

## 중등 과학교과서에서 사용된 염분 단위 분석 및 단위 개정을 위한 제안

박경애<sup>1,\*</sup> · 최지영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과/해양연구소, 151-742, 서울특별시 관악구 관악로 599

<sup>2</sup>서울대학교 과학교육과, 151-742, 서울특별시 관악구 관악로 599

### Analyses of Salinity Unit in the Secondary School Science Textbook and Suggestion for Its Correction

Kyung-Ae Park<sup>1,\*</sup> and Ji-Young Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science Education / Research Institute of Oceanography,  
Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2</sup>Department of Science Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

**Abstract:** It has long been that the unit of oceanic salinity changed from permil (‰) to other unit. However, the middle- and high- school textbooks of science and earth science have still used ‰ as salinity unit that was defined a long time ago. The objectives of this study are to briefly discuss about the historical development of change in salinity unit and measurement techniques, to present differences between the salinity units of psu (practical salinity unit) and ‰, and to address the need and validity for the correction of salinity unit in the textbooks. Twenty-seven kinds of textbooks based on the 7th National Curriculum were analyzed to investigate the expression of salinity unit and the definition of salinity. The results were compared with the usage of salinity units in the articles published in Journal of Korean Society of Oceanography from 1967 to 2008. The percentages by the use of ‰ were 96.3% in the text and 83.8% in the graphs or tables of the textbooks. By contrast, the scientific papers began to use psu from 1994 and then ‰ has seldom been used since 2004.

**Keywords:** salinity, unit, permil, psu, textbook

**요약:** 해양 염분의 단위가 퍼밀(‰)에서 다른 단위로 바뀐 지 오랜 세월이 지났다. 하지만 우리나라 중학교, 고등학교 과학 및 지구과학 교과서는 여전히 오래 전에 정의한 염분 단위인 퍼밀(‰)을 사용하고 있다. 본 연구의 목적은 염분 단위의 변화와 측정 기술에 대한 역사적 발달 과정을 개괄적으로 다루고, 염분 단위들 사이의 차이를 제시하며, 그리고 교과서에서의 염분 단위 수정에 대한 필요성과 타당성을 강조하는데 있다. 이를 위해 제 7차 교육과정에 기초한 27종의 중등 과학교과서에서 다루고 있는 염분 단위의 표현, 염분의 정의들을 조사하였다. 분석 결과는 1967년부터 2008년까지 한국해양학회지에 게재된 논문들에서 사용하고 있는 염분 단위 사용의 빈도수와 비교하였다. ‰ 사용의 백분율은 교과서 본문에서 96.3%, 그림과 표에서 83.8%에 달하였다. 이에 반해 과학적 논문들은 1994년부터 psu를 사용하기 시작하였으며, 2004년 이후로는 ‰을 거의 사용하지 않고 있었다.

**주요어:** 염분, 단위, 퍼밀, 실용염분단위, 교과서

\*Corresponding author: kapark@snu.ac.kr

Tel: 82-2-880-7780

Fax: 82-2-874-3289

## 서 론

해수의 염분은 수온과 함께 해양의 물성, 열염 순환 및 대양대순환 등을 이해할 수 있는 가장 기본적인 변수이다. 염분의 분포는 해수 표면에서의 담수속(freshwater flux), 담수 수송, 국지적인 해양의 혼합에 영향을 주며, 나아가서는 심층 순환과 자오연직대순환(meridional overturning)에 관여하여 지구환경 변화를 유도하고 있다(Curry et al., 2003). 그러나 최근의 연구 결과는 염분이 수온 못지않게 기후 변화와 지구환경 변화에 중요한 역할을 한다는 사실을 보여주고 있다. 북대서양의 염분은 지난 40년간 지속적으로 낮아지고 있으며, 이러한 저염화 경향이 해양의 심층 순환에 영향을 미쳐서 대양 대순환과 해류의 속도를 조절하고 나아가서는 기후 변화를 유도하고 있다(Curry and Mauritzen, 2005).

이처럼 해수의 염분 변화를 통하여 전 지구 기후 시스템에 미치는 해양학적 과정을 이해하게 된 것은 염분을 정확하고 정밀하게 측정할 수 기기의 등장이었기 때문이다. 염분은 오랫동안 염소적정법에 의해 계산되었고, 퍼밀(‰)이라는 단위로 기록되어 왔다. 그런데 1981년 해양학자들은 UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) 보고서를 내면서 국제적 SI(Le Système International d'Unités, International System of Units) 표준 단위 규정에 따라 염분 단위를 퍼밀에서 psu (practical salinity unit) 또는 무차원(unitless)으로 바꾸기로 결의하였다(UNESCO, 1981a, 1981b, 1985). 이 결의에 따라 대부분의 해양학자들과 관련 학계에서는 염분의 단위로 psu 혹은 무차원 단위를 이미 오래 전부터 사용하여 왔다. 이에 반해 현재 우리나라 모든 중학교, 고등학교 교과서에서는 여전히 퍼밀 단위를 쓰고 있다.

한국 표준과학연구원에서 정의하고 있는 단위와 표준에 대해서 살펴보면, 단위란 어떤 특정량을 정의하여 그와 같은 종류의 다른 양을 이 특정량과 비교하여 나타내도록 약정한 것이고, 표준은 어떤 양을 재는 기준으로 쓰기 위하여 어떤 단위나 양의 하나의 값 이상을 정의하거나 재현하기 위한 물적 척도, 측정 기기, 기준물질이나 측정 시스템으로 정의하고 있다(한국표준과학연구원, 2009). 이러한 단위나 표준은 어디까지나 어떤 공동체 안에서 약속에 의하여 채택한 것이므로 그 공동체가 공식적으로 인정하고 그것

을 지켜야 의미가 있다. 그래서 오늘날 세계 대부분의 국가에서는 측정 단위에 대한 전반적인 세부 사항을 마련해 놓은 국제단위계(SI)를 채택하여 사용하고 있으며, 기존 단위계에 너무 익숙해져서 즉시 바꿀 수 없는 경우 장기계획을 세워서 점차적으로 바꾸고 있다. 단위가 사회적 약속인 만큼 교과서에서 정확한 단위를 사용하는 것은 과학을 배우는 학생들에게 무엇보다도 중요한 교육이다.

교과서에 실린 단위에 대한 연구들을 살펴보면, 국제단위계(SI) 표기 규정을 지키지 않은 경우가 있으며, 단위가 단순히 수치 계산이나 문제 풀이를 위한 수단으로만 여겨져 소홀히 다루어지는 경우도 있다(한창민, 2006; 한창민과 송진웅, 2007). 대개의 경우 학생들은 왜 단위가 있어야 하는지, 이러한 단위의 근거가 무엇인지에 대한 의문을 가져보지 못한 채, 단위를 현재 과학 사회에서 수용되는 측정체계로서 사회적인 상호작용 결과로서 배우게 되는 사회적 지식으로 받아들인다. 또한 학생들 대부분이 단위를 배워야 한다고 생각하면서도 단위 변환, 단위 정의 등에 대해서는 잘 모르고 있다(이선양, 2004). 과학 교과서에 관한 설문조사를 한 연구에서 조사대상 교사의 89.9%, 학생의 85.4%가 교수 학습에 있어 교과서에 의존하고 있었다(최경희와 김숙진, 1996). 따라서 교과서에서 정확한 단위를 제시하고, 자세한 설명이 필요한 경우 단위 변환이나 단위 정의까지 보다 자세하게 단위에 대한 소개를 해주는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 해양 염분 단위의 변천 과정을 단계별로 고찰하고, 현행 교과서에 있는 그림이나 표에서의 염분단위, 그리고 교과서 내용에서 다루고 있는 염분의 정의 및 단위를 분석하고자 한다. 분석 결과를 국내 해양학회지에 게재된 연구 논문들을 분석한 결과와 비교하여 그 차이점을 기술한다. 또한 염분 단위의 불일치를 조정하고자 현행 교과서에서 사용하고 있는 염분 단위 개정에 대한 타당성을 논의하고자 한다.

