

8月の 韓國東岸에서의 水温分布에 關한 力學的 考察

承 永 鎬

서울대학교 海洋學科

A DINAMIC CONSIDERATION ON THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE EAST COAST OF KOREA IN AUGUST

Young Ho Seung

Dept. of Oceanography, Seoul National University

ABSTRACT

The water temperature distribution and the water movement closely related with it, in the east side of Korea, was considered. Special emphasis was paid on the low temperature phenomenon near Ulgi. It was known from the temperature distribution in the east side of Korea that the Tsushima current continues to flow northward at the surface near Sokcho. Also the influence of the cold water extends from the North to the South with increasing depth. The formation of the cold core near Ulgi was explained as due mainly to the existence of the boundary layer near the surface, and partly to the effect of the wind. This inclination of the boundary layer has the value of about 3.0 m/Km, and the lower cold current velocity computed using this value lies in the range of those observed by Nishida (1926, 1927). The upwelling velocity was computed approximately as 1.4×10^{-3} cm/sec, and the maximum distance to which the boundary layer can rise or fall from its equilibrium position was considered as below 10m.

序 論

한국동안의 해수의 물리의 특성 및 해수의 운동에 관하여는 오래 전부터 많은 연구가 행하여졌다. Nishida(1927)에 의하면, 대한해협을 통과한 Tsushima난류는 다시 세 지류로 나뉘어 지며 첫째가 한국동안을 따라 북상하는 북상류, 둘째로 울릉도를 지나는 北東流, 셋째는 日本 北岸을 끼고 흐르는 Tsushima本流라 하였다. 또한 그(1926)의 관측에 의하면 대한해협의 西溯北岸 즉 한국 南東岸 근처에서 수년 주기로 냉수의 표면노출 현상이 나타나고 있으며, 南西向 하는 저층냉수의 속도는 0.1~0.35 knot에 이르고 있다.

林과張(1969)은 대한해협 서측의 남서향 하는 저층수를 냉수괴라 하여 3~10°C로 규정하고 있으며, 이러한 저층냉수는 동해에서 생성된 수괴로 여름철에 海底를 따라 남서 방향으로 흘러 나가기 시작한다 하였다.

林(1973)은 대한해협의 저층냉수에 대한 연구

에서, 6월에 대한해협을 통과하는 저층냉수 양을 17,135 m³/sec로 추산하였다.

수괴에 대하여는 林(1971)이 대한해협을 통과하는 Tsushima난류의 수괴에 대하여, Abe와 Myazaki(1960), 그리고 Uda에 의하여 동해의 수괴가 연구되었다. 林은 Tsushima난수를 Kuroshio의 표면수와 동지나 연안수의 혼합체라 하였다. Abe와 Myazaki, 그리고 Uda에 의하면, 동해에는 동해중간수(Mid-Water)와 그 밑으로 동해고유수(Japan-Sea Proper Water)가 존재하며, 북한한류(North-Korea Cold Current)와 Tsushima난류의 극전선 형성으로, 한류를 형성하고 있는 냉수괴가 침강하여 이것이 Tsushima난수의 밑에 존재하게 된다 하였다.

한국 東南岸 표면수의 異常低溫현상은 이미 여러 학자들에 의하여 지적된 바 있다. Fukuoka(1962)는 대한해협 한국 연안에서의 해양관측에서 동쪽으로 향한 심한 온도균배 현상을 지적했으며, 林과張(1962)은 이것을, 표층난수와 남서

향하는 저층 냉수괴가 연안 근처에서 극전선을 형성하기 때문이라고 설명한 바 있다.

그러나, 이러한 현상에 대하여 구체적인 연구를 한 사람은 아직껏 없었다. 본 논문에서는, 한국동안의 수온분포와 이에 밀접히 연관되어 있는 해수의 운동에 관하여 고찰하여 보았으며, 특히 울기연안의 이상저온 현상에 중점을 두었다.

본 논문에서 사용된 자료는, 수산진흥원刊 해양조사연보 16호(1967)와 17호(1968), 그리고 日

本 氣象廳刊 每日天氣圖 1967, 1968년 각 8월호임을 밝혀둔다.

