

동해 아극전선 해역의 수중음향환경 및 저주파 음파전달 양상

Underwater Acoustic Environment and Low Frequency Acoustic Transmission in the Sub-Polar Front Region of the East Sea

임 세 한* 류 건 희*
Sehan Lim Gunhee Ryu

Abstract

To investigate low frequency acoustic transmissions in the Sub-Polar Front(SPF) of the East Sea, numerical experiments are conducted with Range dependent Acoustic Model(RAM) using Circulation Research of the East Asian Marginal Seas(CREAMS) data and Autonomous Profiling Explorer(APEX)) data. Significant seasonal variations of sea water properties are existed across the Sub-Polar Front(SPF) region from the north and the south. The model results show that Transmission Loss(TL) decrease(about 20dB) with ideal front in the warm region whereas TL increase(about 25dB) with ideal front in the cold region. Regardless of season(both in summer and winter), when the sound source is located in the cold region of the SPF, the model results show weak TL, compared to the case of the source in the warm region(Maximum difference of TL reaches 28dB). This difference between the cases when the source is located in the cold region and the warm region, is accounted for from the different vertical profiles of sound speed in both regions.

Keywords : Sub-Polar Front(아극전선), Acoustic Transmission Loss(음파 전달손실)

1. 서론

해양은 시공간적으로 수온, 염분 압력의 변화뿐만 아니라 해수면, 해저면 및 해수 중의 비균질한 경계면 등의 영향으로 변동이 심하다. 이와 같이 변화가 심한 해양환경 하에서 음파의 전달양상은 매우 복잡하게

나타난다. 여러 해양현상 중에서도 특히 해양 전선(수온 전선)은 수평적, 수직적으로 급격한 음속경도를 가짐으로 음파전달에 대한 장벽으로 간주되기도 한다. 동해 중부해역에 연중 형성되어있는 수온전선은 동해 북부해역에서 우리나라 연안을 따라 내려오는 냉수와 남부해역에서 연안을 따라 올라가는 난수가 만나 형성된다. 대략 북위 37~40도에 걸쳐 비스듬하게 사행하여 동서로 동해를 가로지르고 있으며 형성위치에 따라 아극전선(Sub-Polar Front)이라고 불려오고 있다^[1,2]. 아극전선의 구조나 위치는 계절별로 크게 달라지

† 2009년 4월 1일 접수~2009년 6월 26일 게재승인

* 해군사관학교

책임저자 : 임세한(satzmo@gmail.com)

며 한국연안의 와동류, 시베리아 기단에 의한 표층의 냉각, 대마난류 분지 등의 변동성에 따라 다른 해역의 수온전선에 비하여 계절적인 변동이 심하다^[3]. 수온전선은 음파전달경로의 변경, 중심도의 변화, 음파전달의 방해, 방위오차 발생 등 음파전달에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있음에도 불구하고^[4], 우리나라 근해 수온전선역에서의 음 전달 특성에 대한 연구는 아직까지 몇몇 연구로만 제한되어 있다. 박(1998)^[5]은 동해연안 수온전선에서 음 전달 특성을 저주파 거리종속음향모델(RAM)을 사용하여 연구한 바 있으며, 양(2001)^[6]은 남해연안 수온전선역에서의 계절적인 전선 변동과 저질특성에 따른 음 전달 특성을 연구한 바 있다. 그러나 이들 연구는 주로 천해에서 형성되는 수온전선을 대상으로 하였으며 이 경우 표층 및 바닥의 경계면 효과가 중요하게 나타날 수 있다. 천해와 달리 수심이 깊은 동해 중부 외해역에서 형성되는 아극전선의 경우에는 경계면 효과보다 수직 음속구조의 차이가 더 중요할 가능성이 있다. 임 등(2007)^[7]은 동해 북부해역에서 발생하는 다양한 해양환경 하에서 고주파 음원의 전달특성을 분석하기도 하였으나 아직까지 동해 아극전선역에서의 음 전달 특성을 연구한 예는 찾아보기 어렵다. 본 연구는 최근 동해에서 관측된 해양관측자료를 분석하여 아극전선 해역을 중심으로 해양환경의 계절변동을 고찰하고 아극전선역에서 저주파 영역의 음파전달모의실험을 실시하여 음파전달양상을 분석하였다. 본 논문의 구성은 자료 및 분석방법, 아극전선 해역의 수중음향환경, 아극전선 해역에서의 수중음파전달 양상, 요약 및 결론 순이다.

2. 자료 및 분석방법

연구에 사용한 자료는 동해의 물성구조와 순환을 이해하기위한 국제공동연구 프로그램인 CREAMS를 통해 수집한 CTD 관측자료와 APEX float 자료를 사용하였다(Fig. 1). 본 연구에서는 1994년 7월, 1995년 7월, 1996년 8월의 여름철 CREAMS 관측 자료와 1996년 2월, 1997년 3월, 1999년 2월의 겨울철 CREAMS 관측 자료를 사용하였다. 모든 관측에서 SBE(Sea Bird Electric)사의 CTD가 이용되었으며 표층부터 저층까지 관측이 되어 현재까지 획득된 자료들 중에 동해 전체적인 규모의 해양 현상을 이해 할 수 있는 거의 유일한 CTD자료라 할 수 있다. 특히 기준관측선(132°20'E)

