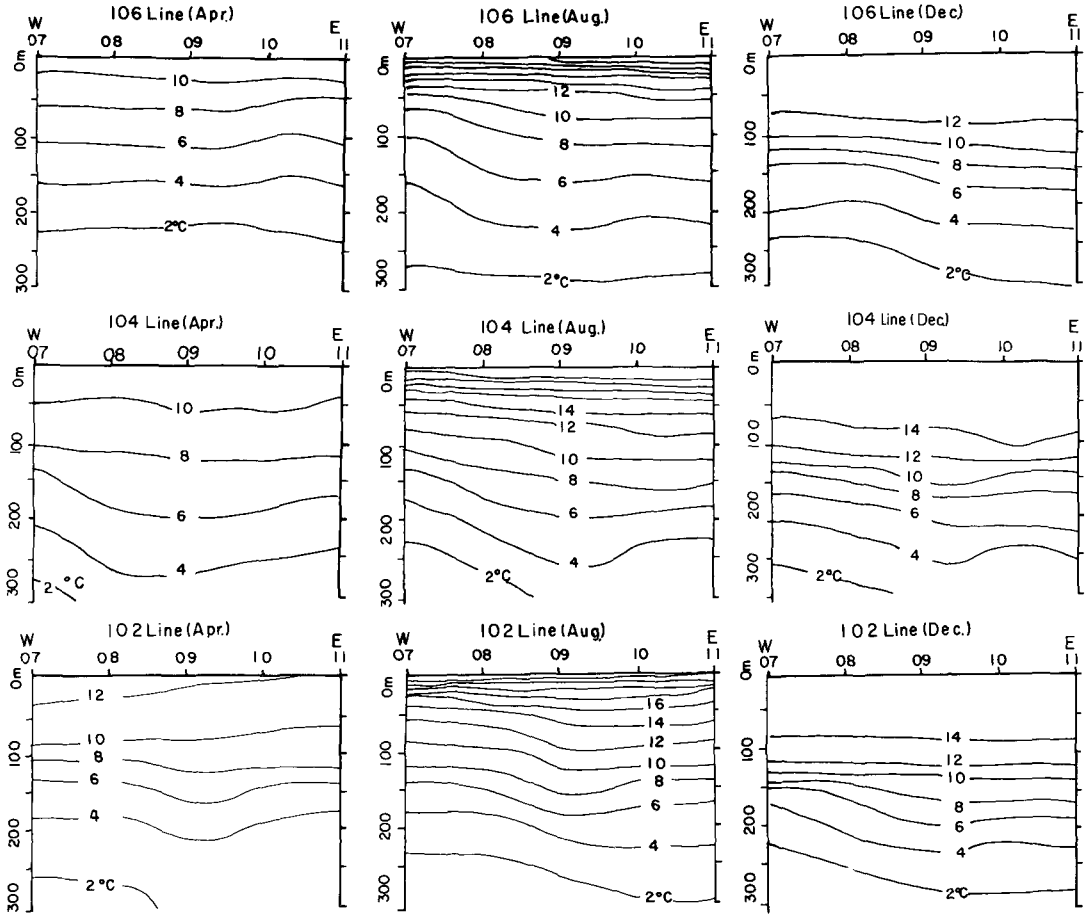


Fig. 3. T-S diagrams in the eastern coastal waters of Korea in February and August.



Vertical distribution of water temperature at East - West section

Fig. 4. Vertical distributions of mean water temperature for a period of 23 years along the East-West section in Figure 1 in April, August and December.

