

기후변화에 따른 수중음향환경 변화

임세한*

* 해군사관학교 해양학과

Impact of Climate Change on Underwater Acoustic Environment

Sehan Lim*

Abstract :지구 온난화에 따른 기후변화에 의해 전 지구적 해양환경이 바뀌고 있다. 해양은 지구의 기후조절자 역할을 하고 있으나 해양의 온도가 빠르게 상승하여 열팽창으로 인한 해수면 상승과 더불어 그 양상도 해양의 표층은 온도가 올라가고 200m 이상 수심에서는 온도가 떨어지는 경향을 보인다. 이와 같이 기후변화에 따른 해양온도구조의 변화는 해양물리/화학/생물/인간의 해양활동 등 전반에 걸쳐 영향을 미치게 된다. 이러한 영향은 결국 음속구조와 음향전경의 변화를 초래하게 되므로 변화하는 수중음향환경은 어떤 양상인지를 고찰하였다. 또한, 전 지구 평균보다 빠르게 온도가 올라가고 있는 우리나라 근해의 기후변화 현황을 소개하였다.

Key Words : Climate Change, Underwater Acoustic Environment, East Sea

1. 서론

급변하는 지구온난화(Global Warming)로 인해 전 지구는 이상 가뭄, 홍수, 폭우, 폭염, 폭설 등 자연재해로 연일 몸살을 앓고 있다. 이러한 이상 기상(Abnormal weather)은 해양-대기 상호작용으로 조절되어온 지구의 기후 시스템에 문제가 발생하였음을 드러내는 현상으로 지구온난화로 인해 인류가 오랜 세월동안 익숙하게 살아왔던 장기간의 지역적 평균 기상 상황인 기후(Climate)가 변화하고 있는 것이다. 기후변화 문제에 대처하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년에 공동 설립한 국제기구인 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 2014년 발표한 제5차 보고서에 따르면 “인간은 기후 시스템에 명백한 영향을 미치고 있다. 최근 배출된 인위적 온실가스의 양은 관측 이래 최고 수준이며, 기후변화는 최근 인간계와 자연계에 광범위한 영향을 주고 있다”고 한다. 또한 동 보고서는 “기후 시스템이 온난해지고 있다는 것은 자명한 사실이며, 1950년대 이후 관측된 변화의 대부분은 수십 년에서 수천 년 내 전례 없던 것이다. 대기와 해양의 온도 및 해수면은 상승하고 있는 반면 눈과 빙하의 양은 감소하고 있다.”며 현재 인류가 당면하고 있는 기후변화의 원인이, 인간이 배출해낸 온실가스의 영향으로 인한 지구온난화이며 이로 인한 기후 시스템의 변화가 전례가 없음을 경고하고 있다^[1].

이와 같이, 해양과 대기는 끊임없이 상호작용을 통해 기후변화를 주도하고 있다. 전 지구 표면의 70%를 차지하는 해양은 그동안 더워진 대기의 열을 흡수하고 저장함으로써 대기를 식혀주는 역할을 했다. 그런데 바다도 100년 전에 비해 열적 수용 능력에 한계를 보여주고 있으며 바다로 흡수된 열은 해수를 팽창시켜 해수면을 상승시키고 따뜻한 해수에 의해 남극-북극의 빙하가 녹아내리는 등 기후의 조절자 역할을 해온 해양의 변화가 갈수록 심화되고 있다. 최근, 전 지구 해양의 온도가 매년 기록을 경신하며 오르고 있을 뿐만 아니라 이전에 예측됐던 것보다 훨씬 빠르게 진행되고 있다는 연구결과가 나왔다. 중국과 미국 기후과학자 연구팀은

해양의 온도가 유엔 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)'가 5차보고서에서 예측했던 것보다 40 %나 더 빠르게 상승하고 있으며, 몇 년째 연속으로 최고 수온 기록을 깨고 있다고 밝혔다^[2].

