

대한해협 서수도 냉수의 구조와 역학 Structure and Dynamics of the Cold Water in the Western Channel of the Korea Strait

조양기* · 김 구** · 김영규**

Yang-Ki Cho*, Kuh Kim** and Young-Gyu Kim**

요 旨 : 대한해협 서수도 깊은 골의 냉수구조를 파악하기 위하여 1993년 10월에 해수물성 조사와 해류관측을 실시하였다. 냉수의 두께는 20~70 m로 수심에 따라 다르다. 냉수와 대마난류 사이의 수온약층은 남쪽으로 향할수록 깊어지며, 기울기는 약 0.00057이다. 냉수 두께의 시간적 변화는 조류와 관련이 있는 것으로 보여진다. 48시간 동안 두께 변화는 최대 20 m이다. 72시간 동안 관측된 냉수의 평균 남하 속도는 17 cm/sec이다. 냉수의 남하와, 냉수층 상부의 반류를 이해하기 위하여 역학모델을 적용하였다. 모델로 구한 남향류의 최대 유속은 약 7 cm/sec이며, 수직와도점성계수는 0.038 m²/sec이다. 모델을 이용하여 구한 남하 수송량은 골의 북부에서 0.032×10⁶ m³/sec이다. 냉수의 위 부분에 반류가 존재하므로 남쪽으로 갈수록 남하하는 냉수의 양이 줄어든다. 남하하는 수송량은 상층의 수송량이 많을수록 증가하나, 상층의 밀도와 두 층 사이 경계면 기울기의 변화에는 영향을 받지 않는다.

핵심용어 : 대한해협, 저층냉수, 모델, 수직와도점성계수, 해류

Abstract □ CTD and current observation were taken to investigate the structure of the cold water in the Western Channel of the Korea Strait in October 1993. Thickness of the cold water in the deep trough of the strait changes from 20 m to 70 m according to the water depth. Thermocline between the Tsushima Warm Water and the cold water deepens from north to south with 0.00057 in slope. Temporal variation of the thickness appears to be related with the tidal current. The maximum variation is 20 m for 48 hours. Mean velocity of the cold water for 72 hours is 17 cm/sec southward. A simple model was used to understand dynamically the southward flow of the cold water and the return flow at the upper part in the lower layer. Calculated maximum southward flow and eddy viscosity coefficient are 7 cm/sec and 0.038 m²/sec respectively in the model. Southward transport is 0.032×10⁶ m³/sec at the northern part in the trough and decreases from north to south due to the presence of the return flow. Southward transport increases with the increase in the upper layer transport but is not affected by the density of the upper layer or the interface slope.

Keywords : Korea Strait, bottom cold water, model, vertical eddy viscosity coefficient, current

1. 서 론

대한해협 저층수는 여름에 가장 수온이 낮으며 출현하는 양도 많다(Lim and Chang, 1969). Nishida(1926)가 처음 대한해협 저층냉수에 대해 보고한 후 그 기원

에 관한 연구(임, 1983; Lim and Chang, 1969; Kim *et al.*, 1991)와 구조에 대한 연구 (Lim, 1973; Seung, 1986; Park *et al.*, 1995)가 많이 수행되었다.

대한해협 저층수의 수온은 겨울철에 가장 높아 매년 10°C이상이라는 사실로부터, Lim and Chang(1969)은

*전남대학교 지구환경과학부 (Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

**서울대학교 해양학과 및 서울대학교 해양연구소 (Department of Oceanography & Research Institute of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

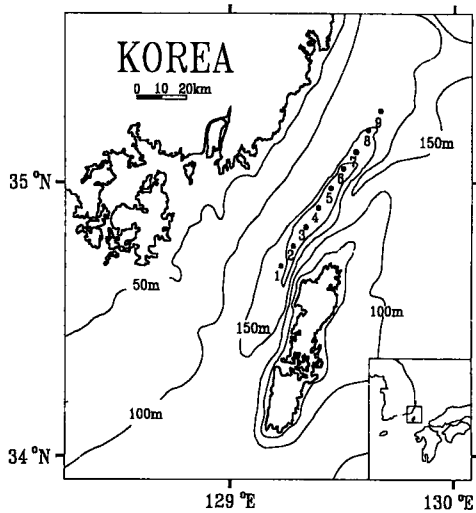


Fig. 1. XBT stations (● marks). Numbers indicate station numbers. Solid lines represent depth. Time series data and current observation were taken at station 7.

대한해협 저층냉수를 10°C 이하의 해수로 정의하였다. 대한해협 저층냉수는 주위 해역 중 10°C 이하의 해수가 유일하게 존재하는 동해에서 남하하는 것이 분명하다(임, 1983; Lim and Chang, 1969; Kim *et al.*, 1991).