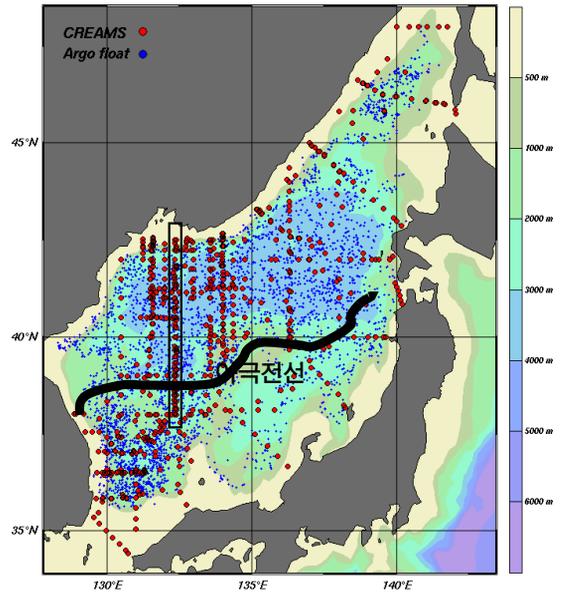


Fig. 1. CREAMS와 Argo Float data의 공간분포(실선 상자는 132°20'E 기준관측선)

의 경우는 거의 매 관측기간마다 관측이 되어 동해 아극전선역에서의 해양환경 및 음향환경 특성과 계절 변동성을 파악할 수 있다. 음향환경을 분석하기 위한 보조자료로 국제공동관측 연구 프로그램인 ARGO(Array for Real-time Geostrophic Oceanography)를 통해 1999년 8월부터 2004년 11월까지 총 92개의 Apex float 으로부터 획득된 5000 여개 이상의 수온, 염분 프로파일 자료를 함께 사용하였다. 이 자료는 관측수심이 800m로 제한되어 있고 수평적인 위치도 시시각각 변하여 전선역을 가로지르는 동시간대의 거리종속음향 모델의 입력 자료로 적합하지 않기 때문에 본 연구에서는 해양환경을 분석하는데에만 사용하였다.

거리종속 음파전달손실 계산에 적합한 음파전달 모의수치모델인 RAM(Range dependent Acoustic Model)^[8]의 입력변수는 Table 1에 정리하였으며 주파수는 300 Hz, 음원의 위치는 50, 100, 200m로 하였고 격자간의 수심 간격은 1m, 거리간격은 100m로 하였다. 수심은 실제 해저지형을 고려하였으며, 퇴적물은 실험해역에서 우세하게 분포하는 clay를 적용하여 감쇄계수와 음속을 설정하였다. 또한 RAM 모델의 해를 근사하기 위한 Pade 계수는 10차로 설정하여 해의 신뢰성을 높였다.

심해역에서 수온전선의 존재에 따른 음파전달양상

Table 1. 거리중속 음향모델 입력 변수

Sonar type	Passive
Model	RAM
Frequency	300Hz
depth	3000m / Real depth
Sourth depth	50, 100, 200m
dz	1m
dr	100m
Sediment	clay
Density in sediment	1.5kg/m ³
Soundspeed in sediment	1520m/sec
Attenuation in sediment	0.2dB/λ

을 분석하기 위해 CREAMS 기준선 관측 자료를 사용하여 음향모델을 수행하였다. 아극전선의 유무에 따른 음파전달영향을 분석하기위해 다음과 같은 상황을 가정하였다. 음향모델 수행을 위한 음속장은 수심 3000m, 거리는 100km, 해저면은 평탄한 것으로 하였으며 음원수심은 200m, 수신기 수심은 100m로 고정하였다. 음속장의 구성은 전선이 없을 경우는 거리독립환경을, 전선이 있을 경우는 거리중속환경으로 하였다. 즉 전선이 있을 경우는 기준선 위치별 음속자료가 모두 포함되나, 전선이 없을 경우는 시작점의 음속자료로 전체 음속장을 구성하는 것이다. 여름과 겨울 계절별로 음원위치를 난수역과 냉수역으로 각각 변경하여 실험을 실시하였다. 다음은 아극전선 존재시 계절별, 음원 위치별 음파전달 양상을 분석하기 위한 실험으로 음원수심은 50, 100, 200m로 하였으며 수신기 수심은 100m로 고정, 해저지형은 기준관측선의 실제수심을 적용하였으며 기준관측선 내 아극전선의 위치를 고려하여 음속장의 범위는 120~220km로 적의 조정하였다.

3. 아극전선 해역의 수중음향환경

가. 수온, 염분, 음속의 수평분포

동해의 음향환경은 CREAMS 및 APEX float의 수온, 염분 자료로부터 계산된 음속구조를 통해 파악할 수 있다. Fig. 2(a)는 수심 50m의 여름철 평균 수온, 염분,

