

Note

2014년 JCOMM 해수 염분 측정 국제 상호비교실험 결과 보고

이정한<sup>1\*</sup> · 김은수<sup>2</sup> · 이용국<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양방위연구센터

<sup>2</sup>한국해양과학기술원 환경기반연구센터

<sup>3</sup>한국해양과학기술원 안전·방위연구본부  
(15627) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

Summary of 2014 JCOMM Pilot Inter-Comparison Project for  
Seawater Salinity Measurements

Jung-Han Lee<sup>1\*</sup>, Eun-Soo Kim<sup>2</sup>, and Yong-Kuk Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maritime Security Research Center, KIOST

<sup>2</sup>Marine Chemistry and Geochemistry Research Center, KIOST

<sup>3</sup>Maritime Safety and Security Division, KIOST  
Ansan 15627, Korea

**Abstract :** The inter-comparison project for seawater salinity measurements, in which 25 laboratories from 16 countries took part, was conducted by JCOMM (Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology) for the first time in 2014. Two seawater samples of different salinity values ranging from 30–35 and 20–25 for Sample A and Sample B respectively and which had sufficient homogeneity and stability were distributed to all participants. Participants measured the salinity in their own laboratories at least 3 times and reported the results. Statistical treatments were applied to the results to assess discrepancies among laboratories. 20 out of the 25 laboratories used laboratory salinometers and statistics for this group were denoted as belonging to group  $\alpha$ ; while 5 out of the 25 laboratories used hand-held measuring instruments and statistics for this group were denoted as belonging to group  $\beta$ . Bias described as discrepancy among laboratories in group  $\alpha$  was within  $\pm 0.001$  and expanded uncertainty ( $k = 2$ ) was in the vicinity of 0.002. The bias and the uncertainty of Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), in group  $\alpha$ , were 0.000 and 0.002, respectively. The biases of group  $\beta$  were greater than group  $\alpha$  because of constraints related to instrument accuracy. Biases from 3 laboratories in group  $\beta$  exceed the accuracy specification of the corresponding instruments. Considering that the uncertainty of Standard Seawater (SSW) is of the order 0.001 to 0.002, the inter-comparison results show that 16 laboratories among the 25 laboratories made high quality measurements, largely indistinguishable from one another.

**Key words :** JCOMM, inter-comparison, seawater, salinity, uncertainty

\*Corresponding author. E-mail : leejunghan@kiost.ac.kr

## 1. 서 론

해양관측·조사는 해양과학연구에 기반이 되는 해양의 현상을 정확히 이해하고 현황을 파악하기 위해 필수적으로 수반되는 행위로서, 물리, 화학, 생물, 지질·지구물리, 공학 등 다양한 해양 연구 분야 및 기관 별로 많은 비용과 노력을 들여 현장 관측이 이루어지거나 시료 채취 후 분석이 수행되고 있다. 해양관측 및 분석 장비를 사용하여 해양에서 시료를 채취하는 과정(sampling)에서부터 전처리(pretreatment), 보관(storage) 그리고 분석하는 과정(analysis)까지 여러 단계를 거치게 되는데 이들 각 과정에는 측정결과의 품질을 저해하는 다양한 불확도(uncertainty) 요인들이 존재한다. 단계마다 불확도의 정도는 다르지만 일련의 과정을 거치면서 불확도가 누적 될 경우 최종자료의 불확도는 상당히 크게 평가 될 수 있다. 그에 따라 해양관측·조사 기관 또는 연구자에 따라서 측정결과가 상이하게 제시되어 기관의 관측·분석 능력에 문제점이 제시되곤 하며, 생산된 자료의 신뢰성에 의문이 제기되기도 한다. 해양관측·조사를 통해 생산되는 자료는 과학적인 연구, 정책 의사결정, 해양 안전·방위·예보 등 다양한 분야에 활용되므로, 불량자료 생산 시에는 막대한 비용과 노력의 손실을 초래하며, 잘못된 의사결정을 유발하게 된다. 점차 자료가 다량으로 생산되고 이용되면서 자료의 정밀도 및 정확도와 더불어 자료의 비교가능성과 소급성의 확립 그리고 신뢰성이 확보된 자료의 공동활용이 꾸준히 요구되고 있다. 따라서 해양관측·조사 자료의 신뢰성 및 공동활용을 높이기 위해서는 정도보증/정도관리(Quality Assurance/Quality Control, QA/QC) 통한 사전예방적 품질관리체계 구축이 필수적이다.

QA/QC는 실험실에서 생산된 자료가 정밀하고 정확하여 외부 실험실이 그 자료를 이용하기에 적합한 품질임을 확인시켜 주는 시스템이다(Dux 1990). QA/QC는 생산된 자료를 통계적으로 평가하는 정도평가(QA)를 통해 이루어지는데, 정도평가에는 내부평가법과 외부평가법이 있다(Taylor 1987). 내부평가법이란 안정성이 확보된 분석방법으로 시료를 반복 측정하여 얻어진 결과의 정밀도를 평가함으로써 한 실험실 내부 자료의 일관성여부를 검증한다. 그러나 내부평가만으로는 정확도를 측정하기 어렵기 때문에 공동분석, 상호비교실험, 기준물질 사용 등의 외부평가법을 실시하여 정확도를 평가하고 외부실험실과의 비교가능성을 확립해야 한다. 이 중 상호비교실험은 외부 실험실과의 실험결과 비교를 통해 실험실 내부의 문제점을 개선하고 상호비교가능성을 평가하기 위해 널리 이용되고 있다.

이런 사전예방적 품질관리체계 구축을 위한 국제적, 국가적 활동들은 꾸준히 이루어져 왔다. 국내에서는 해양환

경관리법 시행에 따라, 영양염류, COD, TN, TP, 중금속 등에 대한 숙련도 비교시험 및 현장평가를 실시하고 있다. 최근에는 국내 10개 영양염 분석 실험실을 대상으로 해수 중 영양염 분석 비교실험을 실시하여 국내 영양염 분석 실험실 내 측정정밀도 향상 및 자료의 공유에 대한 가능성에 기여하였으며, 다른 실험실과의 비교가능성과 소급성 확립을 위한 표준물질 확보 및 개발의 필요성도 제안하였다(문 등 2015). NOAA, WHOI, IFREMER, NOCS, JAMSTEC 등 국외 해양연구기관들은 고품질의 해양관측 자료를 생산하기 위하여 국가 및 기관 자체적으로 사전에 방적 품질관리시스템을 운영하여 자료의 신뢰성을 높이고 있다. 특히, 중국은 국가해양국(State Ocean Administration, SOA)의 해양표준계량센터(National Center of Ocean Standards and Metrology, NCOSM)에서 계량, 표준화 업무를 1992년부터 하고 있으며, 2009년부터는 이들 업무를 세분화하고 2012년부터는 이들 업무들을 해역별, 해도관리기술 등으로 나누어 수행하고 있다. 또한 아시아태평양 지구의 39개 성원국과의 협력을 통해 동 지역의 구심점 역할 수행을 도모하고 있다. 이를 기반으로 중국은 WMO(World Meteorological Organization)-IOC(UNESCO's Intergovernmental Oceanographic Commission) JCOMM(Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology)의 아시아-태평양 지역해양장비센터(Regional Marine Instrument Center for the Asia-Pacific Region, RMIC/AP)로서, 국제적인 해양 표준화 선도 국가로 점차 그 영향력을 넓혀가고 있다.