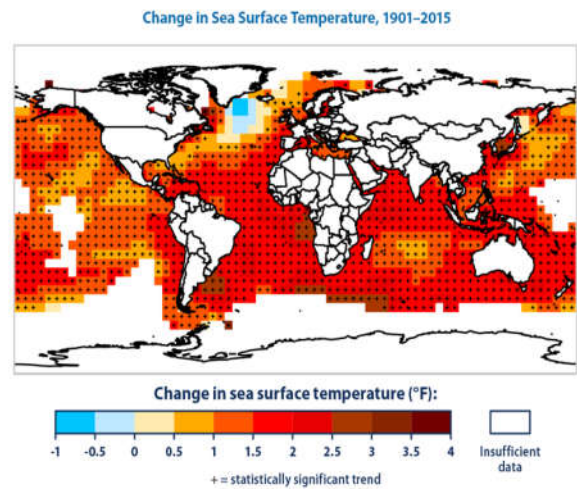


Fig 1. Variation of Global sea surface temperature from 1901to 2015^[1].

한편, 이와 같이 기후변화에 의한 해양 온도의 변화가 본격화되고 있는 상황에서 최근 밝혀진 새로운 사실은 해양 표층의 온도는 상승하지만 표층에서 200 m 아래의 수심에서는 온도가 내려가는 경향성이 확인된 것이다. 즉, 전 지구적 표층 0m 수심 평균온도와 200 m 수심 평균 온도의 차이가 갈수록 커지고 있으며 1971년에 비해 2010년의 차이가 0.25 °C 더 커졌다. 이는 수온약층내 수온구배(Gradient)가 더 커지고, 밀도의 성층화도 약 4 % 정도 더 증가되었으며, 수심에 따른 음속변화율도 더 커지고 있다고 볼 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 기후변화가 수중음향환경에 미칠 수 있는 영향을 고찰해보고 기후변화에 따른 우리나라 근해 해양환경 변화와 실해역 해양관측자료를 활

용하여 수온의 수직구조에 어떠한 변화가 일어나고 있는지 알아보았다.

2. 기후변화가 수중음향환경에 미칠 수 있는 영향

기후변화에 따른 해양의 변화는 먼저 해양물리현상의 특성이 바뀌고 있다는 것이다. 대표적으로 해수표면의 수온이 상승함으로써 한류역과 난류역의 경계인 수온전선의 위치와 길이, 온도차이가 바뀌고 있다. 또한 해양 표층해류 운동의 주 에너지원인 해상풍의 세기가 점차 강해지고 있고, 해수표면온도가 올라갈수록 파랑에너지의 크기도 커지고 있다는 분석이 보고되고 있다. 한편 대기 중 증가하는 이산화탄소(CO₂)가 해양으로 흡수되어 해양 산성화(Ocean Acidification)가 진행되고 있음도 잘 알려진 사실인데 현 기후변화와 같은 속도로 해양 산성화가 진행된다면 2100년경에는 해수조성물질 중 음파 흡수와 관련된 미량원소의 변화로 인해 1 kHz 이하의 저수파 대역에서 음에너지 흡수율이 50 % 정도 감소할 수 있다는 연구결과도 나와 있다. 그리고 이러한 해양물리-화학적 변화는 해양생물의 생태에 영향을 미치고 있어 서식지가 바뀌어 아열대 어종이 동해 중부해역에 나타나고 오징어, 고등어 등 연근해 어종이 북상하거나 이동하고 있으며 해양산성화에 따라 연근해 저서환경이 황폐화되고 있는 등은 잘 알려진 사실들이다.

Lynch 등^[3]은 대륙붕과 대륙사면 이내 수심(연안으로부터 대략 수심 2000 m 이내)인 연근해에서 기후변화에 의한 수중음향환경 영향 효과를 6가지 측면에서 제시하였다. a) 해수온도의 상승에 따른 음속증가로 해수와 해저 저질간의 음향 임피던스가 달라지며, b) 연안 수온전선의 형태와 위치가 달라지게 되고, c) 일반적으로 연안에서 하향굴절이 지배적이거나 수온 구배의 변화로 인해 내해에서 외해로 음파전달이 산란으로 제한되고, d) 해상상태가 거칠어짐에 따라 표층에서 음파산란이 커지고, e) 해양생태계의 변화와 선박운항경로나 형태의 변화에 의해서 음향전경 즉 해양의 배경소음양상이 변화하고, f) 북극해와 같이 음속수직구조가 변화하여 중-고주파 음향의 전달이 양호해질 수 있다는 것이다(Fig. 2). 이러한 수중음향환경의 변화는 현재에도 계속 진행되고 있으며 해군의 대장 작전/잠수함 작전 또는 수중통신, 수중항재운용 등에도 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 기후변화가 우리나라 근해 해양환경에는 어떠한 영향을 미치고 있는지 파악하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

