

Note

전 세계 대양 영양염 자료의 상호 비교성 향상을 위한 국제동향 : SCOR Working Group 147 (Towards Comparability of Global Oceanic Nutrient Data, COMONUT) 활동에 대하여

노태근\* · 김은수 · 강성현 · 조성록

한국해양과학기술원 해양관측·자료실  
(426-744) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

International Trend Towards Comparability of Global Oceanic Nutrient Data: SCOR Working Group 147 (Towards Comparability of Global Oceanic Nutrient Data, COMONUT) Activity

TaeKeun Rho\*, Eun-Soo Kim, Sung-Hyun Kahng, and Sung-Rok Cho

*Ocean Observation and Information Section, KIOST  
Ansan 426-744, Korea*

**Abstract :** To understand the fluctuation of global carbon levels caused by the biogeochemical cycle within the ocean interior, it is essential to achieve comparability of global oceanic nutrient data to a fairly high degree. The Scientific Committee on Ocean Research (SCOR) commissioned a working group (WG147) to establish a system for achieving comparability of oceanic nutrient data within 1% among laboratories around the world. The introduction of international activities for improving nutrient comparability will facilitate the use of nutrient reference material of seawater by researchers within Korea, which will help in meeting international standards of nutrient comparability and promote international cooperation.

**Key words :** nutrient reference material, comparability, SCOR WG147

1. 서 론

전 지구적인 규모로 일어나고 있는 해양 생지화학적 순환의 변화는 직간접적으로 인간 활동에 기인한다. 표층 해양의 영양염 공급을 바꾸는 인간 활동이나 지구 온난화에 의한 표층 해양의 물리적 과정 변화에 기인한 심층 해양에서 생지화학적인 변화 이해를 위해서 해양 표층과 심층의 탄소와 용존 영양염의 경향에 대한 정밀한 관측이 요구된다. 특히 수층 영양염 자료의 상호 비교성 향상은

수층내 탄소 증가 중 인간활동에 의한 영향을 정밀하게 추정하는데 필수적이다. 2007년 IPCC보고서는 관측자료 수의 부족과 다른 시기에 다른 실험실에서 측정된 영양염 자료의 상호 비교성 부족으로 심층 해양 영양염 자료의 불확도가 커서 심해 영양염의 장기변동을 이해하기 어려운 점을 지적하였다(Bindoff et al. 2007). 지난 30년간 전 지구적으로 수행된 해양교차 관측정점에서 측정된 심해 영양염 농도는 약 10% 정도 차이가 나타났으며 이는 실험실간 상호 비교실험에서 나타난 실험실간 차이와 비슷한 정도였다(MRI 2007, 2008, 2010). 따라서 관측된 심해 영양염 자료의 차이는 실험실간 영양염 측정차이에 기인

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

한 것으로 사료된다.

실험실간 영양염 측정값의 차이는 측정방법의 표준화 또는 값이 알려져 있고 균질성과 안정성이 확보된 표준물질 또는 인정표준물질을 시료와 함께 분석함으로써 개선될 수 있다. 해양의 주요 인자 중 수온(ITS90)은 표준백금 저항 온도계(Standard Platinum Resistance Thermometer, SPRT)를 사용하여 International System of Unit's(SI)에 소급성을 가지고 있고, 염분 측정의 경우는 영국 OSI에 제공하는 IAPSO 염분 표준해수를 사용하여 상호 비교성이 보장되었으며, 탄산염계 인자측정의 경우는 미국 스크립스 해양연구소(SIO)의 Dickson 실험실에서 제공하는 인정표준물질을 사용하여 실험실간 상호 비교성과 소급성이 보장되었다. 이러한 노력들의 결과로 수온은 현재 온도측정을 mK 수준까지 측정할 수 있고 여러 관측자들에 의해 관측된 수온 자료로부터 심해의 미세한 온도변화를 감지할 수 있게 되었다. 탄산염계 인자도 인정표준물질의 사용으로 비교가 1% 이내로 보증되어 심층 탄산염계 인자의 변화가 보고되었다. 그리고 용존 유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC) 측정에서 미국 NSF와 NOAA 등에 의해서 표준물질 사용을 어느 정도 강제하면서 DOC 측정의 비교성이 상당히 개선되었다.

영양염의 경우 최근 몇몇 소수의 연구에서 심해 영양염 자료에 대한 비교 연구를 수행하는 노력으로 상황이 약간 개선되었다. 그러나 여전히 보고서나 논문 출간 또는 국제적인 데이터베이스에 저장된 대다수의 영양염 자료는 표준물질이나 인정표준물질에 대한 언급이 없어 서로 다른 기관에서 다른 시기에 측정된 영양염 자료를 이용하여 심해 영양염의 시간적인 변화를 논하기는 이르다. 따라서 앞서 언급된 수온, 염분, 탄산염계 인자, 용존 유기탄소등과 같은 예들에서 본 바와 같이 다른 실험실에서 측정된 영양염 자료들의 상호 비교성을 확보를 위하여 해수 시료의 영양염을 분석할 때 영양염 표준물질 또는 인정표준물질을 시료와 함께 분석하여 시료의 영양염 농도와 함께 보고하는 것을 권장한다. 최근에는 영양염 표준물질이 미래 해양관측의 성공과 새로운 시계열 측정 장비개발의 핵심요소로 시급히 개발되어야 하는 항목으로 강조되었다(Dickson et al. 2002). 이후 영양염 표준물질과 인정표준물질 개발에 대한 지속적인 관심과 노력의 결과, 캐나다 NRC에서 인정표준물질인 MOOS-3, 일본 NMIJ 인정표준물질(NMIJ CRM 7601-a, 7602-a, 7603-a)을 개발하였다. 일본 KANSO사와 한국해양과학기술원에서 개발된 영양염 표준물질을 사용하여 국제 실험실간 영양염 표준물질 상호비교실험을 실시하여 영양염 분석의 상호 비교성 향상을 위한 노력을 지속적으로 수행하려고 하고 있다.