JCOMM은 해양기상 및 해양학 단체 중에서 관련 기준을 통합하기 위한 수단으로 설립되었으며, JCOMM은 해양과 해양기상 분야의 종합적인 관측, 자료관리 및 서비스 시스템 구축과정 및 표준화 제언, 그리고 회원국을 위한 역량 개발을 지원하는데 그 목적을 두고 있다. 이를 위해, JCOMM은 측정 장비 운용 및 표준화를 위한 전지구적 네트워크 구성을 목적으로 미주 및 아시아 대륙에 지역해양 장비센터(Regional Marine Instrument Center, RMIC)를 설립하였으며, 현재 미국과 중국이 유치하여 운영하고 있다. 중국은 2012년에 SOA의 NCOSM에 RMIC/AP를 설립하였다. JCOMM은 산하에 3개의 프로그램 영역(관측, 서비스, 자료관리)으로 구분하여, 자료부이협력패널(DBCP), 전지구해면고도관측시스템(GLOSS), Argo, 국제해양탄소조정 프로젝트(IOCOP), 기회선박프로그램 이행패널(SOPIP), 전지구자료동화실험(GODAE), 해양/기상 전문가 팀 등 여러 프로그램, 패널 및 전문가 팀을 조직하여 실행 중이다. 이 프로그램에서는 모두 염분 측정이 공통적으로 수행되고 있으며, 현장에서 해수의 염분 측정 결과와 실험실에서 염분 측정 결과의 비교를 통해 염분 측정 자료의 QA/QC를 하고 있다. 하지만 점차 염분 측정 자료가

다량으로 생산되고 이용되면서 자료의 정밀도 및 정확도와 더불어 자료의 비교가능성과 소급성의 확립이 국제적으로 요구되고 있다.

이를 위해 JCOMM은 2014년에 RMIC/AP 주최로 중국 1차 표준해수 2종(Sample A, B)을 시료로 해수 염분 측정 국제 상호비교실험을 개최하였다. 한국해양과학기술원은 이번 국제 상호비교실험에 참가하여 염분 측정불확도를 산출하여 내부실험결과와 정밀도를 평가하고 외부실험실과의 비교를 통해 실험결과와 정확도를 평가하여 자료의 상호비교 및 공유 가능성을 확인하고자 하였다. 본 논문에서는 이번 상호비교실험의 실험실간 염분측정 결과 비교 그리고 한국해양과학기술원의 염분 측정불확도 산출 과정에 대해 자세히 기술한다. 그리고 결론부분에서 측정·분석 자료의 공동활용을 위한 국내·외 해양 표준화 구축 사례를 살펴보고 국내 해양표준화를 위한 국가차원의 정책 검토방향에 대해서 제안한다.

## 2. 재료 및 방법

### 상호비교실험용 해수 샘플

이번 염분 상호비교실험에 해양 관련 대학, 국·공립연구소, 일반기업 중 총 17개 국가의 26개 실험실이 참여하였다(Table 1). 비교실험에 참가한 국가는 대륙적으로 아프리카, 아시아, 유럽, 북아메리카, 오세아니아에 위치해있다(Fig. 1).

상호비교실험용 해수 샘플은 RMIC/AP에서 생산한 균질성과 안정성이 확보된 중국 1차 표준해수(Chinese Primary SSW, GBW 13150) 2종(Sample A와 Sample B)을 사용함으로써 염분 측정 과정 중 시료분석 외의 시료채취와 보관 과정에서 발생 될 수 있는 실험실간 차이를 제외시켰다. 각 시료는 염분 30-35(Sample A)와 20-25(Sample B)의 범위에 있는 220 mL의 해수 샘플을 사용하였다. RMIC/AP는 각 시료의 균질성과 안정성 실험을 하였다. 균질성은 각

**Table 1. Participant list for inter-comparison**

Country	Institution
Australia	CSIRO Marine and Atmospheric Research (CSIRO)
Bangladesh	Institute of Marine Sciences and Fisheries (IMSF)
Belgium	Royal Belgian Institute of Natural Sciences-OD Nature-MARCHEM (RBINS)
China	South China Sea Environmental Monitoring Center (SCSEMC)
France	IFREMER Centre de Brest REM/RDT/LDCM (IFREMER) Service Hydrographique et Ocean-ographique de la Marine (SHOM)
Germany	Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Polar und Meeresforschung (AWI) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR)
India	National Institute of Oceanography (NIO)
Ireland	Ocean Science and Information Services, Marine Institute (OSIS)
Italy	Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) CNR-ISMAR Institute of Marine Science- U.O.S. Pozzuolo di Lerici (ISMAR)
Korea	Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST)
Kenya	Kenya Meteorological Service (KMS)
New Zealand	NIWA Ocean CTD Facility (NIWA)
Norway	Institute of Marine Research-Oceanography and Climate Research Group (IMR)
Pakistan	Centre of Excellence in Marine Biology University of Karachi (Un. Karachi) National Institute of Oceanography (NIO) Faculty of Marine Sciences, Lasbela University of Agriculture, Water and Marine Sciences (FMS/LUAWMS)
Trinidad & Tobago	Institute of Marine Affairs (IMA)
United Kingdom	National Oceanography Centre (NOC)
USA	Scripps Institution of Oceanography, Oceanographic Data Facility (SIO) Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) Sea-Bird Electronics (Seabird) Oceanography Research Associate University of Hawaii (Un. Hawaii)

