해양과학기지에서 수행한 염분 표류 방지 실험 결과 및 염분 고품질 시계열 자료 생산을 위한 제언

Salinity drift prevention experiments in the Korea ocean research stations and suggestions for high quality salinity observation

이재익 · 이수찬 · 정종민 · 민용침 · 정진용 · 김용선
한국해양과학기술원

Jaek Lee · Suchan Lee · Jongmin Jeong · Yongchim Min · Jin-Yong Jeong · Yong Sun Kim
Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Rep. of Korea

Abstract

The importance of salinity has been highlighted to cope with climate changes and disaster prevention. The salinity of accuracy up to 0.005 is normally required in an open ocean to understand various oceanic and climatic phenomena; however, the reliability of salinity measured on the coast and open seas around Korea was low due to the lack of a standardized observation system and post-processing of quality verification. Korea Ocean Research Stations (KORS) has been producing salinity time series since 2003 through the Aanderaa conductivity-temperature (CT) 3919 inductive sensors, which have an advantage of on-site maintenance but tend to drift toward a lower conductivity because of biological attachments to the sensor. This study applied copper taping and UV light exposure techniques to the sensors and then compared its salinity measurements with RBR CTD mooring observations and SeaBird19 CTD profiles to assess a biofouling effect on salinity observations. This experiment shows that the salinity from the CT sensor without biofouling prevention starts to drift in a week, particularly for a surface sensor. This biofouling induced the decrease of salinity up to 10 in a month. The copper taping methodology efficiently suppressed the biological attachment but disturbed an electromagnetic field around the sensor, thus resulting in unrealistic salinity values. When UV light was periodically exposed at a distance of about 5 cm away from the CT sensor, relatively stable salinity could be observed without significant drift at least in two months. Besides, the SBE37 CTD, an electrode-type sensor, seems to be relatively free from biofouling but has difficulties in sensor maintenance and a sensor calibration process. Our results underline a double installation of salinity observation equipment with UV light exposure. In addition, the pre-calibration of a CT(D) sensor and post-verification should be included in a standard procedure for high-quality salinity measurement.

Keywords : salinity, bio-fouling, drift, UV light, KORS

1. 서론

해양에서 관측되는 다양한 변수 중에서 염분은 수온과 함께 해수 물성을 규명하는 핵심 변수로, 해양 생태계와 해양 환경의 변동성을 이해하는데 중요한 역할을 한다. 특히, 해수 성층, 혼합층 깊이, 역학적 고도, 지형류 등 다양한 해양 물리 응용 변수 계산에 있어 염분은 필수적이며, 수괴 분석을 포함한 해양 역학 및 기후 변동 연구를 가능하게 한다.

최근 한국 주변해의 해양 환경 및 기후 연구를 살펴보면, 염분 관측 자료는 양자강 저염분수 모니터링, 태풍 급강화 기작, 혼합층 하단부의 경계층 형성, 해양열파 발생 기작 분석 등 다양한 연구(Kim et al. 2018; Ha et al. 2019)에서

활용되었으며, 재해 예방 및 기후변화 대응 측면에서 그 중요성이 강조되고 있다(Tsuchiya 1968; Lukas and Lindstrom 1991; Belkin 2009; Park et al. 2015; Kim et al. 2018). 이 뿐만 아니라 염분 관측 자료는 위성의 원격 감지 반사율을 통해 산출한 염분 자료의 정확도를 높이거나(Kim et al. 2020), 자료동화 수치 모형의 입력 자료로 활용하여 모형 예측 성능을 높여 다양한 시간 규모의 해양 재해 및 기후변화를 예측할 수 있다는 점에서도 의의를 가지고 있다(Choo et al., 2021).

염분 관측 자료의 활용도가 높아짐에 따라, 이 자료의 정확도를 높여려는 다양한 연구들이 수행되고 있다. 대양에서 획득한 염분 관측의 경우, 0.005이상의 높은 정확도를 요구하고 있다(Ando et al., 2005). 하지만, 한국 주변 해역과

같은 대륙붕 해역에서 수행된 관측선 및 계류 관측의 경우에는 정확도와 관측 자료의 처리 절차에서 다소 문제가 있으며(Oh et al., 2006; Kim et al. 2020; Park et al. 2020; Park 2021), 수온 자료에 비하여 염분 자료의 정확도를 높이려는 노력도 상대적으로 부족하였다. 특히 생물 활동이 활발한 연안에서 센서를 계류하여 장기간 관측을 수행할 경우 시간에 따른 염분 센서 자체의 표류(drift; Ando et al., 2005) 뿐만 아니라, 봄 번성 이후 센서 주변에 따개비와 같은 해양 생물의 부착으로 전기 전도도가 영향을 받아 결과적으로 염분 자료의 정확도가 현저히 감소하게 된다. 이런 생물 오손을 포함하여 염분 자료의 오류를 파악하고 이를 최소화하려는 학술적 연구가 거의 없었다.

국립해양조사원과 한국해양과학기술원은 해양과 대기 환경에 대한 지속 가능한 관측의 중요성 때문에 황해와 동중국해에서 이어도(2003년), 가거초(2009년), 소청초(2014년) 해양과학기지를 구축하여 해양-대기 자동 모니터링 시스템을 운영하고 있다(Fig. 1). 해양과학기지는 해양과 대기의 다양한 변수를 관측하고 있어 해양과 대기 환경 변화

모니터링 및 장기 변동성을 연구할 수 있는 플랫폼 형태의 무인 관측 시스템이다(Ha et al., 2019; Kim et al. 2019; Byun et al., 2021). 수온과 염분을 관측하기 위해 이어도 해양과학기지는 표층(3m), 중층(20.5m), 저층(38m), 그리고 가거초와 소청초 해양과학기지는 표층(3m)에 Aanderaa사의 CT3919 전도도-수온(Conductivity-Temperature, CT) 센서를 설치하여 운영하고 있다.

수온의 경우에는 그 정확도와 오차, 품질관리 절차가 비교적 정확하게 알려져 있어(Min et al., 2020), 기후 변화에 따른 해양 환경 변동성 및 영향, 그리고 악기상 발생에 따른 해양 대기 상호작용 융합 연구 등에 대기 관측 자료와 더불어 다각도로 활용되고 있다(Kim et al. 2019; Ha et al., 2019; Byun et al., 2021). 하지만, 염분 자료의 경우에는 수온에 비하여 활용 연구가 극히 드물다. 이는 위에서 언급한 바와 같이 염분 자료와 관측 절차의 정확성에 대한 의구심에 기인한다(Oh et al., 2006; Park 2021). 해양과학기지에서 관측된 장기간 염분 시계열 자료의 활용도를 제고하고 기후 연구 및 재해 예측을 통한 미래 기후변화 대응을 위하여, 해양

Fig. 1. The geographic location of the Korea Ocean Research Stations in the Yellow and East China Seas (the upper left-hand map) with the schematic diagram for observing sensors on the Ieodo Ocean Research Station (I-ORS).