수온분포와 해수운동

수온의 수평 수직적인 분포는 해수 운동과 밀접한 관계를 갖고 있다. 한국동안의 해수는 Tsushiman류와 북으로 부터 남하하는 북한한류의 영향을 받으며, 북한한류가 침강하여 이루어진 동해 중간수와 대마난류 사이의 경계층에 대하여 생각해 볼 필요가 있겠다.

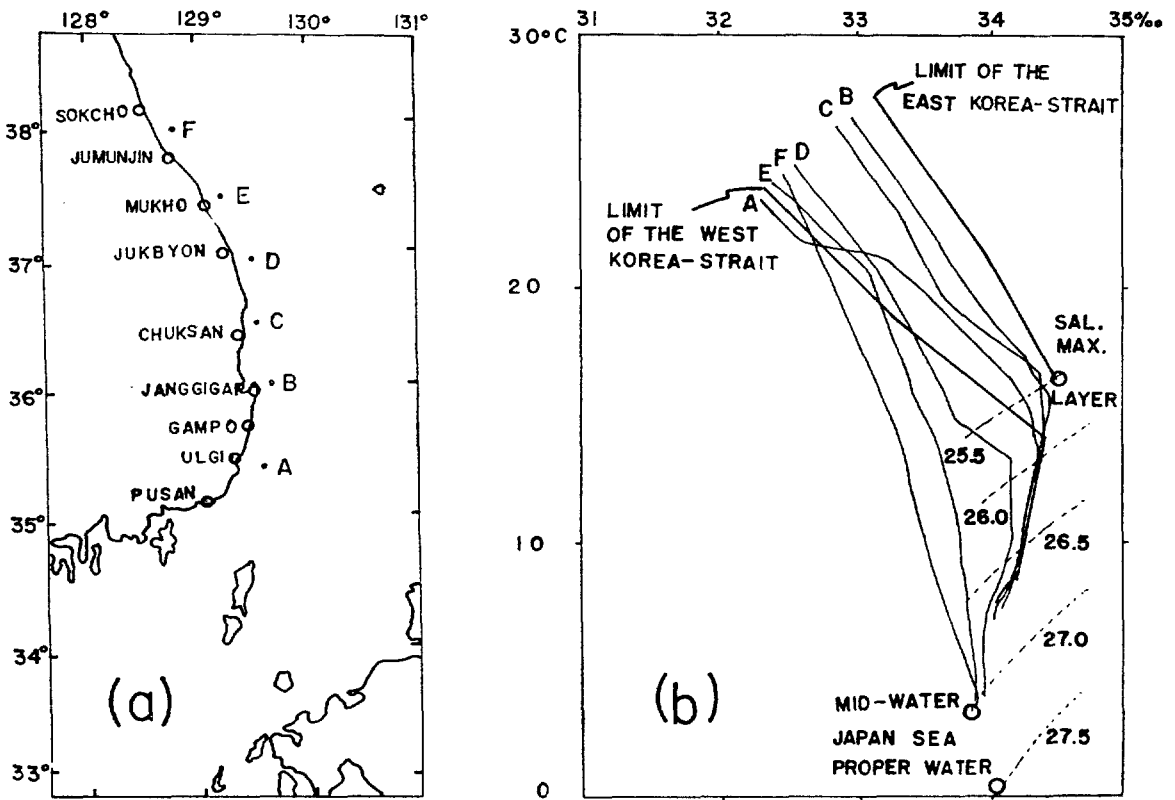


Fig. 1. (a) Location of six oceanographic stations along the east coast of Korea. (b) Water masses observed in August, 1967 and 1968, at every stations. Thick lines and small circles represent the limit of the water masses in the Korea-Strait, and the typical water masses in the area under consideration respectively.

