

Article

2001년 5월과 6월 서태평양에서의 Thermosalinograph 관측

이재학*¹ · 정병철¹ · 황근춘² · 전동철¹ · 황상철¹ · 이하웅¹¹한국해양연구원 해양환경 · 기후연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29²한국해양연구원 해양정보 · 기기지원단
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

Thermosalinograph Measurements in the Western Pacific Ocean in May and June, 2001

Jae Hak Lee*¹, Byoung Chul Chung¹, Keun Choon Hwang², Dongchull Jeon¹, Sang Chul Hwang¹, and Ha Woong Lee¹¹Marine Environment and Climate Change Laboratory, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea²Marine Information and Instrumentation Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : We have analyzed sea surface temperature and salinity data collected in the western Pacific Ocean by using an automated Thermosalinograph (TSG) installed on the RV *Onmuri* during May - June of 2001. The TSG data exhibit characteristics of water masses distributed in the near surface layer of the cruise area very well. Especially, they reveal the diurnal surface temperature cycle and the effect of rainfall on temperature and salinity in the equatorial region, showing the effectiveness of the use of TSG. Problems to be improved for the better TSG operation are the method of water sampling and calibration of TSG sensors. Installation of a pressure gauge in the TSG system and periodical sensor calibration are strongly recommended to ensure reliability of data.

Key words : Thermosalinograph, 서태평양(western Pacific), 표층(surface layer).

1. 서 론

광역 해양에 대한 장기적인 표층 수온과 염분 분포 변화의 인지는 해양 변동성과 기후 변화를 이해하는데 가장 기본적인 사항이다. 이와 관련된 자료 획득을 위하여 1980년대 후반 이후 해수 특성 자료를 광역의 해역에서 반복적으로 모니터링하는 대규모 네트워크가 점진적으로 개발되어오고 있으며 이는 운용해양학 또는 실용해양학

(operational oceanography)이라는 이름으로 해양학의 중요한 분야가 되고 있다. 이러한 추세는 국제적으로 전해양 관측망(GOOS: The Global Ocean Observing System)과 같은 대규모 기후 관련 연구 사업의 활성화로 나타나고 있으며, 연구선이 아닌 일반 운항 선박을 이용한 관측은 인공위성을 이용한 원격탐사와 함께 중요한 해양 자료의 공급원이 되어 있다. 선박에 장착된 관측 장비를 이용한 해양 조사는 자료 획득 방법에 있어 경제적인 효율성 때문에 그 활용이 증가하는 경향이고, 특히, 표층 수온과 염분을 측정하는 Thermosalinograph(TSG)는 XBT 및 XCTD

*Corresponding author. E-mail : jhlee@kordi.re.kr.

등과 함께 해수 특성 분포의 모니터링에 적합한 선박 장착 또는 투하 장비로서 대양연구에서 다국적 TSG 네트워크(SOOP 2001)가 구성될 만큼 활용성이 높다. 해양 변동성 파악 등 실질적인 연구에서의 이용을 목적으로 일반 선박을 이용한 TSG 관측은 1990년대 초반 프랑스를 중심으로 TOGA(Tropical Ocean Global Atmosphere) 사업에서부터 시작하여 서태평양에서 집중적으로 진행되고 있으며(Hénin and Grelet 1996; Hénin 1996), 현재는 미국의 NOAA와 호주의 CSIRO의 지원으로 인도양과 대서양까지 확장되어 TSG 자료를 획득하고 있다(SOOP 2001).

TSG는 해양물리학적 연구보다 해양 환경 감시를 위한 도구의 하나로서도 이용이 되고 있는바 일본의 경우 앞에서 설명한 기후 관련 연구에 여러 척의 상선을 제공하고 있을 뿐만 아니라 컨테이너 운반선을 이용한 북서태평양 연해의 해양 환경 모니터링 연구를 수행 중이다(KIES 2000). 그러나, 국내에서 TSG를 이용한 자료 획득은 실험적인 연구사업을 제외하고는 매우 미진한 편이고, 이미 연구선에 장착되어 있는 TSG의 이용조차 거의 없는 상황이다. Jin 등(1999)은 연안 여객선을 이용한 실시간 수질 모니터링 시스템 개발 연구에서 수온 및 염분을 포함하여 수질 관련 변수의 단기간 모니터링에 성공하여 TSG 활용의 가능성을 보여준 바 있다. 한국해양연구원에서는 해양 관측 및 예보시스템 사업(해양수산부 2000)의 일환으로 인천-제주간 정기여객선을 이용한 연안 모니터링 체계의 시범운행을 수행 중이지만 관측 센서의 정밀한 검·교정 부족으로 신뢰성있는 양질의 자료 획득에는 미흡한 실정이다.

