

동해의 쓰시마난류 분포역에서 음속의 변동

이충일[†] · 조규대* · 김상우**

부경대학교 해양산업개발연구소, *부경대학교 해양학과, **부경대학교 위성정보과학연구소

Variation of Sound Speed in the Tsushima Warm Current Region of the East Sea

Chung Il LEE[†], Kyu Dae CHO* and Sang Woo KIM**

Research Center for Ocean Industrial and Development, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

*Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

**Institute of Satellite Information Science, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

This study is to analyze the influence of the Tsushima Warm Current (TWC) on the variation of sound speed in the southern part of the East Sea. Sound speed is calculated by method of Chen and Millero (1977) based on the CTD data measured in June of 1996. Sound speed in the central part of the TWC is about 45 ms^{-1} more fast than that in the other regions without the TWC. Sound speed minimum layer (SML) in the TWC region exists between 300 m and 341 m, while it exists between 260 m and 290 m in the non-TWC region. SML distributes along the path of TWC over continental shelf in the coastal waters of Japan.

Key words: East Sea, Sound speed minimum layer, Sound channel, Tsushima Warm Current, Thermocline

서 론

동해는 지리적으로 태평양의 북서쪽에 위치하고 있는 연해로서, 그 평균 수심은 1,600 m이며 200 m보다 얇은 대한해협 (Korea Strait), 쓰가루 해협 (Tsugaru Strait) 그리고 소야 해협 (Soya Strait)을 통해 동중국해, 북태평양 그리고 오�호츠크해로 연결되어 있다 (Fig. 1). 동해는 위도 38° - 40° N 부근에 동서로 연결된 극전선을 중심으로 북쪽의 한류수역과 남쪽의 난류수역으로 크게 나누어지며, 쓰시마난류가 난류수역 순환의 중요한 부분을 차지하고 있다.

Kato and Asai (1983)와 Han (1998)에 따르면 쓰시마난류는 동해로 열을 수송하는 중요한 역할을 하고 있다. 동해에서 쓰시마난류에 의해 수송되는 연 평균 열량은 해수면을 통해 들어오는 열량의 60% 이상을 차지하고 있어, 전체 열수송에 있어서 쓰시마난류의 역할이 중요하게 작용한다 (Han, 1998). Kato and Asai (1983)는 동계에 해표면을 통한 대기로의 열손실이 하계의 쓰시마난류에 의한 열 수송에 의해 거의 보충되는 것으로 설명하고 있다. 이와 같이 열 수송에 중요한 역할을 하는 쓰시마난류의 분포 형태에 따라 수온의 수평 및 연직 구조가 다르게 나타날 것으로 생각된다. 특히 해양에서 육상환경의 영향을 크게 받는 연안역을 제외하면 음속은 수온, 염분 그리고 압력의 영향을 받으며, 그 중 수온의 영향을 가장 크게 받는다 (Emery and Thomson, 1998). 그러나 육상으로부터 담수의 공급이 많고, 수심이 얇은 연안역의 경우는 수온 보다 염분이 밀도

변화의 지배인자로 작용하는 경우가 있으며, 이러한 경우는 염분의 변화 효과가 음속에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.

음파는 플랑크톤과 같은 입자 물질 (Miyashita et al., 1998), 어류 (Honda, 1998)뿐만 아니라 해저 지층 구조 (Bang and Oh, 1993), 수온의 변화, 유속 및 해수의 소용돌이 (Fenner, 1978; Munk and Wunsch, 1979; Byun et al., 1999; Na et al., 1999)등에 대한 정보를 제공한다. 음파는 수괴의 밀도 변화에 의해 전달되는 탄성파로서, 음파의 이동 속도는 밀도의 분포에 따라 변하기 때문에, 해양에서 음속에 가장 큰 영향을 미치는 수온 분포의 예측이 가능하다. 이러한 음파의 특성을 이용하여 해양학적 인자들을 측정하는 방법인 음향토모그래피는 수온약층의 분포 수심, 유속의 측정 연구에 사용된다 (Beckerle and Hersey, 1975). Kang and Na (1994)는 동해에서 발생한 난수성 소용돌이 (eddy)의 수온 구조와 ADCP (Acoustical Doppler Current Profiler)의 음향자료를 이용하여 계산된 후방 산란 강도 구조의 상관관계를 연구하였다. ADCP에 의한 후방산란 강도는 수온의 구조와 높은 상관관계를 보이며, 특히 난수의 유입에 따른 동물플랑크톤의 이동이 해수중 음파의 산란에 중요한 영향을 미친다고 하였다.

수온약층 부근의 급속한 수온 하강과 압력의 증가효과로 인해 형성되는 음속최소층은 음파 에너지의 원거리 이동을 가능하게 하는 음파통로 (sound channel, Fig. 2)의 중심축을 형성 한다. 음파통로는 저주파 (low frequency)의 음파를 에너지 손실이 적은 상태로 상당히 먼 거리까지 전파시