저층냉수는 한반도 연안에 경사진 모양으로 붙어 서수도의 북쪽 끝인 부산 연안까지 남하한다. 부산연안까지 남하한 냉수는 계속 남하하여 폭 약 10 km, 길이 약 60 km, 수심 150 m 이상인 서수도내 깊은 골(Fig. 1)로 흘러 들어간다. 지금까지 깊은 골 내의 냉수 구조에 대한 연구는 거의 없었다. Lim(1973)은 표준수심에서 관측된 채수기 자료를 분석하여, 깊은 골 내 냉수의 구조가 하구의 염쟁기 모양으로 북쪽이 두껍고 남쪽이 얇다고 보고하였다. Lim(1973)에 의하면 냉수의 양은 계절에 따라 달라진다. 3월부터 5월까지 10°C 이하의 저층냉수가 발견되지 않다가 6월부터 관측되기 시작하여 9월에 가장 남쪽까지 남하한다. 다시 10월부터 냉수의 양이 줄어들기 시작한다.

저층냉수의 흐름에 대한 직접 관측은 대부분 25시간 이내의 짧은 관측이었다. 그 중 가장 큰 속력은 ADCP를 이용한 Isobe *et al.*(1991)의 관측 결과로 20 cm/sec이다. 최근 Omura and Kawatate(1994)는 상대적으로 오랜 기간 유속을 관측하였다. 그들의 결과에 의하면 1991년 7월 11일부터 10월 2일까지 84일간의 평균 유속은 약 7 cm/sec이었다. 저층냉수가 20 cm/sec의 유속으로 남하하면 서수도의 북쪽 입구부터 시작하여

깊은 골의 남쪽 끝까지 흘러가는데 약 3일이 소요되고, 서수도 남쪽 입구까지는 약 6일이 소요된다. 저층냉수의 남하속도가 7 cm/sec이면 서수도 북쪽 입구에서부터 시작하여 남쪽 입구에 약 20일 후에 도착할 수 있다.

그러나 깊은 골까지 남하한 냉수는 서수도 남쪽 입구에서는 연중 발견되지 않는다(Lim, 1973). 그러면 이 냉수들은 도중에 어디로 사라지는 것일까? 남하하는 저층냉수는 염하구의 염쟁기처럼(Officer, 1976) 바닥 가까이 에서는 남하하고 북상하는 상층과의 경계면 가까이 에서는 상층과 함께 다시 동해로 되돌아가는 것이 분명하다.

본 연구에서는 대한해협 서수도 깊은 골의 냉수구조를 파악하기 위하여 깊은 골을 따라 8~10 km 간격으로 XBT(expendable bathythermograph) 조사를(Fig. 1의 ● 표시를 한 정점들) 실시하였다. 관측은 1993년 10월에 실시되었으며 관측에 소요된 시간은 약 4시간이었고 자료의 수심 간격은 1 m이다. 1993년 10월 12일부터 14일까지 48시간 동안 주로 한 시간 간격으로 Sea Bird Electronic사의 SBE19을 이용하여 정점 7에서 CTD 조사를 실시하였고, 같은 정점에서 10월 12일 17시부터 15일 17시까지 약 72시간 동안 수심 10 m, 90 m, 190 m에서 1분 간격으로 Aanderaa회사의 RCM-7 해류계를 이용하여 해류 관측을 실시하였다. 1분간격의 자료는 다시 10분씩 평균하여 사용하였다. 자료의 일부는 표면혼합층에 관한 연구(장 등, 1995)에 발표되었다. 2장에서는 이들 관측결과에 대해 설명한다. 아울러 냉수구조를 역학적으로 이해하기 위하여 설정된 모델에 대해 3장에서 설명하고, 4장에서는 실제 대한해협 서수도에서 관측된 본 연구의 결과를 모델에 적용한다.

2. 냉수 구조

Fig. 2는 정점 7에서 1993년 10월 11일 11시에 CTD를 이용하여 관측한 수심별 수온과 염분이다. 표층에는 약 30 m 두께로 수온 24°C, 염분 33.3 psu의 혼합층이 존재하고 수심이 깊어짐에 따라 수온은 감소하고 염분은 증가하여 수온 15°C, 염분 34.5 psu의 대마난류 중층수가 40~110 m 수심에서 관측되었다. 그 아래는 수온과 염분이 수심에 따라 모두 감소하여 수온 10°C 이하의 해수로 정의되는(Lim and Chang, 1969) 대한해