Fig. 1은 한국동안의 각 해역에서의 수괴를 T-S圖상에 표시한 것이다. 대체로, 여름철의 강한 방사열로 인하여 상층부에 형성되는 高溫의 수괴와, Tsushiman류의 중심을 이루고 있다고 생각되는 염분극대층(Salinity Maximum Layer) 북한한류가 침강하여 형성된 중간수, 그리고 東

海의 深部に 위치하는 동해고유수로 대별할 수 있겠다. Tsushiman류의 중심을 염분극대층이라고 하고 저층냉수의 중심을 중간수라 할 때, 두 수괴의 혼합경계층은 두 수괴를 잇는 직선의 二分點인 10°C ($\sigma_t=26.5$) 부근이 될 것이다. 혼합경계층(Mixing Boundary)과 운동경계층(Kinematic

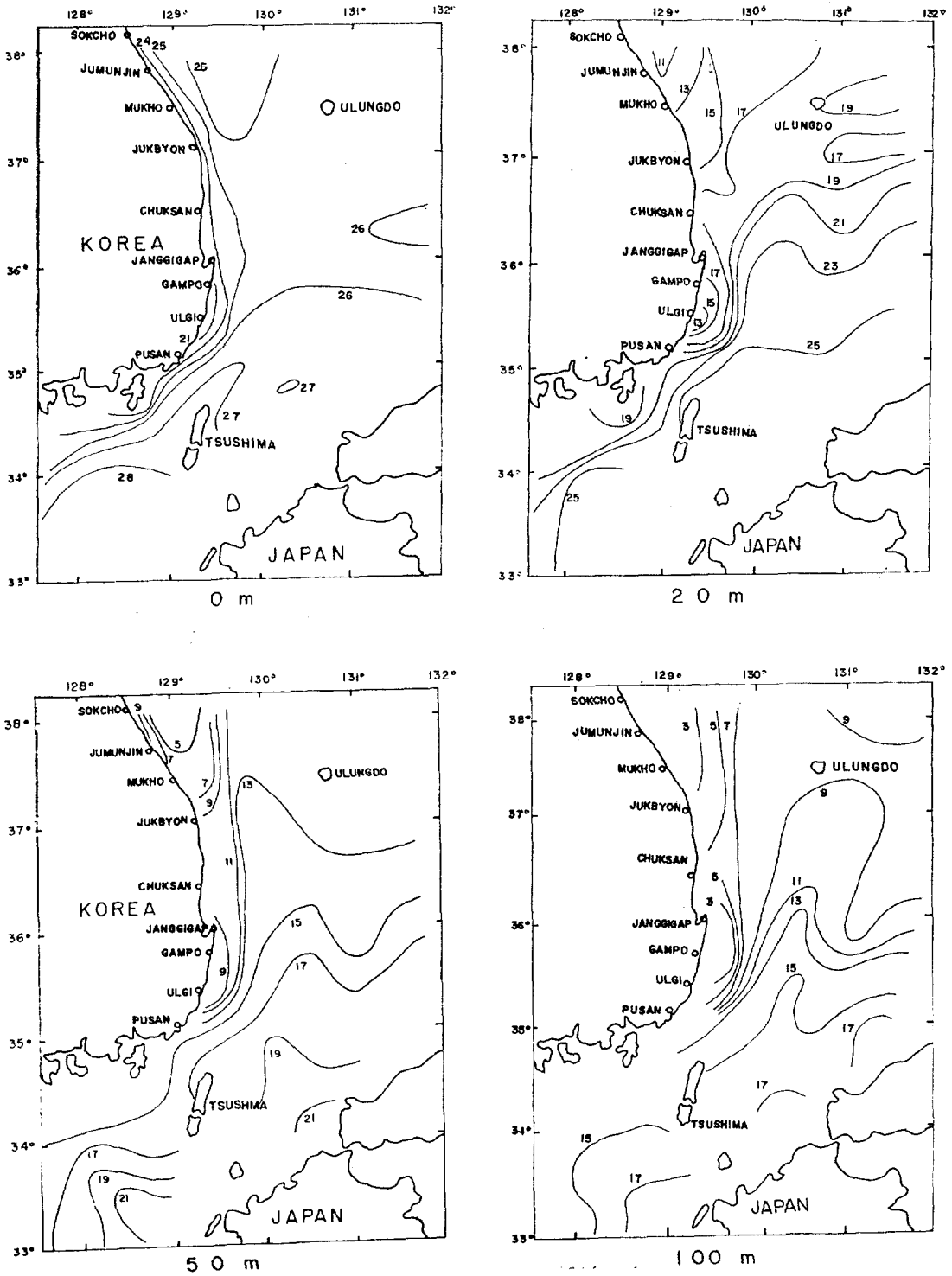


Fig. 2. Temperature distributions observed in August, 1967 and 1968, at 0 m, 20 m, 50 m and 100 m.