에서 가장 기본이자 핵심 변수인 염분 자료의 정확도를 향상시키는 학술적 연구가 반드시 선행되어야 한다.

본 연구는 이어도와 소청초 해양과학기술지에서 다양한 센서로 관측한 염분 시계열 자료의 특성을 파악하고, 일련의 실험 결과를 바탕으로 해양과학기술지에서 관측한 기존 염분 시계열 자료와 함께 개선된 방법으로 관측한 자료에 대한 특성을 기술하고자 한다. 특히 장기간 연안에서 염분을 관측할 경우 발생하는 생물 부착에 따른 염분 표류 현상을 확인하였고, 생물 부착 방지에 도움이 된다고 알려진 구리 테이프와 자외선(UV light) 노출 실험을 통해 시간 변화에 따른 염분 관측값의 변화를 확인하였다. 또한, 이 자료를 염분 시계열 자료를 검교정이 완료된 SBE19 CTD 수직 관측 자료와 비교를 수행하였으며, 두 자료 간 오차에 대한 표준편차 및 편향 정도를 제시하였다. 마지막으로 해양과학기술지에서 관측된 고품질 염분 시계열 자료의 활용 사례 및 황해에서 장기간 염분 관측이 가능한 방법을 논의하였다.

2. 염분 관측 센서 종류 및 실험 방법

2.1 염분 관측

해양과학기술지에서는 2003년 이후부터 기본 관측 장비로 유지보수가 용이한 유도식 센서 타입인 Aanderaa 사의 CT3919 (이하, CT3919) 장비를 사용하고 있으며, 2017년 이후 전극식 센서 타입인 Seabird 사의 SBE37 CTD(이하, SBE37)를 동일한 수심에 추가로 설치하여 사용하고 있다. 2015년 이후 CT3919의 낮은 정확도를 보완하기 위하여 CT3919과 동일한 측정 방식을 사용하는 RBR사의 RBR concerto³ CTD (이하 RBR)를 추가로 설치하여 사용하였다. 수온 및 전도도 관측이 가능한 CT3919와는 달리, RBR은 수온, 전도도와 함께 압력도 측정할 수 있으며, 수온과 전도도의 정확도가 각 0.0003mS/cm, 0.002°C로 매우 높아(Table 1) CT3919의 낮은 정확도를 보완할 수 있다. 그러나, 유도식 센서의 특성

상 생물 부착에 의해 염분 표류 현상이 일어날수 있기 때문에 CT3919와 동일하게 주기적인 센서 세척이 필수적이다. 해양과학기술지에서 사용하고 있는 염분 관측 장비들의 종류와 특징, 그리고 장단점을 Table 1에 정리하였다.

2.2 생물 오염 방지에 따른 염분 변화 실험

본 연구에서는 유도식 센서인 CT3919와 보다 정확도가 높다고 알려진 RBR, 전극식 센서인 SBE37의 생물 오손에 의한 염분 표류 정도를 파악하였다. 생물 오손 방제에 효과적으로 알려진 구리 테이핑 방법과 자외선 노출 방법을 CT3919 및 RBR에 적용하여 그 효과를 전극식 센서인 SBE37의 염분 관측값과 비교하였다. 2013년부터 5월부터 2018년 11월까지 총 네 번에 걸친 실험을 수행하였다. 각 실험의 기간과 부착 장비, 생물 오염 방제 기법에 대한 요약을 Table 2에 제시하였다.

첫번째 실험은 2013년 5월부터 12월까지 이어도 해양과학기술지에서 수행한 실험으로, 생물 오손을 고려하지 않고 CT3919로 염분의 연변동을 관측하였다. 이 실험은 해양과학기술지에서 관측되었던 염분 시계열 자료의 전형적인 특성을 보여주는 실험이다. 두번째 실험은 동일 정점에서 2016년 5월부터 10월까지 수행한 결과로 RBR의 전도도 센서 주변에 구리 테이프를 감아 생물 부착을 억제하였으며(Fig. 2(a)), 방제 처리를 하지 않은 CT3919의 염분 관측값과 비교하였다. 세번째 실험과 네번째 실험은 각각 2017, 2018년 소청초 해양과학기술지에서 수행하였으며, CT3919에 자외선을 주기적으로 노출하고 생물 오손을 고려하지 않은 RBR의 염분 관측치와 비교하였다. 그리고 두 실험 모두 Anti-foulant kit가 전도도 센서 입구에 붙어 있는 전극식 타입의 SBE37을 동일한 수심에 설치하여, 시간에 따른 염분 표류를 확인하였다. 세번째 실험에서 유도식 센서의 생물 오손 염분 표류를 방지하기 위해 자외선 발생 램프를 CT3919의 전도도

Table 1. Specification of the sensors used in this study with their advantages and disadvantages.

Sensors	Specification		Characteristic
Aanderaa CT39193		Conductivity [mS/cm] - Acc: .0018 - Res: .0002	Type: Inductive Type Advantage: Easy maintenance, Fast responsiveness Disadvantage: Biofouling, No pressure estimation, Low accuracy
		Temp [°C] - Acc: .1 - Res: .01	
RBR concerto CTD		Conductivity [mS/cm] - Acc: .0003 - Res: .0001	Type: Inductive Type Advantage: Easy maintenance, Fast responsiveness Disadvantage: Biofouling
		Temp [°C] - Acc: .002 - Res: .00005	
SBE37 CTD		Conductivity [mS/cm] - Acc: .0003 - Res: .00001	Type: Electrode Type Advantage: High accuracy/resolution Disadvantage: Difficult Maintenance, Requiring pre-/post-processing
		Temp [°C] - Acc: .002 - Res: .0001	

Table 2. Summary of anti-biofouling experiments of this study: sensors, period, and installed depths.