2014년에 해양연구과학위원회(Scientific Committee on Ocean Research, SCOR)는 영양염 분석에서 인정표준물

질 또는 표준물질 사용의 필요성에 공감하여 향후 3년간(2015~2017) “Towards comparability of global oceanic nutrient data (COMPONUT)”이라는 WG147의 활동을 승인하였다. WG147은 현재 이용 가능한 인정표준물질과 표준물질이 원활히 사용되어 염분이나 탄산염계 인자들처럼 대양에서 측정되는 영양염(질산염, 인산염, 규산염등)이 전체 농도범위의 1% 이내에서 실험실내 또는 실험실간의 상호 비교가 가능하게 하는 체계를 확립하고자 한다.

WG147은 전 세계의 각 실험실에서 생산되는 영양염 자료와 한 개 또는 다수의 실험실에서 상당히 긴 기간 동안 생산된 영양염 자료가 안정되고 인정된 상호 비교범위 내에서 소급이 가능하게 하는 것이다. WG147의 구성은 정규회원 10명과 부회원 11명으로 구성되어 있다(Appendix 1; Appendix 2). 본 내용은 WG147의 책임범위, 연차별 활동내용과 예상결과물, 영양염 분석능력 배양, 2015년도 WG147 시작회의 주요토의 내용과 향후 과제 등에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. WG147 책임범위

ICES와 PICES 등과 같은 국제조직과 공동으로 해양 영양염 자료의 상호 비교성을 보장할 수 있는 방법을 확립한다. WG147은 현재 가용한 표준물질과 인정표준물질에 대해서 균질성과 안정성을 평가하여 현재 생산자들이 실험실간 또는 실험실간의 정밀도 수준이 1% 이하의 정확도 수준을 달성하는 지를 결정한다. 영양염 자료 생산자와 사용자 사이의 통일된 자료용어와 형식을 포함한 표준화된 자료취급 절차를 개발하고 나아가 국가 또는 국제 자료보관소와 연계한다. 활발한 표준물질과 인정표준물질 사용을 권장하기 위한 워크숍을 개최하여 표준물질과 인정표준물질 사용 확대를 촉진하고 특히 개발 도상국가를 대상으로 시료보관절차를 포함한 분석절차와 모범실무 훈련을 제공한다. IOCCP-SSG와 RCGC-JAMSTEC이 공동으로 수행한 이전의 2003, 2006, 2008 그리고 2012의 비교실험을 계승하여 전 세계적인 상호비교실험을 지속적으로 수행한다. IOC-ICES SGONS(Study Group on Nutrient Standards)이 처음으로 제작한 GO-SHIP 영양염 측정 매뉴얼을 개정한다. Working Group 활동과 워크숍에 대한 보고서를 발간한다.

## 3. 연차별 일정

WG147은 2014년에 SCOR General Assembly에 의해 3년 동안 활동을 승인 받았으며 연차별 주요 회의일정과 활동내역은 다음과 같다. 이들 활동 이외에도 full/associate 회원들 간의 정기적인 이메일 교환, 화상회의(Skype

meeting), 다양한 워크숍 등을 수행할 것이다.

1차년도(2015) 주요일정으로는 WG 147 활동 시작회의(kick-off meeting)를 2015년 4월 12~17일 기간 동안 오스트리아 비엔나에서 개최되는 EGU General Assembly WG147 full/associate 회원들간 첫 대면 시작회의를 개최하고 표준물질과 인정표준물질 사용 현황과 전 세계 해양에서 영양염 자료의 상황 등에 대해서 토의한다. 1차년도에 현재 이용 가능한 표준물질/인정표준물질에 대해서 Working Group 147의 full/associate 회원들로 구성된 몇몇의 주요 실험실이 참여하는 실험실간 상호비교실험을 진행하고 이들 표준물질과 인정표준물질의 균질성과 안정성에 대한 평가결과를 출간한다.