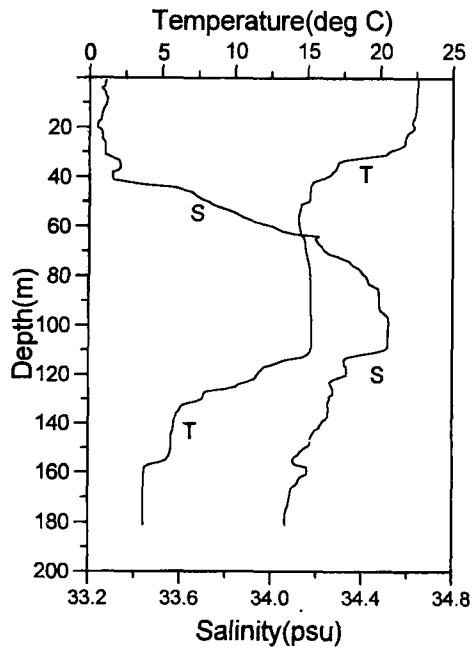


Fig. 2. Vertical profile of temperature and salinity at station 7 in October 1993. T and S represent temperature and salinity respectively.

협 저층냉수가 발견되었다. 160 m 이하에서는 수온 3.8°C, 염분 34.2 psu의 균일한 해수가 발견되는데, 이는 저층에 수직혼합작용을 만들 정도의 강한 흐름이 존재함을 시사한다.

깊은 골을 따른 수온의 남북단면은 저층냉수의 공간 구조를 잘 보여준다(Fig. 3). 표층부터 수심 50 m까지는 20°C 이상의 대마난류표층수가 있고, 그 아래에는 15~16°C의 대마난류중층수가 존재한다. 대마난류중층수 아래 110~140 m에는 수온이 급격하게 낮아지는 수

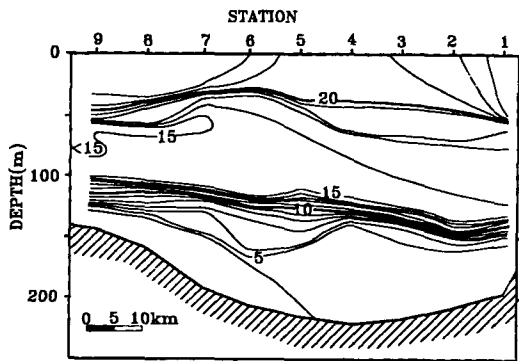


Fig. 3. Vertical section of temperature along the strait. Redrawn after Chang et al. (1995).

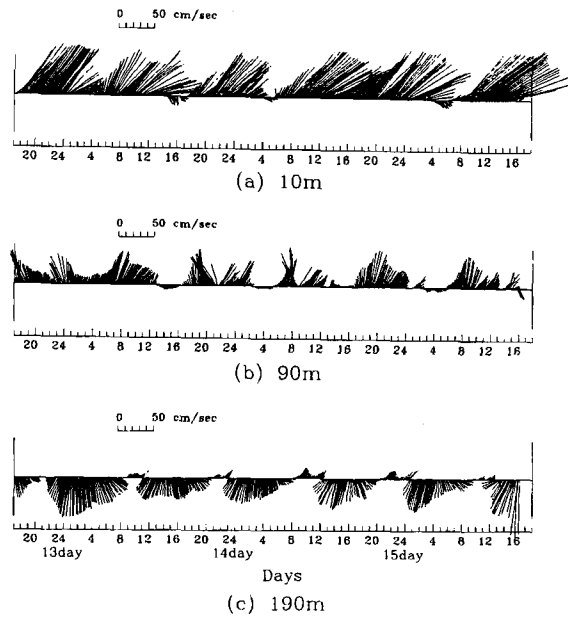


Fig. 4. Temporal variation of current at each depth of station 7 from 13 to 15 October 1993.

온약층이 존재한다. 수온약층은 북쪽에서 남쪽으로 향하면서 깊어진다. 10°C 등온선을 기준으로 정점 2와 60 km 떨어진 정점 9사이의 남북방향의 기울기를 구하면, 정점 9의 10°C 등온선의 수심은 111 m이고 정점 2에서는 145 m 이므로 기울기는 약 0.00057이다. 수온약층과 바닥 사이에 5°C이하의 냉수가 20~70 m의 두께로 존재한다.

Fig. 4는 10월 12일 17시부터 15일 10시까지 수심 10 m, 90 m, 190 m에서 관측된 해류자료를 10분 간격으로 그린 것이다. 상층 10 m와 중층 90 m의 해류는 모두 대마난류수로서 대부분 북동 방향으로 흐른다. 하층 190 m의 저층냉수는 상층과 반대 방향인 남서 방향으로 흐른다. 세 층 모두 해류와 비슷한 크기의 반일주조의 조류가 우세하게 존재하며, 해류와 조류가 반대 방향일 경우 유속이 거의 없다. 전체 관측기간의 평균 유속은 상층, 중층, 하층이 각각 50 cm/sec, 17 cm/sec, 15 cm/sec이다.