소위 'warm pool'로 불리는 저위도 서태평양은 쿠로시오의 기원 해역을 포함하고 있으며 우리 나라 주변 바다의 해양 변화에 직접적인 원인을 제공하는 역할을 한다. 표층의 높은 수온, 약한 바람장, 그리고 강한 강우에 의한 표층 저염화는 이 해역의 대표적인 특징으로서 해양-대기 상호작용의 과정에 있어 중위도 해역에 비하여 염분의 역할이 크다(Lukas 1991). 따라서, 기후 변화 연구에 있어서 열대 서태평양의 표층 염분 모니터링은 표층 수온 모니터링만큼 매우 중요하다. 해양 표층의 수온은 이미 인공위성 원격탐사 자료가 생산되고 있기 때문에 TSG의 활용은 현실적으로 수온보다 염분 자료의 모니터링 측면에서 중요성이 있다.

한국해양연구원에서 2001년 5-6월에 연구선 온누리호를 이용 서태평양의 해양조사를 수행하는 과정에서 전 항해 기간에 걸쳐 TSG 자료 획득을 시도하여 양질의 자료를 확보하는데 성공하였다. 본 논문에서는 TSG 자료로부터 조사해역 표층의 해양물리학적 특성을 분석하였고, TSG 운용상의 주의 또는 문제점을 파악하여 이에 대한 개선책을 제시하였다.

2. Thermosalinograph

온누리호에 장착된 TSG는 미국 Falmouth Scientific (FSI)사의 Integrated Thermosalinograph로 수온센서(Platinum Resistance Thermometer)와 전기전도도센서(Inductive Conductivity Sensor)로 구성되어 있으며, 센서의 정밀도는 각각 $\pm 0.003^{\circ}\text{C}$ 및 $\pm 0.0005 \text{ S/m}$ 이다(FSI 2000). TSG 시스템은 매년 선박의 정기적인 상가 시 설치에 따른 외형적 점검이 이루어지고 있다. TSG는 자료 오류의 주 원인인 기포 발생의 관찰 등 센서 관리가 용이하도록 온누리호의 실험실(wet lab)에 설치되었으며, 선저에서 취수되어 구리-니켈 합금관을 통하여 실험실로 공급되는 해수가 TSG를 통과하도록 되어 있다. TSG 자료는 연구선에서 수신하는 Global Positioning System(GPS) 자료와 함께 연구선 실험실내의 컴퓨터로 입력 저장되는데 TSG와 컴퓨터 사이에 데이터 송수신거리가 약 40 m로 길기 때문에 원활한 자료 전달을 위하여 RS 485 to RS 232 converter를 이용하였다. Fig. 1은 TSG 설치 개요를 보여준다.

TSG 센서는 한국해양연구원 기기운영팀에 의해 항온수조에서 TSG 제작사에서 제공된 방법(FSI 2000)에 따라 수온과 염분의 1차 교정검사를 거친 후 설치하였으며, 출항 전 정박 상태에서 염분계(Guildline Autosal)에 의한 염분 측정값과 사전 비교 검정을 하였다. 검정 결과 TSG의 염분값이 염분계로 측정된 염분 값보다 0.007 psu 낮게 나타났다.

한국해양연구원의 기본연구사업인 '서태평양 종합 대양 연구' 사업과 다른 연구사업들을 연계하여 수행된 연구선 온누리호의 2001년도 대양항해의 전반부 항해가 2001년 5월 2일-6월 12일에 걸쳐 장복에서 서태평양 적도 부근인

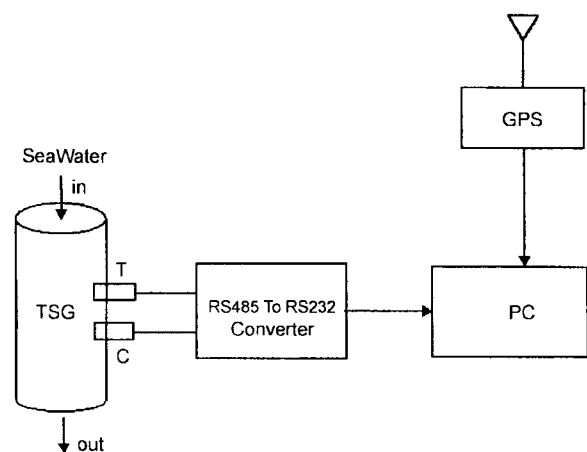


Fig. 1. The thermosalinograph system on board of the RV Onnuri.