2차년도(2016) 주요일정은 WG147 2차 회의 개최를 2016년 2월 21~26일 기간 동안 미국 뉴올리언스에서 개최예정인 Ocean Sciences Meeting 또는 2016년 6월 3~14일 기간 동안 미국 산타페에서 개최 예정인 ASLO Summer Meeting에 2차 회의를 겸하여 발표세션을 개최한다. 또한 워크숍을 개최하여 표준물질과 인정표준물질의 보다 폭넓은 사용을 적극적으로 권장하고 기존 논문과 이전에 발표된 실험실간 상호비교실험 보고서등을 재검토하고 GO-SHIP 영양염 분석 매뉴얼에서 질산염, 아질산염, 인산염, 그리고 규산염에 대한 기본 분석방법을 확인하고 개정한다. IOCCP-SSG와 RCGC-JAMSTEC 공동으로 2003, 2006, 2008, 2012, 2014에 개최된 이전의 상호비교실험에 이어 전 세계적인 표준물질/인정표준물질 상호비교실험을 수행한다. 또한, 2016년에는 개발 도상국가를 대상으로 영양염 분석방법과 영양염 측정의 최고의 실습에 대한 훈련과정을 제공한다. 잠재적인 장소는 네덜란드의 NIOZ, 미국의 스크립스 해양연구소(SIO), 일본의 JAMSTEC 등이다. 이 훈련과정에서 참가자들은 경험이 풍부한 분석전문가에 의해 훈련을 받고 워크숍에서 전 세계적으로 진행된 표준물질/인정표준물질 상호비교연구의 결과에 대해서 토의하고 대양 영양염 자료의 상호 비교성을 보장하는 방법을 습득하게 한다.

3차년도 (2017) 주요일정은 WG147 3차 회의로 “Towards comparability of global oceanic nutrient data”라는 제목으로 국제 심포지움을 개최한다. 잠재적인 장소는 일본의 JAMSTEC, 네덜란드의 NIOZ, 미국의 스크립스 해양연구소(SIO) 등이다. 개발도상국가 과학자들을 이 심포지움에 초대하여 이들의 심포지움 참여를 적극 권유한다.

#### 4. WG147 활동 예상 결과물

현재 이용 가능한 표준물질/인정표준물질에 대한 실험실간 상호비교실험 평가결과를 “Biogeochemistry” 또는 이와 유사한 peer-reviewed open access journal에 투고한다.

다. 현재까지 시료 채취, 시료 보관절차와 분석, 표준물질 사용, 영양염 자료 품질관리와 자료처리에 대해 연구자들에게 일관성 있는 접근방법을 추천하는 모범실무서인 GO-SHIP 영양염 매뉴얼(Hydes et al. 2010)을 개정한다. 또한 전 세계 표준물질/인정표준물질 상호비교실험에 대한 보고서를 EGU에서 발간하는 Earth System Science Data에 투고한다. 현재 영양염 분석기술과 방법에 대한 종합 논문을 international peer reviewed journal에 투고한다. 보다 넓은 사회구성원을 대상으로 WG147의 목표와 활동을 요약하는 논문을 2015년 첫 미팅 후 EOS journal에 투고한다. 마지막 국제 심포지움을 통하여 “Towards comparability of global oceanic nutrient data”라는 제목으로 책을 발간한다.

#### 5. 능력배양

능력 배양을 위한 활동을 통해 (1) POGO와 공동으로 표준물질의 상호비교실험에 개발도상국가의 참여를 증진시킨다. (2) 2016년에 일본의 JAMSTEC, 네덜란드의 NIOZ, 미국의 스크립스 해양연구소(SIO) 등에서 계획된 3일간의 훈련과정에 초대하여 분석방법, 모범실무(best practice) 관해 배우고 표준물질 국제 상호비교실험 결과의 해석과 토의를 진행한다. WG147의 활동으로 모범실무에 기초한 적절한 간단한 매뉴얼을 제공하여 개발도상국가들의 능력을 배양하여 2012/2014 표준물질 실험실간 상호비교실험에 참여하지 않은 개발도상국가 실험실의 2016년 표준물질과 인정표준물질 상호비교 실험에 개발도상국의 참여를 장려한다.

WG147 회의/AGU 회의/OSM 회의 등과 협력하여 중간보고회 성격의 추가적인 발표회를 개최하여 개발도상국의 필요와 역량들에 대해서 토의하고 POGO의 조언과 도움을 기초로 하여 적절한 질문서를 개발도상국 실험실들에 배포하여 그들이 가장 중요하게 생각하는 분석 요구사항들에 대해서 강조한다.

#### 6. 2015년도 WG147 kick-off meeting 일정 및 주요 토의사항

2015년 4월 14-15 양일간 비엔나에서 개최된 EGU기간 중에 WG147 “Towards comparability of global oceanic nutrient data(COMPONUT)”의 회원들의 공식적인 활동을 시작하는 첫 대면 시작모임이 개최되었으며 주요 일정과 의제는 첨부된 Appendix 3에 자세히 기록되어 있다.

#### WG147이 제안한 영양염 표준물질 생산 및 배포계획

JAMSTEC의 Murata 박사는 WG147 활동기간 동안에

일본 JAMSTEC과 KANSO사가 공동으로 영양염 표준물질 4개 batch 총 6000개(1500개/batch)를 공동으로 생산하여 전 세계에 배포하는 계획에 대해서 발표하였다. JAMSTEC은 WG147의 활동을 통해서 미국 스크립스 해양연구소 Dickson 박사 실험실에서 이산화탄소계 인정표준물질을 전 세계에 공급하는 역할과 유사한 역할을 수행하기 위해서 영양염 표준물질 생산 경험이 풍부한 후쿠시마 대학교 Aoyama 교수를 공동연구원으로 영입하였으며 일본 KANSO사와 공동으로 영양염 표준물질 생산을 계획하고 있다. 저농도 표준물질을 제조하기 위해서 네덜란드 NIOZ에서 보유하고 있는 대서양 표층수를 제공받을 계획이고 나머지 농도의 해수를 JAMSTEC이 채수하여 현장에서 1차 자외선 멸균을 실시한 후 KANSO사로 운반하여 KANSO사의 표준물질 제조 공정에 따라 제조할 계획이다. 각 세트당 2500개를 생산해서 500개의 표준물질은 특성값을 결정하거나 균질성과 안정성 실험에 사용되고, 또 다른 500개의 표준물질은 추후 다른 표준물질 세트와의 비교실험에 사용될 예정이다.