## 염분 정의 및 단위 발달 과정

1979년에 International Association for the Physical Sciences of the Ocean(IAPSO)은 SI와 관련된 국제 규칙을 따르기 위해 염분을 표준 용액에 대한 비를 이용하여 정의하도록 하였다. 1980년 9월에 개최된 Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards

**Table 1.** Historical development of representative definitions of salinity. Auxiliary information such as unit, period, accuracy of each definition along with brief description was presented

Definition	Symbol	Period (year)	Unit	Description	Accuracy
Absolute Salinity	$S_A$			The mass fraction of all dissolved solid mineral substances in a certain mass of seawater	
Sörensen Salinity	$S_S$	1901	%	The mass (in grams) of the dry residue of all solid mineral dissolved substances contained in one kilogram of seawater provided that bromine and iodine are replaced with the equivalent amount of chlorine, all carbonates are transformed into oxides, and all organic substances are cremated at a temperature of 480°C	
Knudsen-Sörensen Salinity	$S_{K-S}$	1902-1969	%	Salinity is directly proportional to the amount of chlorine in sea water, where chlorine can be measured accurately by a simple chemical analysis.	0.01%
Cox	$S_{Cox}$	1969-1981	%	It merely gives chlorinity as a function of conductivity of seawater relative to standard seawater.	S>15‰: 0.004‰ S<15‰: 0.01‰
Practical Salinity Unit in 1978	$S_{1978}$ PSS-1978	1982-	psu or unitless	Salinity be defined using only conductivity of the sea-water sample to the conductivity of the standard potassium chloride (KCl) solution at a temperature of 15°C and standard atmospheric pressure	15°C: 0.0008 psu 0.0015 in case of T:-1.8-30°C, S: 2-42, P: 0-10000 dbar

(JPOTS) 회의에서 ‘실용염분 1978’과 관련하여 해양학에서 사용되는 모든 온도와 압력에 대하여 염분을 계산할 수 있는 알고리즘을 채택하였다. 이런 연구 결과들을 바탕으로 해양 염분에 관한 새로운 국제 단위 SI에 대한 규약을 1981년에 발간된 UNESCO 보고서에 실었다(UNESCO, 1981a, 1981b). 이 보고서에서 염소량 적정 법칙으로 정의된 기존의 염분에 관한 정의 대신에 전기전도도를 이용한 새로운 염분 ‘실용염분 1978’을 정의하였다. 정의에 따른 단위도 개정하여 실용염분단위(psu) 혹은 무차원으로 사용할 것을 제안하였다. 염분 단위의 다양한 정의와 발달 과정을 Table 1에 요약하였다.

절대 염분이란 해수 질량에 용해된 물질의 질량비이다. 실제로 이 양을 직접 측정할 수 없어서 염분은 서로 다른 방법으로 측정되고 정의되어왔다. 절대 염분 ( $S_A$ )은 (1)과 같이 정의된다.

$$S_A = \frac{m_S}{m_{SW}} \quad (1)$$

여기서  $m_S$ 는 해수 중에 용해되어 있는 물질의 질량이고,  $m_{SW}$ 는 해수의 질량이다. 절대 염분은 질량비를 나타내므로 단위가 없다. 절대 염분은 무차원 단위 외에 식 (2)와 같이 백분율로 나타낼 수 있고 식 (3)과 같이 천분율을 나타내는 단위로 표현될 수 있다.

$$S'_A = S_A \times 100 \quad (2)$$

$$S''_A = S_A \times 1000 \quad (3)$$

1901년 Sörensen은 해수 1 kg 안에 포함된 염류의 건조 잔여물(dry residue)의 질량(g)으로 염분을 측정할 것을 제안하였다. 이후 Knudsen과 Sörensen은 해수의 일정 성분비의 법칙을 이용하여 건조 잔여물의 질량과 염소량  $Cl(\%)$  사이의 관계를 이용하여, 염소량만으로 염분을 결정할 수 있는 식 (4)와 같은  $S_{K-S}$  방법을 제안하였다.

$$S_{K-S} = 0.03 + 1.805 Cl \quad (4)$$

여기서 염소량  $Cl$ 은 Moore-Knudsen 방법으로 측정되었으며, Knudsen과 Sörensen에 의한  $S_{K-S}$ 의 평균 제곱 오차는 0.01‰을 초과하지 않았다. 염분  $S_{K-S}$ 의 정의와 측정 방법 및 계산 과정은 1902년에서 1969년까지 해양 연구에 있어서 수 십 년간 활용되었다.

또 다른 방법인 Cox 염분( $S_{Cox}$ )의 정의는 해수의  $Cl$ 과 상대 전기전도도(relative electric conductivity)  $R_{15}$  사이의 관계를 분석하여 식 (5)와 식 (6)과 같이 제안되었고 단위는 ‰을 사용하였다.

$$S_{Cox} = 1.80655 Cl \quad (5)$$

이 식은 전 세계 해양에서 얻어진 135개의 자료를 이용하여 얻어졌다. 다시 해수의 상대 전기전도도와 비교하여 식 (5)는 식 (6)과 같이 유도되었다.

$$S_{\text{Cox}} = -0.08996 + 28.2972R_{15} + 12.80832R_{15}^2 - 10.67869R_{15}^3 + 5.98624R_{15}^4 - 1.32311R_{15}^5 \quad (6)$$

$$R_{15} = \frac{x(S, 15, 0)}{x(35, 15, 0)}$$

여기서  $x(35, 15, 0)$ 는 수온이 15°C일 때 염분  $S_{K-S}$ 가 35‰인 해수('Copenhagen' sea water)의 특정 전기전도도(specific electric conductivity)이고,  $x(S, 15, 0)$ 는 수온 15°C이고 염분  $S$ 를 아직 모르는 해수의 전기전도도이다. 여기서 대기압  $P$ 는 고정된 값을 사용하였으나 구체적인 값은 알려지지 않아 0으로 표시되어 있다(UNESCO, 1981b). 즉 염분을 모르는 어떤 해수 시료의 전기전도도를 측정하면  $R_{15}$ 를 계산할 수 있고, 식 (6)으로부터 그 해수의 염분을 계산할 수 있었다.  $S_{\text{Cox}}$  방법의 오차는 15‰보다 높은 해수에서는 0.004‰, 15‰보다 낮은 해수에서는 0.01‰을 초과하지 않았다. 식 (6)은 세계 해양에서 염분 측정의 새 기준으로서 국제기구에 의해 받아들여져 1969년부터 1981년까지 사용되었다.

현재 국내외적으로 해양연구에 있어 널리 활용되고 있는 단위는 실용 염분 단위  $S_{1978}$ 로서, 1981년 UNESCO 보고서에 정의된 실용 염분(practical salinity)  $S$ 에 해당한다. 앞의 염분 단위와 구분하기 위해 1978을 붙여서 식 (7)과 같이 표현하였다.  $S_{1978}$ 은 표준 해수 용액의 전도도와 염분 사이의 관계로 만들어졌다. 이 식을 이용하면 해수를 채수하여 chlorinity를 측정하지 않고도 CTD(Conductivity, Temperature, Depth)와 같은 정밀한 전도계(conductivity meter)로 측정된 전도도(conductivity)만 있으면 염분을 계산해 낼 수 있다.  $S_{1978}$ 와 상대 전기전도도 사이의 관계는 다음 식 (7)과 같고, 이 때 염분  $S_{1978}$ 은 2-42의 범위를 가진다.

$$S_{1978} = a_0 + a_1 K_{15}^{1/2} + a_2 K_{15} + a_3 K_{15}^{3/2} + a_4 K_{15}^2 + a_5 K_{15}^{5/2} \quad (7)$$

$$a_0 = 0.0080, \quad a_1 = -0.1692, \quad a_2 = 25.3851, \quad a_3 = 14.0941, \\ a_4 = -7.0261, \quad a_5 = 2.7081,$$

$$\sum a_i = 35.0000, \quad 2 \leq S_{1978} \leq 42,$$

$$K_{15} = \frac{x(S, 15, 1)}{x(35, 15, 1)}$$

여기서  $K_{15}$ 은 대기압이 1 atm이고, 수온이 15°C인 해수 1kg의 용액에 32.4356g의 KCl이 녹아 있는 KCl 표준 용액(standard solution)에 대한 염분  $S$ 를

아직 모르는 해수의 상대 전기전도도(relative electric conductivity) 비이다. 이 값이 정확하게 1일 때  $S_{1978}$  혹은 실용 염분은 35가 된다. 이전에 사용했던 단위와 혼동을 기급적 줄이기 위해 해수의 대략적 평균 염분이었던 35‰을 기준으로 정의하였다. 이 단위는 두 전기 전도도의 비이므로 염분의 모든 값에 있는  $10^{-3}$ 이 생략되어서 간단하게 무차원으로 표현된다. 즉  $S_{1978}$ 은 퍼밀 없이 천배로 표현되어진 단위가 없는 양이다.  $S_{1978}$ 은 PSS(Practical Salinity Scale)-1978로 불리우며, 1982년부터 현재까지 사용되고 있다.  $S_{1978}$ 의 오차는 15°C에서 0.0008 정도이고, -1.8-30°C의 수온 범위, 2-42의 염분 범위, 그리고 0-10,000 dbar의 기압 범위에서는 0.0015보다 작다고 보고되었다. UNESCO (1981a, 1981b, 1985)가 이 염분 정의에 대한 단위로서 무차원 단위를 추천하였으나 해양학자들은 대부분 psu로 단위 표기를 하고, 또 일부에서는 무차원 단위를 부분적으로 사용하고 있다.