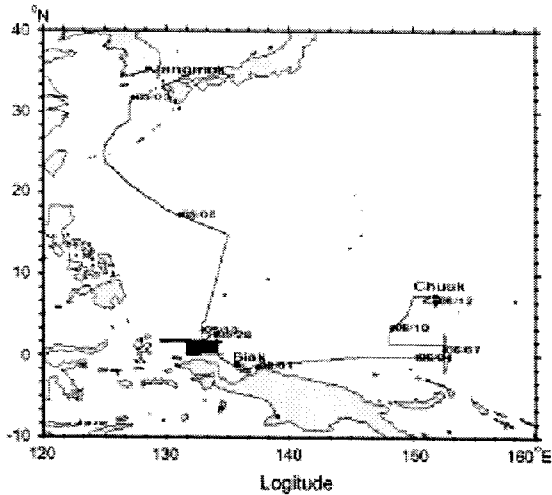


Fig. 2. The cruise track of the RV Onnuri from May 3 to June 12, 2001.

인도네시아 Biak 그리고 마이크로네시아 Chuuk을 연결하는 해역에서 이루어졌으며 동 해역의 해양조사가 수행되었다(Fig. 2). TSG 자료는 5월 3일-6월 12일에 매 30초 간격으로 자동 획득되었으며 자료획득속도는 0.03 Hz이었다. Biak 정박 기간 중 5월 29-30일 수 시간의 임의적인 결측과 항해 도중 해수 공급의 중단에 의한 네 차례의 결측이 있었다.

3. 자료 처리

TSG 자료의 처리는 원시자료의 그래프상 1차 점검, low pass 필터 및 CTD와 염분계 자료와의 비교를 거친 3단계 과정으로 실시되었다. TSG 원시자료를 일차 검토한 결과 수온과 염분 모두 1일 이내의 단주기 변화가 월등하였으며 염분 자료에 peak성 자료가 많이 나타났다. 모든 자료는 우선 그래프상 조사를 통하여 오류로 판단되는 peak가 나타나는 부분을 검토하여 제거하였다. 이 과정에 의한 자료 제거는 염분에서만 이루어졌는데 모두 TSG 센서에 해수 공급이 중단되었던 시간에 발생한 것이다. 두 번째 자료 처리 과정에서는 자료 해석의 목적상 수분 이내의 단주기 변화 성분을 low pass 필터(Hanning)를 이용하여 제거하였다. 마지막 자료처리는 CTD 관측에 의한 수온 및 염분 값과 비교를 통하여 자료를 검정하였다. 관측에 사용된 CTD는 Sea Bird사의 SBE911 plus로 염분은 온누리호 선상에서 해수를 채수하여 염분계 자료와 비교하여 검정 과정을 거친 값을 사용하였다. 자료 비교 결과 TSG 수온은 CTD 측정값에 비하여 약 +0.3°C, 염분은 수온보다 불안정하여 시간에 따라 약 -0.06에서 +0.04 psu 편향오류를 보여주었다(Fig. 3). 온누리호 항해 종료 직후