JAMSTEC과 KANSO가 공동으로 제작하여 배포하려는 영양염 표준물질은 총 6000개로 저농도 1세트(low), 중간농도 2세트(mid1, mid2), 고농도 1세트(high)로 총 4개 세트에 대해서 각 세트당 1500개이다. 이렇게 생산된 표준물질은 WG147 활동기간(2015~2017)동안 전 세계 연구자들에게 비교적 저렴한 가격(\$50~60 + shipping and handling/bottle vs 현재 KANSO 표준물질 \$92/bottle + shipping and handling (\$92))에 전 세계 연구자들에 제공할 계획이다. WG147 활동기간(2015~2017)중 영양염 표준물질 요청 및 배포에 관한 절차는 Fig. 1과 같다.

WG147 활동 첫해인 2015년에는 JAMSTEC과 KANSO

가 공동으로 생산한 표준물질이 없으므로 KANSO에서 현재 판매하고 있는 표준물질을 JAMSTEC에서 전량 구매하여 연구자들이 JAMSTEC에 요청하면 KANSO에서 판매하던 가격보다 저렴(\$15~20)하게 공급할 계획을 세우고 있다(Fig. 1). IOCCP 회원인 Toste Tanhua 박사는 IOCCP 회의에서 영양염 표준물질은 GO-SHIP 관측에 우선적으로 배포하기를 희망하고 있다. 특히 브라질, 인도 등이 GO-SHIP 관측에 참여하고 있기 때문에 WG147의 목적중의 하나인 개발도상국의 영양염 분석 능력배양도 충족되기 때문에 긍정적으로 검토되고 있다. 그러나 현재 KANSO에서 전 세계 실험실을 대상으로 판매하고 있는 표준물질을 JAMSTEC이 전량 구입하여 특수한 목적으로만 사용한다면 GO-SHIP 프로그램에 참여하지 않는 다른 실험실에서 표준물질을 사용할 수 없게 될 가능성이 발생할 수 있다.

WG147의 활동이 성공적으로 종료된다면 일본 JAMSTEC과 KANSO사가 공동으로 생산한 영양염 표준물질에 대한 신뢰도가 증가하여 일본 JAMSTEC과 KANSO사에서 생산된 영양염 표준물질에 대한 전 세계 연구자들의 의존도가 높아지게 된다. 또한 전 세계적으로 영양염 표준물질의 사용이 증가하게 될 것이다. 영양염 표준물질의 수요 증가에 따라 다른 기관에서 추가적으로 영양염 표준물질을 제작하더라도 새로운 표준물질의 균질성과 안전성을 시험하는데 최소 5년 정도의 시간이 걸리고 이후 JAMSTEC과 KANSO사가 공동으로 제작한 표준물질과 유사한 신뢰도를 획득하는데도 최소 5년 이상의 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 따라서 영양염 표준물질 분야에서 최소 향후 10년 동안은 일본의 독주체제가 예상된다.

KIOST에서 제조된 영양염 표준물질은 2014년 영양염

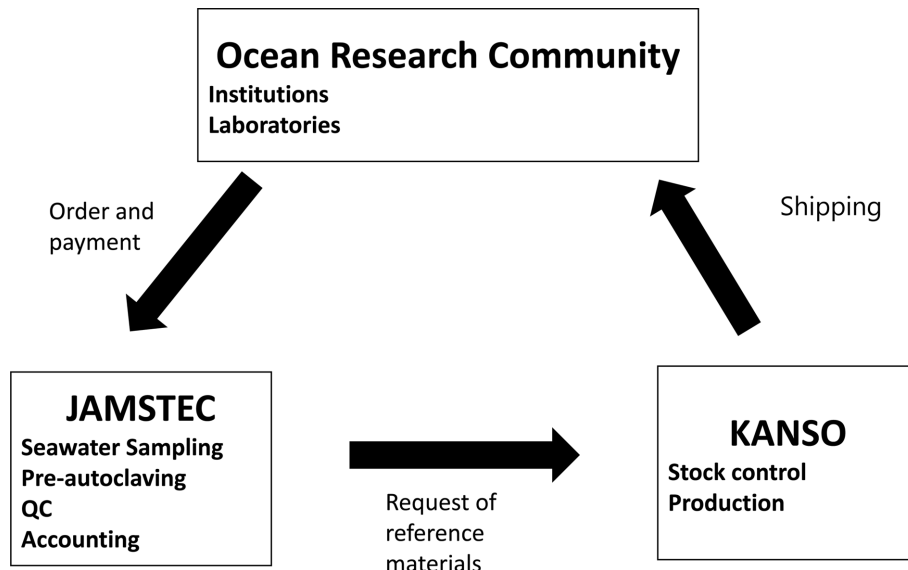


Fig. 1. Schematic diagram of reference material distribution plan during WG147 activity periods