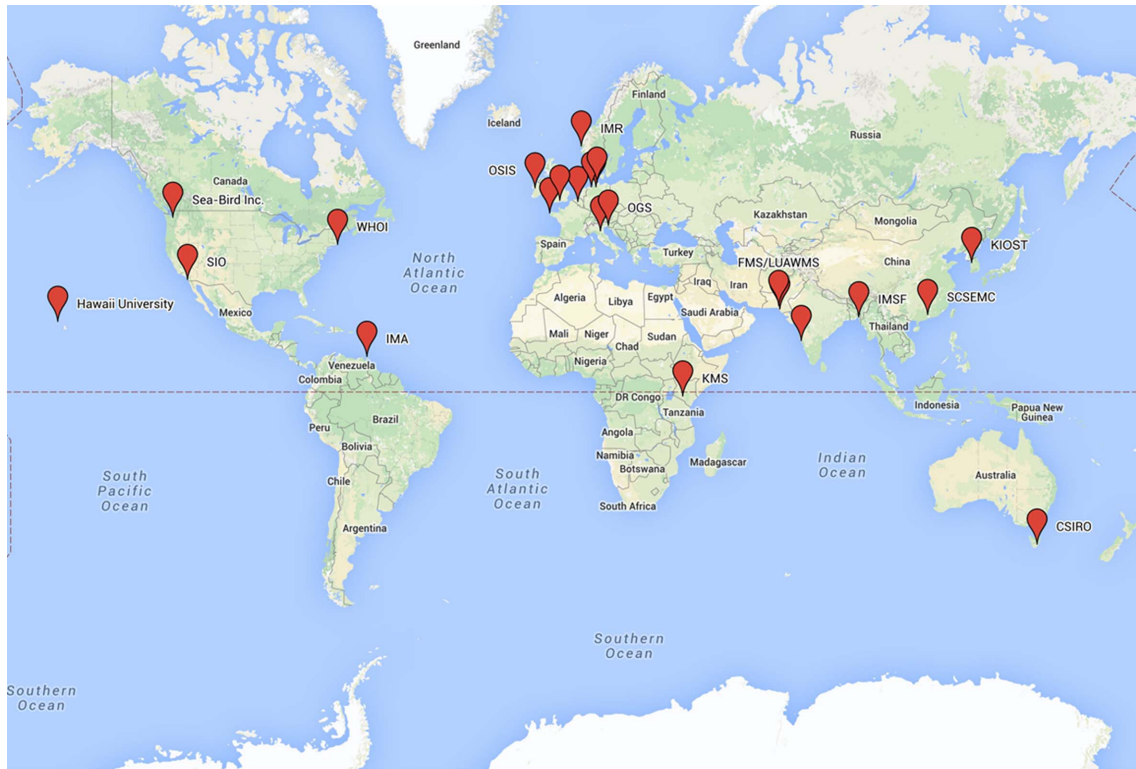


Fig. 1. Location of participants

시료 배치 중 16개의 시료병을 무작위 추출하여 측정된 결과의 평균에 대한 표준편차로 산출되었으며, 안정성은 ISO Guide 35(ISO 2006)에 따라 6개월 동안 각 시료를 분석하여 결정되었다. 각 시료의 균질성과 안정성의 합성 표준불확도(combined uncertainty)  $u_c(\text{Sample A}) = 0.0005$ ,  $u_c(\text{Sample B}) = 0.0003$ 이다. 2종의 시료는 각각 멸균된 유리병에 병입된 후 충격흡수제와 함께 포장되어 항공우편을 통해 배포되었다. 본 논문에서 기술한 염분의 단위는 국제실용염분농도(Lewis 1980)을 준용하였다.

**염분 측정 및 불확도 평가**

JCOMM의 안내에 따라, 참가 실험실은 두 시료의 염분을 한 시료당 3회 이상 반복 측정한 후, 각각의 측정값 및

측정불확도를 소수점 셋째 자리까지 표시하여 결과를 회신하였다. 총 26개의 실험실 중 염분 측정값을 회신한 실험실은 총 25개였다. 케냐는 상호비교실험을 중도 포기하였다. 25개의 실험실 중 10개 실험실은 염분 측정값과 함께 측정불확도를 평가하여 불확도 값을 제시하였다. 참가 실험실명은 원래 RMIC/AP에서 익명의 랜덤 ID 코드를 부여하였으나, 본 논문에서는 기술상의 편의를 위해 Lab 1-Lab 25로 순차적으로 재 표기 및 익명처리 하였다. 한국 해양과학기술원의 Lab ID는 13번이다. 각 실험실이 염분 측정 시 사용하는 측정장비는 약간의 차이가 있으나 공통적으로 20개 실험실은 실험실용 염분측정기(laboratory salinometer)를 사용하였고 5개의 실험실은 휴대용 염분측정기(hand-held measuring instrument)를 사용하였다. 염

Table 2. Instrument used in the measurement and specification from manufacturer

Group	Instruments	Accuracy (Sal.)	Amount
α	Guidline 8400B Autosal	± 0.002	13
	Guidline 8410A Portasal	± 0.003	4
	Guidline 8400A Autosal	± 0.003	2
	OPTIMARE Precision Salinometer	± 0.001	1
β	YSI Professional Plus Handheld Multi-parameter	± 0.1	2
	ELMETRON CPC401	± 2	1
	ATAGO Hand-Held Refractometer S/Millα-E	± 2	2

분 측정 결과의 통계처리를 위해서 20개 실험실과 5개 실험실을 그룹  $\alpha$ 와 그룹  $\beta$ 로 분류하였다(Table 2).

**측정결과의 통계처리**

회신된 결과는 각 실험실간 차이를 비교하기 위해 통계처리 되었다. ISO Guide 5725-2(ISO 1994)에 따라 그룹스 검정(Grubbs test)을 통해 회신된 결과에서 이상치를 제거하여 평가하였다. 실험실간 차이는 ISO Guide 13528 (ISO 2005)에 따라 바이어스(bias)를 사용하여 평가하였다. 바이어스는 기준값에 대해 실험실 별 측정값과 기준값의 차이를 나타낸 것으로, 하나의 자료가 기준값과 얼마나 근사한지를 평가하므로 실험실 전체의 결과 중 각 실험실의 결과가 차지하는 위치를 파악하기 위해 사용되었다. 기준값은 이상치가 제거된 나머지 결과의 중앙값으로 하였다. 바이어스의 절대값의 크기가 작을수록 측정결과가 기준값과 근사하다고 평가하며, 양수(+)일 때는 기준값보다 크고 음수(-)일 때는 작다고 해석한다. 바이어스  $D$ 는 식 (1)을 통해 산출되었다.

$$D_i = x_i - X \tag{1}$$

where,  $X = \text{median}(X_i)$

$X$ 는 기준값이고,  $x_i$ 는 실험실별 측정값이고  $i$ 는 실험실 ID code 이다. 그룹  $\alpha$ 의 측정결과는 위에서 기술한 통계처리를 적용하였다. 하지만 그룹  $\beta$ 는 참가 실험실 수가 적고 사용한 측정장비의 정확도가 낮으며 회신된 측정값 간의 차이가 커서 그룹  $\alpha$ 와 동일한 통계처리방법을 사용하지 않았다. 따라서, 그룹  $\alpha$ 에서 계산된 기준값을 사용하여 단지 그룹  $\beta$ 의 바이어스가 Table 2에 나와있는 장비 제조사에서 제시한 정확도 사양 범위 내에 존재하는지 평가하였다.

**3. 결과 및 토의**

**실험실간 차이 분석**

각 실험실에서 회신한 결과는 Table 3에 정리되었다. 그룹  $\alpha$ 에서 Lab 14를 제외한 나머지 모든 실험실은 Guildline 제조사의 실험실용 염분측정기를 사용하였다. 그 중에서

**Table 3. Results of group  $\alpha$  and  $\beta$**

Group	Lab ID	Sample A		Sample B		Instruments	Standardization SSW Batch
		Salinity	$U(k=2)$	Salinity	$U(k=2)$		
$\alpha$	1	32.530	-	24.699	-	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	2	32.530	-	24.698	-	Guildline 8400A Autosol	P155 (IAPSO)
	3	32.531	0.001	24.699	0.001	Guildline 8400B Autosol	P157 (IAPSO)
	4	32.530	-	24.698	-	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	5	32.531	0.049	32.531	0.037	Guildline 8410A Portasal	P156 (IAPSO)
	6	32.530	0.003	24.698	0.003	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	7	32.529	-	24.696	-	Guildline 8400B Autosol	P155 (IAPSO)
	8	32.546	-	24.715	-	Guildline 8410A Portasal	P156 (IAPSO)
	9	32.530	0.001	24.698	0.001	Guildline 8400B Autosol	P155 (IAPSO)
	10	32.531	0.001	24.699	0.001	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	11	32.531	0.002	24.699	0.002	Guildline 8400B Autosol	P154 (IAPSO)
	12	32.530	-	24.698	-	Guildline 8400A Autosol	P154 (IAPSO)
	13	32.530	0.002	24.698	0.002	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	14	32.531	-	24.698	-	OPTIMARE Precision Salinometer	P157 (IAPSO)
	15	32.530	-	24.698	-	Guildline 8400B Autosol	P154 (IAPSO)
	16	32.531	0.002	24.698	0.002	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	17	32.138	-	23.642	-	Guildline 8400B Autosol	P150 (IAPSO)
	18	32.530	-	24.698	-	Guildline 8410A Portasal	P156 (IAPSO)
	19	32.530	0.002	24.697	0.002	Guildline 8400B Autosol	P156 (IAPSO)
	20	32.526	0.002	24.695	0.002	Guildline 8410A Portasal	P9 (NCOSM)
$\beta$	21	31.6	-	24.07	-	YSI Professional Plus Handheld Multi-parameter	-
	22	30.922	-	25.92	-	ELMETRON CPC401	-
	23	33.5	-	25	-	ATAGO Hand-Held Refractometer S/Mill-E	-
	24	29	-	21	-	ATAGO Hand-Held Refractometer S/Mill-E	-
	25	32.3	-	24.49	-	YSI Professional Plus Handheld Multi-parameter	-