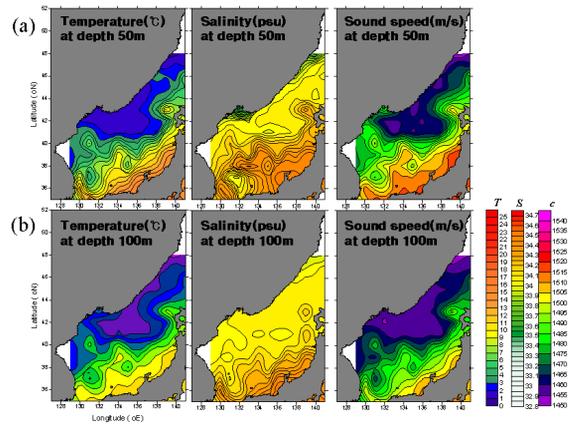


Fig. 2. 수온(좌), 염분(중), 음속(우)의 수평분포

음속의 수평구조를 나타낸다. 아극전선을 중심으로 수온이 10°C 이상의 난수역과 10°C 이하의 냉수역으로 뚜렷이 구분된다. 염분에서도 34.2psu를 기준으로 난수역의 고염과 냉수역의 저염으로 나눌 수 있으며 수온, 염분, 압력의 함수로 결정되는 음속 또한 아극전선을 중심으로 구배가 뚜렷한 것을 볼 수 있다. 아극전선 이남의 난수역에서는 대체로 1500m/sec 이상의 음속을 보이지만 그 이북에서는 1460m/sec 이하의 음속이 주로 나타난다. Fig. 2(b)는 수심 100m의 여름철 평균 수온, 염분, 음속의 수평구조를 나타낸다. 수심 50m에서와 마찬가지로 수온과 염분 모두 아극전선을 중심으로 난수역과 냉수역이 뚜렷이 구분된다. 50m 수심에 비해 난수역의 음속은 다소 감소하였지만 음속도 대체로 아극전선을 중심으로 구배가 뚜렷하다. 아극전선 이남의 난수역에서는 50m 수심에서보다 다소 감소한 1480m/sec 이상의 음속을 보이고, 그 이북에서는 1460m/sec 이하의 음속분포를 보인다.

Fig. 3(a)는 겨울철 수심 50m에서의 수온, 염분, 음속의 수평구조를 나타낸다. 겨울철도 절대값의 차이는 있지만 수온과 음속은 여름철과 마찬가지로 아극전선을 중심으로 난수역과 냉수역 사이에 구배를 뚜렷이 볼 수 있다. 하지만 염분의 경우는 수온과 달리 뚜렷한 구배를 볼 수 없고 대한해협과 울릉분지 쪽에서만 34.3psu의 고염이 분포하지만, 이러한 염분 차이는 수온의 공간적인 차이에 비해 음속에 미치는 영향이 매우 작아 음속에서도 남북간의 구배는 계속 유지된다. 겨울철에도 수심 50m에서는 난수역과 냉수역간의 음속 구배가 유지되지만, 그 구배가 여름철보다는 다소 작아지는 특성을 보인다. 음속은 냉수역에서 1450m/sec,

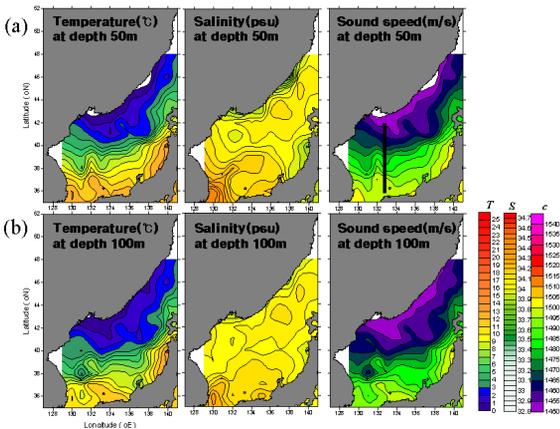


Fig. 3. Fig. 2와 같은 겨울철의 수평분포

난수역에서는 1485m/sec의 분포로 전체적으로 여름철보다 낮은 음속 크기를 가진다. Fig. 3(b)는 겨울철 수심 100m에서의 수온, 염분, 음속의 수평구조를 나타낸다. 수심 50m에서와 마찬가지로 아극전선을 중심으로 난수역과 냉수역의 구배를 뚜렷이 볼 수 있다. 겨울철에는 전반적인 수온, 염분, 음속구조가 50m 수심에서와 100m 수심에서 많은 차이를 보이는 여름철과 달리 50m에서와 비슷한 크기의 수온과 음속이 100m 수심에서 나타난다. 또한 겨울철 100m 수심에서의 수온, 염분, 음속의 수평구조는 여름철 100m에서의 구조와도 유사하다. 겨울철에 비해 여름철에 수심 간의 차이가 커지는 이유는 계절적인 변화가 100m에서보다 50m 수심에서 더욱 크기 때문이다.

나. 수온, 염분, 음속의 남북 수직 단면구조

1994년 7월, 1995년 7월, 1996년 8월의 여름철 세 차례 CREAMS 관측(Fig. 2)을 통해 수집된 자료로부터 130°20'E 기준선에 대하여 수온, 염분, 음속의 남북 단면구조를 나타낸 것이 Fig. 3이다. 아극전선의 중심위치는 각 수직단면의 시작점으로부터 약 300km 지점이다. 여름철에는 난수역과 냉수역 모두 표층 20m 이내에서 10°C 이상의 수온 분포를 보이고 아극전선을 기준으로 냉수역에서는 수심 50m의 수온이 5°C까지 급격하게 감소하며 강한 계절수온약층(Seasonal Thermocline)이 형성된다. 반면, 난수역에서는 수심에 따른 수온이 20°C에서부터 5°C까지 점진적으로 감소하여 5°C 등수온선이 수심 200m까지 깊어진다. 따라서 50~200m 수심에서는 남북방향으로의 수온구배가 강하게 나타난다. 염분도 수심 50~200m 부근에서는