표준물질 실험실간 상호 비교실험에 사용되었다. 2014년 영양염 표준물질 실험실간 상호 비교실험 결과에 의하면 KIOST 영양염 표준물질은 안정성과 균질성 측면에서 일본 KANSO사 표준물질과 유사한 성능을 가진 것으로 판단된다. WG147은 주요 참여 실험실을 대상으로 현재 전 세계에서 이용 가능한 영양염 표준물질에 대해 실험실간 상호비교실험을 계획하고 있으며, KIOST에서 생산된 표준물질이 다른 영양염 표준물질과 함께 균질성과 안정성 시험에 사용될 수 있도록 노력할 예정이다. WG147 활동기간 동안에 지속적으로 KIOST 생산 영양염 표준물질의 균질성과 안정성 실험을 실시하여 KIOST 생산 영양염 표준물질의 인지도가 일본 KANSO사의 영양염 표준물질과 유사한 수준과 같이 높아져 국제적으로 많은 실험실로부터 신뢰를 획득할 수 있을 것으로 판단된다. 영양염 표준물질 분야에서 일본과 어깨를 나란히 할 수 있도록 현재 KIOST에서 개발한 영양염 표준물질에 대한 지속적인 투자로 현재 진행하고 있는 안정성 균질성 실험을 계속 실시하고 추가적으로 영양염 표준물질을 생산할 필요성이 있다. 현재 KIOST에서는 영양염 표준물질 생산을 위한 기반시설이 구비되어 있기 때문에 추가적인 비용부담을 최소화 할 수 있다.

#### KANSO사 표준물질 특성값 재조정

현재 KANSO에서 판매하고 있던 표준물질의 특성값은 KANSO사에서 60개 시료를 분석한 결과 값을 사용하였다. 일본 KANSO사는 표준물질 특성값의 신뢰성을 높이기 위해서 현재 판매되고 있는 표준물질에 대해서 각 batch 별로 JAMSTEC과 KANSO이 각각 30개씩(전체 60개) 분석하고 두 기관의 평균값을 새로운 특성값으로 발표할 예정이다. 특성값 결정을 위한 시료를 분석할 때 SI 소급성이 있는 일본 NMIJ 인정표준물질을 함께 분석함으로써 특성값에 대한 신뢰도를 향상시키려고 노력하고 있다.

#### WG147 주요 실험실들의 영양염 선상 비교분석 실험

WG147은 영양염 선상분석에서 발생할 수 있는 실험실간 차이를 알아보기 위해 WG147 주요 실험실의 선상에서 같은 시료를 이용하여 영양염을 분석하는 비교실험을 WG147 활동기간 중에 실시할 계획을 세웠다. 그러나 선상 비교분석 실험을 진행하려면 조사선을 임차해야 하는데, WG147 활동비로 이를 감당할 수 없어 고민을 하고 있다. 미국 스크립스 해양연구소의 Susan Becker는 스크립스 해양연구소와 우즈홀 해양연구소에서 각각 새롭게 건조하는 배가 있는데 이들의 실패역 시험운항을 활용하여 선상 영양염 상호비교실험을 실시하자는 제안이 있었으나 실패역 시험항해가 WG147의 활동기간 내에 있지

는 불확실하다. 최근에 호주 CSIRO의 Mark Rayner 박사가 16일간(2017년 3월 17~29일)의 선상 비교분석 실험을 지원하기 위한 관측계획을 수립하였고 WG147에 활동하고 있는 full/associate 회원을 대상으로 참가희망 의사를 접수 받고 있고 현재 한국해양과학기술원의 영양염 분석실에서 선상 비교분석 실험에 참가 신청을 하였다.

#### 대양 심층 영양염 자료의 실험실간 분석결과 실험실간 상이성

GLODAP(GLOBAL Ocean Data Analysis Project)은 1990년대에 WOCE, JGOFS, NOAA Ocean-Atmosphere Exchange Study (OACES)와 같은 연구과제에 의해 측정된 방대한 해양관측 자료들을 일관성 있게 정리하여 자연적으로나 인위적인 무기탄소의 전 지구적 분포의 이해를 돕고자 하는 것이다. GLODAP v2를 준비하면서 GLODAP v1 자료를 포함하여 최근에 800여개의 항해에서 45,000 점점의 백 만개 이상의 자료를 데이터베이스화 하였다. 이 과정에서 보정이 되지 않은 자료를 분석한 결과 일부 영양염 자료에서 실험실간의 차이가 확인되었고 이러한 차이를 일으키는 요인은 점진적이거나 갑작스런 검량곡선의 변화, 검량곡선의 비선형성에 기인하는 것으로 추정된다. 이산화탄소계 인자 측정과 용존 유기탄소 측정에서 인정 표준물질을 사용함으로써 다른 연구자들에 의해서 생산된 자료의 비교성이 향상된 것으로 보아 이러한 차이를 최소화하기 위해서 영양염 표준물질 사용은 필수적이다. 특히 규산염은 다른 항목에 비해서 차이가 많이 났다. 미국(스�크립스 해양연구소)에서 생산된 자료가 일본(JAMSTEC)에서 생산된 자료보다 약 2% 높게 나타났다. 이러한 차이를 줄이기 위한 많은 노력이 필요하다. 이를 위한 방법으로 검정곡선에 사용된 표준용액열의 범위를 제출하고 표준물질을 시료와 함께 분석할 것을 권장한다. 그리고 자료를 제출할 때는 표준물질에 대해서 보정하지 않은 raw data를 표준물질 분석결과, 실험실 온도, 시료의 염분자료를 함께 제출한다.