Table 1. Average depths and inclinations of the boundary layer, in August, 1967 and 1968, from the coast to about 30 Km off the coast at every station. The values in parenthesis represent those from the coast to about 12 Km off the coast.

STATION	PUSAN	ULGI	GAMPO	JANGGIGAP	CHUKSAN	JUKBYON	MUKHO	JUMUNJIN
AVERAGE DEPTH (m)	125 (70)	90 (50)	80 (50)	60	60	60	50	40
AVERAGE INCLINATION (m/km)	3.0 (1.5)	3.0 (1.5)	2.8 (0.5)	- 0.9~0.9				

Boundary) (앞으로는 경계층이라 부르기로 한다) 이 반드시 일치되지는 않으나, Nishida(1926)의 대한해협에서의 해류관측 결과를 보면, 해류의 방향이 바뀌는 깊이 즉 유향의 전도점은 10°C 등온선과 잘 일치되고 있다. 따라서 대마난류의 영향이 뚜렷한 곳에서는 경계층이 혼합경계층과 일치한다 할 수 있겠다.

Fig. 2는 1967, 1968년 8월에 관측된 0 m, 20 m, 50m, 100 m층에서의 평균 수온의 수평분포를 나타내고 있다. 등온선의 모양으로 대체적인 해류분포를 짐작할 수 있겠다. 표층에서는 최저수온이 울기 근방에서 나타나며 북안으로부터 남안에 걸쳐서의 온도 군배가 나타나지 않는 것으로 보아 동안 전역에 걸쳐서 Tsushima난류의 영향을 받고 있는 듯하다. 표층수가 강한 방사열로 원래의 수괴 성질을 어느정도 잃어버리기는 하나, 두 개의 수괴가 원래 뚜렷한 온도차이를 나타낸다면 변질 후라도 이들 수괴 사이의 온도차는 어느정도 존재할 것이라 생각되기 때문이다. 20 m층 이십에서는 최저수온은 동안북쪽에서 나타나나, 울기근방의 온도는 다른 어느 해역에 비하여 현저히 낮은 분포를 보이고 있다. 칩강 냉수괴의 영향은 뚜렷하여 수심이 깊어짐에 따라 동안남부까지 그 영향이 확대되어 가고 있다. 그림 1을 보면 해역 A에서부터 북상함에 따라 각 수괴는 염분극대층 (Tsushima난류수)의 성질을 잃어가고 있다. 특히 해역 E와 F에서는 염분극대층이 거의 존재하지 않으며 표층수와 저부냉수괴 사이의 직접혼합 형태로 나타난다. 전술한 바와 같이 표층에서 Tsushima난류의 영향으로 계속 북상류가 존재한다면, 이러한 현상은 표층의 얇은 난류수와 底部의 두꺼운 냉수괴와의 과도한 혼합현상으로 볼 수 있겠다. 해역 E와 F에서와 같

이 Tsushima난류의 영향이 뚜렷하지 않은 곳에서는 경계층의 정의도 모호하여 지나, 표층수와 저부냉수괴와의 직접혼합이라 생각하더라도 그 경계층은 10°C이상일 것이라 생각된다(Fig. 1참조). 따라서 20 m층에서 주문진 앞바다, 50 m층에서 죽변 이북 연안과, 부산과 울기사이에서 장기갑에 이르는 곳의 연안, 100 m에서는 부산 이북의 동안 전역에서 냉수괴의 남류현상이 있으리라 생각된다. 外海에 있어서는, 10°C를 경계층이라 볼 때, 100m미만의 층에서는 대체로 울릉도 이남에서 Tsushima난류의 영향을 받고 있는 듯하다.

울기 부근에서의 이상저온현상

1. 경계층 : Fig. 2에서 무엇보다 특기할 만한 것은 울기연안의 이상저온현상이라 할 수 있겠다. 이 해역의 수온은 각 층에 있어서, 주위의 다른 해역에 비하여 현저히 낮으며 일종의冷水柱(Cold Core)를 형성하고 있다. 울기 앞바다의 표층수온이 10°C를 훨씬 넘는 것으로 보아, 이 부근에서의 극전선은 형성되고 있지 않는 듯하다. Table 1은 각 지점의 연안에서의, $\sigma_t=26.5$ 선의 평균깊이와 평균橫傾斜度를 나타낸 것이다.