[†]Corresponding author: leeci@mail1.pknu.ac.kr

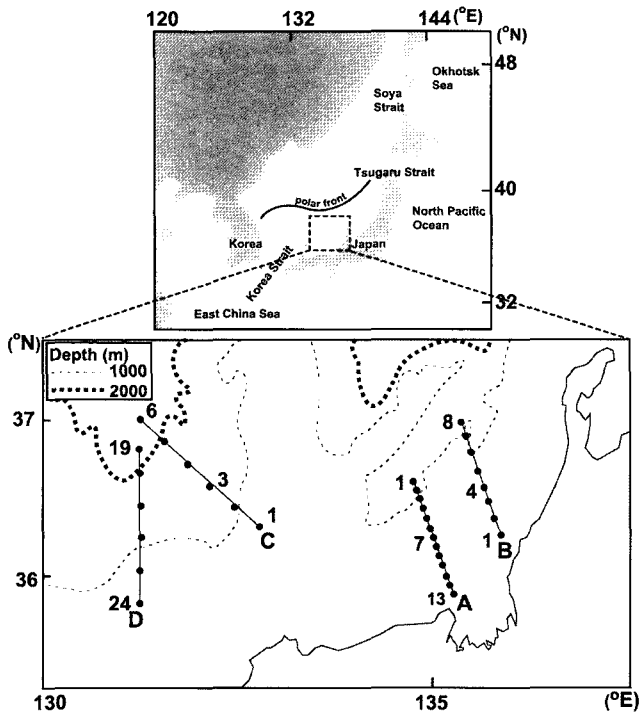


Fig. 1. The map showing study area and bathymetry in the East Sea. Lines A, B, C and D represent observation lines of CREAMS and numbers on the each station indicate station number.

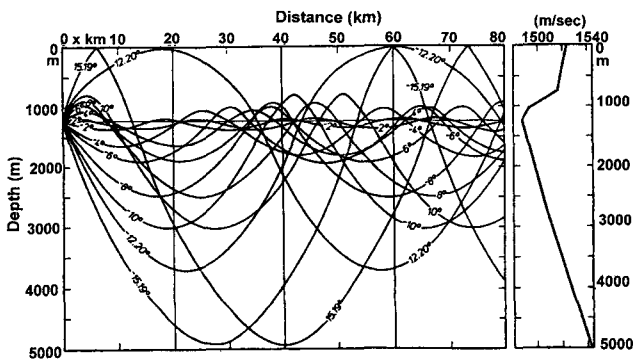


Fig. 2. Sound ray diagram from a sound source near the speed minimum in the sound channel for a typical open ocean sound speed profile (after Pickard and Emery, 1990).

킬 수 있으며, 해양에서 잠수함 및 선박의 위치 추적 등에 유용하게 활용된다 (Pickard and Emery, 1990). 해양에서 음속최소층의 형성 수심을 보면 중위도와 저위도 해역에서는 수심 1000 m 이상에서 형성되며, 상층부의 온도가 낮은 고위도 지역에서는 표층 부근에 형성된다 (Pickard and Emery, 1990). 동해의 경우 Kaneko et al. (1994)은 음속최소층의 분포 수심이 극전선을 중심으로 북쪽에서는 수심 150-350 m로 얕으며, 남쪽 해역에서는 350-450 m로 더 깊은 곳에서 형성된다고 하였다. 이러한 현상은 극전선을 중

심으로 북쪽의 저수온역과 남쪽의 고수온역으로 구분되는 수온의 분포 형태와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

동해에서 음파의 전달손실이 적은 음파 통로축을 파악하기 위하여 음속의 연직 및 수평 분포에 영향을 미치는 쓰시마난류역의 해황 특성을 밝히는 것이 중요하다고 생각되나 쓰시마난류 수온의 연직 구조, 특히 쓰시마난류의 열수송에 크게 영향을 받고 있는 수온과 음속과의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동해의 해황 변동에 중요한 인자로 작용하는 쓰시마난류가 음속의 연직 분포에 미치는 영향을 조사하였다.

자료 및 방법

본 연구에서는 동해에서 음속의 연직 분포 특성을 조사하기 위하여 동해 남부 해역에서 1996년 6월 9일부터 6월 20일까지 한국과 일본이 공동으로 수행한 CREAMS (Circulations Research of the East Asian Marginal Seas) 관측 자료를 사용하였다 (Fig. 1). CREAMS 항해는 일본의 나가사키 대학의 관측선 Kakuyo-maru를 이용하였으며, CTD (conductivity, temperature, depth; Mark III B type, Neil Brown) 관측 자료를 이용하여 음속의 연직 분포 특성을 조사하였다. 염분 자료는 CTD 측정 값과 Rosette water sampler로 해수를 채수하여 실험실에서 측정된 값을 비교하여 보정하였다.

연구해역의 해황을 파악하기 위하여 T-S diagram을 이용한 수괴 분석 및 수온과 염분의 연직 분포도를 작성하였다. 동해 남부해역은 쓰시마난류가 동해로 유입하여 사행 (meandering) 하면서 eddy의 형성 등 해황에 큰 영향을 미치므로 (Isoda, 1994; Lee and Cho, 2000), 쓰시마난류의 수평 분포 특성을 가장 잘 파악할 수 있는 층인 (Kawabe, 1982; Lee and Cho, 2000) 수심 100 m에 대하여 수온의 수평 분포도를 작성하였다.