의의 해역에서는 난류성수괴의 성질을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

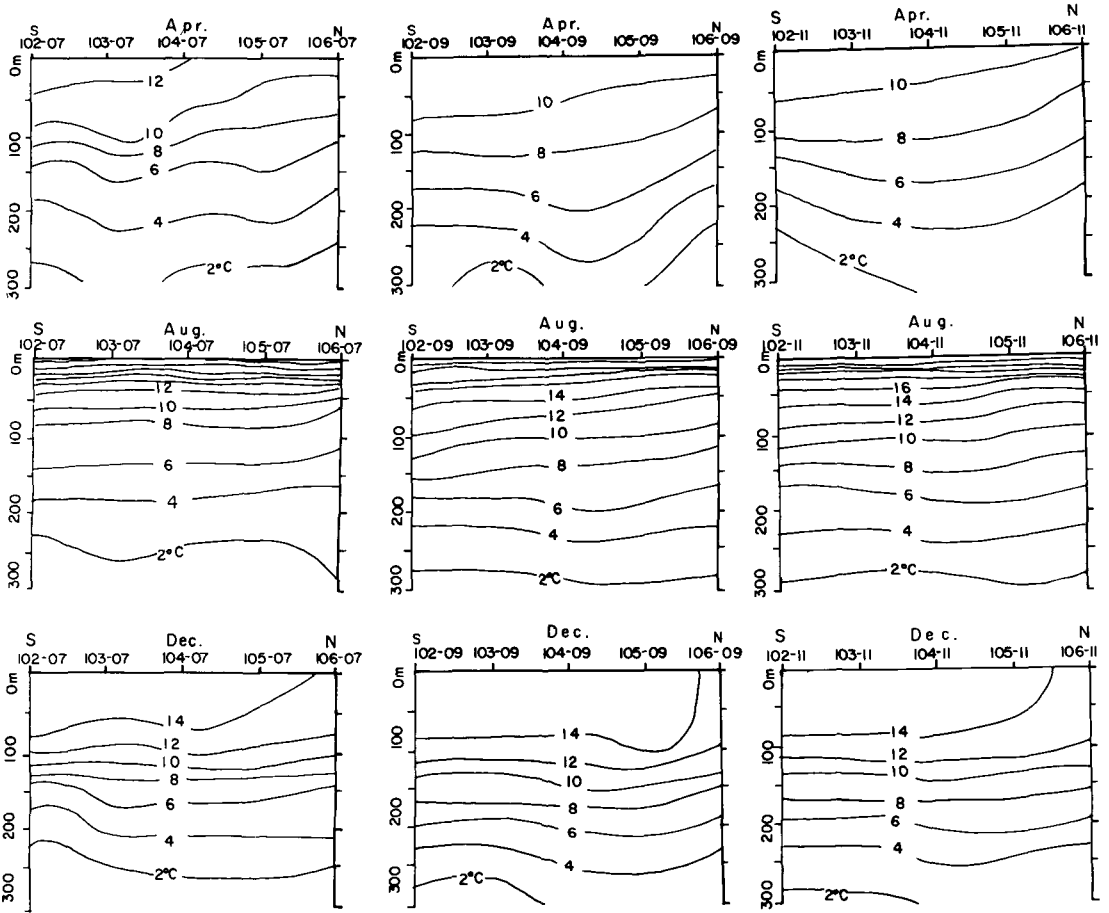
한편, 동계(2월)에는 표층에서 150m~200m 수심에 이르기까지 연직방향으로 거의 균질한 수괴를 이루고 있음을 볼 수 있다. 그리고, 동계에 100m 수심에서의 수온값은 St. 105-05 에서 약 4°C로서 하계보다 약간 높았으며, St. 103-09 에서는 10°C로서 하계와 거의 같았다.

이것은, 하계에 목호 연안역인 St. 105-05의 수심 100m 층에서 일시적으로 수온이 하강하는 현상을 나타내 주는 것으로서, 100m~150m 층에서 6월~8월 사이의 E.O.F 분석결과와 비슷한 양상을 보였다.

Fig. 4는 Fig. 1에 나타낸 대상해역의 4월, 8월, 12월에 있어서 동서 및 남북방향의 각 단면별 수온의 연직분포를 나타낸 것이다.