아극전선을 기준으로 남북방향 구배가 존재하며, 음속 또한 아극전선 이북의 냉수역에서는 1460m/sec 이하, 이남의 난수역에서는 1460~1500m/sec로 남북방향의 구배가 강하게 나타난다. 여름철의 경우에는 이러한 구배가 표층 부근(수심 20m 이내)에서 매우 약화되는 것을 볼 수 있다. 겨울철은 표층수온이 난수역과 냉수역 모두에서 여름철에 비해 낮아져 1996년 2월, 1997년 3월, 1999년 2월에 관측된 단면 구조에서 난수역에도 10°C 이상의 수온이 거의 나타나지 않으며 혼합층이 발달하는 것을 볼 수 있다(Fig. 5). 이는 강한 바람과 차가운 대기 등의 계절적인 요인에 의한 표층수의 냉각 때문이다. 여름철과는 달리 겨울철에는 표층에서도 수온, 음속의 남북방향 구배가 뚜렷하며, 이것은 인공위성표층수온 영상을 분석하여 얻은 결과와도 잘 일치한다^[2]. 염분은 여름철과 겨울철 모두 아극전선 이북에는 저염수가, 아극전선 이남에는 고염수가 존재하고 있으며 겨울철보다는 여름철에 강한 염분경도를 보이고 있다. 수심 50~200m 범위에서는 여름철이 겨울철보다 강한 남북방향의 수온, 음속구배가 나타난다. 1999년 2월의 경우는 다소차이를 보이지만 염분에서도 대체로 여름철과 마찬가지로 난수역에 고염미, 냉수역에 상대적으로 저염미가 나타난다. 따라서 음속도 여름철과 같이 약 40°N 기준으로 남북방향으로 구배가 강하며, 특히 여름철과 달리 겨울철에는 표층 20m 이내에서도 그 구배가 뚜렷하다.

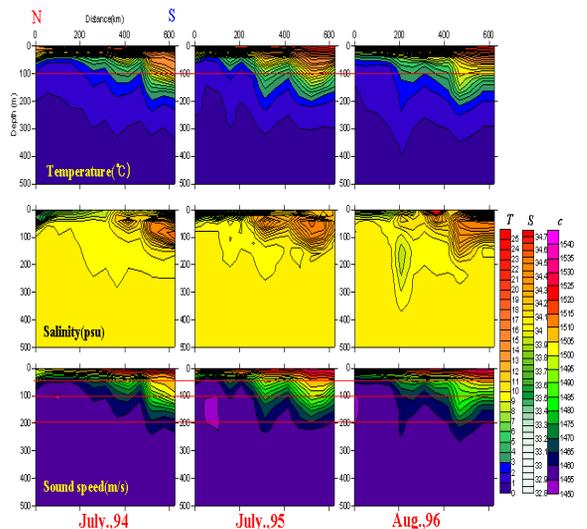


Fig. 4. 여름철 132°20'E 관측선의 수온(상), 염분(중), 음속(하) 수직단면도

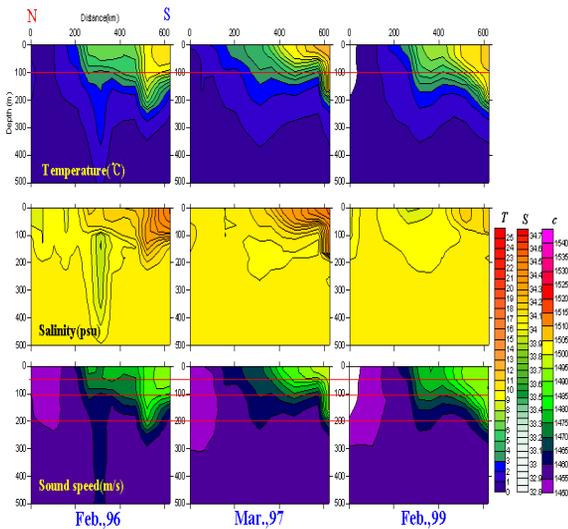


Fig. 5. Fig. 4와 같은 겨울철의 수직단면도

4. 아극전선 해역에서의 수중음파전달 양상

가. 전선의 유무에 따른 비교

비전선역에서의 전달손실은 여름철과 겨울철 모두 극전선의 북쪽, 즉 냉수역에서 난수역보다 작다. 여름철의 경우 냉수역의 표층음속은 난수역의 표층음속과 비슷한 분포를 보이지만 강한 수온약층의 존재로 인해 냉수역에서의 음속은 수심이 깊어지면서 급격히 감소해 100m 이내에 음속 최소수심이 나타나고 난수역에서는 200~300m 수심에 음속 최소수심이 존재한다. 이 같은 수직음속분포 차이로 냉수역에서는 표층부근에서 음파 에너지 밀도가 높아 비교적 먼 거리까지 음 에너지 전달이 가능하지만 난수역에서는 깊은 음속최소층 때문에 수렴구역 형태의 음 전달 특성을 보인다.