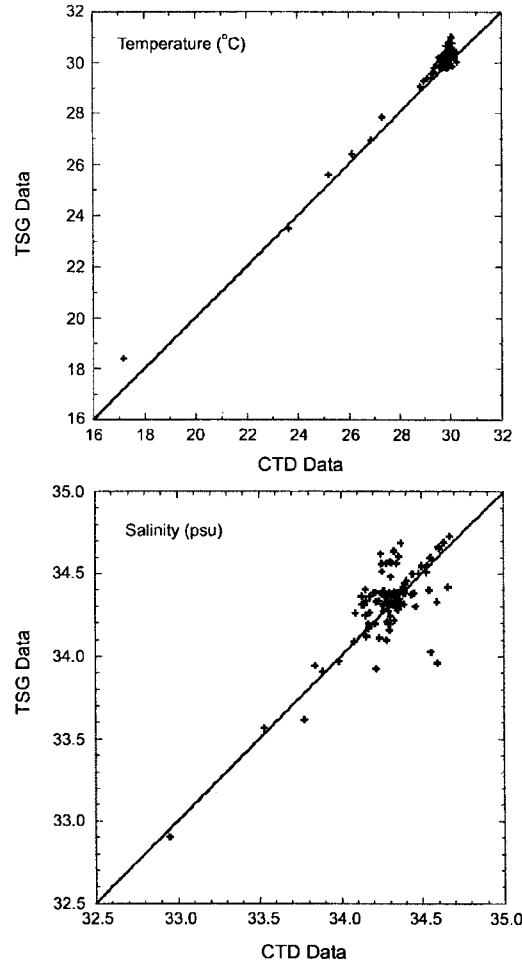


Fig. 3. Comparison of temperature (top) and salinity (bottom) between TSG and CTD data.

TSG 센서 검정이 이루어지지 않아 시간에 따른 센서 성능 변화는 측정하지 못하였다. 염분의 오류가 출항 전 검정 결과인 -0.007 psu보다 커진 것은 TSG를 통과하는 해수의 유량 속도의 영향과 수온 오류의 영향인 큰 것으로 보인다. 최종 TSG 자료는 선형회귀 계산 결과를 이용하여 필터 후의 값에서 수온과 염분을 각각 -0.3°C 및 -0.03 psu 수정하였다. Fig. 4는 3단계 처리과정을 거친 최종 표층 수온 및 염분 자료이다. Fig. 4에서 유의할 점은 5월 23-31일의 수온자료에 나타난 저염의 peak로 기상 자료와 비교한 결과 열대성 소나기의 영향인 것으로 나타났다. 자료 처리 과정 순서에 의한 영향을 살펴보기 위하여 CTD 값을 기준으로 한 보정을 먼저 시행한 후 low pass 필터 과정을 거친 값을 비교하여 본 결과 최종 값이 거의 일치하여 수분 이하의 단주기 성분이 매우 미약함을 시사해 주었다. 이는 TSG 관측이 선박 이동 중에 이루어져 고정된 정점에서는 관측이 되는 단주기 밀도파 성분이 TSG

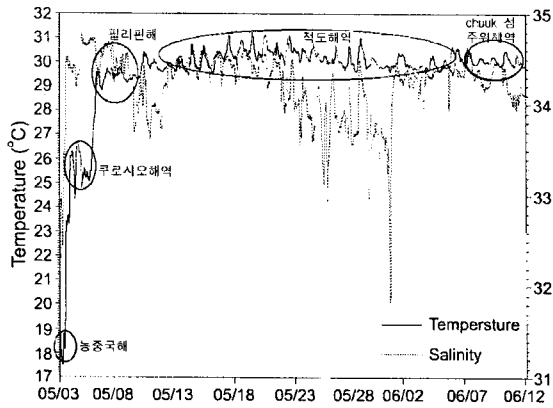


Fig. 4. Corrected sea surface temperature and salinity measured by TSG in the western Pacific (May 3 -June 12, 2001).

자료에는 나타나지 않은 것에 따른 것으로 판단된다.

4. 자료 분석

해역별 특성

수온과 염분은 전체적으로 각각 약 17.0-31.6°C와 약 31.6-34.8 psu 범위의 변화 폭을 나타내었으며 해역별로 분포 특성이 뚜렷하게 구분된다. Fig. 5는 전 자료의 수온-염분도로 수온과 염분 변화의 양상, 관측 위치 및 해양물리학적 현상 등을 기준으로 크게 동중국해 대륙붕, 쿠로시