동안북쪽에서의 경계층은 $\sigma_t=26.5$ 보다 작을 것으로 생각되므로 (Fig. 1참조) 경계층은 북에서 남으로 향하여 점점 깊어지고 있음은 전술한 바와 같다. 울기와 부산간의 경계층의 縱傾斜(연안에 평행방향의 경사)는 다른 곳에 비하여 크게 나타나고 있다. 이것은 해협에 있어서, 유향이 서로 다른 상층수 및 하층수가 존재할 때 일어나는 현상인 듯싶다. 그러나 대한해협의 폭은 길이에 비하여 월등히 크므로 상하층의 해수운

동은 횡경사와 보다 밀접한 관계에 있을 것이다. 위 Table에서의 경사도는 대한해협 부근에서 가장 큰 값을 보여주고 있다. 이것은 이 부근의 Tsushima 난류의 속도가 가장 큰 때문인 것으로 생각된다. 경계층의 경사도는 저부냉수류와도 밀접한 관계에 있어서, 위의 경사도를 이용하여 대략적인 냉수류 속도를 구하여 보면, 二層流 모형방정식

$$-\frac{g}{f} \frac{\partial \eta_2}{\partial y} = \frac{\rho_2 u_2 - \rho_1 u_1}{\rho_2 - \rho_1} \quad (\text{Defant, 1961})$$

$$\frac{\partial \eta_2}{\partial y} : \text{경사도 (3.0m/km)}$$

f : coriolis 수 ($\approx 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$)

ρ_1 : 상층수의 평균밀도 ($\approx 1\text{g/cm}^3$)

ρ_2 : 하층수의 평균밀도 ($\approx 1\text{g/cm}^3$)

$\rho_2 - \rho_1$: 밀도차이 ($\approx 2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$)

u_2 : 저층수의 속도

u_1 : 상층수의 속도

g : 중력가속도 ($\approx 10^3 \text{ cm/sec}^2$)

에서, 괄호안의 수치는 이 경우에 있어서의 값을 말하며, 이 값들을 원식에 대입하면 $u_2 = u_1 - 60\text{cm/sec}$ 로 표시되어진다. Uda의 관측에 의하면 이 해역에서의 u_1 의 평균치는 약 70 cm/sec, 본 논문의 자료를 이용한 지형류 계산에 의하면 (無流點은 10°C 등온선과 일치한다고 가정) 약 75 cm/sec이므로 저층냉수의 속도는 10~15 cm/sec

로 나타나며 이는 Nishida의 관측치인 0.1~0.35 Kno와 비슷한 값을 보이고 있다. Table 1의 각 연안에서 12 km까지의 평균 길이와 경사도를 이용하여 연안에서의 경계층의 깊이를 구하여 보면, 부산에서 약 50 m정도, 울기에서 약 30 m, 감포에서 약 45 m정도에서 나타난다. 위의 값들이 絶對的인 값들이라고 볼 수는 없겠으나, 각 연안과의 相對的인 비교는 가능하다고 하겠다. 上述한 바와 같이, 이러한 경계층의 급경사로 인하여, 울기부근의 연안에서의 온도가 다른 곳에 비하여 특별히 낮아진다고 하겠다.

2. 바람의 영향: Fig. 3은 대한해협 서안에서의, 바람의 속도의 해협에 평행한 성분(약 N30° E)을 나타낸 것이다.