Experiment	Period	Site	Sensor Model/Depth	Antifouling Strategy
Exp. 1	2013.05.11 - 2013.10.01	I-ORS	CT3919 / 3, 20, 38m	-
Exp. 2	2016.04.30 - 2016.11.20	I-ORS	CT3919 / 3m	Copper taping
			RBR / 3m	
Exp. 3	2017.07.31 - 2017.11.01	S-ORS	CT3919 / 3m	UV light: 1cm apart from CT3919
			RBR / 3m	
			SBE37 / 5m	Included Anti foulant kit
			CT3919 / 3 m	UV light: 5cm apart from CT3919
Exp. 4	2018.06.25 - 2017.11.05	S-ORS	RBR / 3 m	
			SBE37 / 5 m	Included Anti foulant kit

Fig. 2. CT(D) sensors before and after experiments. (a) RBR CTD with copper taping in the experiment 2; (b) CT3919 with UV light exposure (1cm distance) for the experiment 3, and (c) same as (b) except distance of 5cm between the UV light and CT3919 for the experiment 4.

센서에서 대략 1cm 가량 떨어트려 설치하였다(Fig. 2(b)), 네 번째 실험에서는 실험3과 동일하나 자외선 발생 램프 설치에 따른 전기 전도도 간섭을 최소화 하기 위하여 CT3919의 전도도 센서로부터 5cm 가량 램프를 떨어뜨려 설치하였다(Fig. 2(c)).

첫번째 실험을 제외한 나머지 실험들은 실험 기간 동안에 센서 설치와 센서의 유지보수를 위해 해양과학기술지에서 체류 실험을 수행하면서, 고조와 저조시의 하루 두 차례 SBE19plus v2 CTD(이하, SBE19) 장비를 활용하여 수온과 염분의 수직 프로파일 관측을 수행하였다. 이 자료를 활용하여, 각 실험의 센서별 염분과 비교하여 염분의 차이 및 표류 정도를 확인하였다. SBE19 센서는 매년 제조사에서 검교정을 수행하였고, 본 연구에서 가장 신뢰할 수 있는 염분 자료를 생산할 것으로 가정하였다. 염분은 각 장비별 표준 절차에 의해 수온과 수압, 전도도를 통해 계산하였고(Choi et al., 2009), 압력 센서가 없는 CT3919의 경우 국립해양조사원에서 사용하는 것과 동일하게 압력을 10.13dbar로 고정하여 UNESCO(1983)에서 제시한 경험식으로 염분을 계산하였다.

2.3 염분 시계열 자료 품질 검증 절차

실험 결과의 분석에 앞서, 관측한 염분 시계열 자료의 품

질검증(Quality Control) 절차를 간략히 소개하고자 한다. Min et al.(2020)이 언급한 바와 같이 해양과학기술지에서 관측된 염분 시계열 자료는 센서의 특성 및 역동적인 해양 환경의 변화로 인하여 다양한 종류의 오류값들이 포함될 수 있다. 특히 해양과학기술지의 기본 수온 염분 시계열 관측 센서인 CT3919로 관측한 자료의 경우 센서의 특성으로 인해 계류 라인을 따라 흐르는 불규칙한 전류에 의해 민감하게 반응하여 썩기 형태의 오류값이 다수 포함되어 있다. 관측 케이블의 노후에 따른 누수 문제도 이러한 썩기 형태의 비정상적인 관측값을 표출할 수 있다. 또한 생물 오염에 의한 염분 표류나 센서의 유지보수 과정에서 센서가 공기중에 노출되는 등의 원인으로 인해 해당 해역의 관측 임계범위를 넘어서는 비정상적인 염분 자료 또한 존재한다. 본 연구에서는 생물오손에 의한 센서 표류에 집중하기 위해 Min et al.(2020)이 제시한 이동 표준편차 기반 변동성 검사를 포함한 범위검사, 동일값 검사로 구성된 자동 품질검증 알고리즘을 적용하였으며, 이 과정을 통해 염분 자료에 포함된 오류에 해당하는 이상치(outliers)를 최대한 제거하였다. 이 기법은 OOI(Ocean Observation Initiative)에서 제시한 생물오손을 분류하기 위한 선형 표류 검사를 포함하지 않는다. 이후의 논의에서 다루겠지만, 생물 오손의 경우 초기에는

선형 표류의 형태로 발생하나 이후에는 지수 함수나 다항 함수의 형태를 보이기 때문에 Min et al.(2020)이 제시한 품질검증 기법을 적용하여도 생물 오손의 영향이 남는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 과

3.1 실험1: 기존 염분 관측 방식 실험

해양과학기술지에서 CT3919로 관측되고 있는 염분 시계열 자료의 일반적인 특성을 확인하기 위하여, 생물 활동이 활발히 일어나는 2013년 5월부터 생물 활동이 줄어드는 12월 까지 7개월 동안의 이어도 해양과학기술지 계류 라인의 3m(표층), 20m(중층), 38m(저층)의 수심에 생물 오손 방제 처리를 하지 않은 CT3919를 설치하여 표준 실험을 수행하였다(Fig. 3). 이 실험은 해양과학기술지에서 생산한 과거 염분 시계열의 현황 및 특성을 보여주며, 이후 염분 고도화를 위한 실험 방향성을 설계하는데 활용되었다.

이 실험을 통해 얻어진 염분 시계열의 가장 눈에 띄는 현상은 지속적인 염분 하강이 반복적으로 나타난다는 사실이다(Fig. 3). 예를 들면 2013년 5월 초 CT3919를 설치한 후 표층 염분의 경우 한달 이내에 염분 수치가 31에서 26으로 급격하게 감소한다. 중층의 경우, 그 감소폭은 작지만 표층과 유사하게 염분이 하강하는 것을 확인할 수 있었다. 7월에 센서에 부착된 생물을 제거 및 세척을 수행한 이후 표층과 중층의 염분이 다시 31.4로 복원되는 것을 확인할 수 있다. 5월부터 7월까지 염분이 하강하는 것은 양자강 담수유입과 이동에 따른 저염수 발생과 같은 해양현상에 의해서 발생하는 것이 아닌, 생물 부착에 의한 것으로 사료된다(Woody et al., 2000). 7월초부터 8월말까지 표층의 경우 염분이 다시 20 이하로 떨어지는 현상이 발생하였다. 이는 생물 오손과 더불어 저염수의 유입에 의한 결과로 판단된다. 10월 초 센서의 세척 이후에도 염분이 지속적으로 하강하는 현상이 여전히 나타났으며, 이 또한 생물 오손에 의한 표류로 보인다. 이 실험은 생물 오손 방제 처리 없이 유도식 센서를 장기간 설치하여 염분을 관측할 경우, 생물 활동이 비교적 적은 바닥층을 제외하고 한달 이내에 염분 표류가 최대 10

이상으로 발생하여 실질적인 해양의 염분 관측이 불가능함을 보여준다. 이후 실험에서는 생물 오손에 의한 염분 표류가 가장 심한 표층에 CT(D) 센서를 설치하여 시간에 따른 염분 변화를 관찰하여, 생물 오손 방제 효과를 파악하였다.