동해 남부해역에서 음속의 연직 분포 특성을 파악하기 위하여 UNESCO에서 추천한 국제표준 알고리즘인 식 (1-5)을 이용하여 수온과 염분 및 압력의 함수로 표현되는 음속을 계산하였다 (Chen and Millero, 1977). 식 2-5에서 표시된 계수 A_{xy} , B_{xy} , C_{xy} , D_{xy} 값은 Chen and Millero (1977)에 수록되어 있다.

$$C(S, T, P) = Cw(T, P) + A(T, P)S + B(T, P)^{2/3} + D(P)S^2 \quad (1)$$

$$Cw(T, P) = (C_{00} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) + (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P + (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 + (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3 \quad (2)$$

$$A(T, P) = (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) + (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P + (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 + (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3 \quad (3)$$

$$B(T, P) = B_{00} + B_{01}T + (B_{10}T + B_{11}T)P \quad (4)$$

$$D(T, P) = D_{00} + D_{10}P \quad (5)$$

여기서 $Cw(T, P)$, $A(T, P)$, $B(T, P)$ 은 수온 ($^{\circ}\text{C}$)과 압력 (dbar)의 함수이며, $D(P)$ 는 압력의 함수이다. 그리고 T, P, S는 수온, 압력 그리고 염분 (psu)을 나타낸다.

음속은 식 (1)을 적용하여 Fig. 1의 정선 A, B, C, D에 있는 정점별 계산을 하였으며, 계산된 음속최소층의 수심이 해저면에 달하거나 실제 수심 보다 깊은 정점에서는 음속최소층을 고려하지 않았다. 그리고 수온 (T)의 구배 (dT/dZ)가 가장 큰 수심을 수온약층의 중심층으로 판단하여 음속최소층의 형성 수심과 비교 하였다.

결 과

수온과 음속의 수평 분포

Fig. 3은 연구해역의 수심별 수온과 염분을 등밀도면상에 나타낸 T-S diagram이다. 동해고유수 (Uda, 1934; Choi and Cho, 1995)로 알려진 수온 $\leq 1^{\circ}\text{C}$, 염분 34.0-34.1 psu 사이의 수괴가 저층에 분포하고 있으며, 쓰시마난류 중심층의 특징인 34.6 psu 이상의 고염분수 (Lee and Cho, 2000)가 상층부에 존재함을 알 수 있다.

동해에서 쓰시마 난류의 분포를 잘 파악할 수 있는 수심 100 m에서의 수온과 음속의 수평 분포도를 Fig. 4에 나타내었다. 정선 A에서 D까지 동서로 연결된 수온 10°C 를 중심으로 $7-13^{\circ}\text{C}$ 사이에서 약 $0.19^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 로 강한 전선이 형성되었으며, 북서쪽 외양역인 정선 C와 D에는 5°C 이하의 차가운 해수가 유입되는 분포를 보였다. 반면 10°C 등온선을 중심으로 연안역으로는 $10-14^{\circ}\text{C}$ 사이의 등온선이 해안과 나란하게 분포하고 있으며, 이것은 고온의 쓰시마 난류수가 coastal trapped current의 형태로 연안을 따라 북상하기 때

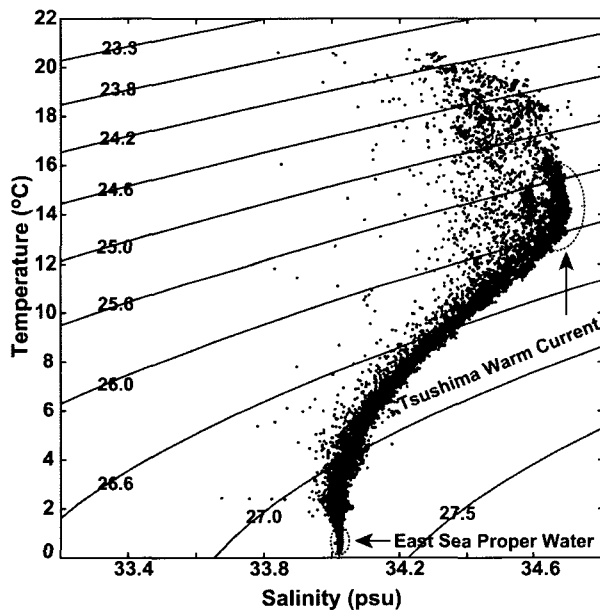


Fig. 3. T-S diagram using the CTD data measured from CREAMS survey in June of 1996. Shaded circles indicate Tsushima Warm Current and East Sea Proper Waer.

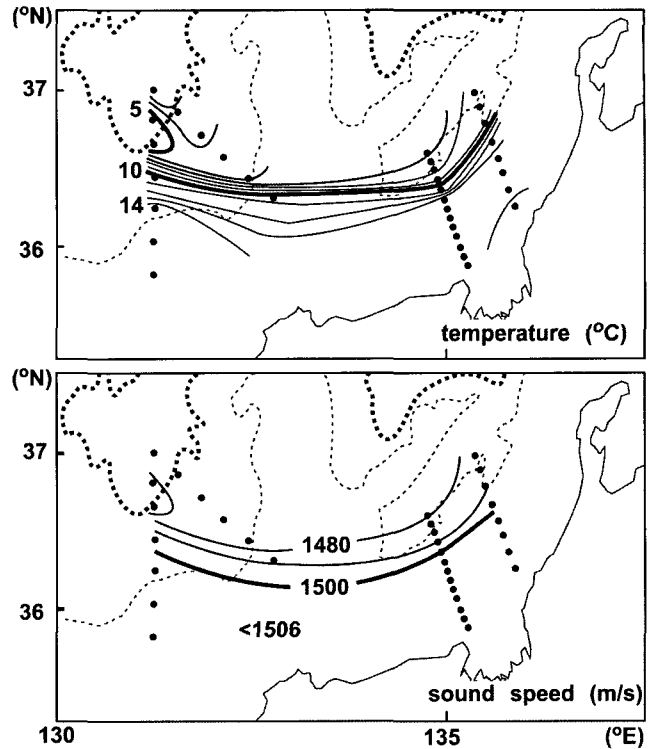


Fig. 4. Horizontal distribution of water temperature (upper) and sound speed (lower) at the 100 m layer.