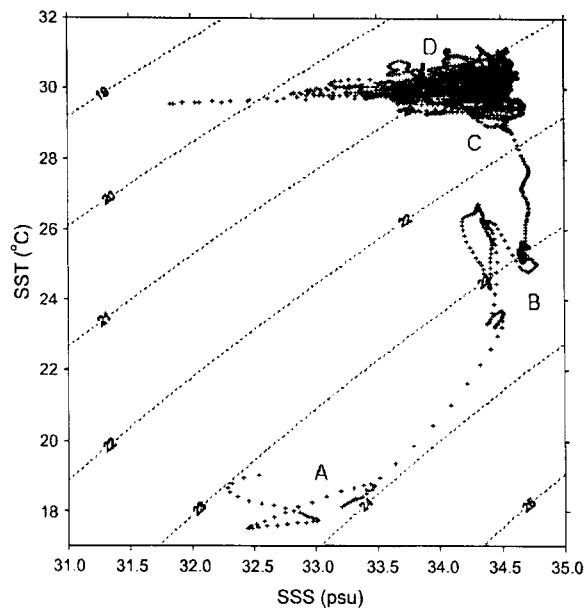


Fig. 5. Temperature-salinity diagram of the data observed in the western Pacific (May 3-June 12, 2001).

오해역, 필리핀해 및 적도 해역으로 구분이 가능하고, 필리핀해는 다시 중부와 남부에서, 적도해역은 서부, 동부 및 연안역에서 특성이 각각 다르게 나타났다. 해역별로 동중국해 대륙붕에서 수온 17.0-22.0°C, 염분 34.0 psu이하로 상대적으로 저온·저염수가 분포하고, 쿠로시오 통과해역(오끼나와 골)에서 22.0-27.0°C 및 34.0-34.6 psu의 수온과 염분 값을 나타내어 동중국해 대륙붕에서 오끼나와 골에 이르면서 수온과 염분이 각각 약 7°C 및 1.5 psu 상승하였음을 보여주었다. 필리핀해는 위도에 따라 다른 수괴가 분포하는 특성이 잘 나타났다. 류큐열도에 가까운 해역에서 약 25-26°C의 수온은 남쪽으로 갈수록 29-30°C의 고온으로 변하고 염분은 34.5 psu 이상에서 33.7 psu 정도까지 작아져 필리핀해 중부 해역에서 북적도해류를 따라 이동하는 북태평양열대고염수가 분포하며, 그 이남에서는 저염의 표층수가 분포함을 보여주었다. 적도해역에서는 수온은 29.0-31.0°C로 나타났고 염분은 부정기적인 저염 peak를 제외하고 전반적으로 33.5-34.5 psu의 범위를 보였다.

적도 해역의 표층 수온 및 표층 염분 변화 특징의 하나는 강우 및 태양복사열의 영향이 바로 뚜렷하게 나타난다는 점이다(Hénin and Greket 1996). Fig. 6은 적도해역의 관측자료만의 수온-염분도로서 저온 및 고염의 경계 부분에서 각각 염분과 수온이 약 2.5 psu 및 1.5°C의 변화를 보여 상대적으로 큰 특징을 보여주고 있는 바 이는 강우 효과에 의한 저염화와 태양 복사열 영향에 의한 고온화 경향을 나타내고 있다.

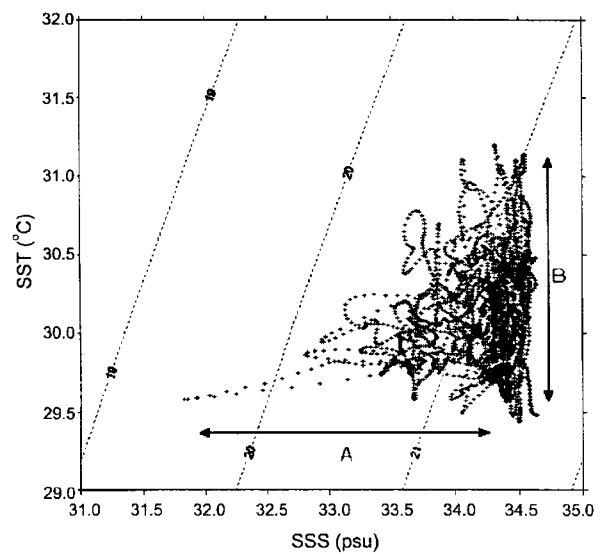


Fig. 6. Temperature-salinity diagram of the data observed in the equatorial region showing rainfall (A) and diurnal heating (B) effects.