전선이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우 전달손

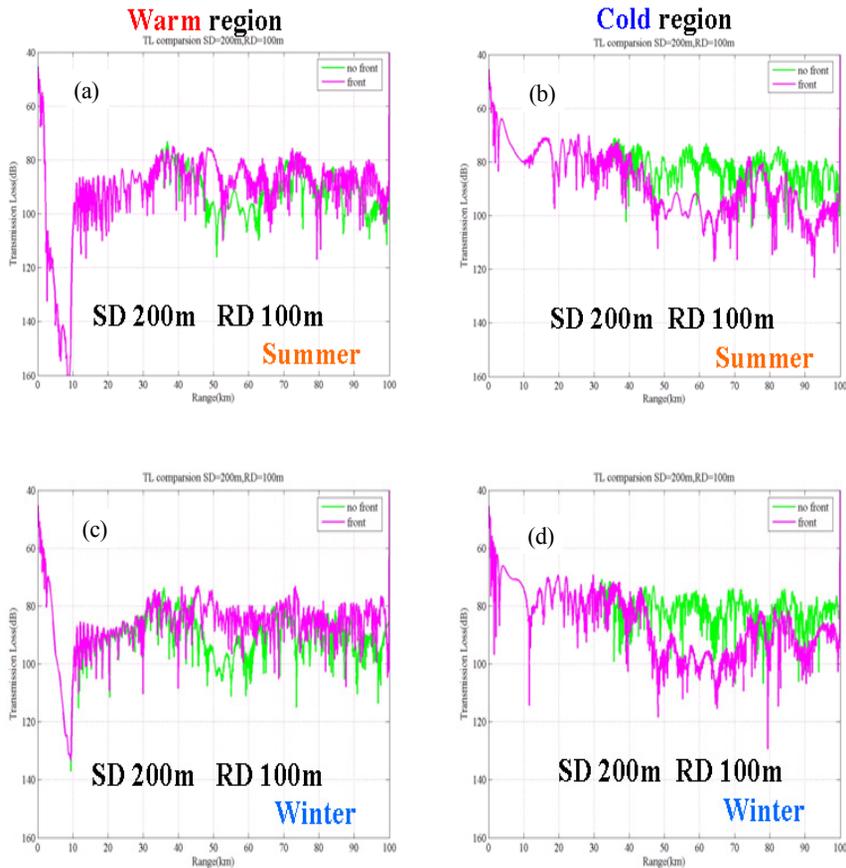


Fig. 6. 아극전선의 유무에 따른 계절별 음파 전달손실값의 양상

실차를 비교해 보면, 난수역에 음원이 위치한 경우 (Fig. 6(a),(c))와 냉수역에 위치한 경우(Fig. 6(b),(d))와의 뚜렷한 차이를 확인할 수 있다. 난수역에 음원이 위치한 경우는 음원수심이 강한 음속약층의 가운데에 위치함으로 급격한 하향굴절로 인해 근거리 음영구역이 나타나는 것을 볼 수 있으며 여름철이 겨울철보다 음속경도가 강하므로 음영구역내 전달손실의 크기도 최대 30dB이상 크다. 40km이상 지점에서부터 냉수역이 본격적으로 시작되는 50km이후에는 전선이 존재할 경우 전달손실의 값이 전선이 없을 때보다 최대 20dB 이상 감소한다. 이는 난수역에서 냉수역으로 음파가 진행됨에 따라 음속최소층의 깊이가 약 400m에서 150m로 알아지고 수직음속경도는 커짐으로 음 에너지가 전선역을 통과하면서 표층에 가까운 음파통로에 포획되어 전파됨으로 전선이 없을 때보다 전달손실이 감소된 것으로 생각된다. 음원이 냉수역에 위치할 경우는 표층으로부터 약 150m 깊이에서 형성된 음파통로에 포획된 음 에너지가 난수역으로 접어들면서 음속최소층의 깊이가 증가하고 음파통로의 폭도 넓어지면서 음에너지의 분산이 일어나 수심 100m 수심기 수심에서는 음 에너지가 적게 분포하게 되어 전달손실이 증가된 것으로 생각된다. 아극전선의 유무에 따른 음파 전달양상의 모의 실험 결과, 음원의 위치가 난수역일 경우 전선을 통과하며 표층으로 음에너지의 포획이 일어나 전달손실이 감소하고 냉수역에 위치하는 경우는 표층에서 심층으로 음에너지의 분산이 일어나 전달손실이 증가하게 됨을 알 수 있었다. 이는 수온전선 존재 시 거리에 따른 음속장의 구조에 따라 전달손실이 증가할 수도 있고 감소할 수도 있다는 사실을 증명하는 것이다.

나. 아극전선 존재시 계절별 음파전달 양상

수온 전선 존재시 음원의 위치 및 음속장의 구조에 따라 전달손실의 증감이 나타남을 확인하였으므로 실제 아극전선역의 해저지형을 반영하고 여름철과 겨울철의 계절변화에 따라 전달손실의 양상이 어떻게 변하는지 음파 전달손실 모의 실험을 실시하였다. 모의 실험은 여름철은 1995년 7월, 겨울철은 1999년 2월 CREAMS 관측자료를 사용하였으며 거리중속 음향모델의 입력변수들은 Table 1과 같이 설정하였고 음원의 수심 및 위치를 변경하였다(Fig. 7). 여름철의 경우 음속은 난수역과 냉수역 모두 표층에서 계절적인 영향으로 1530m/sec의 높은 음속을 가지지만 난수역의 경