문인 것으로 생각된다. 음속의 분포를 보면 수온 등치선과 거의 유사하며, 수온이 높은 연안역에서 높게 나타났다.

수온, 염분, 그리고 음속의 연직 분포

정선 A, B, C 및 D에서 수온의 연직 단면도상에 음속의 연직 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 정선 A의 경우, 수심 200 m 이전의 연안역에 수온 10°C 이상의 해수가 표층에서 수심 약 170 m 정도까지 두껍게 분포하고 있다 (Fig. 5). 이 난수층은 Fig. 3에서 나타난 염분 34.6 psu 이상의 고염분수에 해당하는 쓰시마난류로서 Lee and Cho (2000)는 동해에서 34.6 psu 이상의 최대염분농도가 나타나기 시작하는 시기를 춘계로 보았다. 외양으로 갈수록 10°C 이상의 난수층의 두께는 얇아져서 정선 A의 정점 1에서는 표층에서 수심 약 50 m 사이에 존재하였으며 정선 A의 외양과 연안역에서 난수층의 두께 변화로 인하여 수온약층의 깊이는 다르게 나타났다. 수온 약 8°C 를 중심으로 형성되어 있는 수온약층의 분포 수심은 외해쪽인 정점 1에서는 약 75 m인 반면 연안의 대륙붕위에 위치한 난수층의 중심부분에 해당하는 정점 10에서는 해저면에 가까운 수심 200 m 정도까지 깊어짐을 알 수 있다. 음속의 연직 분포를 보면, 수온의 분포와 유사한 형태를 보이고 있다. 음속의 연직 분포 범위는 1455-1515 m/sec로서 수심 약 300 m층에 음속최소층이 형성되어 있으며, 음속최소층을 중심으로 저층으로 갈수록 음속이 다시 증가하였다.

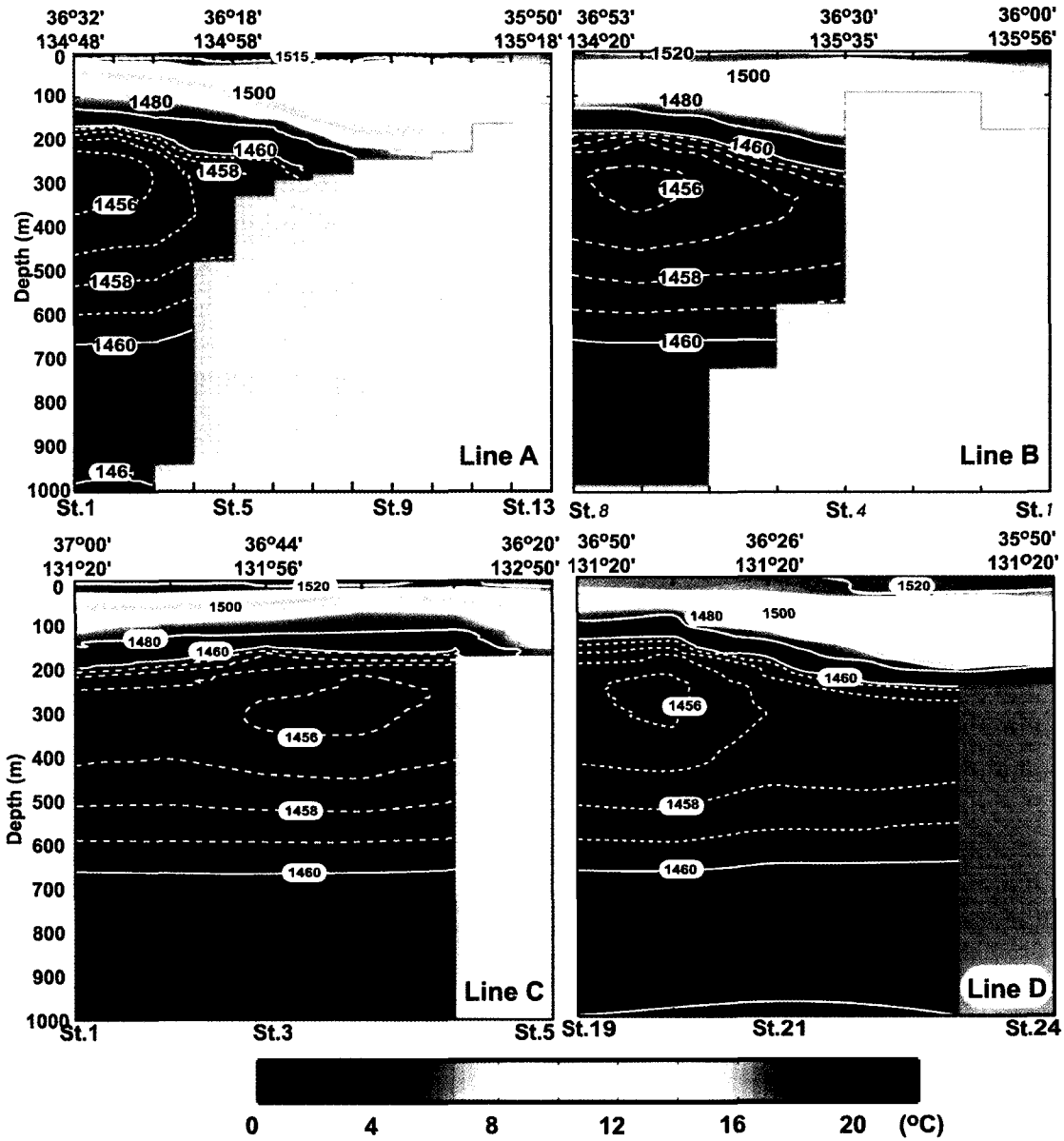


Fig. 5. Vertical distribution of water temperature (°C) and sound speed (m/sec) along lines A, B, C and D.