## 연구 자료 및 방법

우리나라 제 7차 중·고등학교 과학 교과서 총 27종을 Table 2와 같이 선정하여 연구에 활용하였다. 사용한 교과서들은 종류마다 구분하여 편의상 기호를 붙였다. 예를 들면 공통기본교육과정 7학년 과학 교과서 1은 중학교 학생들이 배우고 있기 때문에 'Middle School'의 'M'을 따서 교과서 종류마다 구분하여 각각 M1, M2, M3 등으로 기호를 붙였다. 10학년 과학과 선택 및 심화 과정 지구과학 1은 고등학교 학생들이 배우고 있기 때문에 'High School'의 'H'를 따서 10학년 과학 과정은 'Ha', 지구과학 1은 'Hb'로 기호를 붙였다. Table 2에 각 교과서에 관한 저자, 염분 관련 페이지, 그리고 교과서 표기 기호를 나타내었으며, 출판사 및 전체 페이지 수에 관한 정보는 참고문헌에 제시하였다.

교과서 분석 과정은 두 가지 단계를 거쳤다. 첫 번째 단계에서는 해수의 염분을 다루고 있는 해당 교과서를 선택하고, 본문의 내용 중에서 염분을 정의한 부분에서 염분의 단위를 어떻게 제시하고 있는지 빈도수를 조사하였고, 두 번째는 교과서에 실린 삽화, 표 등에서 염분 단위의 표현 방법을 조사하여, 각 표기 방법에 따른 빈도수를 조사하였다. 염분의 정의 및 단위에 대해 직접적으로 설명하지 않고, 구체적인 언급 없이 염분 값 뒤에 단위만을 간접적으로 제시

**Table 2.** Information of the textbooks analyzed for the study

Course	Textbook	Authors (year)	Pages	Symbol
7th grade Science	Middle school science 1	Kang et al. (2000)	232-237	M1
		Chung et al. (2000)	234-239	M2
		Lee S.M. et al. (2000)	242-246	M3
		Choi et al. (2000)	234-237	M4
		Kim et al. (2000)	240-245	M5
		Park et al. (2000)	238-243	M6
		So et al. (2000)	222-225	M7
		Kim et al. (2000)	228-231	M8
		Lee G.M. et al. (2000)	226-231	M9
10th grade Science	High School Science	Kang et al. (2001)	287	Ha1
		Chung et al. (2001)	273-275	Ha2
		Lee M.W. et al. (2001)	314, 316	Ha3
		Lee G.K. et al. (2001)	279, 286	Ha4
		Kim et al. (2001)	276-277, 279	Ha5
		Sung et al. (2001)	297-299, 307	Ha6
		Lee Y.W. et al. (2001)	256-257	Ha7
		Wu et al. (2001)	299	Ha8
		Lee M.W. et al. (2001)	270-271	Ha9
		Cha et al. (2001)	258-259	Ha10
		Hyun et al. (2007)	206-207, 212	Ha11
		Song et al. (2001)	291	Ha12
Earth Science 1	Earth Science 1	Wu et al. (2002)	123-125	Hb1
		Lee M.W. et al. (2002)	-	Hb2
		Lee G.S. et al. (2002)	142-143	Hb3
		Kyung et al. (2002)	152-153	Hb4
		Ho et al. (2002)	142-144	Hb5
		Kim et al. (2002)	130-132	Hb6

한 교과서도 빈도수 계산에 포함하였다.

이들 교과서에 실린 염분의 내용과 비교하기 위하여 한국해양학회에서 발간해 온 학술지를 선택하였다 (Table 3). 학회지는 발간 당시의 최신 연구들을 수행한 결과들을 실었기 때문에 본 연구의 주제인 염분 단위의 변천사를 볼 수 있는 좋은 연구 자료로 판단되었다. 한국해양학회지는 1966년부터 1995년까지 하나의 학회지로 발간되었으나, 1996년부터는 국문 학회지 ‘바다’와 영문학회지 ‘Journal of the Korean Society of Oceanography’로 나누어 발간되었고, 2005년부터는 영문학회지를 ‘Ocean Science Journal’이라는 국제학술지로 바꾸어 발간하고 있다. 본 연구에서는 국문과 영문 학회지를 구분하지 않고 1967년부터 2008년까지 해양학회에서 발간한 모든 학회지를 대상으로 조사하였으며, 이 중에서 염분 관련 내용이나 그래프, 표를 제시하고 있는 논문 148편을 본 연구의 분석 자료로 활용하였다.

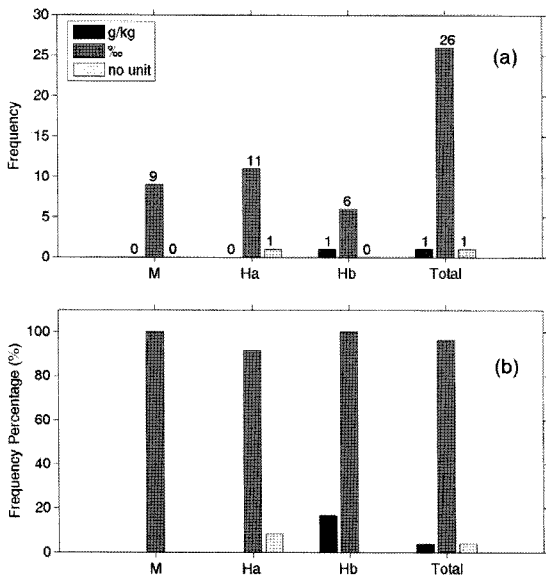
## 연구 결과

### 교과서 본문에서의 염분 단위

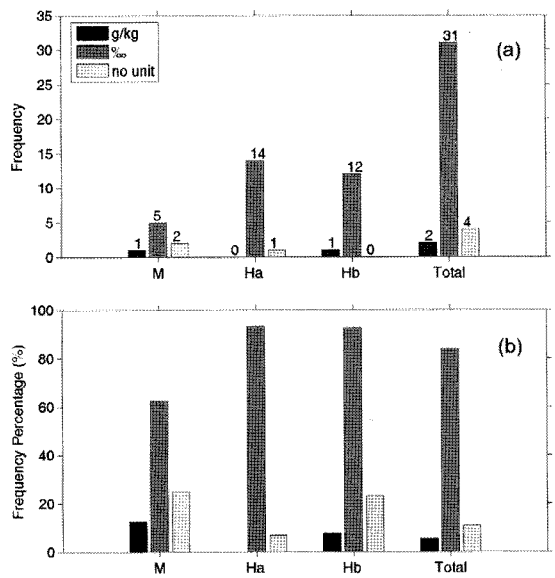
27종 교과서를 활용하여 교과서에서 다루고 있는 염분의 정의와 단위에 관한 내용을 분석하였다. Fig. 1a는 27종 교과서 중에서 염분 단위를 표시한 교과서들의 빈도수를 나타낸 것이고, Fig. 1b는 이 빈도수를 전체 교과서 수에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 9종의 중학교 과학 1 교과서(M 과정) 모두 염분의 단위를 %로 정의하였다. 10학년 과학 교과서(Ha 과정) 12종 중 Ha4, Ha6, Ha7, Ha11, Ha12의 5종 교과서는 염분을 정의하면서 단위를 %로 명시하고 있었으나, Ha1 교과서는 단위를 제시하고 있지 않았다. 나머지 교과서도 염분의 정의나 단위에 대한 직접적인 설명이 없이 염분 값 뒤에 단위만 간접적으로 표시하였다. 염분 정의의 빈도수가 낮은 것은 7학년 과학에서 이미 염분에 관한 내용이 다루어졌기

**Table 3.** Information of the papers published in Journal of the Korean Society of Oceanography from 1967 to 2008. The bold numbers are the volume numbers of 'The Sea' journal

Year	Vol	No	Page	Year	Vol	No	Page	Year	Vol	No	Page
1967	2	1	12-23	1994	29	2	132-144	2001	6	4	218-224
1969	4	1	1-8			3	304-318			4	225-233
			1	36-48	1995	30	4	414-421	2002	37	1
1971	1	1	25-36	2			125-137	2			51-59
		1	37-48	3			203-215	3			117-124
		1	49-55	4			237-249	3			129-139
1972	7	1	15-18	4			262-270	3			157-170
		2	59-73	5	512-521	4	212-223				
1974	9	1	10-18	5	442-457	2003	38	2	60-67		
		2	39-51	1	1-6			2	138-150		
1976	11	1	1-8	1	7-17			2	151-163		
		1	25-33	4	164-172			2	177-186		
		2	89-95	4	217-231			3	101-110		
1977	12	1	13-32	1997	32	1	1-7	3	317-326		
		2	1-6			2	53-68	3	251-261		
1979	14	2	67-70			2	92-100	4	211-215		
		2	54-60			2	117-124	4	357-368		
1980	15	1	17-33			1998	33	1	45-52	2004	39
1981	16	1	31-37	2	1-7			1	72-95		
		2	43-48	2	53-61			2	119-135		
1982	17	2	51-58	2	71-79			3	111-118		
		2	74-82	3	130-145			4	153-163		
1983	18	1	1-9	3	165-169			2005	40	4	164-172
		2	142-148	4	146-156					4	204-211
1984	19	1	56-67	4	175-182					4	196-203
		1	89-93	4	193-202					1	17-24
		2	105-110	2	86-94					2	67-78
1985	20	2	187-194	2	95-112	2	79-89				
		2	22-27	4	185-199	10	79-91				
1987	22	1	34-42	1999	4	2	1-9	2006	11	1	1-10
		2	207-215			2	255-265			1	11-20
1989	24	1	1-14			4	305-311			1	21-30
		1	15-28			4	371-382			2	49-67
1990	25	1	1-7	2000	35	2	89-97			3	117-123
		2	84-95			3	129-152	4	136-142		
		2	106-116			4	170-178	3	211-218		
		1	47-58			1	16-26	4	370-379		
		1	83-100			1	47-58	4	390-399		
1991	26	2	144-154	1	59-69	2007	12	1	1-14		
		2	155-168	1	216-223			1	27-41		
		3	181-192	3	224-232			1	67-82		
		3	262-277	3	233-237			2	112-120		
		3	278-290	3	238-244			2	121-128		
		3	237-246	4	357-362	2	129-139				
1992	27	3	250-258	2001	6	4	363-373	2	140-146		
		4	259-267			1	40-48	2	147-155		
		4	290-302			2	49-62	2	156-163		
1993	28	1	47-51	2	93-102	2008	13	2	156-163		
		4	272-280	3	115-125						
		4	292-304	3	201-210						



**Fig. 1.** (a) Histograms of number frequency and (b) frequency percentage (%) of salinity units designated in the text of science textbooks on the 7th National Curriculum (M; Middle school, Ha: 10th-year High school, Hb: High school earth science I textbook).