3.2 실험2: 구리 테이핑 실험

구리 테이핑은 해양 생물의 부착을 억제한다고 알려져 있어, 다양한 해양관측 장비에 활용되고 있다(Delgado et al., 2021). 본 실험에서는 구리 테이핑이 수월한 유도식 센서인 RBR에 구리 테이프를 부착하여(Fig. 2(a)) 이어도 해양과학기술지 계류 라인의 5, 7, 10, 15, 20, 30, 38m의 수심에 설치하여 구리 테이핑에 의한 생물 부착 방제 효과를 살펴보았다. 비교를 위해 방제 처리하지 않은 CT3919를 설치하여, 2016년 5월 1일부터 2016년 10월 20일 까지 관측을 수행하였다(Fig. 4(a)). RBR과 CT3919에서 관측된 염분의 차이를 통해 생물 부착 방지 효과를 확인하였고(Fig. 4(b)), 약 2개월 20일 후인 2016년 8월 22일에 SBE19로 수직 관측한 염분을 기준으로 염분 표류 정도를 확인하였다(Fig. 4(c)). 참고로 본 실험이 진행된 6월 14일부터 25일까지 센서 세척 및 계류선 유지보수로 결측이 존재한다.

수심 5m에서 관측한 염분 시계열에서 가장 눈에 띄는 사항은 관측 기간 전반에 걸쳐 구리 테이핑을 부착한 후 관측을 수행한 RBR에서의 염분이 CT3919의 염분 값보다 현저히 높다는 사실이다. 장비 설치 초기인 2016년 5월 1일부터 5월 14일 까지 RBR의 염분은 32.35를 유지하였고, CT3919의 경우 31.18로 두 센서 사이의 염분 차이가 1.17 정도이다. 이러한 차이는 구리 금속이 RBR 전도도 센서에서 발생하는 자기장을 교란하여 전도도를 증가시켜 발생하는 계통 오차일 수 있다(Le Bihan et al., 2014). 이에 더하여 CT3919의 경우 염분을 계산하기 위하여 입력하는 수압을 특정값인 10.13dbar로 일정하게 입력하였기 때문에 발생하는 오차도 일부 포함되어 있을 것으로 사료된다. 일정한 수압에 의한 염분 관측값의 오차는 토의에서 자세히 다루고자 한다.

5월 14일부터 6월 14일까지 한달 동안 RBR에서 측정한 염분은 28에서 32의 범위까지 크게 변동하나 전반적으로 유의한 선형 감소는 나타나지 않았다(Fig. 4(a)). 반면 생물

Fig. 3. Timeseries of observed salinities using CT3919 sensors at the levels of 3m (blue), 20m (red), 38m (yellow) from the I-ORS during 11 May 2013 - 31 December 2013.

Fig. 4. The observed salinities during the experiment 2 during 2016 at the I-ORS: salinity obtained from the RBR (green line) applied with antifouling technique of copper tapping and from CT3919 (blue line). Its difference is illustrated in (b). These data were compared with SBE19 casting (c; black line) occupied in 22 Aug 2016. Significant salinity drift in summer is partially attributed to riverine discharge from the Chang-jiang River as shown in (d), but mostly to biofouling.

오손 방제를 처리하지 않는 CT3919에서 측정한 염분은 5월 중순부터 1개월 동안 31.18에서 29.17까지 선형적으로 감소한 것을 확인할 수 있었다. 6월 중순에 CT3919와 RBR을 회수하여 세척하였고, 센서를 재설치 이후 RBR에서 관측한 염분은 31.04이었고, CT3919의 경우에는 30.58로 두 센서 간의 계통적 염분 오차가 0.46임을 확인할 수 있었다. 6월 25일 센서 재설치 이후 7월 25일 까지 CT3919와 RBR 센서의 염분 수치가 한달 이내에 26.0 이하로 급격하게 하강하였다. 염분 하강은 2016년 6월 양자강 주변의 집중호우와 이에 동반한 황동중국해 인근 하구에서 유입된 담수의 영향으로 일정 부분은 설명할 수 있다(Fig. 4(d)). 8월 중반 이후에는 두 센서 사이의 염분 차이가 2.0 이상으로 벌어졌다. 이 결과는 방제 처리를 하지 않은 CT3919에서 관측한 염분이 현저히 낮아지기 때문이다. 10월의 경우 시간에 지남에 따라 두 센서에서 관측한 염분 차이가 1.0 정도로 줄어든다. 이는 방제 처리를 하였음에도 불구하고 RBR에도 생물 오손이 발생하였기 때문으로 판단된다. 구리 테이핑을 수행하였음에도 약 3-4개월의 시간이 지난 후에 생물 오손이 발생할 수 있음을 시사한다(Fig. 2(b)).

6월 25일 장비 세척 이후 약 두 달 정도 지난 8월 22일 수행한 SBE19를 활용한 수직 염분 자료와 비교하여, 두 센서의 염분 표류 정도를 확인해보았다(Fig. 4(c)). 방제 작업을 하지 않은 CT3919의 경우 표층 5 m에서 염분이 SBE19와 비교하여 1 정도 높았고, 중층과 저층의 경우는 염분이 2 이상 낮게 나타났다. 이는 생물 부착으로 인한 생물오손으로 센서에서의 염분 관측값에 대한 민감도가 낮아져서 발생한 결과로 사료된다. 구리 테이핑을 한 RBR의 염분 관측치는

중층(15, 20 m)을 제외한 나머지 수심에서 SBE19의 관측값보다 평균적으로 0.5 이상 높았다. 예상하지 못한 염분의 양의 오차는 구리 테이핑이 전도도 센서의 자기장에 영향을 주어 전도도를 증가시켰기 때문으로 보인다. 한편 중층의 경우에는 구리 테이핑에도 불구하고 염분이 SBE19에 의해 얻은 값에 비하여 최대 3 정도 낮게 나타났다.