정선 B, C, D의 경우를 보면 쓰시마난류에 해당하는 수괴가 분포하는 수심 200 m 이천의 연안역과 쓰시마난류의 영향을 적게 받는 외양역에서 수온과 음속의 연직 분포 특성이 뚜렷하게 구분됨을 알 수 있다. 즉 수온약층이 외양에서 연안쪽으로 경사져있으며, 음속의 등치선 또한 수온 약층의 경사와 유사한 분포를 나타내었다. 그리고 쓰시마난류가 분포하는 수층에서 음속이 높게 나타남을 알 수 있으며 관측 정선 중에서 정선 C가 쓰시마난류의 영향을 가장 작게 받는 것으로 나타났다. 각 정점별 최소음속은 난수층의 두께가 얇은 외양역이 연안역보다 더 낮게 나타났다. 정선별 음속의 분포 범위를 보면, 정선 B에서는 1456.1-

1520.5 m/sec, 정선 C는 1455.6-1520.3 m/sec 그리고 정선 D에서는 1455.7-1520.8 m/sec로 나타난다.

정선 A-D에 대한 음속의 연직 분포 특성은, 상층부에 난수층이 두껍게 분포하는 연안에 인접한 정점에서 음속최소층의 수심이 300-340 m 사이에 형성되고, 그렇지 않은 정점에서는 260-290 m 사이에서 형성되고 있다. 즉 상층에 쓰시마난류의 영향을 크게 받는 곳은 그렇지 않은 곳에 비해 음속최소층은 10-80 m 정도 깊어지고, 음속최소값은 0.2-2.2 m/sec 정도 높게 나타난다. 연안역에서 각 단면상에서 수심이 얇고 쓰시마 난류가 분포하여 음속 최소층이 해저면에 접하거나 나타나지 않은 정점에 대해서는 음속최소

값을 고려하지 않았다.

고 찰

심해에서 형성되는 음파통로는 해양의 상층부와 저층간의 온도차에 의해 형성되는 것으로 수온이 수심의 증가에 따라 현저하게 변하는 온대 및 열대 해역의 특징적인 현상이다 (Pickard and Emery, 1990). 그러나 상하층간의 온도차가 거의 없거나, 오히려 표층으로 갈수록 수온이 감소하는 고위도의 경우, 수심의 증가에 따른 음속의 증가는 표층 부근에 아주 얇은 음속최소층을 형성시킬 수도 있다.

동해는 기후상 온대해역에 위치한 해역이지만, 극전선을 중심으로 북쪽의 한류수역과 남쪽의 난류수역으로 구분되는 독특한 특징을 가지고 있다. Fig. 5에서 나타난 바와 같이 쓰시마난류의 영향을 크게 받는 연안역은 외양에 비해 수온약층의 형성 수심이 깊어짐에 따라 음속은 증가하고 음속의 최소값이 다른 정점에 비해 높게 나타났다. 이것은 음속이 수온의 영향을 가장 많이 받기 때문인 것으로 판단된다 (Fig. 6). Hong and Cho (1983), Hase et al. (1999) 그리고 Lee (2003)는 쓰시마난류의 이동 경로는 그 세기에 따라서 일정하지가 않은 것으로 설명하고 있다. 즉 쓰시마난류 세기가 강한 시기에는 한국 동해안과 동해 중앙부로 확장하여 이동하고, 한편 쓰시마난류 세기가 약한 시기에는 일본 연안쪽에 치우쳐서 이동하게 되며, 쓰시마난류는 주변 수괴에 비해 상대적으로 높은 수온을 나타낸다 (Fig. 3, Fig. 5). 따라서 동해의 상층부에서 음속의 분포 형태는 쓰시마난류의 세기에 따른 그 이동경로의 변화에 크게 영향을 받을 것으로 사료된다. 즉 쓰시마난류의 세기가 강한 경우에는 난수역이 동해 중앙부로 확장하기 때문에 동해 남부의 광역에 대해 상층부의 음속은 증가하며, 음속최소