3. 우리나라 근해 기후변화 현황

한반도 전 해역(△서해 △남해 △동해)의 7월 평균 수온은 2010년 이후 연 0.34℃씩 상승해, 1997년(수온 최초 관측해) 이후 7월 평균 수온 상승 경향인 연 0.14℃보다 약 2.4배 높게 나타났다.(Fig.3) 특히, 서해는 7월 월평균 수온이 1997년 이후 연 0.17℃씩 오르다가 2010년부터 연 0.54℃씩 증가해 가장 큰 상승폭을 보였고, 남해와 동해의 7월 월평균 수온은 각각 연 0.30℃와 0.21℃씩 증가한 경향을 보였다. 서해의 8월 평균 수온은 2010년 이후 연 0.45℃씩 상승하였으나, 남해와 동해의 수온은 각각 연 0.36℃와 0.37℃씩 상승해, 7월보다 더 크게 상승했다.

한편, 미국 해양대기청(NOAA)의 극궤도 위성이 관측한 2016년~2018년의 7월 평균 수온 분석 결과 발표에 따르면, 한반도 주변 해역의 고수온 영역이 지속적으로

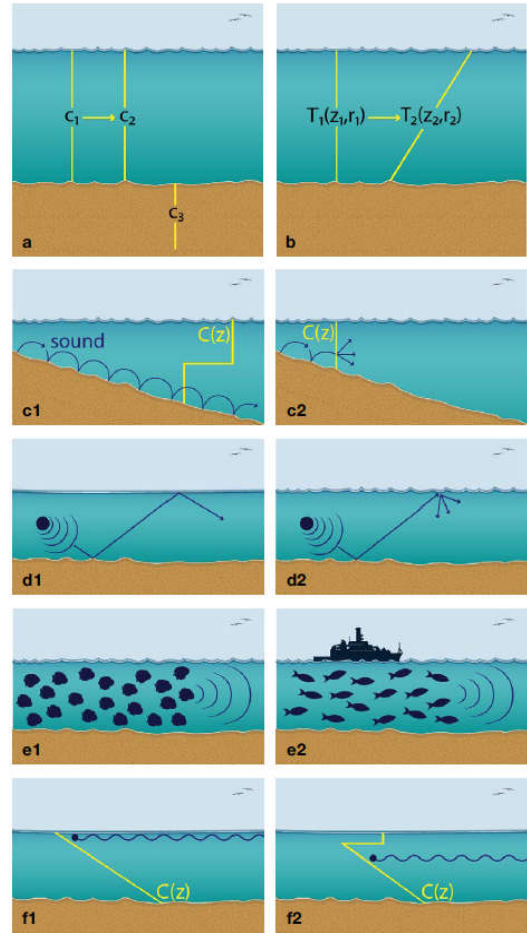


Fig 2. Possible effects of climate change on coastal acoustics. (a) Increase in water column sound speed that changes acoustic impedance contrast with the bottom. (b) Movement and change of shape of a coastal temperature front. (c1) Sound “flowing downhill” in a usual coastal downward refracting profile. (c2) Movement of a frontal feature blocking seaward propagation by scattering sound. (d1) Scattering from a relatively calm air-water interface. (d2) Increased (or decreased) surface sound scattering loss due to possible changes in wind patterns. (e1) Soundscape due to pre-change fauna and shipping. (e2) Soundscape due to changed fauna and shipping patterns. (f1) Pre-warming Arctic surface acoustic duct. (f2) Present Arctic subsurface duct, with better mid- to high-frequency acoustic propagation characteristics^[3].