**Fig. 2.** (a) Frequency and (b) frequency percentage (%) of salinity units designated in graphs and tables in science textbooks on the 7th curriculum (M; Middle school, Ha: 10th-year High school, Hb: High school earth science I textbooks).

때문인 것으로 보인다. 간접적인 경우도 모두 포함하면 총 11종의 Ha 교과서가 염분의 단위를 퍼밀(‰)로 표시하였다.

고등학교 심화·선택 과목인 지구과학 I(Hb 과정)에서는 총 6종의 교과서 중 5종은 ‰로 표시하였고, 나머지 1종은 ‰과 g/kg을 병기하여, 총 교과서 수는 6종이지만 Fig. 1a에서 보는 바와 같이 교과서 총합이 7종이 되었다. 전체 27종의 교과서 중에서 g/kg은 1종, ‰은 19종에 달했는데 서로 다른 단위를 동시에 제시한 경우를 모두 고려하면 ‰은 26종 교과서에서 사용하고 있었다. psu로 나타낸 교과서는 한건도 발견되지 않았다.

모든 교과서는 염분을 ‘바닷물 1 kg 속에 녹아 있는 염류 혹은 고형 성분의 총량을 g 단위로 나타낸 것’이라고 정의하고 있었다. 새로 정의된 염분이 전기전도도에 의한 정의라는 사실과 염분을 CTD라는 기기로 측정한다는 내용을 제시한 교과서는 총 27종 중 3개로 전체의 약 11.1%에 불과하였다. 그 중 한 교과서(Ha3)에서는 CTD를 ‘자기수심수온계’로 소개하고 있어서 학생들이나 교사가 제시된 내용만 보고 이 기계가 염분을 측정할 수 있는 장비인지 알 수 없는 경우도 있었다.

Fig. 1b는 염분을 직접적으로 정의하지는 않았지만 염분 값 뒤에 단위를 간접적으로 제시한 교과서를 모두 포함하여 백분율로 계산한 결과이다. M 과정의 100%, Ha 과정의 91.7%, Hb 과정의 100%가 염분의 단위를 퍼밀(‰)로 제시하고 있었다. 전체 교과서의 96.3%가 퍼밀을 사용하였고, g/kg과 단위를 명시하지 않은 교과서도 각각 3.7%에 달하였다. Hb1 교과서는 g/kg과 ‰을 모두 사용하고 있었고, Hb3 교과서는 염분에 관한 정의와 단위에 대한 언급이 전혀 없었다.

### 교과서 그림·표에서의 염분 단위

염분의 단위에 대한 직접적인 정보가 있는 염분 관련 그래프와 표를 대상으로 단위를 분석하였다 (Fig. 2). 9종의 M 과정 교과서에서는 관련된 삽화와 표가 9가지 있었으며 g/kg과 ‰로 표현한 교과서가 각각 1건과 5건이 있었다. 아무런 단위를 제시하지 않은 것도 2건이 있었다. 이 경우는 염분 단위 개정에 대한 사전 지식이 없이 단위를 붙이지 않았기 때문에 무차원으로 분류하지 않았다. Ha 과정에서는 12종 교과서 중에서 15건의 그래프와 표를 분석하였을 때 14가지 경우가 퍼밀로 단위를 제시하였고, 한

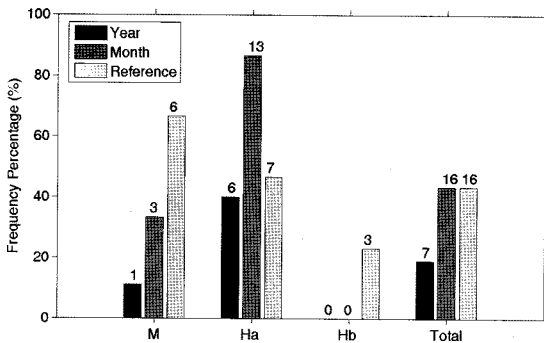


Fig. 3. Frequency percentages of the figures and tables presented information on year and month for the observed period and reference in the science textbooks.

가지 경우가 단위를 제시하지 않았다. 고등학교 Hb 과정에서는 분석대상 6종의 교과서에서 13가지의 그래프와 표를 분석한 결과 g/kg은 1건, %은 12건으로 나타났다. 이는 교과서 종류에 비하여 다른 M 과정과 Ha 과정에 비해 염분 관련 건수 자체가 상대적으로 많은 것을 알 수 있었다. 전체적으로 27종의 교과서를 분석한 결과 그림과 표 빈도수가 총 37개였으며, 이 중에서 31개는 %을, 3개는 g/kg로 단위를 나타내었다.

교과서 그림과 표에 나타나 있는 염분 단위 표기에 관한 빈도수의 백분율을 Fig. 2b에 나타내었다. M, Ha, Hb 과정에서 %을 사용하는 그래프나 표가 각각 62.5, 93.3, 92.3%로 가장 많았고, 단위를 아예 제시하지 않는 그래프나 표가 각각 25, 6.7, 23%로 나타났다. 그리고 전 교과서를 대상으로 하였을 때 g/kg는 5.4%, %은 83.8%로 나타났으며 단위 표기가 없는 건은 10.8%에 달하였다(Fig. 2b).

교과서에서 활용한 그래프나 표에 대한 출처와 시간 정보도 없고 정확한 인용 표시도 없어서 추가 정보를 확인하기 어려운 경우도 있었다. 출처가 없기 때문에 원래의 자료가 퍼밀을 사용한 오래된 자료를 이용하여 작성된 그래프인지 혹은 실용염분단위를 사용한 자료인지 판단하기가 명확하지 않았다. 따라서 교과서에서 제시하고 있는 그림이나 표 등의 정보에 대하여 염분이 관측된 년도 혹은 계절정보와 출처가 제시되어 있는지 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. M 과정의 경우 분석대상 9종 교과서에서 9개의 그림과 표 중에서 연도와 월을 표시한 것은 각각 1개와 3개가 있었으며 출처는 6군데에서 표시하고 있었다. Ha 과정에서는 12종 15건 중에서 연도 표시 6건, 월 표

시 13건, 참고 문헌 및 출처 표시가 7건에 달했다. 이에 반해 지구과학 Hb 과정은 특이하게도 이러한 부가 정보를 상대적으로 적게 제시하고 있었다. 6종 13건 중에서 3건만이 출처를 제시하고 있었다. 전체 27종 교과서 37건 중에서 연도 표시 7건, 월이나 계절표시 16건, 그리고 출처에 관한 정보 제시가 16건 있었다. 또한 Ha11의 경우 출처를 정확하게 제시하여 확인해 본 결과 실제 연구에서는 실용염분단위 psu를 사용한 자료였지만, 교과서 본문 내용과의 혼란을 막기 위해서 %로 바꾸어 제시하고 있었다. 이외에도 염분과 관련한 그림 중에는 등염분선 간격이 일정치 않은 자료도 있었으며(Ha7), 등염분선의 간격이 너무 조밀하여 염분 분포 경향을 파악하기 힘든 경우도 있었다(Ha7, Ha12).

#### 한국해양학회지 논문의 염분 단위

교과서에서의 염분 단위를 국내에서 해양관련 가장 큰 학회 중의 하나인 한국해양학회의 학회지에 게재된 논문에서 사용한 염분 단위를 비교하였다. Table 2에서 제시된 1967년부터 2008년까지 게재된 148편의 염분과 관련된 논문을 활용하여 각 표기법에 따른 빈도수와 백분율을 분석하여 Fig. 4에 도시하였다.