층의 깊이는 깊어질 것으로 생각된다. 그러나 쓰시마난류의 세기가 약한 시기에는 난수역이 일본 연안쪽으로 치우치게 되어 대륙붕 바깥쪽 해역에서는 음속에 미치는 쓰시마난류의 영향은 상대적으로 적을 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용된 자료는 1996년 6월에 실시된 CREAMS 관측에서 측정된 것으로 Lee (2003)에 따르면 쓰시마난류의 세기가 약해진 시기에 해당한다. Fig. 5에서 나타난 정선별 수온과 음속의 연직 분포를 보면 쓰시마난류가 일본 연안의 수심이 얇은 대륙붕을 따라 분포하는데, 이것은 Lee (2003)의 결과와 잘 일치하는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 정선 D의 정점 23에서 수온과 염분 그리고 압력이 음속에 미치는 영향의 정도를 나타낸다. Fig. 6a는 수온과 염분의 연직 분포를 보여준다. Fig. 6b는 해면 기압상태 (P=0)에서 현장 수온과 염분만을 고려한 음속 (실선)의 연직 분포와 수온과 염분은 상수로 두고 압력의 영향에 의한 음속 (점선) 변화를 나타낸다. 그리고 Fig. 6c는 수온, 염분, 압력의 영향을 모두 반영한 음속의 연직 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6a에서 표층 40 m 부근과 200 m 부근에 두 개의 수온 약층이 형성되어 이중 구조가 나타나는데, 이것은 표층 아랫부분으로 쓰시마 난류가 유입됨으로 인해 저온의 저층수와의 사이에 생기는 급격한 온도 구배로 인한 것으로 판단되며 이러한 수온의 분포는 음속의 연직 분포에도 영향을 끼치는 것으로 보인다. 저층으로 갈수록 압력의 영향에 의한 음속의 증가로 인하여 음속최소층이 형성 (Fig. 6c)됨을 알 수 있다.

이와 같이 동해 상층부에서는 수온이 음속의 변화에 큰 영향을 미침을 알 수 있는데, 본 연구해역에서 쓰시마난류의 유입으로 인한 음속의 증가는 연구해역에 분포하는 수괴들에 비해 상대적으로 고온인 쓰시마 난류수가 분포하는 지

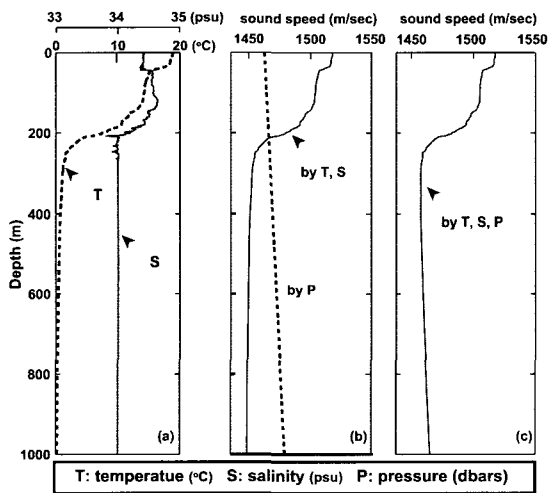


Fig. 6. For station 23 of line D: (a) temperature (dashed line) and salinity profiles (solid line), (b) sound speed profile (solid line) by effects of temperature and salinity and sound speed profile (dashed line) by effect of pressure, (c) sound speed profile by effects of temperature, salinity and pressure.

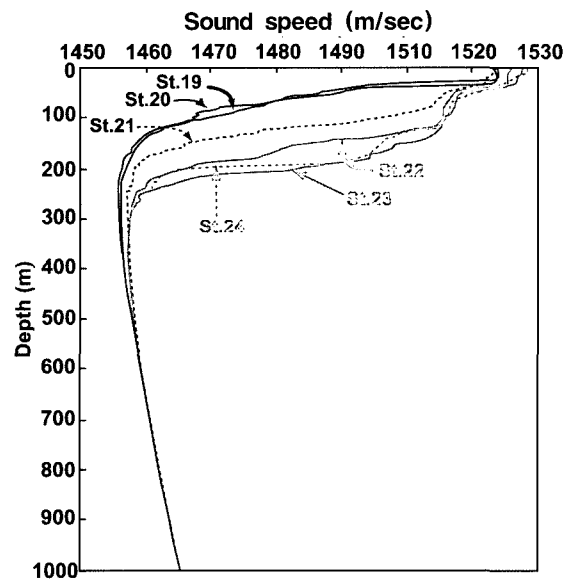


Fig. 7. Vertical profile of sound speed at each station along line D (St. 19-24).

역과 그렇지 않은 지역을 비교함으로써 차이를 알 수 있다 (Fig. 7). 정점 22-24는 쓰시마난류역을 대표하며, 정점 21은 쓰시마난류수의 의해 경계지점 그리고 정점 19와 20은 쓰시마난류수의 영향을 거의 받지 않는 지역으로 분류한 결과 정점별 음속의 연직분포의 특성이 잘 나타났다. 표층에서는 정점별 음속의 차가 작지만 쓰시마난류의 중심수층인 수심 100 m에서의 음속을 비교하면 난류가 분포하는 곳에서의 음속이 난류가 분포하지 않는 곳보다 약 45 m/sec 정도 빠르게 나타난다. 음속은 수온과 염분 그리고 압력의 함수로 표현할 수 있는데, 수심 100 m에서의 쓰시마난류가 분포하는 수층과 그렇지 않은 층과의 수온의 차이는 9.97-10.30°C 염분은 0.51-0.56 psu의 차이가 난다. Pickard and Emery (1990)에 따르면 음속은 수온 1°C 증가로 인해 4 m/s 증가하며, 염분 1 psu 증가할 때 1.4 m/s 그리고 수심 1000 m 증가할 때 17 m/s 증가한다. 이러한 결과를 고려해보면, 쓰시마난류의 존재 여부에 따른 음속의 차이는 수온의 차이에 의한 것으로 생각된다.