염분 자료의 특성 - 강우 효과

Fig. 3에 나타난 적도해역 염분 자료의 특이점들은 5월 13-21일의 주기적인 변화, 5월 23일-6월 1일의 저염수 분포 및 저염 peak의 관측이다. 5월 13-21일의 주기적인 변화는 약 0.04 psu의 변화 폭을 보이며 수온의 변화도 동일한 위상으로 나타나고 있다. 이러한 주기적 변화는 뉴기니아에 인접한 해역에서 지구물리 탐사를 위한 동서방향의 왕복 항해로 탐사 해역 경계 부근이 반복적으로 관측된 때문으로 확인되었다. 5월 23일 이후의 저염수는 뉴기니아 연안수로 판단되며 뉴기니아 비약 사이의 내해에 이를 수록 염분이 감소하는 것을 보여준다. 6월 1일에는 31.9 psu에서 2.5 psu 이상의 염분 증가가 관측되었는데 이는 뉴우기니아 내해를 벗어나 고염수 해역인 외해로 진입하면서 나타난 것이다.

서태평양 적도해역의 기상 특성은 소나기성 국지적 강우로 이는 해양 표층의 수온과 염분 값에 큰 영향을 미친다. Fig. 7은 동경 147°30'에서 151°까지 적도를 따라 통과 하였던 6월 3일 6시에서 6월 4일 6시까지의 24시간 자료이다. 저염의 peak는 국지적인 강우의 영향이 나타난 것으로 수온과 염분의 하강이 각각 약 0.2-0.4°C 및 0.4-0.6 psu임을 보여주고 있는데 이에 따른 밀도 변화는 약 0.20-0.35 σ_t 로 나타났다. 5월 23일 11-12시의 1시간 사이에는 수온 약 0.6°C 그리고 염분 약 1.5 psu 하강이 관측되어 강우에 의한 저염화가 1.5 psu 이상이 될 수 있음을 시사 해주었다. 자료상 저염분 peak의 지속 시간은 수십 분에서 2시간 정도로 나타났다. 선박 이동 중에 관측된 것이기 때문에 강우 현상의 영향 지속 시간으로는 볼 수 없는 반면 선박이 통과한 국지적 저염화 해역의 최대 크기가 약 4 km이었음을 의미한다.

수온 자료의 특성 - 태양복사 효과

수온 변화의 주기는 일변화가 월등하였고, 그 일교차는 중위도보다 적도해역에서 보다 크게 나타났다. Fig. 8은

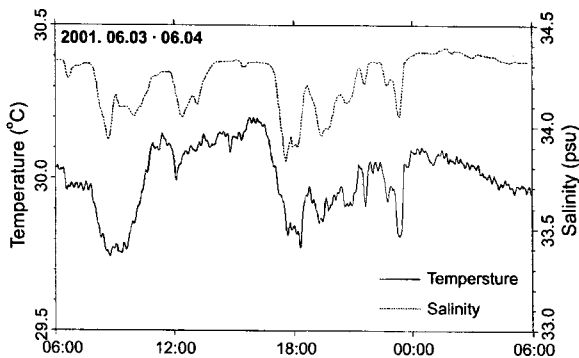


Fig. 7. Sea surface temperature and salinity along the equator between 147°30' and 151°E.

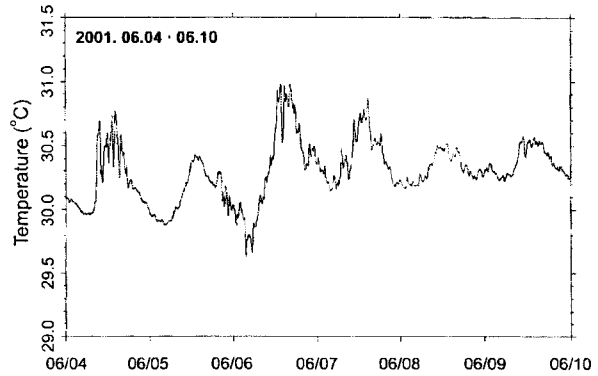


Fig. 8. Sea surface temperature in the equatorial region between 148 and 152°E.