분석 결과에 의하면 1967년부터 1994년까지 28년에 걸쳐서 발간된 모든 논문이 염분 단위를 %로 사용하고 있었다. 1995년에 발간된 논문 6편중에서 1편이 처음으로 실용염분 단위(psu)를 사용하기 시작하였고, 1996년에는 2편이 %을 사용하였고 무차원 단위로 쓴 논문도 1편 있었다. 무차원 단위는 2000년에 5편으로 증가하다가 2004년에 3편이 있었으나, 2008년에는 사용되지 않았다. 반면에 psu를 사용한 논문은 1990년 하반기 이후 꾸준히 증가하여 2008년에는 9편의 논문 중에서 8편이 있었다.

1967년부터 2008년에 이르는 전 기간 동안에 사용한 염분 단위의 시간 변화를 전체적으로 고찰하면 % 사용은 1991년에 7건으로 최대 빈도수에 도달한 후 급격하게 감소하여 1997년부터는 본격적으로 psu 단위가 사용되고 있음을 볼 수 있다(Fig. 4a). 2000년에는 무차원이 6편으로 가장 많이 활용되었으나, 이후 다시 psu를 염분 단위로 활용하는 경향이 있었다. 2008년에 발견된 %을 사용한 논문은 염분 자료를 잘 활용하지 않는 분야에서 사용하였고, 실제로 염분을 주로 다루는 대부분의 물리해양학 관련 연구에서 거의 모두 psu를 활용하는 것으로 나타났다. Fig. 4b



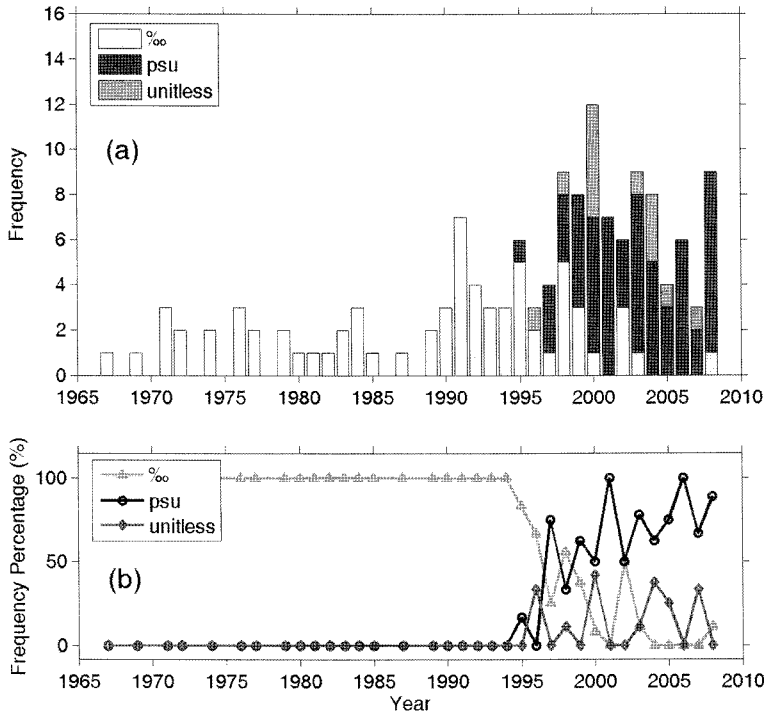


Fig. 4. Time series of (a) histograms of the frequency numbers classified by each salinity unit in the research articles of the journals of the Korean Society of Oceanography from 1966 to 2008 and (b) their percentages.

는 전체 염분관련 논문 수에 대한 각 염분 단위의 출현빈도 논문 수의 백분율을 나타낸 것이다. 1967년부터 1994년까지 ‰은 100% 사용되었으며 이후 점차 줄어들어 2004년부터는 0%에 달해 거의 사용되지 않고 있었다. 반면에 psu는 1995년에 16.7%를 차지하다가 2001년에 100%를 보였으며, 전체적으로 상승하는 경향을 보였다.

#### 단위에 따른 염분의 차이

해수의 염분을 표현하는 방법에는 식 (4), (5), (7)과 같이  $S_{K-S}$ ,  $S_{Cox}$ ,  $S_{1978}$  등이 있으며 이 표기법 사이의 차이점에 대해 연구할 필요가 있다. 염소량 적정법칙으로 정의된 염분의 단위인 퍼밀(‰)과 전기전도도로 정의된 실용 염분 단위(psu)의 실제 차이를 Ovsyanyi et al.(2004)의 결과를 기준으로 자료를 재구성하여 비교하였다.

Fig. 5는  $S_{1978}$ 과  $(S_{1978}-S_{K-S})10^3$ 와  $(S_{1978}-S_{Cox})10^3$ 의 관계를 나타낸다. 35 psu일 때는 두 스케일 사이의 차이가 거의 없지만, 수온이  $-2^{\circ}C$ , 염분이 10 psu일 때 염분은 0.05에 가까운 차이가 나타났다. 34-35 psu 정도의 해수일 경우는 퍼밀과 염분이 큰 차이를

보이지는 않지만, 하천과 바다가 만나는 곳이나 외해에서 연안으로 가면서 염분이 낮아지는 곳에서는 두 염분 단위 사이의 차가 커지며 무시할 수 없음을 나타낸다(Fig. 5). Fig. 5b에서 볼 수 있듯이  $S_{Cox}$ 의 경우 10 psu,  $-2^{\circ}C$ 에서는  $S_{K-S}$ 보다 0.067 정도로 매우 큰 차이를 보여 주었다. 두 염분 모두 수온에 대해서 강한 의존성을 보였는데, 수온이 낮을수록 ‰과 psu의 차이는 증가하였다. 염분이 35 psu로부터 저염과 고염으로 멀어질수록 수온에 대한 의존성은 더 커지면서 psu와의 차이는 더 크게 나타났다. 같은 ‰ 단위로 표현하는  $S_{K-S}$ 와  $S_{Cox}$ 의 차이도 psu 단위에 대해서 차이를 보였다. Fig. 6은  $(S_{Cox}-S_{K-S})10^3$ 과  $S_{1978}$ 를 비교한 결과이다. 염분이 0인 순수한 물에서 염분이 증가할수록 둘 사이의 차이는 점점 줄어들다가 35 psu일 경우는 같아지며, 다시 고염분의 해수에서는 역전된다.

Fig. 7은 염분(psu)과 해수 온도( $^{\circ}C$ )에 따른 두 스케일의 차이( $(S_{1978}-S_{K-S})10^3$ ,  $(S_{1978}-S_{Cox})10^3$ )를 본 연구에서 최적 내삽(optimum interpolation) 과정을 통해 다시 계산하여 도시한 것이다. 현재 교과서에서 활용하고 있는 ‰ 단위로 표현한 염분은 psu로 표현한

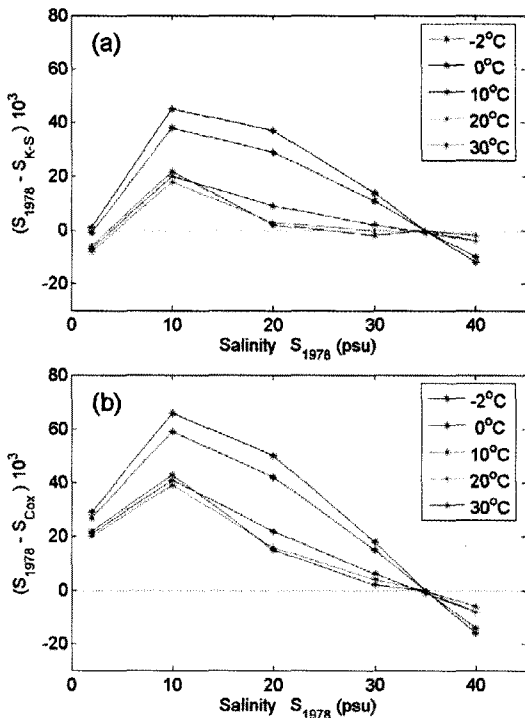


Fig. 5. Salinity differences of (a)  $S_{1978} - S_{K,S}$  and (b)  $S_{1978} - S_{Cox}$  as a function of  $S_{1978}$  and water temperature from  $-2^{\circ}\text{C}$  and  $30^{\circ}\text{C}$ .

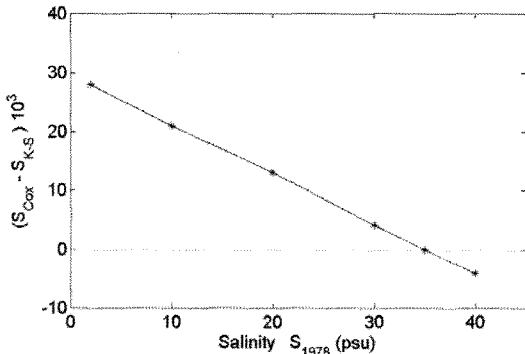


Fig. 6. Salinity differences of  $S_{Cox} - S_{K,S}$  as a function of  $S_{1978}$ .

염분에 비하여 최대 0.06 psu 정도 차이가 발생하였으며, 수온이 일정할 경우 염분 10 psu 가까이에서 가장 큰 오차를 보였다. 수온에 대한 강한 경향성도 보였는데, 전체적으로 저온일수록 차이가 더 커지는 경향을 보였다. 10-35 psu 범위에서는 저염으로 갈수록 %과의 차이가 커지나, 10 psu를 기준으로 역전되는 양상을 보였다.