저층냉수 두께의 시간적 변화를 살펴보기 위하여 1993년 10월 12일 11시부터 14일 11시까지 48시간 동안 정점 7의 10°C 등온선의 수심 변화를 그렸다(Fig. 5). 수심이 120 m부터 140 m 사이에서 약 12시간 간격으로 크게 네 번의 상승과 하락을 한다. 이는 냉수의 두께 변화가, 본 해역에서 우세한 반일주조 성분의 조

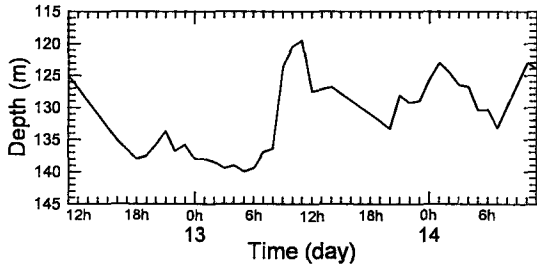


Fig. 5. Temporal variation of 10°C isothermal depth at station 7 from 11:00, October 12 to 11:00, October 14, 1993.

류와 관련이 있음을 시사한다. 10°C 등온선의 수심이 13일 8시부터 9시까지 1시간 사이에 13 m가 알아져, 관측기간 동안 최대 변화율을 보인다.

3. 모 델

본 연구에서는 Officer(1976)의 모델과 Bowman (1978)의 경계조건을 따랐다. 골의 폭이 매우 좁아 골을 가로지르는 방향으로의 유속은 충분히 작다고 가정하고, 골을 따르는 방향의 유속만 고려한다. 좌표축은 Fig. 6과 같이 y축은 깊은 골을 따르는 방향이고 z축은 아래쪽이 양의 방향이다. 상층의 밀도는 ρ_1 이고 하층의 밀도는 ρ_2 이며 모두 일정한 값으로 가정한다.

상층의 표면 변화량은 ξ_1 이고 두 층의 경계면은 ξ_2 이다. 그러므로 상층의 두께는 $\xi_2 - \xi_1$ 로 주어진다. 전체 수심은 h_0 이고 골을 따르는 방향으로의 상층과 하층의 유속은 각각 v_1 과 v_2 이다.

흐름은 정상상태로 가정하고 비선형항은 무시한다. 그러면 각 층의 운동방정식에서 다음과 같은 압력경도

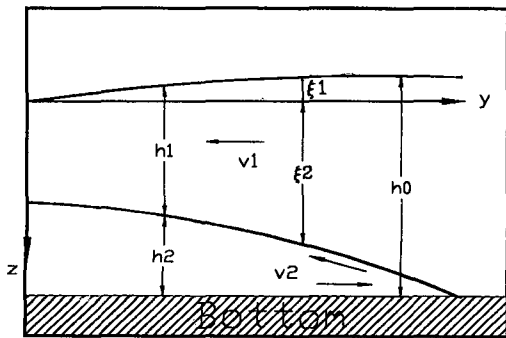


Fig. 6. Model coordinate system with two layers.

력과 마찰력항만 남게 된다.

$$\frac{\partial P_1}{\partial y} = \rho_1 N_z \frac{\partial^2 v_1}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial y} = \rho_2 N_z \frac{\partial^2 v_2}{\partial z^2} \quad (2)$$

그리고 정수압 방정식은 다음과 같다.

$$P_1 = \rho_1 g (z - \xi_1) \quad (3)$$

$$P_2 = \rho_1 g (\xi_2 - \xi_1) + \rho_2 g (z - \xi_2) \quad (4)$$

두 층의 연속방정식은 아래와 같이 주어진다.

$$\int_0^{h_1} v_1 dz = q = \text{상수} \quad (5)$$

$$\int_{h_1}^{h_0} v_2 dz = 0 \quad (6)$$

표면전단응력과 바닥에서의 유속은 없으며 두 층의 경계면에서 유속과 전단응력은 연속이라는 경계조건이 사용되었다.

$$\frac{\partial v_1}{\partial z} = 0, z = 0 \quad (7)$$

$$v_2 = 0, z = h_0 \quad (8)$$

$$v_1 = v_2, z = h_1 \quad (9)$$

$$\frac{\partial v_1}{\partial z} = \frac{\partial v_2}{\partial z}, z = h_1 \quad (10)$$

이 방정식들의 해는 다음과 같다.

$$v_1 = A (h_1^2 - z^2) + \frac{B}{3} (2h_0 h_1 - h_0^2 - h_1^2) \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{B (h_0^2 - z^2) (h_0 - h_1) - 2/3 B h_1^2 (z - h_0) (h_1^2 + h_0 h_1 - 2h_0^2)}{h_0 - h_1} \quad (12)$$