#### 실험실간 규산염 분석 비교실험

표준물질의 사용으로 영양염 분석에서 정밀도와 실험실간의 일관성과 정밀도가 향상되었지만 질산염과 인산염에 비해 규산염의 표준편차가 항상 크게 나타났다. GLODAP v2를 준비하면서 중첩점점 분석결과에 따르면 미국과 일본에서 관측한 규산염의 결과가 약 2% 정도의 차이가 났다. NIOZ의 Karel Bakker 가규산염 값의 차이를 이해하기 위해서 NIOZ에서 규산염 표준원액을 만들어 2014년 표준물질 실험실간 상호비교실험 참여자를 대상으로 분석한 결과 실험실간의 결과값의 차이가 발생하였다. 이는 각 실험실에서 규산염 검정곡선을 만들기 사용하는 규산염

일차 표준원액을 만드는 재료가 다양하고 이들의 순도가 정확하지 않아 발생한 것으로 사료된다. 표준물질의 사용으로 검정곡선용 일차 표준원액 순도에 의해서 발생하는 차이를 최소화 할 수는 있지만 근본적인 해결책이 필요하다.

### 개발도상국가 영양염 분석능력 배양

WG147의 주요활동 중의 하나는 개발도상 국가들의 영양염 분석능력 향상을 위한 훈련과정을 개최할 계획을 수립하는 것이다. 우리나라도 WESTPAC 활동의 일환으로 동남아시아 국가들을 초청하여 영양염 분석 훈련과정 개설을 통한 국제적인 노력에 기여하여 국가 이미지 제고와 연구역량의 국제적 위상을 높일 수 있다.

### 영양염 이외 표준물질 사용에 따른 분석결과 상호 비교성 향상

용존무기탄소(Dissolved Inorganic Carbon, DIC) 분석과 알카리니티(alkalinity) 분석에 Dickson 박사가 제조해서 배포하는 CRM(consensus reference material)의 사용으로 국제적으로 다양한 연구자들에 의해서 생산되는 용존무기탄소와 알카리니티 분석자료의 상호비교가 용이해졌다. 용존무기탄소 분석 사례에 자극을 받아 용존유기탄소(DOC)에 대한 분석자간의 상호 비교가 가능하게 하기 위해서 마이애미 대학 Hansell 박사가 DOC CRM을 제조하여 배포하였다. 용존유기탄소 CRM의 사용으로 분석자간의 용존유기탄소 측정값의 차이가 줄어들어 용존유기탄소 값의 실험실간 상호 비교가 용이해졌다. 그리고 용존유기탄소 CRM이 많은 연구자들에 의해 사용되기까지 10여년의 시간이 소요되었다. SCOR WG147의 활동을 통해서 영양염 표준물질 사용을 전 세계적으로 확산하려는 노력을 지속한다면 영양염 표준물질 사용이 확대되고 결과적으로 영양염 표준물질에 대한 수요가 전 세계적으로 증가할 것으로 예상된다.

### 현재 이용 가능한 표준물질/인정표준물질에 대한 균질성과 안정성 평가

SCOR WG147 몇몇 주요 실험실(full/associate member)에 의해서 현재 사용되고 있는 인정 표준물질 또는 표준물질에 대한 안정성 실험을 진행하여 보고할 계획이다. 현재 통용되는 영양염 인정 표준물질은 캐나다 NRC의 MOOS-3와 일본 NMIJ의 CRM이 있고 영양염 표준물질로는 KANSO사의 표준물질들이 있다. 2014년 영양염 표준물질 실험실간 국제 상호비교실험에서 인정표준물질인 MOOS-3 CRM과 NMIJ CRM을 KANSO사의 표준물질과 함께 비교분석을 실시할 계획이었으나 국제 상호 비교 실험을 준비하는 과정에서 캐나다 NRC 인정 표준물질인

MOOS-3의 안정성에 이상이 발견되어 MOOS-3는 2014년에 실시된 국제 상호 비교실험에서 제외되었다. 현재 2014년 비교실험 책임자인 일본의 Aoyama 박사가 캐나다 NRC에 MOOS-3의 안정성에 대해 서면질의를 하였으나 현재까지 답변이 없다. 답변에 따라 WG147번에 참여하고 있는 주요 실험실을 대상으로 2015년도에 실시할 예정인 현재 국제적으로 이용 가능한 인정표준물질 또는 표준물질들의 균질성과 안정성 실험 대상에서 포함여부가 결정될 예정이다. 해양과학기술원에서 제작한 영양염 표준물질은 2014년 영양염 표준물질 상호 비교실험에 사용되었고 제출된 자료를 분석한 결과에 의하면 해양과학기술원 생산 영양염 표준물질의 안정성과 균질성에 특별한 이상이 발견되지 않아 추후 주요 실험실을 대상으로 실시 예정인 영양염 균질성과 안정성 시험에 포함될 가능성이 높다. WG147 주요 실험실이 참여하는 안정성과 균질성 실험 재평가 결과에 따라서 해양과학기술원이 생산한 표준물질이 현재 일본 KANSO사에서 제작하여 상업적으로 판매하고 있는 표준물질과 동등하게 국제적으로 활용될 가능성이 높다.