표층에서의 염분 관측치의 경우 10월 이후에도 염분 표류가 발생한다는 점과 중층에서 낮은 염분 관측치를 보이는 결과는 유도식 센서에 구리 테이핑을 붙이는 방법이 생물 부착을 방지할 수 없다는 것을 시사한다. 실험 2의 연구 결과는 구리 테이핑을 센서에 부착하는 방법으로 생물 오손을 방지하여 정확도 높은 염분 시계열을 얻기에는 무리가 있다고 판단된다.

3.3 실험3: CT 센서에 근접하여 자외선 발생장치 설치

소청초 해양과학기지에서 2017년 9월 21일부터 10월 31일까지 자외선 발생 장치를 부착하여 생물의 부착을 방제를 시도하였고, 그에 따른 염분 표류 정도를 파악하였다. 실험을 이어도에서 소청초로 변경한 것은 소청초 해양과학기지가 이어도 해양과학기지보다 새로운 관측 방법을 적용하기가 용이하고, 양자강 담수의 이동 경로에서 벗어나 위치하고 있어 생물 오손에 따른 염분 표류 현상을 이어도 해양과학기지 보다 쉽게 파악할 수 있기 때문이다. 이 실험에서는 유도식 센서인 CT3919, RBR 이외에 전극식 센서인 SBE37를 수심 5m에 설치하여 유도식 센서와 전극식 센서 사이의 염분 표류 여부를 확인하였다. RBR 센서는 표층부터 저층까지 총 5개 수심(3, 7, 20, 30, 40m)에 설치하였고,

Fig. 5. The observed salinities during the experiment 3 during September-October 2017 at the S-ORS: RBR (green line), SBE37 (black line), and CT3919 (blue line) applied with antifouling system (UV light: 1 cm apart from CT3919). The salinity differences of CT3919 and RBR from SBE37 are illustrated in (b). These data were also compared with SBE19 casting (c: black line) occurred in 24 October 2017.

SBE37은 표층에 해당되는 7, 10, 15m의 세개의 수심에 설치하였다. 이 실험에서 자외선 발생장치를 CT3919의 전도도 센서로부터 1cm 정도 떨어뜨려 부착하였다(Fig. 2(b)). 실험 2와 마찬가지로 센서 부착 후 약 한달의 시간이 지난 후 SBE19를 활용하여 각 센서들의 염분 표류 정도를 확인하였다.

각 센서에서 얻은 2017년 9월 후반부터 11월 1일 까지 염분 시계열 관측 결과 및 그 차이를 Fig. 5(a)와 (b)에 도시하였다. Fig. 5(a)에서 확인 할 수 있는 중요한 특징 중 하나는 계류 시작부터 세개의 센서에서 얻은 염분 관측치가 모두 다르다는 사실이다. 관측 첫날 전극식 센서인 SBE37에서 얻은 염분은 30.96으로 유도식 센서인 RBR(30.85)과 CT3919(30.36)보다 크다. 이는 센서의 전처리 과정에서 센서 보정이 완전하게 이뤄지지 않았음을 의미한다. 약 2주가 지난 10월 4일 까지 생물 부착 방지 조치 없이 설치한 RBR에서 얻은 염분의 경우, 그 값이 31.25로 CT3919(31.17)와 SBE37(31.52)의 염분과 비교하였을 때, 관측 초기와 큰 차이가 없었다. 그 이후 2주 안에 RBR에서 관측한 염분이 31.23에서 29.08으로 2.2 가량 염분이 급격히 하강하였으며, 이후에는 장기적인 요동이 존재하였다. 동일 시기에 SBE37과 자외선 발생 장비와 함께 설치한 CT3919의 경우 거의 일정한 염분 관측치를 보여 비교적 안정적으로 염분을 산출하는 것으로 보인다. 이는 RBR에서 관측한 염분의 하강과 요동이 생물학적 오손에 의한 결과임을 시사한다.

센서를 설치한 후 한달이 지난 10월 24일에 관측한 SBE19를 활용한 수직 염분 자료와 세 센서에서의 염분 수치를 비교하였다(Fig. 5(c)). SBE19와 SBE37(검은점)과의 차이는 0.03 이하로 한달이 지난 시점에도 불구하고 전극식 센서에서

획득한 염분의 경우, 생물 부착에 따른 염분 표류는 나타나지 않은 것으로 보인다. 한편, 방제 작업을 하지 않은 유도식 센서인 RBR에서 획득한 염분 수치는 SBE19의 값보다 현저하게 낮게 나타났다. CT3919의 경우는 염분 하락 수치가 0.4 정도였으나, RBR의 경우 최대 2.2 정도 그 값이 낮게 나타나서 방제 처리 하지 않은 경우에 한달이 지난 시점에서 생물 부착에 따른 생물 오손이 적어도 2.0 이상임을 보여준다. 이 시기까지 CT3919와 SBE37 사이에서 얻어진 염분의 차이가 0.4 정도로 최초 관측이 수행하였을 때 파악 하였던 두 센서 사이의 염분 차이와 크게 다르지 않았다. 이는 적어도 한달 정도까지는 자외선 발생 장비가 생물 오손을 어느 정도 방제할 수 있음을 시사한다. 실제로 실험이 수행된지 62일이 지난 후 센서를 보면, 자외선 장비가 설치된 방향으로 생물 부착이 현저히 억제되었음을 확인할 수 있었다(Fig. 2(b)).

3.4 실험4: 자외선 발생장치 설치 거리에 따른 효과

실험3을 통해서 자외선 발생 장치 설치가 유도식 센서에서의 염분 관측의 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다면, 실험 4는 자외선 발생 장치와 CT(D) 센서 사이에 간섭 없이 생물 오손 방제 효과가 나타나는 최적 거리를 확인하기 위해서 수행되었다. 실험 3에서 두 장비의 간격을 1cm로 설정하여 실험하였고, 실험 4에서는 5cm 간격을 두고 설치하여 염분 표류 여부와 전도도 센서의 자기장 간섭에 의한 염분 변화를 확인해보았다. 이 실험은 소청초 해양과학기술지에서 2018년6월 23일부터 9월 6일 까지 약 두달 반 가량의 기간 동안 수행하였으며, 실험 3과 동일하게 CT3919에만 자외선을 노출하였다. 염분 표류 여부 및 정도(7월 23

Fig. 6. The observed salinities during the experiment 3 during June-September 2018 at the S-ORS. RBR (green line), SBE37 (black line), and CT3919 (blue line) applied with antifouling system (UV light: 5 cm apart from CT3919). The salinity differences of the CT3919 and RBR from the SBE37 are illustrated in (b). These data were also compared with SBE19 casting (c; black line) occupied in 21 July 2018.