우는 음속수직경도가 작아 수심 300m까지 음속이 완만히 감소하는 반면 냉수역에서는 표층 아래서 음속이 급격히 감소하여 수심 100m에 음속최소층이 존재하는 큰 수직 음속경도를 갖는다. 따라서 등수심선을 따라 남북방향으로 수평적인 음속구배가 있게 된다. 음원이 난수역의 50m에 위치할 경우 음원에서의 음속은 커서 음파는 강한 수직음속경도로 인해 대부분 하향 굴절을 하며 수렴구역과 경계면 반사를 통해 전파되어 수심, 표층온도, 음속단면, 음원의 수심 등의 영향을 받는 수렴구역은 약 40km 간격으로 발생한다. 일반적으로 표층에서 음속이 가장 높고 수심이 충분히 깊어서 임계수심(Critical Depth)과 초과수심(Excess Depth)이 존재하면 음원이 음파통로에 가까워질수록 수렴구역이 나타나는 거리가 짧아지는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 본격적으로 냉수역이 시작되는 80km 구간이후 전달손실이 뚜렷이 증가하는데, 음원이 100m에 위치할 경우는 음원에서의 음속이 낮아져 수렴구역 또한 음원이 50m에 위치할 경우보다 짧은 약 30km 간격으로 발생하게 된다. 특징적인 것은 음에너지가 수렴구역을 통해 잘 전파되어 오다가 냉수역이 시작되는 80km 구간을 지나면서 음 에너지가 수렴구역에서 넓게 퍼지는 현상이다. 음원이 200m에 위치할 경우는 음원이 거의 음파통로축에 위치하므로 음파통로를 따라 전파되며 음파통로축이 냉수역으로 갈수록 알아지므로 냉수역에서 음파통로가 위치하는 100~200m 수심에서의 전달손실값은 난수역에 비해 상대적으로 낮다. 음원이 냉수역에 위치할 경우 냉수역에서의 음속은 앞에서 언급했듯이 표층에서 수심에 따라 급격히 작아지며 음파통로도 난수역보다 낮은 100m 정도에 위치하기 때문에, 난수역과 달리 음원이 50m에 위치하여도 음원에서의 음속이 난수역에 비해 상대적으로 작으므로 음 에너지는 주로 굴절을 통해 전파된다. 또 표층에서의 강한 수직음속경사로 반사되거나 굴절된 음 에너지들이 표면까지 도달하지 못하게 된다. 수렴구역은 약 25km 간격으로 형성되고 난수역이 본격적으로 시작되는 50km 구간을 지나면서 수렴구역에서의 음 에너지가 분산된다. 음원이 100m에 위치할 경우 음원에서의 음속은 더욱 작아지므로 수렴구역 또한 음원이 50m에 위치할 경우보다 짧은 20km 간격으로 형성되며 특징적인 것은 난수역이 시작되는 50km 구간을 지나면서 음 에너지가 심층으로 분산되는 형태를 보인다. 음원이 200m에 위치할 경우에는 거의 음파통로에 음원이 위치하게 되므로 음 에너지들이 음

파통로에 포획되어 장거리까지 잘 전파된다. 음파가 난수역으로 전파하면서 음속최소층이 깊어지므로 음 에너지는 음파통로에 포획되어 전파하게 되며 따라서 음파통로 상층부인 수심 100~200m에서의 전달손실은

증가하게 된다.

겨울철의 경우 표층음속은 난수역에서 1480m/sec 내외, 냉수역에서 1455m/sec의 분포를 보이며 수심 300m까지 수평적인 음속구배를 보인다(Fig. 8). 난수역의