## 7. 향후 과제

WG147 활동을 통하여 일본은 JAMSTEC, NMIJ, KANSO 등이 공동협력체계를 구성하여 영양염 표준물질 분야에서 캐나다를 제치고 전 세계적인 주도권을 확보하려고 노력하고 있다. 2014년 실험실간 표준물질 상호비교 실험은 캐나다 인정표준물질(MOOS-3)의 안정성에 문제가 제기되었고 아직 구체적인 답변은 없는 상황이다. 표준물질을 이용한 실험실간 상호비교실험에 일본 KANSO사에서 제작된 표준물질을 지속적으로 활용됨으로써 일본 KANSO사에서 생산된 영양염 표준물질에 대한 국제적인 신뢰도와 인지도가 향상되었다. WG147 활동기간에 영양염 분석에 표준물질 사용을 더욱 권장하고 있고 일본 JAMSTEC과 KANSO사가 공동으로 생산한 표준물질이 SCOR라는 국제기구를 통해서 저가로 공급되면 일본에서 생산된 표준물질에 대한 국제적인 신뢰도 상승과 의존성이 증가할 것으로 예측된다. 전 세계적으로 영양염 표준물질 생산은 제한되어 있어 영양염 표준물질에 대한 국제적인 수요 증가는 국내 연구자 및 해양관련 분석자들의 의한 영양염 표준물질 사용이 제한될 수 있다. 이로 인해 국내에서 생산되는 영양염 자료에 대한 국제적인 신뢰도 하락과 영양염 자료의 국제 공동활용에 제한 요소로 작용할 수 있다. 따라서 국내연구자들이 국제적으로 신뢰도가 높은 자료를 생산하기 위해서는 안정적인 영양염 표준물질 사용이 필수적이고 이를 위해서 영양염 표준물질 개발에 대한 지속적인 투자가 필요하다.

2014/2015 국제 상호비교실험에 참여한 실험실 중 20개국 34개 실험실에서 KIOST 영양염 표준물질 분석에 참여하였고 21개 실험실에서 제출한 KIOST 영양염 표준물질 자료를 분석한 결과 KIOST 표준물질이 2014 국제 비교실험에 사용된 일본 KANSO사와 유사한 경향을 가지는 것으로 나타났다. 이는 KIOST 영양염 표준물질의 안정성이 일본 KANSO사와 유사함을 시사한다. KIOST 영양염 표준물질은 캐나다와 일본에서 생산된 표준물질과 달리 암모늄의 값이 다른 영양염과 유사하게 안정적으로 유지되고 있어 암모늄값을 제시할 수 있으므로 인해 일본 KANSO사 표준물질에 비해 경쟁성도 높다.

KIOST에서 2014년도에 생산한 영양염 표준물질을 6~12개월 정도의 지속적인 분석을 실시한 결과 모든 항목에 대해서 분석에서 발생할 수 있는 오차 범위 내에서 일정한 값을 유지하고 있다(Rho et al. 2015). 현재까지 한 방향으로 지속적으로 변하는 경향이 나타나지 않은 것으로 보아 단기 안정성은 확보된 것으로 판단된다. 향후 지속적으로 최소 72개월 정도 안정성 실험을 실시하여 일본에서 생산된 표준물질과 유사한 안정성을 확보하는 것이 필요하다. 추후에는 해양과학기술원은 현재 확보된 영양염 표준물질 생산 방법을 적용하여 총질소, 총인, 용존 유기탄소등과 같은 항목에 대한 표준물질 생산을 추진하여 표준물질 분야에서 선도적인 역할을 수행하여 국제적 기준에 적합한 해양자료를 생산하는데 기여할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 “한반도 해역 신해양자원도 작성 연구(PE9931A)”와 “국제 해양과학협력 기반구축사업(PM58611) KO-SCOR활동지원”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

Aoyama M, Becker S, Dai M, Daimon H, Gordon L, Kasai H, Kerouel R, Kress N, Masten D, Murata A, Nagai N,

Ogawa H, Ota H, Saito H, Saito K, Shimizu T, Takano H, Tsuda A, Yokouchi K, Youenou A (2007) Recent comparability of oceanographic nutrients data: results of a 2003 intercomparison exercise using reference materials. *Anal Sci* **23**:1151–1154

Bindoff NL, Willebrand J, Artale V, Cazenave A, Gregory J, Gulev S, Hanawa K, Le Quéré C, Levitus S, Nojiri Y, Shum CK, Talley LD, Unnikrishnan A (2007) Observations: oceanic climate change and sea level. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, New York, pp 385–433

Dickson AG, Bidigare R, Johnson K, Leblanc D, Lee C, McNichol A, Millero F, Moffet J, Moore W, Pletzer E, van Den Berg S (2002) Chemical reference materials: setting the standard for ocean science U.S. National Research Council report. The National Academic Press, Washington DC. <http://dels.nas.edu/Report/Chemical-Reference-Materials-Setting-Standards/10476> Accessed 20 Aug 2015

MRI (2008) 2006 Intercomparison exercise for reference material for nutrients in seawater in a seawater matrix. Technical reports of the meteorological research institute, Meteorological Research Institute, Tsukuba, No. 58, 104 p