일 SBE19 자료 활용)는 실험 3과 동일한 방법으로 수행하였고 실험 수행에 따른 염분 변화를 Fig. 6에 도시하였다.

실험4에서 획득한 염분은 실험3과 다르게 관측 초기에 계통 오차가 거의 없었다(Fig. 6(b)). CT3919와 SBE37에서 얻은 염분은 한달이 지난 시기에도 거의 일치한다. CT3919의 경우 실험 3과 실험4에서 수행한 센서가 동일함을 고려한다면, 실험3에서 CT3919에서 획득한 염분 수치가 SBE37에 비하여 0.4 낮았던 것은 자외선 발생 장치를 설치하면서 생기는 두 장비 사이의 전자기적 신호에 의해서 유도식 센서에서 획득한 염분이 실제값 보다 낮게 표출된 것이라 판단된다. 방제 작업을 수행하지 않은 RBR의 경우는 실험 3과 동일하게 한달 이내에 염분이 31.70에서 23.13으로 급격하게 낮아졌으며, 이는 생물 부착에 따른 염분 표류가 발생한 것임을 보여준다. 이후에 다시 염분 시계열이 상승하고 하강하는 긴 주기의 변동을 보이며, 이 또한 실험 3의 결과와 동일하다. 약 두 달이 지난 시점(8월 20일)부터 염분에서 선형적인 표류가 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 자외선 발생 장치를 부착하였음에도 불구하고 두달 이후에는 선형적 염분 하강이 존재함을 시사한다. 이 연구 결과는 자외선 발생 장치를 부착한 이후에도 최소한 두 달 이내에 센서 확인 및 세척이 필요함을 시사한다.

센서 부착 후 한달 후에 SBE19를 통해 관측한 염분 연직 분포에서 SBE37이나 자외선 발생 장치를 부착한 CT3919에서 측정된 염분은 RBR과 비교하여 그 차이가 현저히 작았다(Fig. 6(c)). 염분 수치 또한 실험3과 비교하여 전극식인 SBE37에서 측정된 관측값에 어느 정도 일치하였으며, SBE19의 염분 차이 또한 실험 2와 3의 차이보다 작았다. 이 결과는 실험

4의 자외선 노출 방법이 생물 부착 방지 및 염분 표류 억제 효과가 실험2와 실험 3보다 효과적인 것임을 시사한다.

4. 토 의

4.1 생물 오손 방제 기법에 따른 염분 정확도

해양과학기지에 장기간 활용하고 있는 CT3919에 적외선 발생 장치를 통한 생물 오손 방지 기법을 적용하면 안정적인 염분 관측이 가능함을 이 실험을 통해 확인할 수 있었다. 토의에서는 실험 2, 3, 4의 관측 기간 중에 SBE19를 통해 수 차례 획득한 수직 염분 자료와 각 센서들의 염분 자료를 종합적으로 비교하여 표준 편차와 편향(bias) 정도를 Table 3에 정리하였다.

실험 2에서 생물 오손 방지를 하지 않은 CT3919는 SBE19의 염분과 비교하여 1.13의 표준 편차를 보였으며, -1.74의 음의 편향이 존재하였다. 이 수치는 생물 오손 방제 기법을 적용하지 않은 2016년 이전 해양과학기지에서 관측한 염분 시계열 자료의 신뢰도를 대변할 것으로 사료된다. 실험 3에서는 CT3919에 자외선을 노출시켰을 때 염분 수치는 0.18의 표준 편차를 보였다. 이는 SBE37과 SBE19의 표준 편차(0.16)와 비교하여도 거의 동일한 수치이다. 그러나, 편향은 CT3919가 -0.52로 여전히 큰 음의 편향이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

실험4의 경우, 자외선 램프에 의한 CT 센서의 자기장 간섭을 최소화 하였다. SBE19와 비교하여 CT3919에서 관측한 염분의 표준 편차는 0.41이었고, SBE37의 표준편차(0.35)와도 비교하여 그 표준편차가 그렇게 크지 않게 나타났다. 편

Table 3. Standard deviation and bias of observed salinity from the CT3919, RBR CTD, and SBE37 CTD relative to salinity profiles from the SBE19 CTD occupied during the anti-biofouling experiments.

Experiments	STD/Bias relative to SBE19 profiles		
	CT3919	RBR	SBE37
Exp. 2 2016.04.01 - 2016.11.01	1.128/-1.742	1.665/0.232 (Copper taping)	-
Exp. 3 2017.09.20 - 2017.11.01	0.182/-0.515 (UV light)	0.375/-1.136	0.161/0.016
Exp. 4 2018.06.23 - 2018.09.07	0.413/-0.054 (UV light)	0.338/0.365	0.349/-0.027

Fig. 7. The salinity time series observed from CT3919 with UV light equipment (blue) and SBE37 with antifouling kit (black) from the I-ORS during 2020. A sharp drop in the salinity at the early August indicates the inflow of the Changjiang Discharged Water (CDW). Typhoon BABI (202008) passed through the I-ORS at 26 August 2020.

향 측면에서 보면 CT3919에서 관측한 염분이 SBE19의 염분과 비교하여 -0.05의 평균적 차이만을 보여 실험3 보다 약 10배 정도 편향이 적은 것을 확인할 수 있었다. 실험 4가 성층이 강하고 변동성이 큰 여름에 수행한 반면 실험3은 생물 부착이 적어지는 가을에 수행하였기 때문에 표준편차가 실험 4에서 크게 나타난 것으로 보이며, 결론적으로 실험 4에서 CT3919를 통해 얻은 염분이 성층이 강하고 생물 번성이 강한 시기임에도 불구하고 안정적인 염분을 표출한 것으로 보인다.

실험 결과들을 통해 해양과학기지에서 생물 오손 방지 기법을 적용하여 관측되는 염분은 0.18 - 0.41의 표준 편차를 보이며, 이 수치는 Oh et al.(2006)이 언급한 염분의 정확도 (0.29 - 1.8) 보다 낮은 수치이다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 CT3919는 수온 및 전도도만을 측정하고, UNESCO(1983)에서 제시된 식에 고정 수압(10.13dbar)을 대입하여 염분을 계산하였기 때문에 이에 따른 계통 오차가 발생할 수 있다. 이 해역에서는 1 - 5m 범위의 조석과 파고에 따른 압력 변화가 크게 나타나기 때문에(Kim et al. 2018), 해양과학기지에서 관측된 조위값을 활용하여 조차를 포함하여 센서가 설치된 깊이에서의 압력 변화를 추정하여 변동하는 수압으로 염분을 재계산하였다.