Fig. 4의 위그림인 하계(8월)의 동서방향 수온의 연직분포로부터 106 line 및 104 line까지 연안쪽 정점인 St. 07에 있어서 100m~150m 수심의 수온은 같은 수층에서 1년중 최저수온을 나타내는 4월의 수온과 거의 같은 값을 나타내고 있다. 한편, Fig. 5의 아랫그림인 남북방향의 수온의 연직분포로부터 St. 07을 따라서 하계(8월) 100m~150m 수층의 수온이 가장 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이것은 하계에 동해 연안을 따라 100m~150m 수심에서 냉수가 남하하고 있음을 나타낸다고 말할 수 있다.

한편, St. 09 및 St. 11을 따른 남북방향의 10°C 이상의 등온선분포로부터, 남쪽으로부터 Tsushima 난류수의 확장이 하계에 가장 왕성하며, 거의 100m 수층에 걸쳐서 나타나고 있다. 그리고, 남북방향의 수온분포로부터 12월의 100m~150m 수층의 수온은 하계에 발달한 Tsushima 난류수에 의한 연직하방에



Vertical distribution of water temperature at North-South section

Fig. 5. Vertical distribution of mean water temperature for a period of 23 years along the North-South section in Figure 1 in April, August and December.

로의 열의 이동에 의하여 1년중 최고 수온을 나타낸다고 생각된다.

3. 中層 (200~300m) 에서의 水溫變動 特性

Fig. 2에 나타난 月別 水溫變動 特性을 보면, 200m 층의 水溫變動 樣相은 150m 층과 300m 층의 水溫變動 樣相의 中間적인 형태를 취한다고 할 수 있다. 200m 수층의 1st mode 값은 56%~81%로서 150m 층보다 약간 적게 나타났으며, 300m 수층에서는 55%~73% 정도로 200m 층보다 더욱 작게 나타났다. 이것은 水深이 깊어질수록 水溫의 變動樣相이 더욱 복잡해짐을 나타낸다.

200m 층에서의 空間的인 水溫의 變動樣相을 보면, 10월~12월 사이에서는 전 영역에서 수온이 일제히 上昇하고 2월~4월 사이에서는 일제히 下降하였다. 그 밖의 기간에 있어서는 南北方向을 水溫이

上昇, 下降하는 부분이 교대로 나타나는 복잡한 양상을 나타냈다.

한편, 300m 층에서는 12월~2월 사이에서는 전 영역에서 일제히 수온이 上昇하고 2월~4월 사이에는 일제히 下降하였으며, 그 밖의 기간에 있어서는 200m 층에서와 같이 南북방향으로 수온이 증가 또는 감소하는 부분이 교대로 나타났다.

따라서, E.O.F 분석결과로부터 200m~300m 층에서는 최고 또는 최저수온이 언제, 어느곳에서 나타날지 파악하기 힘들다. 그러나, Fig. 4의 동서방향의 단면별 水溫 鉛直分布圖의 200m~300m 층을 보면, 측면 남쪽인 104 line 및 102 line의 연안으로부터 외양쪽으로 4월부터 2°C의 냉수가 발달하기 시작하여 8월 및 12월에 걸쳐 存在하고 있음을 볼 수 있다. 특히, 104 line보다 102 line에서 그 強度가 큰 것으로 볼 때 200m 以下 深海域에서는 커다란 냉

수괴의 循環이 엮보여진다.

한편, 남북방향의 단면별 수온 연직분포로부터 200m~300m 층에서는 8월에 저온인 2층등온선이 가장 크게 확장함을 볼 수 있다.

따라서, 200m~300m 층에서의 수온은 8월에 최저수온을 이루어 표층수온의 변동과는 반대 位相을 갖는다. 이것은 Tsushima 난류수의 확장에 따른 한국 동해냉수의 남하와 연안 저층냉수의 移流에 의한 것으로 사료된다.