북쪽으로 확장하고 있음을 확인됐다. 2016년에는 7월의 평균 25℃ 등수온선이 태안과 울산 인근 해역에서 나타났으나, 2017년에는 백령도와 속초, 2018년에는 평안북도도와 함경남도 인근 해역까지 북상한 것으로 나타났다. 이러한 수온 증가는 결국 해양의 열팽창효과를 야기시키게 되어 해수면 상승으로 이어지게 된다. 우리나라 근해의 해수면높이관측을 꾸준히 해오고 있는 국립해양조사원의 분석에 따르면 우리나라 주변해역의

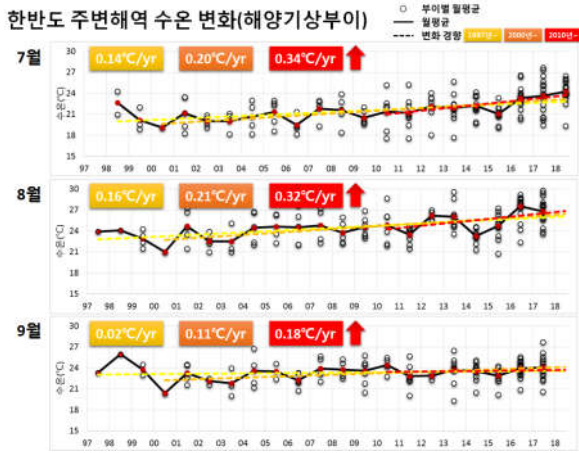


Fig. 3. Variation of sea water temperature in the Korean Sea (KMA, 2018)

해수면 상승률은 2.90mm/yr로 동해가 3.70mm/yr, 남해안 3.09mm/yr, 서해안 2.07mm/yr로 IPCC 4차 보고서에서 제시한 전 세계 해양평균 1.7mm/yr에 비해 매우 빠르게 상승하고 있음을 알 수 있다(Fig. 4).

우리나라 주변 해역 중 특히 동해의 해수면 상승과 수온 증가가 빠르게 진행되고 있어 국립수산과학원의 현장관측자료를 활용하여 수온변화 양상을 확인해보았다. 자료에 따르면 동해의 표층수온은 증가하고 있으나 수온 100m 층에서는 $-0.025^{\circ}\text{C}/\text{yr}$ 로 감소하고 있는 것을 확인할 수 있었다^[4](Fig.5). 이는 동해 중부해역을 격월 간격으로 정선 관측하는 국립수산과학원의 1965년-2005년간 8월 관측자료에도 잘 나타난다. 그림 7에서 알 수 있듯이 1965년에 비해 2005년이 표층 100m 이내 수심의 수온이 더 높고, 수심에 따른 수온의 변화가 더 크며 수온 2°C 이하의 차가운 해수가 수심 100m 정도까지 분포하고 있다(Fig.6).

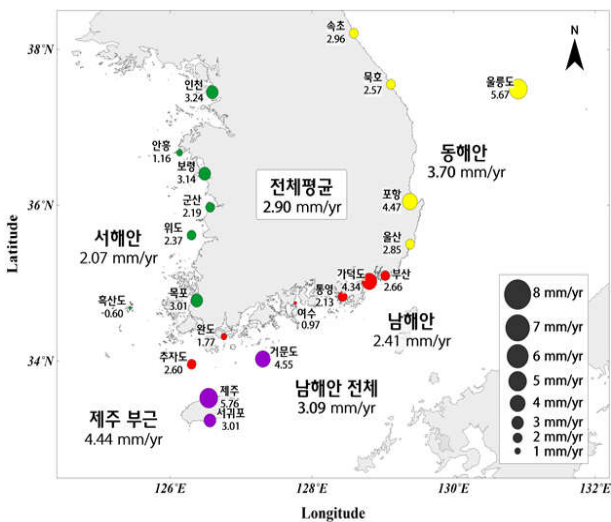


Fig.4. Annual sea level rise rate of the Korean Sea (KHOA, 2018)