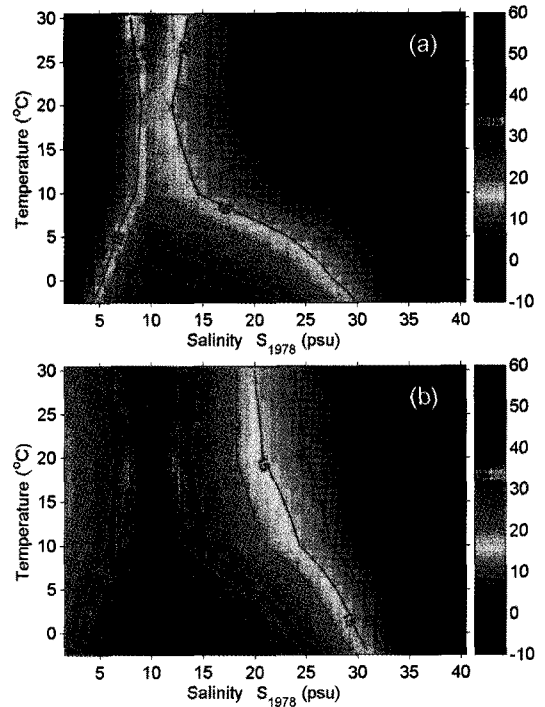


Fig. 7. Salinity differences of (a)  $(S_{1978} - S_{K,S})10^3$  and (b)  $(S_{1978} - S_{Cox})10^3$  as a function of  $S_{1978}$  and water temperature from  $-2^{\circ}\text{C}$  and  $30^{\circ}\text{C}$ .

일반적으로 염분은 바다 전체에 걸쳐 매우 좁은 범위 내에서 변한다. 34.5 psu에서 35.0 psu 사이의 해수가 전체 해수의 75%를 차지하고(Knauss, 1977), 전체 해수의 99%가 염분 33-37 psu 범위에 존재한다 (Montgomery, 1958). 홍해와 같이 증발이 많이 일어나는 해역에서 상한값이 나타나고, 담수인 강물이 흘러나오는 곳에서 하한값이 주로 나타난다. 상한값과 하한 값의 차이가 상대적으로 작기 때문에 흔히 바다는 일정한 염분을 가진다고 쉽게 가정하여 사용하고 있다. 하지만 실제로 바다에서 일어나는 현상의 변화와 주요한 역학적 과정들이 매우 작은 염분 범위 내에서 발생하고 있다. 예를 들면 태평양의 깊은 곳(2500 m 이하)의 염분은 남태평양에서는 34.7 psu 부터 40°N에서는 34.68 psu까지 0.02 psu 범위에서 변하고 있다. 이러한 작은 염분의 변화는 해양 심층에서의 순환을 유도하여 해양전체의 순환에 기여하고 있다. 따라서 두 스케일의 실제 값의 차이가 최대 0.06 psu 정도로 작다고 하더라도 그 차이가 해양을 연구하는데 매우 의미있는 차이가 될 수 있다.

## 토 의

### 수괴 발견과 염분 단위

해양 심층에서의 염분 변화는 매우 작기 때문에 심층 해수를 연구하기 위해서 더 정밀하고 정확하게 염분을 관측하는 기술이 필요하다. Uda(1934)는 동해 표층을 제외한 90%의 심층 해수는 동해고유수라는 하나의 수괴로 이루어져 있다고 하였다. 이러한 보고는 오랫동안 정설로 받아들여져 오다가, 1993년 이후 진행되었던 한국, 일본, 러시아의 국제 해양관측 프로그램 Circulation Research of the East Asian Marginal Seas(CREAMS)를 통해 하나의 수괴가 아닌 여러 개의 수괴로 구성되어 있는 것으로 보고되었다. 민홍식(2002)과 Kim et al.(2004) 등은 동해 중층 해수를 관측하여 해수의 수온-염분 다이어그램(T-S Diagram)을 그려 분석한 결과, 34.06 psu에서 34.08 psu 사이의 좁은 범위에서 새로운 수괴들의 존재를 발견하고 수괴들을 새롭게 정의하였다. 동해 해수를 수온과 염분의 기준에 따라 동해중앙수(East Sea Central Water; 0.12-0.6°C, >34.067 psu), 동해심층수(East Sea Deep Water; <0.12°C, 34.067-34.070 psu), 동해저층수(East Sea Bottom Water; <0.073°C, 34.07 psu), 동해고염중층수(East Sea High Salinity Intermediate Water; 1-5°C, >34.07 psu) 등 네 개의 수괴로 구분하였다.

수괴의 구분은 수괴가 형성되는 해면에서의 해양-대기 조건을 반영하기 때문에 기후 변화 연구에 매우 중요하다. 과거의 염소량 적정 법칙에 의한 염분 측정은 그 오차가 0.01%(Ovsyanyi et al., 2004)이어서 정밀한 염분 측정이 요구되는 연구에서는 사용할 수 없다. 미세한 범위에서의 염분의 변화를 감지하기 위하여 정밀한 CTD 장비의 사용은 필수적이다. 관측한 결과도 과거 염분 단위인 ‰이 아닌 psu로 정리하여 보고하고 있다. 따라서 이러한 연구 결과들은 7차 교육과정에 기초한 교과서에서 다루는 염분의 내용과 단위와 일치하지 않으므로 교과서 및 교육과정 해설서에서의 염분 관련 내용을 개정해야 한다고 사료된다.

### 염분의 장기 변동추세와 정확도

최근에 지구온난화와 기후변화에 대한 염분의 역할이 강조되고 있어서 장기간에 걸친 염분의 변동 추세를 연구할 필요가 있다. 이미 대서양에서는 지난

40년간 저염화되는 경향성이 발견되고 보고되었다(Curry and Mauritzen, 2005). 동해에서 CREAMS와 같은 대규모 국제 관측 프로그램이 진행됨에 따라 수온과 염분 자료가 축적되었고, 이를 바탕으로 1993년부터 2004년까지 장기간에 걸친 염분의 변화율을 산정한 연구 결과도 보고되었다. 서일본분지(the Western Japan Basin)와 울릉분지에서 0.4°C 등온면에서 염분의 장기간 변동을 분석한 결과, 각각 +0.00003 psu/year와 +0.00045 psu/year의 고염화 경향을 발견하였다(Park and Kim, 2007). 이 변화량은 매우 작지만 통계적으로 유의하였고, 관련된 해양학적 과정을 이해하는데 기여하였다. 이처럼 소수점 넷째 자리까지의 변화율이 통계적으로 유의하기 위해서는 염분 관측기기가 적어도 소수점 셋째자리 이상의 정밀도를 가지고 있어야 하고 현재의 CTD와 같은 관측 장비는 이러한 조건을 만족시킨다. 반면 염소적정법을 이용한 ‰ 단위 표기법으로는 장기간에 걸친 염분 변동 추세에 관한 연구는 불가능하다. 이러한 사실은 현행 교과서에서는 반영이 되어 있지 않다. 최근의 염분 변화에 관한 연구 결과를 교과서에 제대로 표현하고자 하더라도 염분 관측 및 염분 단위가 일치하지 않기 때문에 문제가 발생하고 있다. 앞으로 염분 단위 개정이 이루어지지 않고 현재의 상태로 지속된다면, 학생들이 과학적 사실에 근거하지 않은 교과 내용을 학습할 우려가 있다.

### 단위 불일치에 따른 문제점

최근에 이루어진 거의 모든 연구에서 해수의 염분은 전기전도도를 이용하여 측정하고 있고, 연구 결과는 학술지에 주로 psu 단위로 실리고 있다. 그런데 원저에서는 분명 psu 단위로 작성된 그림임에도 불구하고, 현행 교과서의 내용으로 활용되면서 교과서에서 사용하는 염분 단위와 혼동을 피하기 위하여 편의상 ‰로 바꾸어 소개하고 있다. 또한 국내 지구과학관련 각종 경시대회나 한국지구과학회가 주관하고 있는 지구과학올림피아드 문제에서도 유사한 경우가 발생하고 있다(한국지구과학회, 2008). 대부분의 교사 및 비전공 분야 과학자들은 해수의 염분을 실제 다루지 않기 때문에 새로운 염분 단위에 대해서 제대로 인지하지 못하고 있다. psu라는 단위를 사용하지 않으므로 발생하게 될 학생들의 혼란을 피하기 위하여, 염분 단위를 원저와 상관없이 ‰로 임의로 수정하여 다양한 형태의 출판물에 게재하고 있다.