이상에서와 같이 韓國 東海 沿岸域에서의 水層別 水溫의 變動特性을 E. O. F 분석결과와 1st mode 및 수온분포도로부터 설명하였다. 그러나, 이와 같은 E. O. F 분석에 있어서 문제점은 1st mode 값이 작아지면 뚜렷한 특징이 없으므로 설명이 곤란하다는 점과 2nd mode 이하의 작은 성분에 대하여는 변동양상에 대한 物理的인 설명이 곤란하다는 점이라고 할 수 있다.

최근, Suk (1986)은 한국 동해 남부해역에서의 海洋循環의 數值모델과 관련하여, 연직방향의 수온분포에 의한 층별 흐름장을 계산하였으며, Yoon (1982 a, b)은 한국 동해에서 해류 순환기구에 관하여 數值實驗을 행한바 있다. 앞으로, 이와같은 수치모델과 現場 調査資料에 의한 海水循環에 관한 역학적 기구가 밝혀지면 海況變動의 定量的인 해석 및 예측도 가능할 것으로 생각한다.

要 約

韓國 東海 沿岸域의 空間的인 水溫變動 特性을 밝히기 위하여 23년간 平均된 月別 平均水溫 資料를 이용하여 0m 층에서 300m 층 까지 각각 수층별로 E. O. F 分析을 행하고, T-S diagram과 단면별 水溫分布圖를 작성하여 비교, 검토하였다. 대표적인 水溫의 變動樣相에 따라 表層(0m~50m), 次層(100m~150m) 및 中層(200~300m)으로 나누었다. 水溫變動量의 1st mode 값에 의한 각 水層別 水溫變動 樣相을 요약하면 다음과 같다. 표층에서의 수온은 주로 季節的인 변동양상을 보인다. 100~150m 층의 수온은 暖流水와 冷水간의 상호작용과 上層으로 부터의 熱의 傳達作用에 의하여 주로 변동됨을 알 수 있다. 200~300m 층에서의 수온변동은 주로 沿岸 底層냉수의 移流에 의하여 지배되는 것으로 사료된다.

본 연구는 1987년도 문교부 기초과학 육성연구비의 지원에 의하여 이루어 졌다.

文 獻

- An, H. S. 1974. On the cold water mass around the Southeast coast of Korean Peninsula. J. Oceanol. Soc. Korea 9 (2), 10~18.
- Byun, S. K. and S. D. Chang. 1984. Two branches of Tsushima Warm Current in the western channel of the Korea Strait. J. Oceanol. Soc. Korea 19, 200~209.
- Byun, S. K. and Y. H. Seung. 1984. Description of current structure and coastal upwelling in the South-west Japan Sea-summer 1981 and spring 1982. Elsevier Science Publishers. B. V., Amsterdam, 83~93.
- Choi, S. W. and Y. Q. Kang. 1987. Empirical orthogonal function analysis of coastal water temperatures in the Tsushima Current region. Bull. Kor. Fish. Soc. 20 (2), 89~94.
- Fukuoka, J. 1957. On the Tsushima Current. J. Oceanogr. Soc. Japan 13 (2), 57~70.
- Fukuoka, J. 1965. Hydrograph of adjacent sea (1). J. Oceanogr. Soc. Japan 6 (2), 9~30.
- Hsu, T. W., S. R. Liaw, S. K. Wang and S. H. Ou. 1986. Two dimensional empirical eigenfunction model for the analysis and prediction of beach profile changes. Proc. 20th ICCE, 1180~1195.
- Ichiye, T. 1954. On the distributions of oxygen and their seasonal variations in the adjacent seas of Japan (1). Oceanogr. Mag. 6 (1), 41~66.
- Kang, Y. Q. 1985. On annual variations of sea water and air temperature, and sea-air temperature separation in the East Sea (Japan) Bull. Korea Fish. Soc. 18 (4), 374~385.
- Kang, Y. Q. and S. W. Choi. 1985. Annual and interannual fluctuations of coastal water temperatures in the Tsushima Current and Kuroshio regions. Bull. Korea Fish. Soc., 18 (6), 497~505.
- Kang, Y. Q. and M. S. Jin. 1984. Seasonal variation of surface temperature in the neighbouring seas of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 19 (1), 31~35.
- Kang, Y. Q. and O. K. Kang. 1987. Annual variation of surface temperatures in the upper 200m off Southeast coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 22.
- Kawabe, M. 1982. Branching of Tsushima Warm Current in the Japan Sea, Part 1. Data analysis. J. Oceanogr. Soc. Japan 38, 95~107.