MRI (2010) 2008 Intercomparison exercise for reference material for nutrients in seawater in a seawater matrix. Technical reports of the meteorological research institute, Meteorological Research Institute, Tsukuba, No. 60, 138 p

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. *The Sea* **20**:29–35

*Received May 28, 2015*

*Revised Aug. 11, 2015*

*Accepted Aug. 17, 2015*

**Appendix 1. Lists of Working Group 147 full members (10)**

<b>Name</b>	<b>Institution/Country</b>	<b>Specialty</b>
Michio Aoyama	RCGC-JAMSTEC/IER-Fukushima Univ., Japan	Geochemistry, global nutrients distribution
E. Malcolm S. Woodward	Plymouth Marine Laboratory, UK	Nanomolar level precision nutrient measurements
Toste Tanhua	GEOMAR, Germany	Chairman of the International Ocean Carbon Coordination Project (IOCCP)
Karin Bjorkman	Department of Oceanography, University of Hawaii, USA	Hawaii Ocean Time-series program, nutrient biogeochemist.
Bernadette Sloyan	CSIRO, Australia	Co-chair of The Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program (GO-SHIP)
Anne Daniel	IFREMER, France	French nutrient reference laboratory (DYNECO/PELAGOS, IFREMER)
Susan Becker	SIO, USA	Repeat Hydrography
Hema Naik	NIO, India	Aquatic biogeochemist
Claire Mahaffey	University of Liverpool, UK	Nutrient Biogeochemist
Raymond Roman	Oceanography Dept, University of Cape Town, South Africa	Nutrient analysis and data quality control of hydrographic data

**Appendix 2. Lists of Working Group 147 associate members (11)**

<b>Name</b>	<b>Institution/Country</b>	<b>Specialty</b>
Alex Kozyr	CDIAC/ORNL, USA	Multiple user global ocean database access
Karel Bakker	NIOZ, The Netherlands	The Netherlands sea-going analytical facility
Takeshi Yoshimura	CRIEPI, Japan	Organic Nutrients
Jonathan Sharp	University of Delaware, USA	DOC RM experience
Andrew Dickson	SIO, USA	Carbonate system RM experiences
Minhan Dai	Xiamen University, China	Large global (LOICZ and Chinese programs)
Akihiko Murata	JAMSTEC, Japan	Chemical oceanography, Global carbon/nutrient stoichiometry
Sophie Seeaye	PML, UK	Executive Director, POGO
Winnie van Vark	Wepal-Quasimeme, The Netherlands	Laboratory performance studies program
Akiharu Hioki	NMIJ, Japan	CRM producer
TaeKeun Rho	Korea Institute of Ocean Science and Technology, Korea	Nutrient Reference Material



## Appendix 3. Schedule and meeting agenda of SCOR WG147 (COMPONUT) during April 14~15, 2015

14th April 2015		Session	Room	Time	Austria Center Vienna	(ACV)
Tue: 14:00 ~ 15:25	SPM2.13 ~ Session1	R9	10 mins	Malcolm Woodward	Welcome and Opening remarks	
	Coffee break		75 mins	All Members and Associates	~5 min. self-introduction by everyone with a few slides	
Tue: 15:45 ~ 17:00	SPM2.13 ~ Session2	R9	20 mins	Michio Aoyama	WG147, COMPONUT, a history of our collaboration since 2007	
			20 mins	Malcolm Woodward	Overview of proposal, ToR's and working plans	
			20 mins	Akihiko Murata	CRM distribution plan by JAMSTEC	
			15 mins	All	Discussions	
Tue: 18:30 ~ 22:00	Group Dinner			All	Restaurant Leupold	
15th April 2015		Session	Room	Time	ARCOTEL Kaiserwasser	
Wed: 08:30 ~ 10:00	Session 3	Vis	25 mins	Toste, Bernadette and Jonathan	Skype to Japan & USA	
			20 mins	Michio Aoyama	Results of global I/C study in 2015 and historical results	
			15 mins	Karel Bakker	Results of Silicate assessment exercise	
			10 mins	Rho TaeKeun	Results of Korean RM at I/C study	
			10 mins	All	Discussions	
Wed: 10:00 ~ 10:30	Coffee break					
Wed: 10:30 ~ 12:00	Session 4	Vis	20 mins	Steven van Heuven	GLODAP2	
			20 mins	All led by Susan Becker	GO-SHIP nutrients manual update, how, what, when	
			20 mins	Winnie van Vark	Quasimeme	
			20 mins	Claire Mahaffey	Organic nutrient CRM's	
			10 mins	All	Discussion	
Wed: 12:00 ~ 13:30	Lunch					
Wed: 13:30 ~ 15:00	Session 5	Vis	20 mins	Sophie Seeave (Malcolm presents)	POGO: Its role in Ocean observations and Capacity building	
			40 mins	All: led by Hema and Raymond	Capacity building; workshops and training courses.	
			30 mins	Michio and Malcolm	Promotion of CRM/RM use and future activities of WG147	
Wed: 15:00 ~ 15:30	Coffee break					
Wed: 15:30 ~ 16:30	Session 6		15 mins	All	Communications between the group: suggestions?	
			15 mins	All	Discussion about Second annual meeting:	
			10 mins	Michio and Malcolm	SCOR commitments, reports, EoS etc	
			10 mins	All	Any other business	
			10 mins	Michio	Summary and Closing remarks	