대기과학에서도 SI 단위와 관련하여 유사한 경우가 발생하였다. 기압의 단위로 초기에는 mmHg 단위와 대기압 연구를 한 토리첼리(Torricelli)의 이름을 따 Torr가 쓰였으나, 1941년 이후 국제방식에 따라 통일된 기압의 단위로 mb를 사용하였다. 그러나 1983년 5월에 개최된 제 9회 WMO (World Meteorological Organization) 총회에서 기압의 단위인 mb(millibar) 대신 국제단위계(SI) 중 압력단위명인 hPa(hectopascal)을 사용하기로 결정했다([http://web.kma.go.kr/edu/young/sfc/h\\_observ/sfc\\_02.html](http://web.kma.go.kr/edu/young/sfc/h_observ/sfc_02.html)). 이 단위는 1984년 7월 1일부터 시행하기로 합의하였으나, 각 국가의 여건에 따라 사용 시기가 일정하지 않았다. 우리나라 기상청에서는 1993년부터 발행되는 모든 간행물 및 문서에 hPa를 사용하기 시작하였으며(기상청, 2009) 현행 교과서에서도 hPa로 통일하여 사용하고 있다. SI 단위계에서는 압력의 단위로 Pa, 즉  $1\text{ m}^2$ 의 넓이에 1N의 힘이 작용할 때의 압력을 기본 단위로 사용하나, 대기과학자들이 그동안 사용해 왔던 그림들을 보전하기 위하여 편의상 100을 곱하여 hPa를 사용하게 된 것이다. 그러나 실제로 SI 단위에서는 어디에서도 ‘hecto’를 사용하지 않기 때문에 최근에는 kPa(kilopascal)을 사용하려는 노력도 있다.

해양 염분 단위의 변경은 기압 단위의 변경과는 다른 의미를 가진다. 기압에서의 단위 변경은 근본적으로는 실제 압력 자체가 바뀐 것이 아니기 때문에 hPa이나 mb로 표시하더라도 기압 값 자체는 변함이 없다. 반면에 해양 염분의 경우는 앞서 기술한 바와 같이 염분을 측정하는 방법도 변경되었고, 자료의 정확도 및 측정값 자체도 바뀌었기 때문에 기압의 단위와는 다른 특성을 보인다. 그리고 두 염분값 사이의 차이가 물리적으로 의미를 지니지 않을 때에는 단위를 변경하지 않아도 큰 문제가 되지 않지만, 해양염분의 변동이 매우 작다는 사실을 고려할 때 10배 이상이 되는 ‰과 psu 사이의 정확도의 차이는 매우 중요한 의미를 가진다.

단위는 공동체 안에서 약속에 의하여 채택한 것이므로 교과서에서 정확한 단위를 사용하는 것은 매우 중요하다. 과학 교과에서 단위를 학습하는 목적은 기본적으로 과학 분야의 학습과 연구를 위한 기초 소양과 기본 능력을 기르기 때문에 매우 중요하다(한창민과 송진웅, 2007). 대부분의 학생들은 어떤 물리량을 학습할 때 그 물리량의 단위와 관련 지식을 교사와 교과서에 의존하여 습득한다(김정규 외, 2002; 이

선양, 2004). 따라서 해양 염분의 변천 과정의 변천사와 그 필요성과 중요성을 고려해 본다면 현행 교과서에서의 염분 단위는 논의를 거쳐 개정되어야 한다고 판단된다.

## 결론 및 제언

해수의 염분은 기초적인 해양 상태 변수일 뿐만 아니라 전지구 기후 시스템에 영향을 주는 중요한 요소이다. 해양의 심층 순환과 기후 변화에 대한 영향을 이해하기 위해서는 염분을 정밀하게 관측하여야 한다. 이런 요구에 부응하여 해양학자들은 1970년대부터 염분을 보다 정확하게 측정하기 위한 장비를 개발하고 이를 바탕으로 새로운 염분을 정의하였다. 염소량 적정 법칙(a function of chlorinity)으로 정의하던 염분을 전기전도도를 이용하여 측정한 ‘실용 염분(practical salinity)’으로 바꾸었다. 1981년에는 염분에 관한 국제 SI 규정이 정하여졌으며, 이때 염분의 단위는 ‰에서 psu 혹은 무차원으로 결정되었다.

염분의 정의와 단위의 변화가 우리나라 7차 중·고등학교 교과서에 제대로 반영되어 있는지 알아보기 위하여 ‘중학교 과학 1’ 9종과 ‘과학’ 12종과 ‘지구과학 1’ 6종을 분석하였다. 전기전도도 측정법을 제시한 교과서가 전체 교과서에 대하여 11.1%에 불과하였다. 염분의 정의를 제시한 부분에서 96.3%, 염분 관련 그래프나 표에서는 83.8%가 염분의 단위를 ‰로 제시하고 있었다. 단위를 제시하지 않는 그래프나 표도 10.8%나 되었으며, 자료의 측정 시기와 출처 등의 정보가 미비한 그래프도 각각 21.6, 43.2% 정도 발견되었다. 정확한 최신의 자료를 제시해야 할 교과서에서 여전히 ‰을 사용하던 오래된 자료를 그냥 사용하고 있었으며, 실용 염분 단위(psu)를 사용한 자료를 쓰면서도 교과서 본문 내용과의 혼란을 막기 위해 그래프와 표를 제시할 때 ‰로 바꿔 제시하는 경우도 있었다.

이에 반해 1967년부터 2008년까지 한국해양학회지에 실린 염분 관련 논문을 조사해 보면, 1994년부터 실용 염분 단위(psu)가 사용되기 시작하여 2004년부터는 퍼밀은 거의 사용되지 않았음을 알 수 있었다. 2004년부터 2008년까지 총 30편의 논문을 분석한 결과, 24편의 논문이 실용 염분 단위(psu)를 쓰고 있었고, 5편이 무단위(unitless)를 사용하고 있었다. 염분에 관한 SI 규정은 무차원을 추천하였지만, 이용자들

의 혼동을 피하기 위해 초창기에는 psu를 사용하다가 이후 차츰 무차원으로 바꿀 것을 권고하였다. 그러나 한국해양학회지의 논문을 통해 본 염분 단위 사용의 최근 경향은 무차원보다 psu를 점점 더 많이 활용하는 추세에 있는 것으로 나타났다. 외국 학회지의 경우 여전히 psu가 많으나 무차원을 사용하는 논문들도 출판되고 있다.

대부분의 해양에서 퍼밀과 실용염분단위의 실제 값이 그 차이가 작다고 하더라도 그 차이가 해양을 연구하는데 의미있는 차이가 될 수 있다. 또한 두 단위의 측정 방법이 다르기 때문에 서로 다른 단위로 표현된 염분값들은 1대 1로 호환할 수 없는 값이다. 염분 35 psu 부근에서  $S_{K-5}$ 의 오차는 0.01‰이고  $S_{1978}$ 의 오차는 0.0015 psu 정도이어서 10배 정밀한 자료 제작과 그 이전 자료를 비교하는 것은 불가능하다. 퍼밀과 psu와의 차이를 분석한 결과 10 psu 주변에서 0.067 psu에 달하는 큰 차이를 보였다.

염분 단위의 변천은 해양학에서는 매우 혁신적인 일이었다. 염소적정법은 채수에 의존해야 했으며 정확도도 상대적으로 부정확하였으며, 이 방법으로 해양조사선에서 실시간으로 염분을 관측한다는 것은 불가능하였다. 전기전도도를 이용한 새로운 염분 관측법은 수 많은 해양학자들의 오랜 고민 속에서 탄생하였고, 좀 더 정밀한 장비 개발에 그 동안 심혈을 기울여 마침내 CTD라는 장비를 개발할 수 있게 된 것이다. 이 장비로 인해 실시간으로, 좀 더 쉽게, 보다 적은 노력과 시간을 들이면서 최고의 정확도로 해양 관측 자료를 생산할 수 있게 되었다. 최근 지구환경 및 해양환경의 미세한 변화를 감시할 수 있게 된 것도 모두 이러한 정확도 높은 양질의 염분을 관측할 수 있는 관측 방법의 변천 덕분이다. 따라서 ‰과 psu는 전혀 다른 방법으로 관측되고, 정확도 면에서도 큰 차이가 있으므로 혼동하여 사용되어서는 안된다.