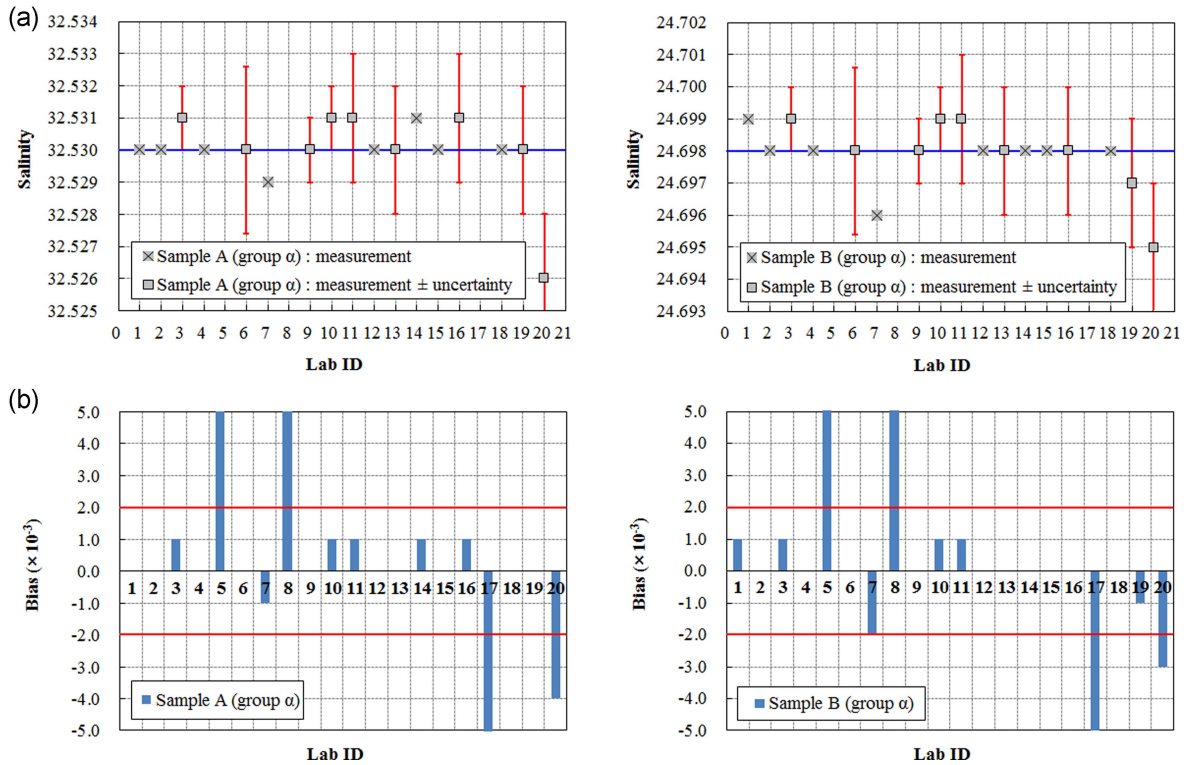


Fig. 2. (a) Salinity measurement and uncertainty from group  $\alpha$ , (b) Bias from group  $\alpha$

Guidline 제조사의 8400B 모델이 가장 많이 사용되었다. 그룹  $\alpha$ 의 총 20개 실험실 중에서 Lab 1–19의 19개 실험실에서는 IAPSO(OSIL, UK)의 표준해수를 사용하여 염분측정기를 표준화하였고, Lab 20은 중국 1차 표준해수(NCOSM, CHINA)를 사용하였다. 그룹  $\alpha$ 의 총 20개 실험실 중 절반인 10개의 실험실에서 불확도  $U$ (expanded uncertainty,  $k=2$ )를 제시하였다. 반면 그룹  $\beta$ 의 모든 실험실은 휴대용 염분측정기를 사용하였으며, 불확도를 제시하지 않았다. 이번 상호비교실험에 참가한 각 실험실들은 측정불확도 산출방법에 대해 자세히 보고하지 않고, 측정불확도 산출값만을 회신하였다. 불확도 평가 시 불확도에 영향을 주는 인자는 개별 실험실마다 달라서 알 수가 없으므로, 본 논문에서는 개별 실험실의 불확도 평가 방법에 대해서는 기술하지 않고 한국해양과학기술원의 불확도 평가 방법에 대해서만 자세히 기술하였다.

$\alpha$  그룹에 속한 실험실간 차이를 분석하기 위해, 실험실에서 제시한 측정값과 불확도를 Fig. 2(a)에 함께 표시하였다. Fig. 2(a)에서 파란색 가로 실선은 기준값(Sample A: 32.530, Sample B: 24.698)을 의미하며, 빨간색 세로 오차막대는 각 실험실의 측정값을 중심으로 한 측정불확도를 뜻한다. Lab 5, Lab 8, Lab 17, Lab 20의 측정값은 기준값을 구하는 과정에서 제거된 이상치이다. 한국해양과학기술원(Lab 13)의 Sample A와 B의 측정불확도는 모

두 0.002 PSU로 평가되었다. 이상치를 제외하고 각 실험실에서 제시한 측정불확도(0.001–0.003 PSU)를 고려하였을 때, Sample A와 B의 염분 측정값의 분포가 기준값에 상당히 가까우며 또한 그 측정불확도의 범위안에 기준값이 포함됨을 확인하였다. 측정불확도를 제시하지 않은 실험실은 측정불확도 대신 염분측정기의 정확도( $\pm 0.001$ – $0.003$  PSU)를 고려하였을 때, 그 정확도 범위안에 기준값이 역시 포함됨을 확인하였다. 식 (1)을 통해 산출된 바이어스 분포는 Fig. 2(b)에 표시하였다. 한국해양과학기술원의 Sample A와 B의 바이어스는 모두 0.000 PSU이다. 4개의 이상치 실험실을 제외한 나머지 실험실들의 바이어스는 대략  $-0.001$ – $+0.001$  PSU로 위에서 기술한 측정불확도(0.002 PSU) 및 장비의 정확도 평균 범위( $\pm 0.002$  PSU) 안에 포함되었다. 따라서, 측정값이 서로간의 거의 차이가 없어 실험실 내부 품질관리는 양호하며 실험실간 자료의 공유가 가능할 것으로 판단된다. Lab 5와 Lab 8은 0.02 정도의 큰 바이어스 에러를 보였다. Lab 17은 1 정도의 상당히 큰 바이어스 에러를 보였는데, 이는 사용한 장비나 운영절차에 문제점이 있는 것으로 판단된다. 다만, Lab 20은 불확도를 벗어나는 약간의 바이어스 에러를 갖고 있는데, 이는 측정 절차상의 문제점을 약간 보완하면 해결될 것으로 생각된다.