풍속의 값은 1일 2회 관측된 천기도를 이용하여 지형류방정식에 의해 계산하였으며, 마찰에 의한 편향이나 減速은 주위의 관측된 풍향 풍속을 참조하였다. 그림에는 표시되지 않았으나 해안에 수직한 방향의 풍속은 평행 방향의 그것에 비해 훨씬 작게 나타났으며, 이는 대한해협 서측의 육지로 인한 영향인 듯하다. 대체로 바람의 방향은 불규칙하여 최대 일주일 정도의 지속성을 갖고 있다. 이러한 정도의 바람에 의하여는 천이상태(transient state)의 미약한 용승현상 밖에는 기대할 수 없겠다(Yoshida, 1955). 그 (1955)의 천이상태의 용승속도 방정식을 본 해역에 적

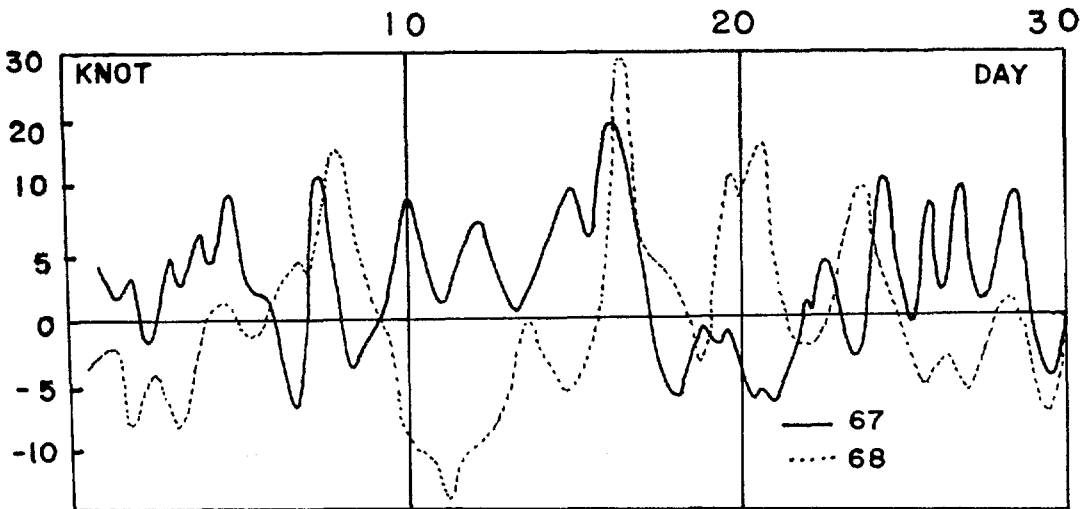


Fig. 3. The daily variation of the wind velocity component parallel to the west coast of the Korea Strait in the area under consideration in August, 1967 and 1968.

용하면,

$$式 W_H = \frac{T_y}{\sqrt{gH \Delta\rho/\rho}}$$

W_H : 깊이 H에서의 용승속도

H: 경계층의 깊이 ($\approx 30m$)

$\Delta\rho$: 상층수와 하층냉수와의 평균밀도차이 ($\approx 2 \times 10^{-3} g/cm^2$)

T_y : 해안을 좌측으로 끼고 해안선에 평행한 바람에 의한 응력(stress)과,

$$T_y = 10^{-6} \times W^2 \text{ (Ekman, 1923; Palmén, 1938; Rossby, 1936) (Neumann, 1966),}$$

W: 바람의 속도 ($\approx 300cm/sec$)에서,

팔호안의 수치는 본 경우에 있어서의 값을 나타내며, 위의 값들을 원식에 적용하면, 경계층에서의 용승속도는 약 $1.4 \times 10^{-3} cm/sec$ 로 나타난다. 평균속도 약 $3m/sec$ 의 남서풍이 일주일간 계속하여 불었다 할때 경계층의 냉수는 약 8.5 m 상승하게 되나, 반대방향의 바람이 불게 되면 다시 하강하게 된다. 그림에서의 바람과 실제 바람과의 차이는 있겠으나 바람의 방향이 불규칙한 점에서는 별 차이가 없으리라 생각되며, 따라서 이러한 상태에서 경계층은 수일 주기로 상하 운동만을 계속할 것이다.

結 論

8월의 한국동안에 있어서 해수 온도의 분포에 의하여 해수 운동을 알아 보았으며, Tsushima 난류의 영향은 속초 근방의 표면까지 미치며, 저층 냉수는 속초 근방에서 약 20 m에 나타나며, 수심이 깊어짐에 따라서 그 영향이 남쪽으로 확대되어간다.