음속최소층의 깊이 변화는 해황에 따라 크게 좌우된다. 연구해역에서 나타난 정점별 음속최소층의 깊이 차이는 주변에 인접한 수괴 보다 상대적으로 고온 고염인 쓰시마난류의 영향 때문이다. 즉 100 m 이상의 두께를 가지는 쓰시마난류 수층에는 상대적으로 고온의 균질한 해수가 존재함으로써 저온의 하층수와 경계가 되는 수온 약층의 수심이

깊어지고, 따라서 수온 약층 하부에 생성되는 음속최소층의 수심도 깊어지게 된다. Fig. 8은 각 정선의 정점별 수온 약층의 깊이와 음속최소층의 깊이를 나타낸 것으로서 표면 아랫부분을 통한 쓰시마난류 유입에 의한 수온약층과 음속최소층의 깊이 변화를 잘 보여주고 있다. 수온 약층과 음속최소층의 깊이가 해저면에 접하거나 수심보다 깊은 정점에 대해서는 표기에서 제외하였다. 전체적인 분포 관계를 보면, 수온 약층의 깊이가 깊을수록 음속최소층의 깊이도 깊어짐을 알 수 있다. 쓰시마난류의 영향이 적은 곳에서는 수온약층과 음속최소층사이의 깊이 차는 약 260 m이며, 난류의 영향을 많이 받는 해역에서는 난류의 하층 경계부에 형성되는 수온약층으로부터 약 170 m 더 깊은 곳에 음속최소층이 형성된다. 이와 같이 수온약층의 형성 수심과 음속최소층 수심 사이에는 상관성이 있을 것으로 보인다. 수온약층과 음속최소층간의 선형회귀곡선에 의한 정량적인 관계 (Fig. 9)를 보면 다음과 같다.

$$Y = 1.7907X + 249.93 \quad (R^2 = 0.56)$$

여기서, Y는 음속최소층의 수심이며, X는 수온약층 수심이다. 수온약층과 음속최소층 수심사이에는 결정계수가 0.56으로 나타났으며, 유의수준 5%로 검정한 값이다.

본 연구는 동해 남부의 일본 연안역 부근에서 1회 관측을 통해 측정된 자료를 이용한 것이다. 향후 광역에 대한

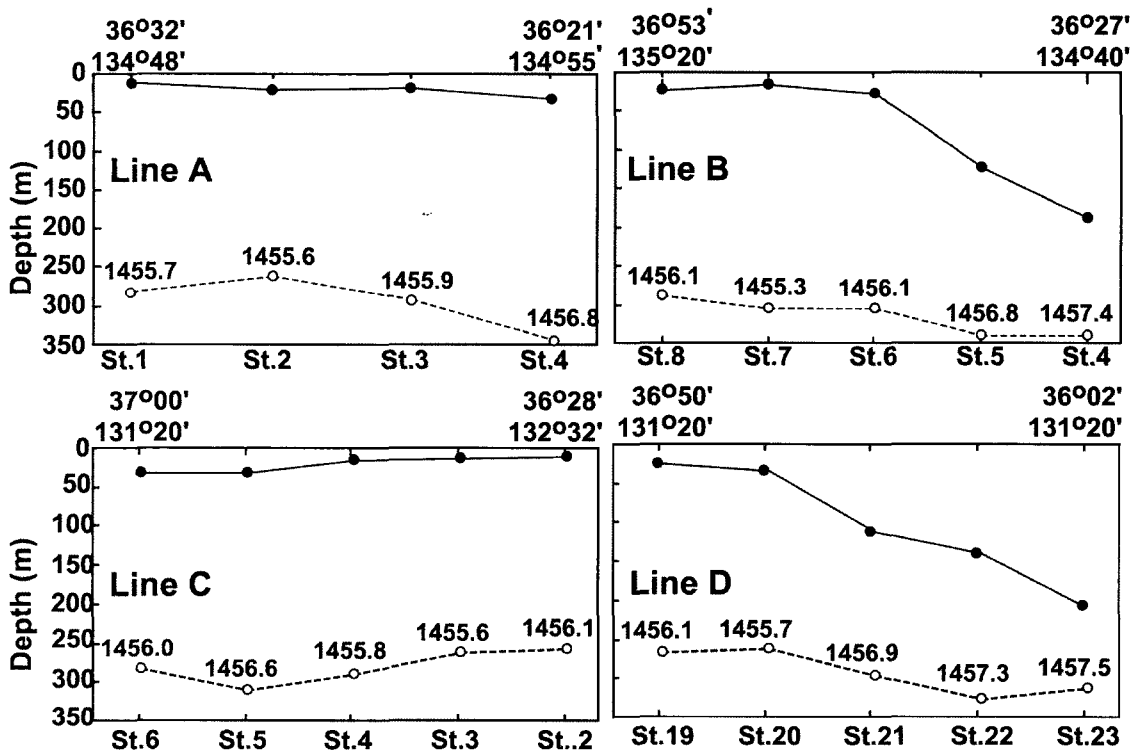


Fig. 8. Depth of thermocline (solid line) and sound speed minimum layer (dashed line) along lines A, B, C and D. Numbers represent sound speed (m/sec) at sound speed minimum layer of each station.