Fig. 3에는  $\beta$ 그룹에 속한 실험실의 측정값을 표시하였



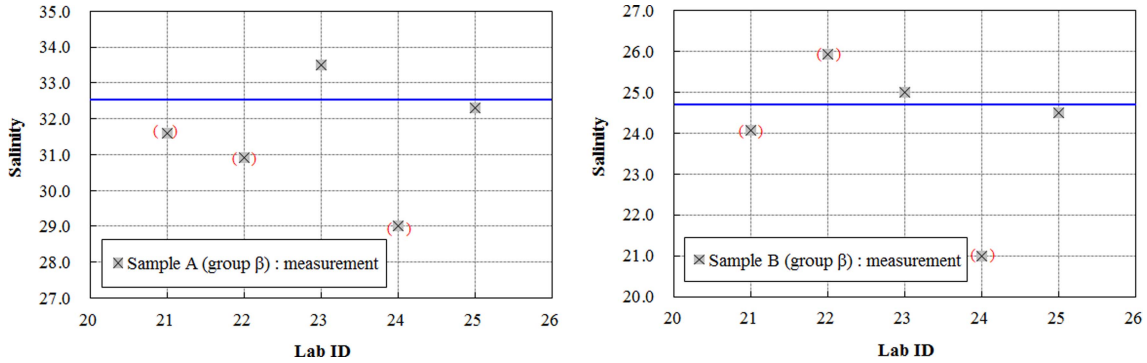


Fig. 3. Salinity measurement of group  $\beta$ . The outliers were emphasized by parenthesis

다. 그룹  $\beta$ 에서는 각 실험실 별 측정값의 분포가 기준값과 큰 차이를 보이고 있다. 이때 기준값은 그룹  $\alpha$ 의 기준값이다. 바이어스가 장비의 정확도 사양을 초과하는 경우, Fig. 3에 괄호안에 있는 자료들로 표현되었다. 그룹  $\beta$ 의 실험실에서 사용한 장비의 정확도 사양이 그룹  $\alpha$ 에 비해 떨어지기 때문에 당연히 그룹  $\beta$ 의 바이어스가 그룹  $\alpha$ 의 바이어스보다 더 큰 결과를 보였다. Lab 21, Lab 22, Lab 24은 장비 제조사의 정확도 사양을 초과하였고 Lab 23, Lab 25은 정확도 사양범위 안에 들어갔다. Lab 21, Lab 22, Lab 24 실험실은 현재 염분 측정에 사용하고 있는 휴대용 염분측정기의 상태 및 운용절차 그리고 교정 상태 등을 확인해봐야 할 필요가 있다고 판단된다.

**불확도 평가(Uncertainty evaluation)**

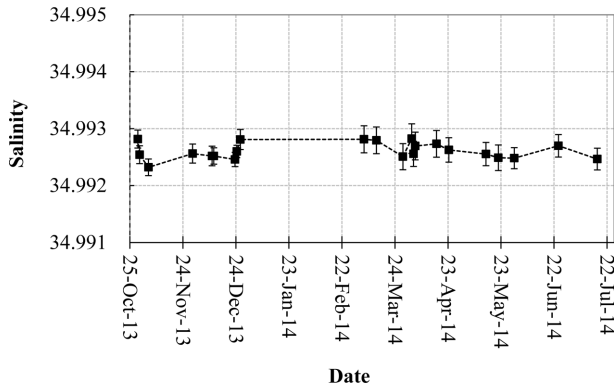
본 논문에서 기술하는 불확도(uncertainty) 또는 측정불확도(measurement uncertainty)는 국제표준 ISO 불확도 표현 지침(BIPM 2008a)에 따라 추정하였다. 염분 측정에 대한 불확도 평가는 과거부터 꾸준히 수행되었다. Le (2011)은 GUM method and the Monte Carlo method (BIPM 2008b)에 따라 염분 측정 불확도를 평가하였다. Le (2011)은 10, 35, 40 PSU의 해수샘플에 대한 확장불확도를 각각 0.0016, 0.0022, 0.0025 PSU로 평가하였다. Bacon et al. (2007)은 IAPSO SSW(Standard Seawater)의  $K_{15}$ 에 대한 불확도를  $1 \times 10^{-5}$ 로 평가하였다. Perkin and Lewis (1980)은 PSS-78의 fitting error를 계산하였으며, 그 염분 에러값은 0.0007 PSU이다. 염분측정기의 정확도 사양, 표준해수의 불확도, 표준해수의 드리프트, PSS-78 fitting error를 고려했을 때 염분 측정 불확도의 수학적 모델은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.  $u_c(\Delta S)$ 는 염분 측정에 대한 합성표준불확도(combined standard uncertainty)로, 염분측정기에 의한 불확도  $u(S_i)$ 와 염분측정기의 염분 반복 측정에 따른 불확도  $u(\delta S_{Re})$ 와 표준해수의 불확도  $u(\delta S_{SSW})$ 와 표준해수의 드리프트에 의한 불확도  $u(\delta S_{SSW\_drift})$ , PSS-78 fitting 불확도  $u(\delta S_{PSS})$ 를 합성하여 구한다.

$$u_c(\Delta S) = \sqrt{u^2(S_i) + u^2(\delta S_{Re}) + u^2(\delta S_{SSW}) + u^2(\delta S_{SSW\_drift}) + u^2(\delta S_{PSS})} \quad (2)$$

- $u(S_i)$  : 염분측정기에 의한 불확도(B형 평가)
- $u(\delta S_{Re})$  : 염분측정기의 염분 반복 측정에 따른 불확도(A형 평가)
- $u(\delta S_{SSW})$  : 표준해수의 불확도(B형 평가)
- $u(\delta S_{SSW\_drift})$  : 표준해수의 드리프트에 의한 불확도(A형 평가)
- $u(\delta S_{PSS})$  : PSS-78 fitting 불확도(B형 평가)

염분측정기에 의한 불확도 추정은 8400B가 교정되지 않았을 경우 제조사에서 제시한 8400B의 정확도  $\pm 0.002$ 를 적용한다. 이때 확률분포는 사각형 모델을 사용한다. 8400B가 교정되어 선형보정이 되었을 경우, 불확도는 해당 염분측정기 교정성적서의 확장불확도값을 적용한다. 8400B 염분측정기는 반드시 국제해양과학협회(International Association for the Physical Sciences of the Oceans; IAPSO)의 표준해수(SSW) 또는 그와 동급의 표준해수를 사용하여 교정하여야 한다. 제조사에서 제시한 8400B의 정확도 사양은  $\pm 0.002$  (24시간, 2-38 PSU)이다. 8400B의 교정 필요성 판단에 대한 기준은 장비가 측정한 데이터가 정확도 사양 범위에 들어가는지 여부에 따라 결정할 수 있다. 하지만, 정확도 사양 범위에 들어가더라도 8400B를 교정하였을 경우 그 측정결과의 품질은 더 향상될 수 있다. 8400B의 데이터가 정확도 사양 범위에 들어가지 못할 경우, 위의 표준해수를 이용하여 8400B를 선형 보정(linearity correction)해야 한다. 선형 보정 방법은 제조사의 장비 매뉴얼에 자세하게 나와있으므로, 본 논문에서는 따로 기술하지 않는다. 염분측정기에 의한 불확도는 식 (3)-(4)에 나와 있다.