6월 4-10일의 수온을 나타낸 것으로 약 0.4-1.3°C의 변화 폭의 뚜렷한 일 변화를 보여주고 있다. 일중 최저 및 최고 수온은 현지 시간으로 각각 5-6시 및 14-15시경으로 나타나 수온의 상승 시간이 하강 시간보다 짧은 특징을 보였다. 이는 Héning and Grelet(1996)이 1993년 1월에 서태평양 적도해역에서 관측한 결과와 유사하여 이 해역 표층의 일반적인 현상으로 판단된다. 기상 상태는 6월 6-7일은 맑았던 반면 8-9일은 운량이 많았기 때문에 두 기간의 수온 변화 자료를 비교하여볼 때 그룹에 의한 태양복사 차단 영향이 약 0.5°C 정도임을 시사해준다. 적도해역에서 자주 관측된 수십 분에서 수 시간 주기의 수온변화 자료는 표층 수온이 열대 소나기성 강우 현상에 의하여 약 0.2-0.6°C 정도로 낮아짐을 보여주었다.

5. TSG 운용상의 문제점 및 개선책

대양 항해중 획득된 TSG 자료로부터 나타난 온누리호 TSG 운용상의 문제점은 유입된 해수 공급의 불안정, 유입 해수의 TSG 공급 과정의 해수 특성 변질 및 TSG 센서의 보정 등 크게 세 가지이었다. 유입된 해수 공급의 불안정에 의한 문제의 하나는 해수 공급의 중단이다. 본 자료 획득 기간 중 해수 공급의 중단은 네 차례 발생하였는데 모두 기계적 오류에 의한 것이었다. 해수 공급의 중단은 사전 예측이 불가능하므로 TSG 자료 상태를 점검하는 것이 최선책으로 판단된다. 해수 공급 불안정의 다른 형태는 TSG 통과 해수의 속도가 불규칙하게 되는 경우이다. 만일 유속이 어느 정도 이상으로 빨라질 때 기포가 생성되고 이는 염분 값에 매우 큰 오류를 주는 것으로 나타났다. Bitterman and Millard(1994)는 기포 발생에 따른 염분 값의 변화가 0.5 psu 정도 낮아짐을 보인 바 있다. 그러나 본 항해 기간 중 임의로 기포를 생성한 경우 염분 값이 전반적으로 낮아지는 것은 확인할 수 있었으나 염분 값의

튀는 경향이 불안정하여 절대적인 값을 산출하지 못하였다. TSG 내부에서 기포발생의 경우를 감소시키기 위하여 TSG를 육안 관측이 용이한 곳에 설치하여 기포가 생성되면 바로 적절한 조치가 가능하도록 하여야 할 것이다. 실제 관측에서는 센서를 통과하는 해수에서 기포 발생이 되지 않도록 주기적으로 점검하여 해수 통과속도를 조절하였다. 발생한 기포가 센서에 주는 영향을 제거하기 위하여 기포를 쉽게 공기 중으로 빠져 나오도록 TSG의 해수 유입구 구조 및 위치 조절과 기포감지기를 설치하는 것도 적절한 방법으로 생각된다. TSG의 내부의 해수 압력은 50-60 db를 초과하지 않도록 유의해야하는데(FSI 2000; SBE 1998) 이를 위하여 내부 압력을 감지할 수 있는 압력계 설치가 개선해야될 점으로 나타났다. 취수된 해수의 선내 이동 중 영향은 사용 선박의 특성과 관련이 있는 부분으로 염분보다 수온에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 온누리호의 경우 TSG로 측정된 수온의 관측 오류가 0보다 큰 원인이 TSG가 설치된 wet lab에까지 해수를 공급하기 위하여 작동하는 펌프의 영향에 의한 것으로 보인다. TSG 측정 자료의 보정은 가장 주의깊게 처리해야 될 문제로 나타났다. 바람직한 자료 보정을 위해서는 사전 센서 검·교정, 현장에서 동시에 관측된 CTD나 염분계에 의한 측정값과의 비교 및 사후 센서 검·교정이 모두 필수적으로 이루어져야 할 것이다.

6. 요약 및 토의

2001년 5-6월 한국해양연구원에서 연구선 온누리호를 이용하여 수행된 서태평양 대양항해 중 자동 기록으로 획득된 TSG 자료를 분석하고 이의 운용상 문제점 및 개선책을 제시하였다. 관측된 TSG 값은 CTD 측정값에 비하여 수온은 약 $+0.3^{\circ}\text{C}$, 염분은 시간에 따라 약 -0.06 에서 $+0.04$ psu 편향오류를 보여주었으며, 관측오류의 요인은 취수된 해수의 TSG까지 이동시 수온 상승과 TSG 내에서의 미세한 기포로 판단된다. TSG 운용상 제기된 문제점은 TSG 센서를 통과하는 해수의 공급의 방법(즉, 통과 유속 증가에 의한 센서 통과 해수 내 기포 생성 유무)과 자료(특히, 염분) 검정 문제였다. 관측오류를 감소시키기 위하여 TSG 상태를 쉽게 판단할 수 있도록 기포감지기와 압력계의 설치가 필요하며, TSG 센서의 사전 검·교정이 이루어졌을 경우라도 TSG 자료를 검정할 수 있는 CTD 또는 염분계에 의한 현장 측정이 필수적인 것으로 나타났다.