이 때 A와 B는

$$A = \frac{g}{2N_z} \frac{d\xi_1}{dy}$$

$$B = \frac{g}{2N_z} \left(\alpha \frac{d\xi_1}{dy} + \beta \frac{d\xi_2}{dy} \right)$$

$$\alpha = \rho_1 / \rho_2$$

$$\beta = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$$

수직와도점성계수 N_z 는 모델에서 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$N_z = \frac{\beta g h_0}{6q} \left[\frac{(h_1^4 + h_1^3 h_0 - 5h_1^2 h_0^2 + 3h_1 h_0^3)}{(h_0 - h_1)(3h_1 + 2\alpha(h_0 - h_1))} \frac{d\xi_2}{dy} \right] \quad (13)$$

4. 대한해협에 모델 적용

대한해협 서수도 깊은 골은(Fig. 1) 폭이 매우 좁아 Fig. 4에서 보는 것처럼 주로 골을 따르는 방향으로만 흐름이 존재하므로, 냉수구조를 역학적으로 이해하기 위하여 앞의 모델을 적용하였다. 대한해협 상층수의 밀도는 수온 15°C, 염분 34.5 psu에 해당되는 1.0256 g/cm³으로, 하층의 평균밀도는 수온 5°C, 염분 34.2 psu에 해당되는 1.0271 g/cm³로 택했다. 두 층 사이 경계면의 기울기 $d\xi_2/dy$ 는 0.00057로 하였다.

정점 7에 해당되는 곳에 모델을 적용하고자 한다. 두 층의 경계는 100 m, 수심은 200 m로 설정하였다. 대한해협 서수도의 수송량에 대해서는 여러 가지 서로 다른 보고가 있다. 이(1966)는 지형류 계산에 의해 10월 대한해협을 통과하는 대마난류의 수송량이 약 2.1×10^6 m³/sec 이라고 하였으며, 그 중 서수도를 통해서 전체의 73%인 약 1.5×10^6 m³/sec의 수송량이 통과한다고 하였다. Tawara *et al.*(1984)는 과거의 해류 관측 자료들을 이용하여 여름철 대마난류의 수송량을 4.1×10^6 m³/sec 라고 보고하였다. 이 경우 서수도를 통과하는 수송량을 전체의 73%로 가정하면 약 3×10^6

m³/sec이 된다. 본 연구에서는 대한해협 서수도의 수송량을 2.5×10^6 m³/sec라고 가정하였다. 이러한 가정 아래서 정점 7에 해당되는 대한해협 서수도의 폭은 약 50 km이므로, 본 연구에서는 정점 7의 수송량을 50 m²/sec으로 가정하였다.

모델의 결과가 Fig. 7(a)이다. 표층에서 북향류 유속이 가장 큰 64 cm/sec이며, 수심이 증가함에 따라 유속이 감소하다 135 m에서 유속의 방향이 남향류로 바뀐다. 수심 100 m에서 135 m까지는 하층에 속하지만 남하한 하층수가 상층과 같은 방향으로 북상하는 곳이다. 135 m이심의 하층수는 모두 남하하고, 남향류의 최대 유속은 170 m에서 7 cm/sec이다. 이 때 수직와도 점성계수 N_z 는 0.038 m²/sec 이다. 정점 7에 해당되는 지점에서 남하하는 저층수의 양은 3.17 m²/sec 이며, 골의 폭이 약 10 km이므로 남하하는 저층수의 총 양은 0.032×10^6 m³/sec으로 추산된다. 실제 72시간동안 관측된 평균 유속은 10 m, 90 m, 190 m에서 각각 50 cm/sec, 17 cm/sec, 15 cm/sec이었는데, 같은 수심에서 모델의 결과는 각각 64 cm/sec, 30 cm/sec, 4 cm/sec이었다. 상층에서는 모델 결과가 관측 결과보다 더 빠르고 하층에서는 관측 결과가 더 빠르다.

Fig. 7(b)는 정점 7보다 더 남쪽이며 수심은 같고 하층의 두께가 얇아져 두 층의 경계가 150 m인 지점에서의 모델 결과이다. 상층의 최대 유속은 표층에서 47 cm/sec이며 수심이 증가함에 따라 유속이 감소하다 수