$$u(S_i) = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ (8400B 미교정 시)} \quad (3)$$



**Fig. 4. Time-series measurement data (average and standard deviation) of IAPSO SSW (K<sub>15</sub> 0.99981, Salinity 34.993, Batch No. P155, 19/09/2015)**

$$u(S_i) = \frac{0.0011}{2} = 5.5 \times 10^{-4} \quad (\text{8400B 교정 시}) \quad (4)$$

염분측정기의 염분 반복 측정에 따른 불확도 추정은 Sample A와 B의 3회 측정값의 표준편차  $2.0 \times 10^{-4}$ 를 적용하였다. 염분측정기의 염분 반복 측정에 따른 불확도는 식 (5)에 나와 있다.

$$u(\delta S_{Re}) = \frac{0.0002}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-4} \quad (5)$$

표준해수의 불확도 추정은 제조사(OSIL, UK)에서 제시한 표준해수의 불확도  $U=0.001$  ( $k=2$ )을 적용한다. 표준해수의 불확도는 식 (6)에 나와 있다.

$$u(\delta S_{SSW}) = \frac{0.001}{2} = 5 \times 10^{-4} \quad (6)$$

표준해수의 드리프트에 의한 불확도 추정은, Culkin and Ridout (1998)과 Bacon et al. (2007)에 따르면, SSW batches P130-P144의 연간 conductivity ratio( $R_t$ ) 오프셋

(offset)은  $0.3 \times 10^{-5}$  ( $<0.0001$  in salinity)이다. 따라서, SSW의 드리프트 보정은 측정결과에 매우 작은 영향을 미치기 때문에 8400B의 측정결과에 심각한 드리프트가 발견되지 않으면, SSW의 제조사에서 정한 사용 유효기간 내에서 그 드리프트는 무시해도 무방하다. 하지만, 최고품질의 자료를 생산하기 위해서는 SSW의 드리프트는 반드시 평가되어야 하고 보정되어야 한다. 그룹  $\alpha$ 의 Lab 17 경우, 8400B와 IAPSO SSW를 사용했음에도 불구하고, 1 정도의 상당히 큰 바이어스 에러를 보인 이유는, 바로 유효기간이 지난 SSW(P150, 2008)를 사용했기 때문이다. Fig. 4에 이번 상호비교실험에 사용된 한국해양과학기술원에서 보유중인 8400B로 IAPSO SSW를 약 1년 간 측정할 시계열 자료의 평균값과 표준편차(세로막대)를 나타내었다. 8400B는 대기온도(ambient temperature)에 상당히 민감한 장비이기 때문에, 8400B가 설치된 실험실은 항온항습시스템이 구축되어 있으며, 환경조건은 KOLAS 환경기준(T2)을 유지하고 있다. 온도는  $(23.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , 상대습도는  $(50 \pm 5)\%\text{R.H.}$ 를 유지하고 있다. 8400B의 측정(항온조) 온도는  $24^\circ\text{C}$ 로 설정해놓고 사용하고 있다. 1년동안 측정된 자료의 총 평균값은 34.9926 PSU이고 표준편차는 0.0002 PSU이다. 염분 측정값들이 IAPSO SSW의 불확도  $\pm 0.001$  범위 이내에 해당하고 표준편차가 0.0002 이내였다. 따라서, SSW의 드리프트에 의한 불확도는 식 (7)로  $1.2 \times 10^{-4}$  이내로 평가되었다.

$$u(\delta S_{SSW\_drift}) = \frac{0.0002}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-4} \quad (7)$$

PSS-78 fitting 불확도 추정은 PSS-78 fitting error의 표준편차 0.0007를 적용한다(Perkin and Lewis 1980). PSS-78 fitting 불확도 추정은 식 (8)에 나와 있다.

$$u(\delta S_{PSS}) = 7 \times 10^{-4} \quad (8)$$

염분측정에 대한 확장불확도는 식 (2)의 합성표준불확

**Table 4. Uncertainty budget**

Quantity	Estimate	Standard uncertainty	Probability distribution	Sensitivity coefficient	Uncertainty contribution
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u(v_i)$
$S_t$	32.530	$1.2 \times 10^{-3*}$	rectangular	1	$1.2 \times 10^{-3*}$
	24.698	$5.5 \times 10^{-4**}$	normal		$5.5 \times 10^{-4**}$
$\delta S_{Re}$	0	$1.2 \times 10^{-4}$	rectangular	1	$1.2 \times 10^{-4}$
$\delta S_{SSW}$	0	$5 \times 10^{-4}$	normal	1	$5 \times 10^{-4}$
$\delta S_{SSW\_drift}$	0	$1.2 \times 10^{-4}$	rectangular	1	$1.2 \times 10^{-4}$
$\delta S_{PSS}$	0	$7 \times 10^{-4}$	normal	1	$7 \times 10^{-4}$
$S$	32.530		normal		$1.4 \times 10^{-3*}$
	24.698			$1.2 \times 10^{-3**}$	

\*Salinometer without calibration, \*\*salinometer after calibration



도를 계산한 후 포함인자(coverage factor,  $k$ )를 곱하여 구한다. 이때 포함인자  $k$ 는 약 95% 신뢰수준에서 유효자유도가 10 이상으로 충분히 크므로 2를 택한다. 최종적으로 산출된 염분측정에 대한 확장불확도는 0.002 PSU이다. 각 불확도 요인 및 추정값은 Table 4에 정리되었다.

#### 4. 결론 및 제언

본 논문에서는 중국 1차 표준해수 2종(Sample A, B)을 시료로 WMO-IOC JCOMM이 개최한 2014년 해수 염분 측정 국제 상호비교실험의 결과를 보고하였다. 아프리카, 아시아, 유럽, 북아메리카, 오세아니아 대륙 총 16개 국가의 25개 실험실이 상호비교실험에 참여하였다. 염분 측정 결과는, 실험실용 염분측정기를 사용하여 염분 측정결과를 보고한 그룹  $\alpha$ (총 20개 실험실)와 휴대용 염분측정기를 사용한 그룹  $\beta$ (총 5개 실험실)로 나누어서 통계처리 및 분석하였다. 한국해양과학기술원을 포함한 그룹  $\alpha$ 의 총 20개 실험실 중 16개 실험실은 염분 기준값과 측정값의 차이(바이어스)가 대략  $-0.001$ – $+0.001$  PSU로, 각 실험실에서 제시한 염분 측정불확도( $k=2$ ) 및 장비의 정확도 평균 범위( $\pm 0.002$  PSU)안에 모두 포함되었다. 상호비교실험에 참가한 한국해양과학기술원의 Sample A와 B의 바이어스는 모두 0.000 PSU이고 측정불확도는 모두 0.002 PSU로 평가되었다. 한국해양과학기술원의 측정불확도 인자는 염분측정기의 염분 반복 측정에 따른 불확도(A형 평가), 표준해수의 드리프트에 의한 불확도(A형 평가), 염분측정기에 의한 불확도(B형 평가), 표준해수의 불확도(B형 평가), PSS-78 fitting 불확도(B형 평가)로 총 5가지 인자를 평가하였다. 이번 상호비교실험에 참가한 각 국가 또는 실험실 마다 측정 환경조건(온도)이 다르고 측정불확도 산출 방법에 대해 자세하게 보고하지 않았기 때문에, 본 논문에서는 환경조건을 불확도 인자로써 평가 하지 않았다. 그룹  $\beta$ 의 총 5개 실험실 중 2개의 실험실만 염분 측정값이 장비의 정확도 사양범위 안에 들어갔고 나머지 3개의 실험실은 정확도 사양을 초과하였다.