변동하는 수압을 적용한 계산된 염분과 수압을 고정하였을 때를 비교하면 표층의 염분의 경우 0.006 정도의 차이가

발생하였다. 저층의 경우에는 그 수치가 0.018으로 크게 증가한다. 이 차이는 황동중국해에서 관측 가능한 23 - 34의 염분 범위에 비해 그 크기가 작지만 대양에서 수행한 염분 관측의 정확도인 0.005보다 크기 때문에 국제적인 자료 공유를 위해서는 조차를 포함한 압력으로 계산하는 과정이 반드시 포함되어야 한다. CT센서를 사용할 경우, 수압을 정확하게 계산하기 위해서 최소한 한 개 이상의 압력 센서를 설치하는 것을 권장한다.

4.2 최근 염분 관측 현황: 2020년 하계에 관측된 양자강 저염수

자외선 노출 방식을 2019년 관측부터 이어도 및 소청초 해양과학기지에 적용하여 염분을 관측하고 있다. Fig. 7은 2020년 5월부터 8월까지 이어도 해양 과학기지에서 CT3919와 SBE37을 통해 관측한 염분 시계열 자료의 예시이다. 두 센서 모두에서 봄 번성 이후에 강한 염분 하락이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 2020년은 7월 국립수산물과학원의 보도에 따르면 양자강 상류의 집중호우로 인하여 양자강에서 방류하는 담수가 2015년부터 2019년 평균 방류량 보다 약 2만톤 이상 늘었다고 보도하고 있다. 이를 3차원 수치모델(Regional Ocean Modelling System; ROMS)로 구현한 결과 25 이하의 저염 고온의 수괴가 8월에 이어도 해양과학기지를 통과하는 것으로 예측하였고, 수치모델 결과와 동일하게 2020년 8월 6일에 26 이하의 염분이 CT3919와 SBE37

센서에서 모두 관측되었다(Fig. 7).

그 이후 2020년 8월 26일에는 태풍 BAVI가 이어도 해양 과학기지를 통과하였고, 태풍이 통과하면서 강한 바람과 높은 해파에 의해 상대적으로 부피가 큰 SBE37 센서는 파손이 되었으나, 작고 견고한 CT3919 센서는 정상적으로 관측을 수행하였다. 태풍이 통과하는 수일 이내에 저층의 고 염수가 표층의 해수와 순간적으로 섞이면서 표층 염분이 24이하에서 32 이상으로 급격히 높아진 후 큰 진동과 함께 성층이 다시 생기면서 표층 염분이 복원됨을 확인할 수 있었다(Fig. 7). 이러한 염분 시계열 자료는 향후 양자강 저염수 확장과 태풍의 영향에 관한 연구를 수행하는데 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 생물 활동이 활발한 연안에서 장기간 안정적인 염분 관측을 위하여 해양과학기지에서 전도도 센서에 다양한 생물 오손 방제 기법을 적용하여 실험하였고, 이 결과를 통하여 염분 자료의 특성을 파악하였다.

생물 오손 방제 기법 실험을 통해 생물 오손 방제 조치없이 CT3919를 단독으로 운영할 경우, 생물 오손에 의한 염분 표류는 한달 이내에 10이상의 관측값 하락으로 나타났으며, 이 결과는 생물 부착 방지 없이 CT3919 센서 단독으로 운영할 경우 고품질의 염분 자료를 획득하는 것이 불가능함을 의미한다. 따라서, 생물 부착 방지 기법을 CT3919 센서 및 RBR 센서에 적용해보았다. 2016년에는 RBR 센서에 구리 테이프를 통한 방제 실험을 수행하였고, 2017년과 2018년에는 CT3919 센서에 자외선 발생 장비를 통해 자외선 노출을 통하여 방제 효과를 확인하였다. 실험 결과 CT3919 센서에 자외선을 주기적으로 노출 시킨 센서에서 생물 부착이 현저히 감소함을 확인할 수 있었으며, 생물 부착에도 비교적 안정적으로 전도도를 계산하는 전극식 센서인 SBE37과 비교하여도 염분 표류가 유의하게 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 그러나 자외선 발생 장비를 CT 센서에 너무 가깝게 설치할 경우 전자기적 교란이 발생하여 오히려 염분 관측값이 낮게 나타날 수 있음 또한 파악하였다. 5cm 정도 거리를 두고 설치할 때 최소한 한달 정도는 염분이 SBE37 계류 장비나 SBE19와 비교하여 큰 오차 및 편향 없이 안정적으로 염분을 관측하는 것으로 판단된다.

장기간 고품질 염분 획득을 위해서는 반드시 생물 부착 방지 및 주기적인 유지보수가 동반되어야 한다. 특히 황해 및 황동중국해와 같이 해양 변동성 큰 해역에는 센서의 크기가 작고 견고하며 유지 보수가 비교적 쉬운 유도식 센서를 설치하는 것이 좋다고 사료된다. 이 때 생물 부착 방지를 위해 유도식 센서와 일정한 거리를 띄어 자외선 발생 장비를 설치하여 주기적으로 자외선을 노출 시키는 것이 생물 오손에 따른 염분 하락을 막을 수 있다. 가능하면 표층의

경우에는 유도식과 전극식 센서를 동시에 설치하여 계통적 오차와 염분 표류 여부를 파악하는 것이 좋다. 또한 이중으로 센서를 운영할 경우 악기상 및 어로 활동에 따른 센서 파손 등 악조건 속에서도 연속적인 자료를 획득이 가능하다는 장점이 있다. 염분 자료를 실시간으로 모니터링하여 전극식 센서의 염분을 기준으로 유도식 센서의 염분의 차이가 급격하게 발생할 경우 빠른 시일 이내에 유지보수를 진행해야 한다. 그리고 전극식 센서는 1년 이상 장기간 관측시에 전도도 셀 내부의 전극이 부식되거나, 파손될 가능성이 있어 매년 센서를 회수하여 제조사에서 검교정 과정을 수행해야 한다.