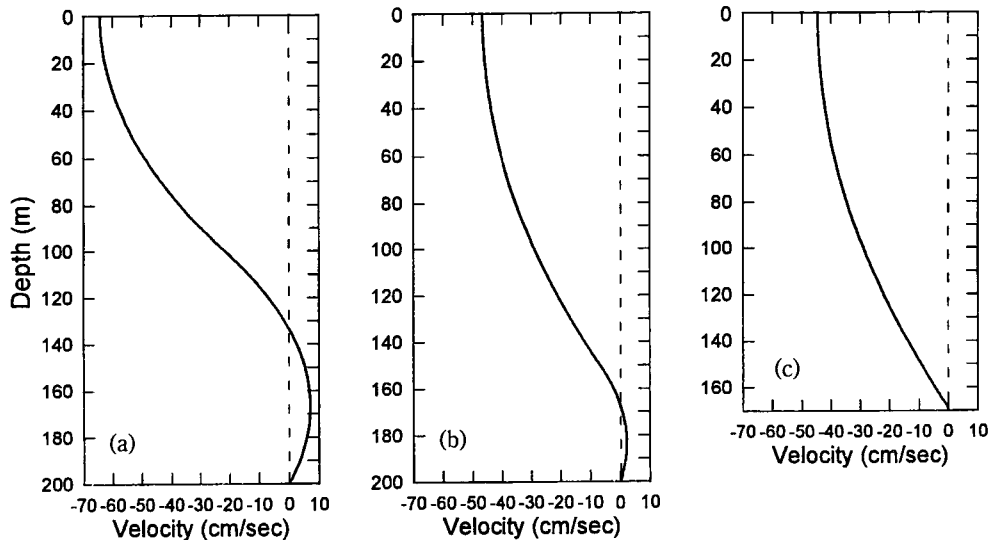


Fig. 7. Vertical profiles of velocity calculated with model when the water depth and the interface depth are 200 m and 100 m respectively (a), 200 m and 150 m (b) and 170 m and 168 m (c).

심 167 m에서 흐름의 방향이 남쪽으로 바뀐다. 남향류의 최대 유속은 수심 183 m에서 2.2 cm/sec이다. 수직와도점성계수는 0.042 m²/sec 이다. Fig. 7(c)는 수심이 170 m이고, 하층이 거의 존재하지 않아 두 층의 경계가 168 m인 깊은 골의 남쪽 끝에 해당되는 곳의 유속 구조이다. 대부분의 수심에서 북향하는 흐름을 보여주고 있으며 북향류의 최대 유속은 표층에서 45 cm/sec 이다. 수직와도점성계수는 0.002 m²/sec 이다.

대마난류의 수송량과 해수 특성은 계절별로 변한다(이, 1966; Isobe *et al.*, 1994). 본 연구 결과에서는 대마난류의 특성이 단기간에도 변할 수 있음을 보여주었다. 본 연구에 이용된 모델을 이용하여 상층의 수송량과 밀도의 변화가 남하하는 저층수의 수송량과 수직와도점성계수에 미치는 영향을 알아보았다.

Fig. 8은 상층 수송량의 변화(q)에 따른 하층의 남하량(Q)과 수직와도점성계수(N_z)의 변화이다. 상층 수송량은 본 모델에서 적용한 50 m²/sec의 20%인 10 m²/sec부터 200%인 100 m²/sec까지 변화를 주었다. 하층의 남하량은 상층 수송량과 비례하여 0.0063 × 10⁶ m³/sec부터 0.063 × 10⁶ m³/sec까지 변한다. 하층의 위 부분은 상층과 함께 북쪽으로 흐르는데, 상층 유속의 증가에 따라 하층 위 부분의 유속과 유량이 증가하고 연속방정식에 의해 하층 아래 부분의 남하하는 수송량도 증가한다.

수직와도점성계수는 상층의 수송량이 10 m²/sec일 때 0.192 m²/sec이고, 수송량이 증가함에 따라 급격하게 작아져, 20 m²/sec일 때 0.096 m²/sec이다. 수송량이 20 m²/sec보다 더 큰 경우에는 수송량에 따라 큰

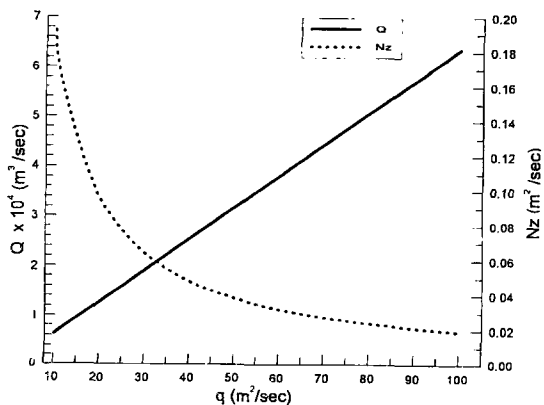


Fig. 8. Variation of the southward transport (Q) and eddy viscosity coefficient (N_z) with transport of the upper layer.

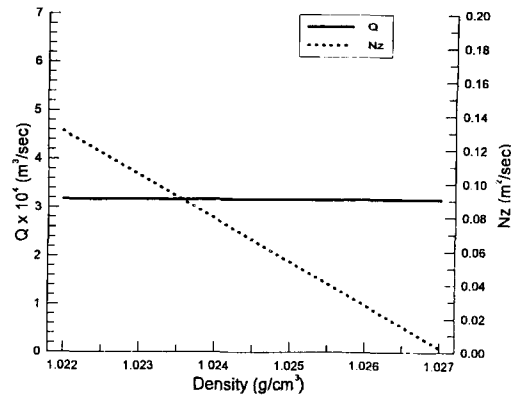


Fig. 9. Variation of the southward transport (Q) and eddy viscosity coefficient (N_z) with density of the upper layer.