이번 상호비교실험 결과, 한국해양과학기술원을 포함한 그룹  $\alpha$ 의 총 20개 실험실 중 16개 실험실은 염분측정값이 서로간의 차이가 거의 없어, 실험실 내부 자료가 일관성이 있고 품질관리가 양호함을 확인하였다. 이를 바탕으로 향후 실험실간 자료 공유 및 JCOMM 프로그램에서 생산된 자료의 공동활용 가능성이 확인되었다. 그룹  $\beta$ 의 총 5개 실험실 중 장비의 정확도 사양을 초과한 3개의 실험실은 현재 염분 측정에 사용하고 있는 휴대용 염분측정기의 상태 및 운용절차의 문제점 개선 그리고 교정 상태 등을 확인해봐야 할 것이다.

측정·분석 자료의 공동활용을 위해서는 필수적으로 그

자료가 국가 및 국제 표준과 소급성이 확보되어 있어야 한다. 현재 전세계적으로 ISO 국제표준의 각 회원 국가에서는 ISO/IEC 17025에 따라 시험·분석·측정·교정에 대한 인정기구를 두고 있으며, 각 회원국은 ILAC(국제시험기관인정협력체), APLAC(아시아태평양시험소인정기구), EA(유럽시험소인정기구), SANAS(남아공시험소인정기구) 등 여러 기구에 소속되어 서로 국가간 상호인증협력체계를 이루고 있다.

우리나라의 표준 체계는 가장 상위법인 국가표준기본법을 근간으로 그 아래에 각 세부 분야(부처)별 개별법으로 구성되어 있다. 그러나 ISO/IEC 17025 국가표준 분야는 길이, 질량, 부피, 압력, 온도 등 총 32개의 육상분야에 대한 것으로서, 현재 해양분야에서 중요한 물리, 화학, 생물, 지질, 지구물리 관측과 관련된 항목들에 대해서는 국가표준 분야가 없다. 또한 해양 표준화와 관련하여 단일의 법규는 없는 상황이고, 해양과학조사법, 측량·수로조사 및 지적에 관한 법률, 해양환경관리법, 해양수산발전기본법 등 개별법에서 각 법의 입법목적에 맞는 분야에서 소급성을 개별적으로 유지하고 있다. 최근 국내에서 육상표준 분야인 온도 및 압력을 해양의 수온 및 수심 항목에 접목시켜 해양관측장비 CTD의 교정 시스템을 구축하고 ISO/IEC 17025 KOLAS(한국인정기구)를 인정받아 측정·교정에 대한 국제 소급성을 확보 하였다(이 등 2014). 해양의 수온과 수심 항목은 육상의 온도와 압력 표준분야에 소급될 수 있으나, 그러나 해양의 전기전도도(염분) 항목이 소급될 수 있는 육상 표준분야가 없기 때문에 CTD 측정·교정에 대한 완전한 소급성 확보에는 한계가 있다. 시험·분석과 관련되어서는, 서론에서 언급했듯이 최근 국내 숙련도 시험과 현장평가를 통해 해양환경분석의 정도관리체계를 운영하기 시작했다. 그러나 이 역시 해양환경에 국한된 품질관리 시스템일 뿐, 해양전반을 다루는 표준화 체계는 아니다.

국외사례를 살펴보면 미국, 영국, 일본, 중국 등 해외 선진국가도 국가간 상호인증협력체계 아래에서 각 국가마다 시험·분석·측정·교정에 대한 인정기구를 두고 있는데, 이들 국가 중 유일하게 중국은 해양분야의 독립된 표준화 시스템을 갖추고 있다. 중국은 총 123개의 해양국가표준과 183개의 해양분야 표준을 정립하였다(주 등 2013). 중국인정기구 CNAS에는 해양관측·분석 장비의 시험 항목은 총 25가지, 교정은 총 12가지가 있다. 이번에 염분 측정 국제 상호비교실험을 개최한 중국 NCOSM은 위 항목에 대한 ISO/IEC 17025 CNAS 인정을 받았다. 서론에서 언급했듯이 이를 바탕으로 중국은 현재 WMO-IOC RMIC/AP로서 국제적인 해양 관측·조사 방법 및 자료 관리에 대한 표준화 작업 추진에 있어서 선도적인 역할을 하고 있다. 중국이 국가적으로 해양표준화를 구축하고 더 나아가

WMO-IOC RMIC/AP로서 국제적으로 해양표준화 분야에서 선도적인 역할을 하고 있는 반면, 우리나라의 경우는 위 언급했듯이 해양분야의 표준화에 대한 움직임은 상당히 미흡한 실정이다. 중국의 사례를 볼 때, 현재 우리나라의 국가차원의 해양분야 표준화 구축에 대한 비교진단과 함께 향후 나아가야 할 방향에 대해 좋은 시사점을 제공하고 있다고 사료된다.

해양표준화를 위한 국가차원의 정책 검토방향에 대해 제안하자면 먼저, 현행 해양표준화의 개념과 범주를 좀 더 확장시켜 현재 좁은 범위로 기·장비의 검·교정(이 등 2014), 교정·인증표준물질의 개발(노 등 2015) 및 자료관리의 영역(김 등 2015)에서 이루어지는 해양표준화 작업을 해양관측, 해양(환경)관리, 해양과학기술 개발, 해양경제 통계 등의 영역으로 점차적으로 확대해야 한다. 이를 위해서 현재 통신분야의 경우처럼 해양분야에서의 표준화 사업추진을 위한 거시적인 정책·계획 수립을 검토해야 한다. 이러한 해양분야에서의 독립영역의 표준화 정비 사업은 국내 표준화 사업에서도 선도적인 위치를 점할 뿐만 아니라, 2013년부터 실시되고 있는 UN 차원의 해양관측·자료 등의 관련 표준안 마련을 위한 작업 등 개발단계에 있는 국제사회에서의 해양표준화 작업에서도 우위를 점할 수 있다. 우리나라의 경우, 약 2만 여종의 ISO/IEC 표준 중 우리나라 기술이 반영된 표준은 300여건에 불과하고, 특히, 해양분야 국내표준의 국제표준화 사례는 전무한 실정이다. 국가차원의 정책 방향 검토 시, 국가표준기본계획과 연계하여 해양 R&D 분야의 원천기술의 해양표준화 활용기술로의 활용을 적극 검토하고 이를 해양분야의 국제표준으로 추진할 전략도 고려하여야 한다. 또한 해양분야 표준화의 독립적인 관리체계 구축을 위해서는 현재의 법률, 관리기구, 실행체계, 표준 제·개정 과정 등에서 일련의 추진과정을 재검토하여 이들 사업 간의 일원화 관리 시스템 구축을 위한 검토가 이루어져야 한다. 우선 관련 법제의 통합 및 정비 측면에서 해양관측·조사의 표준화와 자료의 품질을 위한 법제의 정비가 필요하다. 무엇보다도 해양표준화의 범주에서 현재 분산되어 있는 관련 법률규정을 통합하여 하나의 법률체제 하에서 관리되도록 하는 것이 중요하다. 법제 정비방법으로는 기존 법률을 일부 수정하는 방식과, 새로운 단일 법률로서 제정하는 방법이 있는데 현행 해양환경관리법은 해양환경자료의 품질관리를 위한 전반적인 내용을 규정하고 있기 때문에 동법을 개정하는 것이 용이하다고 판단된다. 이를 위해 현행 해양환경관리법의 해양환경자료 품질관리 분야를 현재 3개 분야에서 해양분야의 거시계획에서 도출된 분야로 확대를 검토하고, 기존의 해양환경측정기기의 정도관리와 관련한 내용을 구체화하여야 한다.