4. 결론 및 토의

기후변화는 전 지구적인 현상이며 해양온난화(Ocean Warming)도 빠르게 진행되고 있다. 이러한 기후변화는

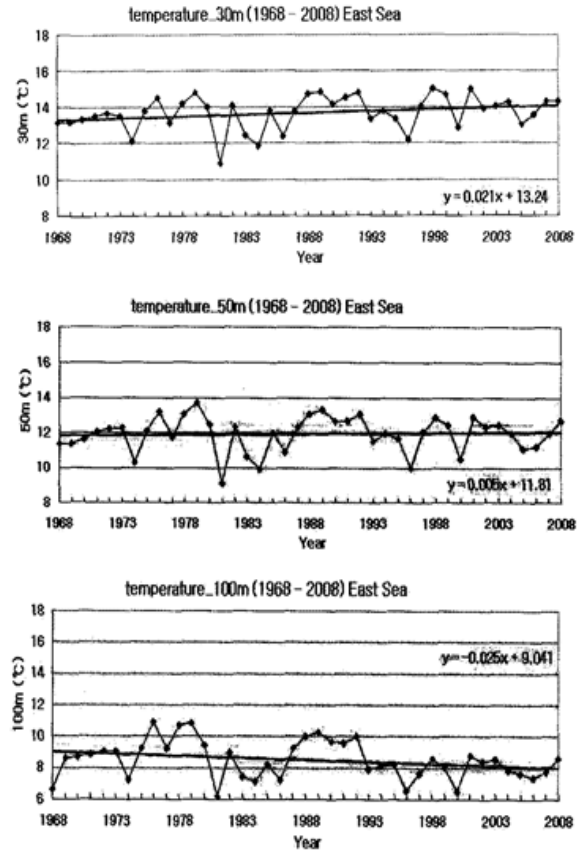


Fig.5. Variation of mean sea water temperature in the East Sea from 1968 to 2008^[4]

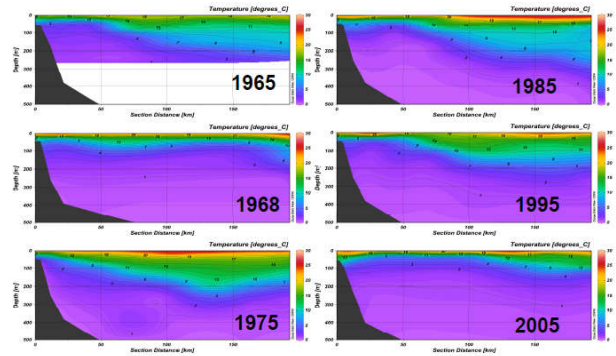


Fig.6. The section of seawater temperature at August in the central area of the East Sea from 1965 to 2005 by National institute of fisheries science's serial oceanographic observation

수중음향환경에도 많은 변화를 야기시키고 있으며 수중 음향을 활용하는 군사적/비군사적 활동이나 각종 체계 운용시 변화하는 수중음향환경을 파악하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 게다가 우리나라 주변 해역은 해양온난화의 정도가 대양에 비해 빠르게 진행되고 있다. 우리나라 주변 해역에 대한 수중음향환경 변화 정보를 모니터링 할 수 있는 체계가 미흡한 실정이지만 다행히 해양관련 국가기관의 해양관측정보들을 활용한

다면 변화의 양상을 어느 정도는 파악해 나갈 수 있을 것이다. 다만, 지금이라도 수중음향환경 변화를 모니터링 할 수 있는 해양배경소음 녹음 및 분석 체계를 갖추어 나가는 것이 관련 무기체계의 운용과 개발을 보다 효과적으로 가능케 하는 선결사항이 될 것이다.

References

- [1] IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32.
- [2] Cheng L., Abraham J., Hausfather Z., Trenberth K. E., How Fast are the Oceans Warming, Science 11 Jan 2019: Vol. 363, Issue 6423, pp. 128–129, DOI: 10.1126/science.aav7619
- [3] Lynch, J.F., G.G. Gawarkiewicz, Y.-T. Lin, T.F. Duda, and A.E. Newhall. 2018. Impacts of ocean warming on acoustic propagation over continental shelf and slope regions. *Oceanography* 31(2):174–181, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.219>.
- [4] Seung et al, 2010, Characteristic for long-term trends of temperature in the Korean waters, Journal of the Korean society of Marine Environment & Safety,16,353–360