울기 근방의 異常低溫현상은 상부 난수의 강한 해류에 기인한 경계층의 상승과, 바람에 의한 약한 용승 현상에 기인 함이 밝혀졌다. 계산된 용승 속도는 약 $1.4 \times 10^{-3} cm/sec$ 로, 본 해역의 바

람의 조건으로는 최대 10m 정도의 상하운동에 그칠 것이다.

論 議

上述한 바와 같이 울기 연안의 冷水柱현상은 표층에 가까운 냉수괴의 표면 근접과, 바람에 의한 약한 용승 현상의 복합작용이라 할 수 있겠다. Table 2는 1974년 수로국의 매일의 등대관측에 의한, 8월의 해수 표면 온도의 평균치와 최대 최소치를 나타낸 것이다.

Table 2에 의하면 울기 앞바다의 평균 표면수온은 다른 곳보다 낮으며, 일 최고수온과 최저수온과의 편차는 $13.4^\circ C$ 에 이르고 있다. 이러한 현상이 관측오차인지, 혹은 본 논문의 결과와 같이, 본시 경계층의 표면근접으로 온도의 수직변화가 심한 이 부근에 바람의 영향이 작용하여 나타난 현상인지는, 보다 많은 자료에 의하여 밝혀질 수 있겠다. 어쨌든, 울기연안의 異常低溫현상은 매우 흥미있는 문제로, 저층냉수의 운동이나 기상요소, 지형 등을 고려한 광범위하고 세밀한 관측 자료에 의하여 보다 좋은 결과가 얻어지리라 생각된다.

동해안 저층냉수괴의 유동에 관하여도 아직껏 별다른 연구가 행하여 지지 않았으나 최근 林에 의하여 대한해협 냉수괴 운동에 관하여는 연구되어진 바 있다. Nishida(1926, 1927)의 관측에 의하여 냉수괴가 Tsushima 난류와 반대 방향으로 흐르고 있다는 것은 이미 알려진 바이나, 냉수괴의 영향이 어디까지 미치고 있는지는 아직도 의문점이 남아있다. 林(1973)에 의하면 냉수괴의 흐름은 대마도 서측 남단까지 미치고 있으나, 냉수괴가 이곳에서 정지한다면 연속방정식(Continuity equation)을 고려해 볼 때, Tsushima 난류수와 섞여서 다시 북상하리라 생각되며,

Table 2. Average and maximum (minimum) values of the daily surface temperature at every station. The observation was performed by the lighthouses in August, 1974.

Temp.	St.	PUSAN	ULGI	JANGGIGAP	JUKBYON	SOKCHO
TEMPERATURE ($^\circ C$)		21.83	18.37	25.94	19.17	19.4
MAXIMUM (MINIMUM) ($^\circ C$)		24.2 (20.0)	24.2 (10.8)	25.9 (22.1)	21.6 (16.8)	23.5 (15.5)

이러한 점 역시 좋은 연구과제가 될 것이다.

文 獻

- Nishida, K. 1926. Report of the oceanographic investigation 1. Gover. Fish. Exp. Stat.
- Nishida, K. 1927. Report of the oceanographic investigation 2. Gover. Fish. Exp. stat.
- 林斗柄, 張善德. 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. 韓國海洋學會誌 4(2).
- 林斗柄. 1971. On the origin of the Tsushima current water. 韓國海洋學會誌 6(2).
- 林斗柄. 1973. The movement of the cold water in the Korea Strait. 韓國海洋學會誌 8(1).
- Myazaki, M and Abe, S. 1960. On the water masses in the Tsushima current area. 日本海洋學會誌 6(2).
- Uda, M. "Japan Sea" in "Encyclopedia of Oceanography" edited by Rhodes W. Fairbrige. Van Nostrand Reinhold Com., New York.
- Fukuoka, J. 1962. Characteristics of hydrography in the Japan Sea, and the Pacific Ocean. 日本海洋學會誌 創立 20周年記念號.
- Yoshida, K. 1955. Coast upwelling off the California coast. Rec. Oce. Wor. Jap 2(2).
- Yoshida, K. A study on upwelling. Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress.
- Defant, A. 1961. Physical Oceanography I. Pergamon Press LTD, 513—523.
- Neumann, G. and Pierson, W.J. 1966. Principles of Physical Oceanography. Prentice-Hall, Inc, 208-210.