변화가 없어, 수송량이 100 m²/sec일 때 0.019 m²/sec 이다.

Fig. 9는 상층 밀도변화에 따른 하층의 남하량과 수직와도점성계수의 변화이다. 밀도는 고온 저염인 대마난류표층수의 밀도와 비슷한 1.022 g/cm³(수온 24°C, 염분 33.0 psu; 장 등, 1995)부터 저층수의 밀도와 비슷한 1.027 g/cm³(수온 5°C, 염분 34.2 psu)까지의 변화를 살펴보았다. 밀도가 증가함에 따라 점성계수가 작아져, 밀도가 1.022 g/cm³ 일 때 0.130 m²/sec이고, 1.027 g/cm³일 때 0.003 m²/sec이다. 남하하는 유량은 상층의 밀도에 상관없이 0.032 × 10⁶ m³/sec으로 일정하다.

대한해협 서수도 냉수의 두께가 변하여 대마난류수와 경계면의 기울기는 계절에 따라 변한다(Lim, 1973). 본 연구의 관측결과는 단기간에도 저층냉수의 두께가 변하고 있음을 보여주었다(Fig. 5). 정점 1에서부터 정점 9까지 남북단면을 따라 관측하는데 4시간이 소요되었고, Fig. 5에 의하면 4시간 동안 경계면이 변할 수 있는 최대 수심 변화는 13 m이다. 이 값은 경계면의 기울기를 구할 때 이용된 정점 1과 정점 9의 수심 차이 34 m의 38%이다. 이러한 결과는 관측된 기울기가 경계면의 수심 변화에 따라 최소 0.00035부터 최대 0.00078까지 변할 수 있음을 시사한다. 본 연구에서는 이들 범위를 모두 포함하여 경계면의 기울기가 0.00001부터 0.0001까지 변함에 따라 나타나는 변화를 살펴보았다(Fig. 10). 경계면의 기울기가 증가함에 따라 점성계수는 0.0068 m²/sec부터 0.068 m²/sec까지 커지나, 하층의 남하량에는 변화가 없다.

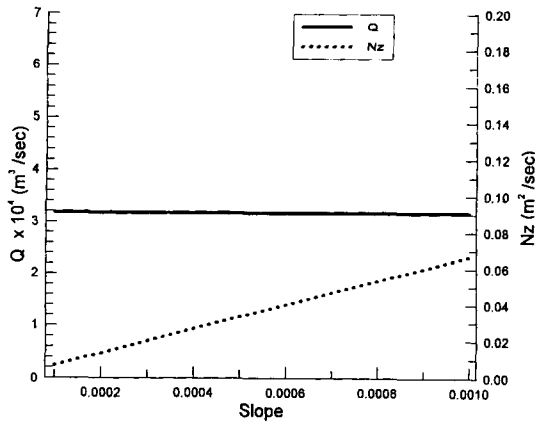


Fig. 10. Variation of the southward transport (Q) and eddy viscosity coefficient (N_z) with slope of the interface between two layers.

5. 토의 및 결론

대한해협 서수도 깊은 골 내에 존재하는 냉수의 두께는 20~70 m로 수심에 따라 다르다. 냉수와 대마난류수 사이의 수온약층은 남쪽으로 향할수록 깊어지며, 그 기울기는 약 0.00057이다. 골 내의 한 정점에서 관측한 냉수의 두께는 약 12시간의 주기로 큰 변화를 보이고 있어, 이 해역에서 우세하게 나타나는 반일주조성분의 조류와 관련이 있는 것으로 생각된다. 48시간 동안 냉수 두께의 최대 변화량은 20 m이고, 최대 변화율은 한 시간에 13 m이다. 본 연구에서 72시간 동안 관측된 냉수의 평균 남하 속도는 17 cm/sec이다. 이 결과는 Isobe *et al.*(1991)이 1989년 9월 ADCP를 이용하여 순간적으로 관측한 20 cm/sec보다는 작지만, Omura and Kawatate(1994)가 1991년 7월 11일부터 10월 2일까지 84일간 관측한 평균값 7 cm/sec보다는 크다. 그러므로 본 연구의 관측기간에 남하하는 유속이 상대적으로 컸음을 알 수 있다.