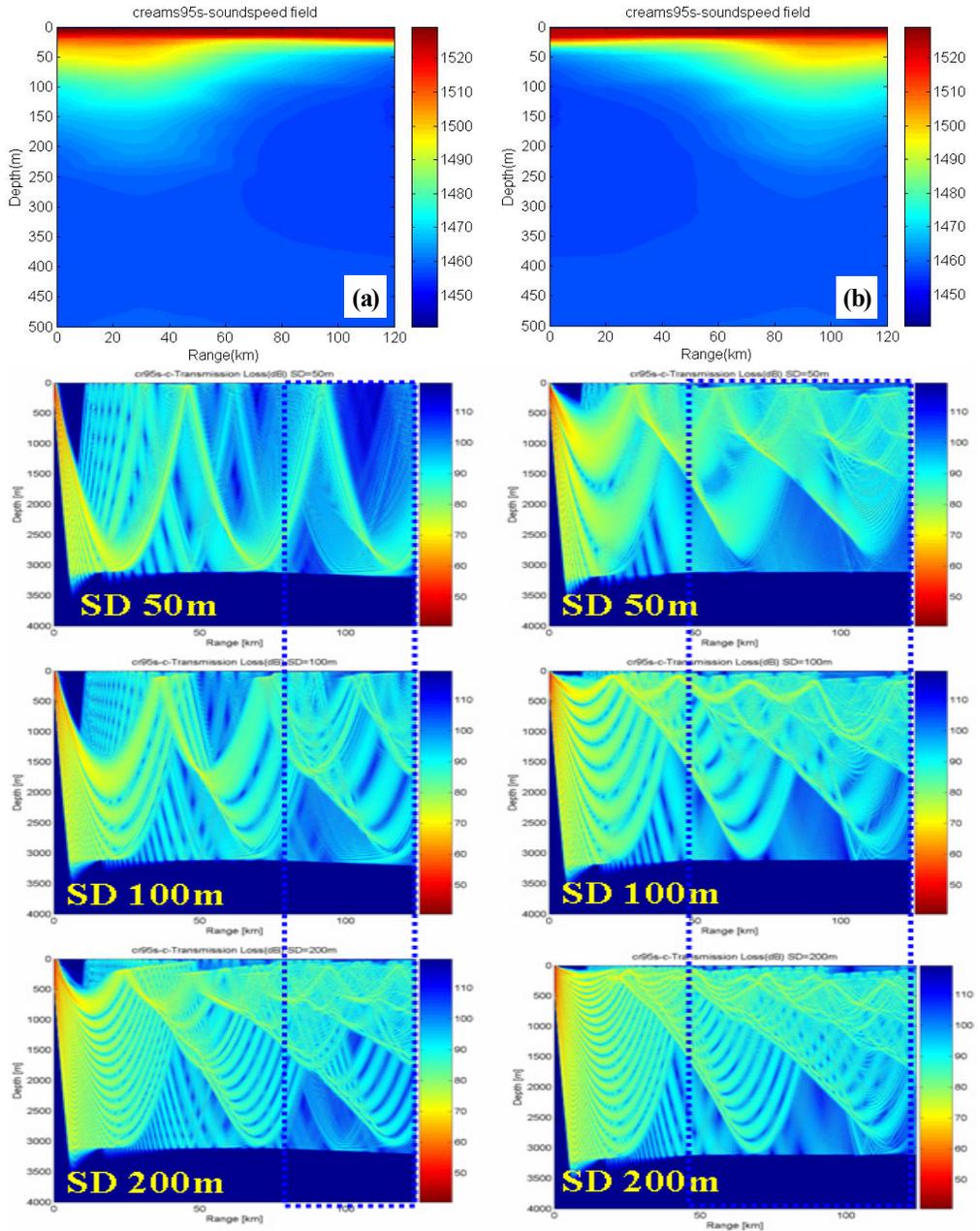


Fig. 7. 여름철 (a) 난수역 → 냉수역 음속장, (b) 냉수역 → 난수역 음속장을 기준으로 한 음원 수심별 전달손실 양상

수심 50m에 음원이 위치할 경우 음원에서의 음속은 여름철에 비해 상대적으로 작아서 음 에너지는 여름철의 경우보다 굴절을 통해 더 많이 전파한다. 수렴구역은 약 40km 간격으로 발생하며 냉수역이 본격적으

로 시작되는 100km 구간 이후로는 수렴구역에서 음 에너지가 넓게 분산된다. 음원이 100m에 위치할 경우에는 음원에서의 음속이 낮아져 수렴구역 또한 음원이 50m에 위치할 경우보다 짧은 약 30km 간격으로