교과서에서의 염분 단위를 개정하지 않고 현재의 상태로 계속 간다면 앞으로 새롭게 밝혀질 염분 변화에 따른 지구환경 및 해양환경의 변화를 다룬 최신의 연구 결과물들은 또 다시 ‰이라는 단위를 붙여서 교과서에서 다루어질 수 밖에 없을 것이다. 따라서 이러한 문제점을 없애기 위해서라도 차후 집필될 중등 과학교과서에서는 반드시 염분에 대한 정의를 간략하게 소개하고, 달라진 염분 측정 방법과 정확한 염분 측정의 중요성을 다룰 필요가 있다. 교과서 내용은 교육과정 및 교육과정 해설서를 따라야

하므로 우선 교육과정 해설서 수정 및 개정에 대한 논의가 진행되어야 할 것이다. 1981년 UNESCO 보고서는 무차원 단위를 추천하였으나, 현재 대다수의 해양학자들은 국내외적으로 현재 psu를 가장 많이 활용하고 있는 추세에 있다. 따라서 이러한 점을 고려하여 우리나라 중등 교과서의 염분 단위를 ‰에서 psu로 바꾸는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

## 사 사

이 연구는 해양 자료의 교육적 활용을 위하여 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2008-4210)에 의해 일부 지원되었습니다. 논문을 세밀히 심사해주신 두 심사위원님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 권숙일, 이민호, 박수인, 윤용, 이강석, 이태욱, 정규호, 양영주, 2001, 고등학교 과학(강). 교학사, 서울, 387 p.
- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 박은호, 이장진, 김일희, 장병기, 정병훈, 윤용, 이태욱, 한천욱, 2000, 중학교 과학(강)1. 교학사, 서울, 294 p.
- 경제북, 윤일희, 이경훈, 김기룡, 황원기, 이기영, 2002, 지구과학1. 중앙교육진흥연구소, 서울, 268 p.
- 김성규, 서승조, 조태호, 백남권, 박강은, 공정선, 2002, 초등학교 교과서에서 사용되는 단위에 대한 아동들의 이해도. 초등과학교육, 21, 201-212.
- 김정률, 고현덕, 김재현, 김남일, 임용우, 동효관, 김선주, 남철주, 김영순, 이준용, 2000, 중학교 과학1. 블랙박스, 서울, 288 p.
- 김찬중, 김희백, 박시진, 오차환, 양재철, 장홍식, 정진문, 조현수, 최후남, 한송희, 현종오, 홍경희, 2000, 중학교 과학1. 도서출판디딤돌, 서울, 295 p.
- 김찬중, 서만석, 김희백, 심재호, 현종오, 한인욱, 권성기, 박성식, 2001, 고등학교 과학. 도서출판 디딤돌, 서울, 359 p.
- 김희수, 정남식, 신동원, 박정용, 이정식, 한홍열, 박용선, 2002, 지구과학1. 천재교육, 서울, 247 p.
- 박봉상, 김운우, 홍달식, 박문수, 정대영, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 최병수, 진만식, 2000, 중학교 과학1. 동화사, 파주, 280 p.
- 성민웅, 김봉곤, 조성동, 강대훈, 강충호, 구자옥, 노일환, 이용철, 임태훈, 조범선, 한은택, 2001, 고등학교 과학. 문원각, 서울, 307 p.
- 소현수, 안태인, 최승연, 박건식, 이영만, 목창수, 김종권, 김득호, 구수길, 박완규, 김완섭, 김영산, 2000, 중학교 과학1. 두산동아, 서울, 271 p.
- 송경은, 1999, 중등수학교재에 나타난 단위에 관한 고찰. 홍익대학교 석사학위 논문, 39 p.

- 송호봉, 정용순, 유병선, 이운상, 김여상, 정태연, 이하원, 윤덕열, 2001, *고등학교 과학. 흥진 P&M*, 서울, 396 p.
- 우규환, 이춘우, 오두환, 김영유, 경재복, 이경훈, 박태운, 이영직, 백수관, 김병인, 김봉래, 이기영, 2001, *고등학교 과학. 중앙교육진흥연구소*, 서울, 397 p.
- 우종욱, 정진우, 위수민, 임정환, 홍성일, 이석형, 2002, *지구과학1. 교학사*, 서울, 222 p.
- 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상운, 복완근, 정익현, 박병훈, 박정일, 정수도, 김경수, 박지극, 송양호, 이천기, 2000, *중학교 과학1. 지학사*, 서울, 279 p.
- 이규석, 이창진, 김정률, 이용준, 강진철, 김재현, 2002, *지구과학1. 대한교과서*, 서울, 219 p.
- 이규석, 조희영, 박봉상, 박문수, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 이창진, 이용준, 2001, *고등학교 과학. 대한교과서*, 서울, 391 p.
- 이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최변각, 2001, *고등학교 과학. 지학사*, 서울, 359 p.
- 이문원, 전성용, 권석민, 진만식, 신석주, 임부철, 2002, *지구과학1. 금성출판사*, 서울, 284 p.
- 이문원, 전성용, 최병수, 권석민, 노태희, 허성일, 김출배, 강석진, 박희송, 김경호, 김규상, 채광표, 김진만, 정대영, 2001, *고등학교 과학. 금성출판사*, 서울, 415 p.
- 이선양, 2004, *중학생의 과학 단위에 대한 인식과 문제 풀이 활동을 통해 드러난 단위 이해의 요소. 서울대학교 대학원 석사학위 논문*, 120 p.
- 이성목, 채광표, 김기대, 노태희, 정지오, 서인호, 김영수, 김운택, 이세영, 이문원, 권석민, 손영운, 2000, *중학교 과학1. 금성출판사*, 서울, 295 p.
- 이연우, 강석복, 김인석, 김성진, 이진우, 안중제, 배미정, 전화영, 2001, *고등학교 과학. 이젠미디어*, 서울, 383 p.
- 정완호, 권재술, 김대수, 김범기, 신영준, 우종욱, 이길재, 정진우, 최병순, 황원기, 2001, *고등학교 과학(정). 교학사*, 서울, 350 p.
- 정완호, 우종욱, 권재술, 김범기, 최병순, 정진우, 김성하, 백성해, 이석형, 이봉호, 2000, *중학교 과학(정)1. 교학사*, 서울, 299 p.
- 차동우, 김희수, 이명석, 이현주, 최종한, 이복영, 옥준석, 윤세진, 이원경, 정남식, 신동원, 2001, *고등학교 과학. 천재교육*, 서울, 355 p.
- 최경희, 김숙진, 1996, *과학교과서 선정과 평가에 관련된 교사들의 인식조사와 과학 교과서 평가틀 개발에 관한 연구. 한국과학교육학회지*, 16, 303-313.
- 최돈형, 김동영, 김봉래, 김재영, 노석구, 신영준, 이기영, 이태형, 이면우, 이명제, 이상인, 전영석, 2000, *중학교 과학1. 대일도서*, 서울, 289 p.
- 한국지구과학회, 2008, *지구과학올림피아드 기출문제. 북스힐*, 서울, 280 p.
- 한창민, 2006, *교과서 속 과학단위 관련 내용의 분석과 생활 속 과학단위 찾기 활동의 효과. 서울대학교 석사학위 논문*, 98 p.
- 한창민, 송진웅, 2007, *교과서의 과학 단위 관련 내용 분석. 새물리*, 54, 1-9.
- 허창희, 박병훈, 정성표, 김병국, 2002, *지구과학1. 지학사*, 서울, 256 p.
- 현종오, 이진승, 이웅신, 이경호, 조광희, 한인옥, 정대홍, 최원호, 이태원, 김희백, 이상인, 김친중, 박정웅, 서만석, 이태형, 이인선, 2007, *고등학교 과학. 한국과학문화재단*, 서울, 580 p.
- Curry, R. and Mauritzen, C., 2005, Dilution of the northern North Atlantic Ocean in recent decades. *Science*, 1772-1774.
- Kim, K., Kim K.-R., Kim Y.-G., Cho Y.-K., Kang D.-J., Takematsu, M., and Volkov, Y., 2004, Water masses and decadal variability in the East Sea (Sea of Japan). *Progressive in Oceanography*, 61, 157-174.
- Knauss, J.A., 1977, *Introduction to Physical Oceanography*. Prentice Hall, NJ, USA, 309 p.
- Min, H.S., 2002, Long-term variations of water properties at the intermediate depth in the East Sea. M.S. Thesis of Seoul National University, 97 p.
- Montgomery, R.B., 1958, Water characteristics of Atlantic Ocean and of world ocean. *Deep Sea Research*, 5, 134-148.
- Ovsyanyi, E.I., Zaburdaev, V.I., and Romanov, A.S., 2004, On the application of the units of measurement of the amount and composition of matter in oceanology. *Physical Oceanography*, 14, 242-254.
- Park, J.J. and Kim, K., 2007, Evaluation of calibrated salinity from profiling floats with high resolution CTD data in the East/Japan Sea. *Journal of Geophysical Research*, 112, C05049, doi:10.1029/2006JC003869.
- Uda, M., 1934, The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in may and June 1932. *Japanese Imperial Fishery Experimental Station*, 5, 57-190 (in Japanese).
- UNESCO, 1981a, The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980. *Technical Papers in Marine Science*, 36, 25.
- UNESCO, 1981b, Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978. *Unesco technical papers in marine science*, 37, 140.
- UNESCO, 1985, The International System of Units (SI) in Oceanography. *Unesco technical papers in marine science* 45, IAPSO (International Association for the Physical Sciences of the Ocean) Publication Scientifique, 32, 133.
- 기상청, 2009, 기상청홈페이지: [http://web.kma.go.kr/edu/young/sfc/h\\_obsver/sfc\\_02.html](http://web.kma.go.kr/edu/young/sfc/h_obsver/sfc_02.html) (검색일: 2009.6.11.)
- 한국표준과학연구원, 2009, 한국표준과학연구원 홈페이지: <http://www.kriss.re.kr/> (검색일: 2009. 7. 1.)

2009년 4월 16일 접수

2009년 6월 11일 수정원고 접수

2009년 8월 4일 채택