냉수 역학을 이해하기 위하여 이용한 모델로 계산된 수직와도점성계수는 $0.038 \text{ m}^2/\text{sec}$ 이다. 깊은 골의 북쪽인 정점 7에 해당되는 지점에서 모델을 이용하여 구한 남하하는 수송량은 $0.032 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이다. 하층의 상부는 상층과 함께 지속적으로 북상하므로 남쪽으로 갈수록 남하하는 하층의 수송량과 두께가 줄어든다.

하층의 남하량은 북상하는 상층의 수송량이 많을수록 많아지고, 상층의 밀도와 두 층 사이 경계면 기울기의 변화는 남하량에 영향을 미치지 못한다. 수직와도

점성계수는 상층의 수송량과 밀도가 증가함에 따라 감소하고, 경계면의 기울기가 증가할수록 증가한다.

모델로 구한 유속은 실제 관측 결과와 11~13 cm/sec의 차이를 보인다. 그러나 과거의 관측결과에서뿐만 아니라 본 연구의 관측결과에 의하면 유속이 시간적으로 크게 변한다. 그러므로 한 순간의 단면구조를 이용하여 구한 모델의 유속은 평균유속과 차이가 있을 수 있다. 더욱이 수직와도점성계수가 수직적으로 일정한 값으로 설정되는 등 모델의 단순화도 모델결과와 실제 관측치와 차이를 만들 수 있다. 그러므로 본 모델은 대한해협 서수도 냉수의 역학을 이해하는데 있어서 각 변수들의 크기의 규모를 유추하고자 하는 것이 정확한 값을 제시하기 위한 것은 아니다. 보다 정확한 값을 얻기 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 수행되어야 한다.

사 사

본 연구의 관측은 한국과학재단 특정기초연구과제(1993-1996)로 수행되었으며, 과학기술정책관리연구소(1994-1996)와 한국과학재단 특정기초연구과제(1996)에서 논문 완성을 지원하였습니다. 현장자료수집을 도와준 국방과학연구소의 심태보 박사와 논문의 원고를 세밀하게 검토하여주신 두 분의 심사위원들에게 깊은 감사를 드립니다. 조양기는 한국학술진흥재단의 신진연구인력 지원(1995)과 전남대학교 학술연구비(1995)에서 일부 지원을 받았습니다.

참고문헌

- 이석우, 1966. 한국해협을 통과하는 해수용적수송량의 계절 및 영년변화, 한국해양학회지, 1: 7-13.
- 임근식, 1982. 한국동남해역 냉수괴의 특성 및 기원. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 40 pp.
- 장찬주, 김구, 심태보, 1995. 가을철 대한해협 표면혼합층의 단기변화, 한국해양학회지, 30: 512-521.
- Bowman, M.J. and Iverson, R.L., 1978. Estuarine and plume fronts. In: *Oceanic Fronts in Coastal Processes* edited by M.J. Bowman and W.E. Esaias, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 87-104.
- Isobe, A., Kaneko, A., Byun, S-K., Chang, S.D. and Tawara, S., 1991. On the current structures in the western channel of the Tsushima/Korea Strait -from

- the result of the ADCP surveys in September 1989-, *Engineering Science Reports*. Kyushu University, **13**, pp. 45-51.
- Kim, C.H., Lie, H.-J. and Chu, K.-S., 1991. On the intermediate water in the southwestern East Sea (Sea of Japan). In: *Oceanography of Asia Sea* edited by K. Takano, Elsevier, Amsterdam, pp. 129-141.
- Lim, D.B. and Chang, S., 1969. On the cold water mass in the Korea Strait, *J. Oceanological Soc. of Korea*, **4**, pp. 71-82.
- Lim, D.B., 1973. The movement of the cold water in the Korea Strait, *J. Oceanological Soc. of Korea*, **8**, pp. 46-52.
- Nishida, K., 1926. *Report of the Oceanographic investigation* No. 1, Gover. Fish. Exp. Stat., 68 pp.
- Officer, C.B., 1976. *Physical oceanography of estuaries (and associated coastal waters)*, John Wiley, New York, 465 pp.
- Omura, H. and Kawatate, K., 1994. Hydrographic features of the bottom cold water in the west Tsushima Channel, *Bull. Fukuoka Fisheries Mar. Technol. Res. Cent.*, **2**, pp. 93-101.
- Park, Y.-G., Cho, Y.-K. and Kim, K., 1995. A hydraulic model of the Korea Strait Bottom Cold Current, *J. Oceanography*, **51**, pp. 713-727.
- Seung, Y.H., 1986. On the response of coastal water to the intensification of East Korea Warm Current along the east coast of Korea - A theoretical consideration, *J. Oceanological Soc. of Korea*, **21**(4), pp. 229-235.
- Tawara, S., Miita, T. and Fujiwara, F., 1984. The hydrography and variability in the Tsushima Strait, *Bulletin on Coastal Oceanography*, **22**, pp. 50-58 (in Japanese).