둘째, 해양표준화를 기획·관리·감독하는 구심점이 되는

관리 기구의 재정비 또는 권한강화를 위한 계획마련 및 기술적·정책적·행정적 업무를 수행할 부속 기구 또는 위원회 구성 등 관리시스템 구축을 검토할 필요가 있다. 중국의 사례처럼, 해양관리부처가 연구개발, 검·교정, 정책수립의 역량을 갖춘 기관에게 권한과 임무를 위임하여 끊임없이 발생하는 해양표준화 수요를 충족시키고 국가의 해양표준화 역량을 제고해야 한다. 현재 우리나라에서 시행되고 있는 정보 통신 분야의 표준화 관리시스템에 대한 사례검토 및 벤치마킹도 고려해 볼만하다. 기술적 측면의 검증이 필요한 표준을 검사하고 인증하기 위해서는 관련된 기술위원회를 설치하여 체계적인 절차를 구축해야 한다. 또한 현재까지 관리가 미비했던 해양표준화에 대한 정부의 인식전환과 가치비중 제고를 위해 우선 해양 연구자 및 관련종사자의 인식확산이 전제되어야 할 것이다.

끝으로, 본 논문에서 기술한 해수 염분 측정 국제상호 비교실험 참가 결과 보고를 통해 단순히 특정 해양연구분야에서의 자료의 신뢰성 향상 및 공동활용을 위한 사전예방적 품질관리체계 및 표준화 구축 필요성에 대한 협의적인 목소리가 아닌 물리, 화학, 생물, 지질·지구물리, 공학, 해양정책 등 다양한 해양연구분야로 전파되기를 기대한다.

## 사 사

본 연구는 한국해양과학기술원의 “해양관측조사 표준화 확립사업 (PO01050), 해양관측장비 관리/활용/지원/개발 체계 구축(PO01271)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이 사업을 위해 수고하고 애쓰신 여러 참여 연구원들께 깊은 감사를 드립니다. 또한 이 논문의 완성도를 높이기 위해 의견주신 심사위원들과 논문게재과정에서 도움주신 편집위원회에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김성대, 최상화, 박준용, 박수영 (2015) 연구사업 해양자료 관리를 위한 표준화와 해양물리자료 표준(안). *Ocean Polar Res* 37(4):249-263
- 노태근, 강동진, 김은수, 강성현, 조성록, 이정무, 박은주, 문초롱 (2015) 자연해수를 이용한 해수 중 영양염 분석용 표준물질 개발. *한국해양학회지:바다* 20(1):29-35
- 문초롱, 노태근, 강동진, 강성현, 조성록, 김은수, 이정무, 박은주, 신진선 (2015) 2010년 국내 해수 중 영양염 분석 실험실간 상호비교실험 연구. *한국해양학회지:바다* 20(1):63-70
- 이정환, 황근춘, 김은수, 이승훈 (2014) CTD 교정 시스템 구축 및 불확도 평가. *Ocean Polar Res* 36(1):77-85
- 주현희, 박성욱, 김은수, 이정환 (2013) 중국 해양표준화 “12.5” 발전계획. *한국해양과학기술원, 범신사*, 73 p

- Bacon S, Culkin F, Higgs N, Ridout P (2007) IAPSO standard seawater: definition of the uncertainty in the calibration procedure and stability of recent batches. *J Atmos Ocean Tech* **24**(10):1785–1799
- BIPM (2008a) Evaluation of measurement data – guide to the expression of uncertainty in measurement GUM 1995 with minor corrections. JCGM 100:2008, 134 p
- BIPM (2008b) Evaluation of measurement data – supplement 1 to the guide to the expression of uncertainty in measurement – propagation of distributions using a Monte Carlo method. JCGM 101:2008, 90 p
- Culkin F, Ridout PS (1998) Stability of IAPSO standard seawater. *J Atmos Ocean Tech* **15**(4):1072–1075
- Dux JP (1990) Handbook of quality assurance for the analytical chemistry laboratory. Van Nostrand Reinhold, New York, 203 p
- ISO (1994) Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. ISO 5725-2:1994, 42 p
- ISO (2005) Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. ISO NF 13528:2005, 66 p
- ISO (2006) Reference materials – general and statistical principles for certification. ISO 35:2006, 64 p
- Lewis EL (1980) The practical salinity scale 1978 and its antecedents. *IEEE J Oceanic Eng* **5**(1):3–8
- Le Menn M (2011) About uncertainties in practical salinity calculations. *Ocean Sci* **7**(5):651–659
- Perkin RG, Lewis EL (1980) The practical salinity scale 1978: fitting the data. *IEEE J Oceanic Eng* **5**(1):9–16
- Taylor JK (1987) Quality assurance of chemical measurements. Lewis Publishers, Chelsea, 328 p
- 국문 참고자료의 영어 표기  
**English translation / Romanization of references originally written in Korean**
- Kim SD, Choi, SH, Park JY, Park SY (2015) Data standardization for research ocean-data management and standard proposal of physical oceanographic data. *Ocean Polar Res* **37**(4):249–263
- Ju HH, Park SW, Kim ES, Lee JH (2013) China Marine standardization “12.5” development plan. KIOST, BUMSINSA, 73 p
- Lee JH, Hwang KC, Kim ES, Lee SH (2014) Establishment of CTD calibration system and uncertainty estimation. *Ocean Polar Res* **36**(1):77–85
- Moon CR, Rho T, Kang DJ, Kahng SH, Cho SR, Kim ES, Lee JM, Park EJ, Shin JS (2015) 2010 Inter-laboratory comparison study on nutrient analysis in seawater. *J Kor Soc Ocean: The Sea* **20**(1):63–70
- Rho T, Kang DJ, Kim ES, Kahng SH, Cho SR, LEE JM, Park EJ, Moon CR (2015) Development of reference material using natural seawater for nutrient analysis in seawater. *J Kor Soc Ocean: The Sea* **20**(1):29–35

---

*Received Apr. 30, 2015*

*Revised Jul. 15, 2016*

*Accepted Jul. 25, 2016*