본 연구에서는 생물 부착에 의한 급격한 염분 하락하는 현상을 다양한 센서와 방제 기법을 적용하여 분석하였고, 그 성과를 요약하여 제시하였다. 그러나 미세한 물성 변화를 확인하기 위해서는 보다 정교한 품질처리 절차가 필요하다. 관측 전/후 검교정(calibration) 과정이 선행되어야 하며 (Choi et al., 2009) 장기간 관측 중 발생하는 염분 오차 확인 및 보정을 위해서는, 주기적인 해수 샘플링을 수행하고, 샘플링된 해수를 국제 염분 관측치의 표준이 되는 Salinometer를 활용하여, 염분 오차 확인 및 보정하는 과정이 필요하다. 마지막으로 관측 방법, 유지보수 주기, 센서 검교정 절차 등 관측 절차를 더욱더 정교하게 설계해야하는 노력이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2021년 해양수산부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의(관할해역 첨단 해양과학기지 구축 및 융합연구(PM62550) 지원을 받아 수행되었습니다. YSK는 한국연구재단의 지역해 기후장 구축 하이브리드 기술 개발(NRF-2020 R1F1A1070398)과 한국해양과학기술원 (북서태평양 순환과 기후변동성이 한반도 주변 해역 변화와 물질 순환에 미치는 영향, PE99911)의 지원을 받았습니다. 연구수행과 논문 작성에 도움을 주신 국립해양조사원과 관련 연구자와 논문 심사자에게 깊은 감사를 드립니다.

References

- Ando, K., Matsumoto, T., Nagahama, T., Ueki, I., Takatsuki, Y. and Kuroda, Y. (2005). "Drift characteristics of a moored Conductivity- Temperature-Depth sensor and correction of salinity data." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 22, pp. 282-292.
- Belkin, I. M. (2009). "Rapid warming of large marine ecosystems." *Progress in Oceanography*, Vol. 81, pp. 207-213.
- Byun, D. S., Jeong, J. Y., Kim, D. J., Hong, S. M., Lee, K. T. and Lee, K. T. (2021). "Ocean and atmospheric observations at the

- remote Jeodo ocean research station in the northern East China Sea.” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 8, pp. 1-17.
- Choi, A. R., Park, Y. G., Min, H. S. and Kim, K. H. (2009). “The improvement of CTD data through post processing.” *Ocean and Polar Research*, Vol. 31, No. 4, pp. 339-347 (in Korean).
- Choo, S. H., Chang, P. H., Hwang, S. O., Jo, H. J., Lee, J., Lee, S. M., Hyun, Y. K. and Moon, J. H. (2021). “Assessment of assimilation impact of Argo float observations in marginal seas around Korean peninsula through observing system experiments.” *Atmosphere*. Vol. 31, No. 3, pp. 283-294.
- Delgado, A., Briciu-Burghina, C. and Regan, F. (2021). “Antifouling strategies for sensors used in water monitoring: Review and future perspectives.” *Sensors*, Vol. 21, No. 2, pp. 1-25.
- Ha, K. J., Nam, S., Jeong, J. Y., Moon, I. J., Lee, M., Yun, J., Jang, C. J., Kim, Y. S., Byun, D. S., Heo, K. Y. and Shim, J. S. (2019). “Observations utilizing Korea ocean research stations and their applications for process studies.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 100, No. 10, pp. 2061-2075.
- Kim, D. W., Park, Y. J., Jeong, J. Y. and Jo, Y. H. (2020). “Estimation of hourly sea surface salinity in the east China sea using geostationary ocean color imager measurements.” *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 5, pp. 1-2.
- Kim, Y. S., Jang, C. J., Jeong, J. Y. and Shim, J. S. (2018). “Daily to seasonal variability of the mixed layer depth in the central Yellow Sea: Effects of atmospheric forcing.” *Journal of Coastal Research*, Vol. 85, pp. 576-580.
- Kim, Y. S., Jang, C. J., Noh, J. H., Kim, K. T., Kwon, J. I., Min, Y., Jeong, J., Lee, J., Min, I. K., Shim, J. S., Byun, D. S., Kim, J. and Jeong, J. Y. (2019). “A Yellow Sea monitoring platform and its scientific applications.” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 6, pp. 1-7.
- Le Bihan, C., Salvat, F., Lamandé, N. and Compère, C. (2014). “The effect of the salinity level on conductivity sensor calibration.” *EPJ Web of Conferences*, Vol. 77, pp. 1-7.
- Lee, H., Yang, C. S., Min, I. K. and Jeong, J. M. (2019). “A study on the characteristics of sea surface temperature measured by infrared sensor at the Socheongcho ocean research station.” *Journal of Coastal Disaster Prevention*. Vol. 6, No. 1, pp. 1-9 (in Korean).
- Lukas, R. and Lindstrom, E. (1991). “The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean.” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 96, pp. 3343-3357.
- Min, Y. C., Jeong, J. Y., Jang, C. J., Lee, J., Jeong, J., Min, I. K., Shim, J. S. and Kim, Y. S. (2020). “Quality control of observed temperature time series from the Korea ocean research stations: Preliminary application of ocean observation initiative’s approach and its limitation.” *Ocean and Polar Research*, Vol. 42, No. 3, pp. 195-210 (in Korean).
- Oh, K. H., Park, Y. G., Jung, H. S. and Shim, J. S. (2006). “Characteristics of temperature and salinity observed Jeodo ocean research station.” *Journal of the Korean Society for Marine Environment Energy*, Vol. 9, No. 4, pp. 225-234 (in Korean).
- Park, J. (2021). “Quality Evaluation of long-term shipboard salinity data obtained by NIFS.” *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 26, No. 1, pp. 49-61 (in Korean).
- Park, K. S., Heo, K. Y., Jun, K., Kwon, J. I., Kim, J., Choi, J. Y., Cho, K. H., Choi, B. J., Seo, S. N., Kim, Y. H., Kim, S. D., Yang, C. S., Lee, J. C., Kim, S. I., Kim, S., Choi, J. W. and Jeong, S. H. (2015). “Development of the operational oceanographic system of Korea.” *Ocean Science Journal*, Vol. 50, pp. 353-369.
- Park, Y. G., Seo, S., Kim, D. G., Noh, J. and Park, H. M. (2021). “Coastal observation using a vertical profiling system at the southern coast of Korea.” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 8, pp. 1-14.
- Tsuchiya, M. (1968). “Upper waters of the intertropical Pacific Ocean.” *Johns Hopkins Oceanographic Series*, Vol. 4, pp. 50.
- Unesco (1983). “Algorithms for computation of fundamental properties of seawater.” *Unesco technical papers in marine science*, Vol. 44, pp. 6-9.
- Woody, C., Shih, E., Royer, T., Atkinson, L. P. and Moody, R. S. (2000). “Measurements of salinity in the coastal ocean: A review of requirements and technologies.” *Marine Technology Society Journal*, Vol. 43, No. 2, pp. 26-33.