TSG 자료는 동중국해 대륙붕, 쿠로시오 통과해역, 필리핀해 및 서태평양 적도해역 표층의 해황을 잘 나타내었다. 특히, 적도해역에서 표층수온은 약 $0.4-1.3^{\circ}\text{C}$ 변화 폭의 뚜렷한 일 변화를 보여주었고 일중 최고 및 최저 수온은 현지 시간으로 14-15시 및 5-6시경으로 나타나 수온

상승 시간이 하강 시간보다 빠른 것으로 나타났다. 기상 자료와 비교 결과 구름에 의한 태양복사 차단 영향이 약 0.5°C 정도임을 시사해주었다. 적도해역에서 특징적인 염분 변화는 수 십 분에서 수 시간 지속되는 저염의 peak로 이는 열대 소나기성 강우의 영향으로 판단되며 수온도 약 $0.2-0.6^{\circ}\text{C}$ 정도로 낮아지는 영향을 주는 것으로 관측되었다.

TSG 자료로부터 여러 해양물리학적 해석이 가능하였던 점은 TSG의 유용성을 나타낸 것으로 적절한 자료 처리 과정을 거치면 TSG 자료가 항해 해역 표층의 물리적인 해황 특성을 정확하게 나타낼 수 있다는 것을 의미한다. 이는 또한 국내의 TSG 운용의 수준이 SOOP(2001)과 같은 선박을 이용한 해양 표층 해황의 모니터링 프로그램에 참가 할 수 있는 수준에 근접해 가고 있음을 나타낸 것이라 할 수 있다. 따라서 앞으로는 연구사업에 관련된 항해에서뿐만 아니라 모든 항해 기간 중 TSG 자료가 획득될 수 있도록 하여 유용한 자료의 누적을 도모하고 연구선 활용의 효율을 높여야 할 것이다. 아울러 TSG 자료를 지구해양예보를 위한 자료동화에 이용될 수 있도록 위성 통신 등을 이용한 준 실시간 자료 전달 체계의 구성이 바람직하다.

사 사

본 논문은 한국해양연구원 기본연구사업으로 수행중인 '서태평양 종합 대양연구'의 일환으로 이루어졌다. 관측에 협조해주신 연구선 온누리호의 승조원과 심사와 의견을 주신 이동영 박사께 감사를 드립니다.

참고문헌

- Bitterman, D.S. and R.C. Millard. 1994. Shipboard thermosalinograph intercomparison test results from the NOAA R.V. Malcom Baldrige. NOAA Tech. Mem, ERL AOML -82.
- Falmouth Scientific Inc. 2000. Integrated thermosalinograph Operating manual.
- GOOS, The Global Ocean Observing System. Available from WWW: <<http://ioc.unesco.org/goos>>.
- Hénin, C. and J. Grelet. 1996. A merchant ship thermosalinograph network in the Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, 43, 1833-1855.
- Hénin, C. 1996. Intensive measurements of sea surface temperature and salinity in the Western Pacific. *WOCE Newsletter*, No. 22, 8-11.
- IRD. 1999. Users guide for thermosalinograph installation and maintenance aboard a ship. 49 p.

Jin, J.-Y., J.S. Park, J. Lee, K.S. Park, D.-Y. Lee, and K.D. Yum. 1999. Development of a real-time water quality monitoring system using coastal passenger ships and PCS telemetry. *Ocean Res.*, 21, 117-126.

NIES. 2000. NIES Annual Report 2000. 107 p.

Sea-Bird Electronics Inc. 1998. Seacat thermosalinograph

SBE 21 Operating manual.

SOOP. Ship of Opportunity Programme. Available from WWW:<<http://www.brest.ird.fr/soopip>>.

Received Apr. 28, 2002

Accepted Sep. 30, 2002