- Lee, J. C. 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind-induced upwelling in the Southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea* 18, 149~160.
- Lee, K. B. 1978. Study on the castal cold water near Ulsan. *J. Oceanol. Soc. Korea* 13 (2), 5~10.
- Lie, H. J. 1987. Study on the development of forecasting techniques for fishing and oceanographic condition (II). *Korean Ocean Res. Dev. Inst. Rep. BSPE 00049-162-1*, 304 p.
- Lie, H. J., I. K. Bang and Y. Q. Kang. 1986. Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the Southeastern Hwanghae. *J. Oceanol. Soc. Korea* 21, 193~202.
- Lim, D. B. and S. D. Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea* 4, 71~82.
- Moriyasu, S. 1972. The Tsushima Current, in Kuroshio, it's physical aspects. Ed. H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, 353~369.
- Suk, M. S. 1986. On the ocean circulation in the South-East Sea of Korea by a variational inverse model. *Korean Ocean Res. Dev. Inst. Rep. BSPE 00080-111-1*, 56 p.
- Uda, T. and H. Hashimoto. 1982. Description of beach changes using an empirical predictive model of beach profile changes. *Proc. 18th ICCE, ASCE*, 1405~1418.
- Winnant, C. D., D. L. Inman and C. E. Nordstrom. 1975. Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions. *J. Geophys. Res.* 8 (15), 1979~1986.
- Yi, S. 1966. Seasonal and secular variation of the water volume transport across the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea* 1, 7~13.
- Yoon, J. H. 1982a. Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea, Part I. Formation of East Korean Warm Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 38, 43~51.
- Yoon, J. H. 1982b. Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea, Part III. Mechanism of the nearshore branch of the Tsushima Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 38, 125~130.
- 孔永 · 朴清吉. 1969. 韓國 東海 冷水域의 海洋化學의 特性. *國立水振研報* 4, 69~91.
- 國立水產振興院. 1980. 韓國海洋便覽.
- 國立水產振興院. 1986. 韓國 近海 平年海況圖, 185p.
- 朴清吉. 1978. 韓國東海岸 冷水塊의 '海洋化學的 考察. *韓水誌* 11 (2), 49~54.
- 張善德 등 1980. 멸치 資源의 游에 관한 研究. *釜水大 海洋科學研報* 12, 1~37.
- 承永浩. 1974. 8月의 韓國 東岸에서의 水温分布에 관한 力學的 考察. *韓國海洋誌* 9 (2), 52~58.
- 須田克次. 1932. 日本海の 底層水に 就いて. *海洋時報* 4 (1), 221~240.
- 關和男. 1942. 朝鮮東岸中に 於ける 夏期海況に就いて. *海と空* 12 (2), 25~34.
- 山中一郎. 1951. 昭和24年春-夏季 日本海 海況 (I - II). *日海洋誌* 6 (3), 143~156.
- 谷岡克己. 1962a. 日本海の海況 (I). *海と空* 38 (3), 90~100.
- 谷岡克己. 1962b. 日本海の海況 (II). *海と空* 38 (4), 115~128.

1988년 6월 22일 접수

1988년 10월 10일 수리