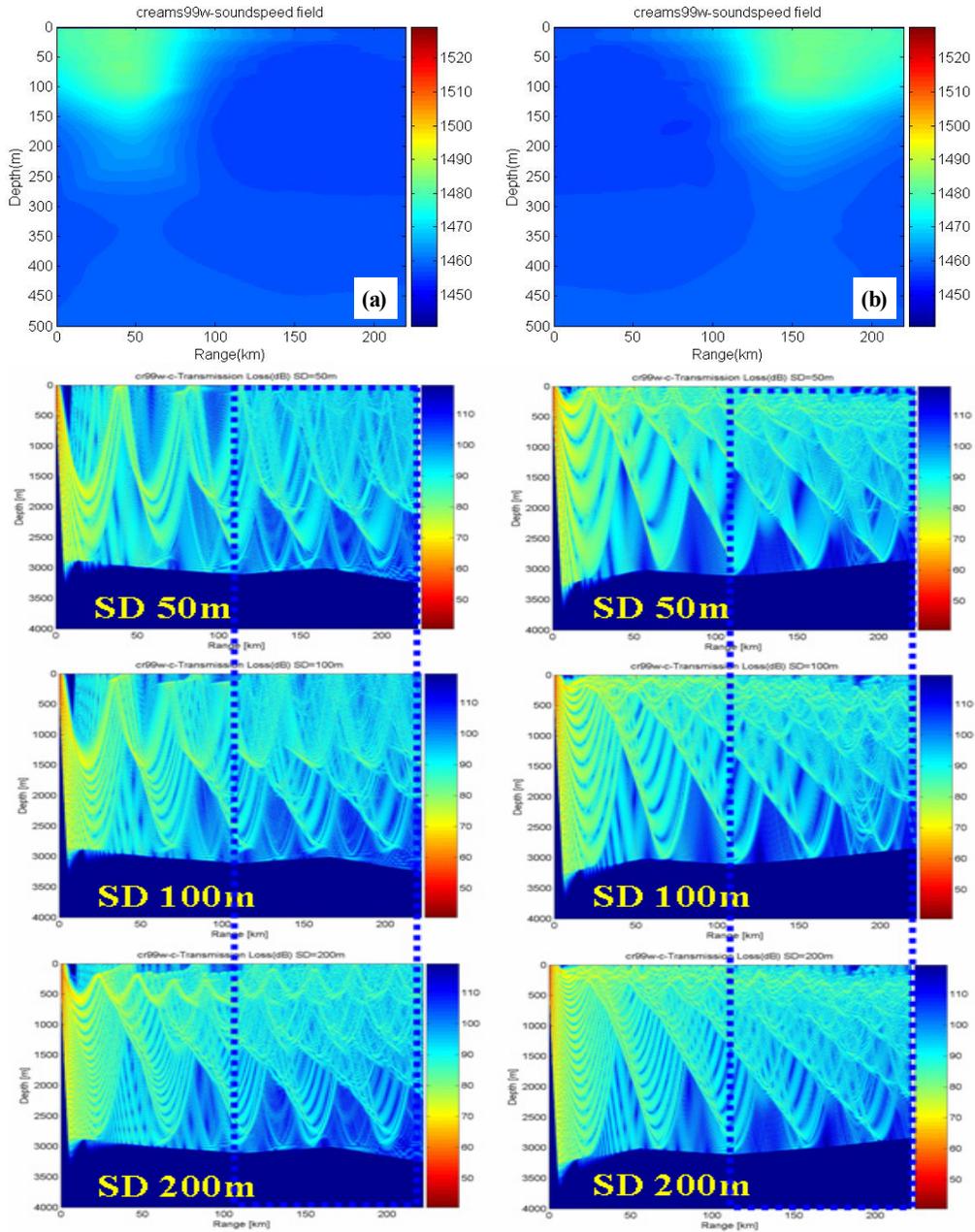


Fig. 8. 겨울철 (a) 난수역 → 냉수역 음속장, (b) 냉수역 → 난수역 음속장을 기준으로 한 음원 수심별 전달손실 양상

발생하며 수렴구역을 통해 잘 전파되어 오던 음 에너지는 냉수역이 시작되는 100km 구간을 지나면서 표층에서부터 수심 1000m까지 넓게 퍼진다. 음원이 200m에 위치할 경우는 여름철과 마찬가지로 음원이 거의 음파통로축에 위치하게 되어 음파통로를 따라 전파되며 음파통로축이 냉수역으로 갈수록 얕아지므로 음파통로가 위치하는 200m이심에서의 전달손실은 난수역에 비해 상대적으로 낮아진다. 음원이 냉수역에 위치할 경우에는 냉수역에서 표층음속이 1455m/sec로 난수역에 비해 작은 값을 가지고, 음속최소층이 거의 표층에 위치하는 정음속 경사를 보이므로 난수역과 달리 음 에너지가 표층에 포획되어 장거리까지 전파되며, 음원이 100m, 200m에 위치할 경우에는 음 에너지가 음파통로에 포획되어 장거리까지 잘 전파된다.

5. 요약 및 결론

아극전선은 동해를 가로지르는 매우 현저한 해양현상으로 해양학계에서는 폭넓게 연구되고 있으나 군사적 응용 측면에서의 연구는 미흡한 실정이었다. 본 연구는 최신 해양관측자료를 활용하여 아극전선을 중심으로 수중음향과 관련된 해양환경을 분석하고 음향 모델을 사용하여 아극전선 환경에서의 수중음 전달양상을 연구하였다. 수심이 깊은 동해 아극전선 환경의 음 전달 특성에서는 기존에 연구된 천해의 전선 환경에서와 달리 경계면 반사보다 굴절 효과가 전반적으로 중요해지며, 이 굴절은 음속 구조에 좌우되어 전선을 경계로 음원이 난수역 쪽에 위치하는 경우와 냉수역 쪽에 위치하는 경우에 뚜렷한 차이를 보인다. 동해의 아극전선역을 기준으로 전선 이북의 냉수역과 그 이남의 난수역에서는 여름철과 겨울철 모두 극명한 음속 수직구조의 차이를 보여, 냉수역보다 난수역에서는 음속최소층이 깊고 그 수직 음속경도는 작다. 따라서 난수역 쪽에 음원이 위치하게 되면, 수렴구역 형태의 음전달 특성을 보이며 비교적 멀리까지 전파하지 못하는 반면, 냉수역 쪽에 위치하는 경우에는 음속이 상대적으로 낮고 음속최소층도 얕아 강한 하향굴절과 상향굴절을 반복하며 장거리까지 전파될 수 있음을 확인했다. 또한 동해 아극전선역 음 전달 특성은 계절에 관계없이 냉수역에서 전달손실이 난수역에 비해 작게 나타난다. 금번 모의실험이 저주파 음파를 모의한 것이므로 추후 고주파를 포함한 다양한 주파수영

역에서의 음파전달 모의실험을 실시하여 이와 같은 결과가 나타나는지 확인해보도록 하겠다.

아극전선 뿐만 아니라 동해에서 나타나는 해양현상들은 변동이 매우 심하므로 해양의 군사적 이용측면에서는 지속적인 원격 및 현장 해양관측으로 해황을 파악하는 것이 중요하며 해양환경모델과 연동하여 관측된 해양자료를 바탕으로 한 음파 전달양상을 분석하여 실시간/준실시간으로 활용할 수 있는 체계를 구축하는 것이 필요하겠다.

References

- [1] An, H. S., Shim, K. S. and Shin, H. R., On the Warm Eddies in the Southwestern Part of the East Sea(the Japan Sea), *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29(2), 152~163, 1994.
- [2] Park, K. A., Chung J. Y. and Kim, K., Sea Surface Temperature Fronts in the East(Japan) Sea and Temporal Variations, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07304, 2004.
- [3] Park, K. A., D. S. Ullman, K. Kim, J. Y. Chung, and K. R. Kim, Spatial and Temporal Variability of Satellite-Observed Subpolar Front in the East/Japan Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L05610, doi : 10.1029/2004GL022197, 2007.
- [4] 송영일, ‘수중음향의 이해와 해양 및 음향 환경’, 해군사관학교 교재, 2002.
- [5] 박경주, ‘동해 연안한류수역의 시공간적인 변화와 탐지거리에 관한 연구’, 군사과학대학원 석사학위논문, 1998.
- [6] 양승주, ‘남해 동부해역에서의 연안 수온전선과 저질특성에 따른 탐지거리 예측’, 군사과학대학원 석사학위 논문, 2001.
- [7] 임세환, 윤재열, 김윤배, 남성현, ‘동해 북부해역의 수중음파전달 양상’, 군사과학기술학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 52~61, 2007.
- [8] Collins, M. D., “A Split-Step Pade Solution for Parabolic Equation Method”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 93 : 1736~1742, 1993.
- [9] Urlick, R. J., *Principle of Underwater Sound*, McGraw-hill Book Company, New York 3rd ed., pp. 147~197, 1983.