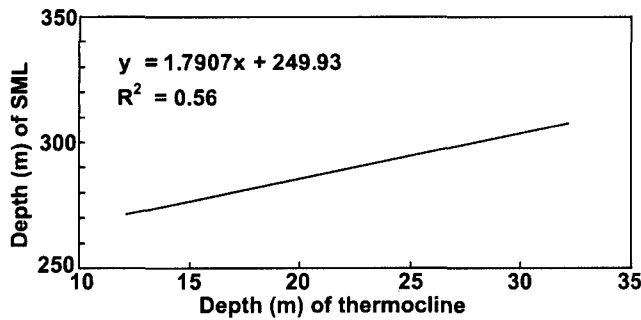


Fig. 9. Relationship between depth of thermocline and sound speed minimum layer (SML).

시계열 자료로부터 수온약층과 음속최소층의 분포 수심에 대한 조사가 이루어진다면 이들 변수간의 정량적인 관계를 파악할 수 있으며, 이를 통하여 수온 측정으로부터 간단히 음속최소층의 분포 수심을 추정할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구 결과는 동해의 해황변동과 관련하여 음속구조의 시-공간적인 변동 특성에 대한 연구의 기초 자료가 될 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 2000년도 부경대학교 기성회연구 “동해의 해황 및 기상과 어황과의 관계”와 2002년도 해양수산개발원의 수산특정 연구개발사업 “위성원격탐사기술을 활용한 어장변동 및 예측에 관한 연구”의 일부 지원에 의해 한국과학재단 지정 우수공학연구 센터인 부경대학교 해양산업개발연구소와 위성정보과학연구소에서 수행하였습니다.

참고 문헌

- Bang, H.K. and J.K. Oh. 1993. Acoustic facies in the western south Sea, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korean*, 28(4), 313-322.
- Beckerle, J.C. and J.B. Hersey. 1975. Horizontal scales in the main thermocline derived from the topography of a constant sound speed surface between Bermuda and the Antilles. *J. Geophys. Res.*, 80(6), 849-855.
- Byun, S.K., B.C. Kim, B.K. Choi, A. Kaneko and N. Gohda. 1999. Current speed measurements by using ocean acoustic tomography of reciprocal sound transmission in the southern water of Koje island. *The Sea. J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4(3), 161-169.
- Choi, Y.K. and K.D. Cho. 1995. Oceanographic characteristics of the Japan Sea Proper Water-II. The Japan Sea Proper Water and Chimney. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.*, 4(2), 121-138.
- Chen, C.T. and F.J. Millero. 1977. Speed of sound in seawater at high pressures. *J. Acoust. Soc. Am.* 62(5), 1129-1135.
- Emery, W.J. and R.E. Thomson. 1998. Data analysis method in physical oceanography. Pergamon, New York, USA, 634 pp.
- Fenner, D.F. 1978. Sound speed structure across an anticyclonic eddy and the Gulf Stream north wall. *J. Geophys. Res.*, 83(C9), 4599-4606.
- Han, I.S. 1998. Heat supply in Tonghae by Tsushima Warm Current. MS. Thesis, Pukyong National University, Busan, 35 pp.
- Hase, H., J.H. Yoon and W. Koterayama. 1999. The Current structure of the Tsushima Warm Current along the Japanese coast. *J. Oceanogr.*, 55, 217-235.
- Honda, S. 1998. Applying geostatics to acoustics surveys for stock assessment of Walleye Pollock off Hokkaido. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 1(1), 136-142.
- Hong, C.H. and K.D. Cho. 1983. The northern boundary of the Tsushima Warm Current and its fluctuations. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 18(1), 1-9.
- Isoda, Y. 1994. Warm eddy movements in the eastern Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 50, 1-15.
- Kaneko, A., G. Yuan and N. Gohda, I. Nakano. 1994. Optimum design of the ocean acoustic tomography system for the Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, 50(3), 281-293.
- Kang, D.H. and J.Y. Na. 1994. Comparison of the temperature profile with the backscattering strength by the ADCP data in the southwestern part of the East Sea. *J. Korean. Soc. Oceano.*, 29(3), 287-295.
- Kato, K. and T. Asai. 1983. Seasonal variations of heat budgets in both the atmosphere and the sea in the Japan Sea area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 61, 222-238.
- Kawabe, M. 1982. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea. Part I. Data analysis. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 95-107.
- Lee, C. I. 2003. Relationships between variation of the Tsushima Warm Current and current circulation in the East Sea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, 106 pp.
- Lee, C.I. and K.D. Cho. 2000. The fluctuation characteristics of the water mass and the current structure of the southeastern region of the East Sea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 3(2), 97-110.
- Miyashita, K., I. Aoki, T. Asami, H. Mori and K. Taki. 1998. Study on acoustical estimation of distribution and abundance of Isada Krill, *Euphausia pacifica* Hansen, off the Sanriku and off the Jhoban, northern Japan. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 1(1), 128-135.
- Munk, W. and C. Wunsch. 1979. Ocean acoustic tomography: A scheme for large scale monitoring. *Deep-Sea Res.*, 26, 123-161.
- Na, J. Y., S. K. Han, J.H. Lee, T.B. Shim and K. Kim. 1999. Observation of the mesoscale phenomena by ocean acoustic tomography in the East Sea. *The Sea J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4(3), 170-179.
- Pickard, G. L. and W. J. Emery. 1990. Descriptive physical Oceanography. Pergamon, New York in USA, 320 pp.

Uda, M. 1934. Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical surveys made in the Japan Sea and its adjacent waters during May and June, 1932. Imper. Fish. Exper. Stat., Rec. Oceanogr. Works. Japan, 19-107.

2003년 1월 20일 접수
2003년 4월 17일 수리