

TECHNICAL NOTE

물환경 체험 및 탐구 활동에서 수질오염지표로서 전기전도도(EC) 혹은 총용존고형물질(TDS)의 활용에 대한 고찰

안삼영*

순천대학교 환경교육과

EC or TDS as a Water Pollution Criteria in Water Education Program

Samyoung Ahn*

Department of Environmental Education Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

Abstract

Electrical Conductivity (EC) or Total Dissolved Solids (TDS) has been often used to evaluate the water quality in some water education program for children and youth. This study attempted to find out whether EC (or TDS) can be used as a water pollution criteria in water education program. To clarify it, we used the water analysis data of July 2019 and January 2020 from Water Environment Information System. Data from 332 points in Han-river were used to investigate correlation between the parameters, such as BOD, COD, TN, TP vs EC. Correlation(r) for all data of BOD vs. EC was 0.347 for July 2019 and 0.483 for January 2020. No correlation was observed for BOD Ia and BOD Ib for July 2019 ($r=-0.041$, -0.030 , respectively) and BOD Ia for January 2020 ($r=0.041$). Better correlation for all data of COD vs. EC was obtained ($r=0.543$ for July 2019 and $r=0.610$ for January 2020). However, no correlation was observed for COD Ia for January 2020. High vlaue of EC or TDS does not always mean water pollution, especially for clean water environment. Thus, EC (or TDS) alone can not be used as a water pollution criteria.

Key words : Water education program, Electrical conductivity, Total dissolved solids, Water pollution, Environment subject

1. 서 론

환경교육에서 체험활동의 중요성과 의미, 그리고 효과는 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다(Kang et al., 2008; Kang, 2009). 기후, 대기, 물, 토양, 생태계, 에너지, 쓰레기 등의 환경교육 프로그램에서 환경과학적 탐구내용이 포함되는 경우 어린이와 청소년들의 인지 수준과 학교급별 교육과정에 맞는 적절한 환경과학 내용

수준과 용어를 선택하고 이것을 교육프로그램으로 구성하는 일은 매우 중요하고 필수적이다(Park et al., 2001).

물환경과 관련된 체험프로그램은 수질 혹은 수 환경에 대한 정성적 체험 활동과 수질 분석 실험을 통해 수질을 조사하는 정량적 체험 활동으로 구분할 수 있다. 전자의 경우 하천의 지리적·지형적 특성, 보나 어도, 하도 정비 같은 하천 시설물 조사, 수생 동식물과 같은 요소를 조사 혹은 관찰함으로써 수질 혹은 수 환경을 평가하는

Received 3 January, 2022; Revised 14 February, 2022;

Accepted 24 March, 2022

*Corresponding author: Samyoung Ahn, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea
Phone: +82-61-750-3381
E-mail: sahn@scnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

프로그램들이다. 이러한 프로그램들은 우리가 일상생활에서 경험하는 수 환경에 대한 경험적이고 감각적인 인지와 정성적 평가를 목적으로 한다고 볼 수 있다. 이는 수 환경의 심미적 아름다움과 가치를 느끼고 환경 감수성을 함양하는 것에 중점을 둔 것이다(Woo and Nam, 2008; Ko and Hong, 2010; Myeong, 2019). 반면, 후자의 경우는 분석실험을 통해 측정값을 얻고 수질 등급별 기준값과 비교함으로써 수질을 정량적으로 판단할 수 있다는 장점이 있으며, 체험자들이 일정 기간 수질 개선 활동을 하고 그 성과를 확인하고자 할 때도 유용한 활동이다. 하지만, 수질의 정량분석을 위한 실험 이론과 실험 과정은 어린이나 청소년이 이해하고 수행할 수 있는 수준 이상인 경우가 대부분이다. 특히, 측정값이 자료로서 신뢰와 의미를 가지려면 실험 과정에 대한 정도 관리가 필요한데, 이는 측정이 적절한 기준의 시설, 숙련된 실험자를 갖춘 환경에서 수행되어야 한다는 것을 의미한다(National Institute of Environmental Research, 2021). 아직 과학적 전문성과 숙련도가 부족한 어린이나 청소년을 대상으로, 실험 여건도 충분히 갖추기 어려운 장소에서 이루어지는 정량적 수질 측정값의 신뢰성 및 환경교육적 의미에 대해서 심도 있는 논의가 필요하다. Ahn(2015)은 이와 관련하여 환경교육자에게 요구되는 이화학적 수질 항목과 교수 내용에 대한 전문성, 초중등 학교의 교과과정을 넘어서는 실험 이론, 실험기자재의 비용 및 안정성 문제를 제기한 바 있다.

환경부는 2007년부터 수질에 대한 환경기준을 생태적 건전성 평가를 반영하는 ‘수질 및 수생태계 환경기준’으로 변경하였다(Ministry of Environment, 2006). 생태계를 고려한 종합적이고 합리적 수질환경기준을 마련한다는 목표하에 이화학 수질평가기준(하천생활환경기준과 호소생활환경기준)에 따른 수질 등급을 1a, 1b, II, III, IV, V, VI로 세분화하고 각각의 등급에 대해 매우 좋음, 좋음, 약간 좋음, 보통, 약간 나쁨, 나쁨, 매우 나쁨의 서술적 표현을 추가하였다. 또한, 생물 지표종과 서식지 및 생물 특성을 설명한 물 상태별 생물학적 특성 이해 표도 도입하였다. 일반 시민들이 생물 지표종을 통해 정성적으로 수생태계의 건강성을 가늠해볼 수 있다는 점에서는 매우 긍정적이고 바람직한 변화이다. 하지만, 생물 등급이 ‘매우 좋음~좋음, 좋음~보통, 보통~약간 나쁨, 약간 나쁨~매우 나쁨’으로 등급 간 중복으로 서술되어 있

어서, 행정 목적이거나 수질 관리 측면에서는 생물등급을 수질 등급의 판정에 활용하는 것은 불가능하다. 따라서 현재 수질을 판단하는 계량화된 객관적 기준은 이화학적 수질평가기준이다.

어린이나 청소년을 대상으로 하는 물환경 체험프로그램에서도 이러한 이화학적 수질 항목을 측정하고 수질을 판정하고자 하는 필요성과 요구가 있는 것은 당연할 수 있다. 특히 체험학습이 이루어지는 하천이나 호수에서 몇 시간의 체험 활동을 하고 바로 수질을 판단할 수 있다면 매력적인 물환경 체험 활동이 될 것이다. 학생들은 현장에서 활용할 수 있는 수질 측정용 실험도구(‘수질 키트’라고 일컬음)를 이용하여 사용 안내에 따라 여러 가지 시약을 혼합하고 화학반응에 수반되는 변화를 관찰하면서 환경 탐구뿐 아니라 과학 탐구의 즐거움도 경험할 것이다. 그러나 현재 초·중·고등학생들을 대상으로 야외에서 이화학적 수질 측정을 위해 활용할 수 있는 수질 키트는 그 종류가 매우 적다. 대부분의 수질 키트에서 수질 등급을 판정하는 방법은 물 시료에 여러 가지 진단 시약을 첨가하여 발색시킨 후 시료의 색을 수질 등급을 색깔별로 구분해놓은 비교표와 비교하는 방식이다. 하지만 수질 키트에서 제공하는 수질 등급별 색의 변화는 오염이 많이 된 물이거나 수질 등급 간 차이가 커야 육안으로 식별하기 쉽다. 학생들이 체험활동을 하게 되는 장소가 수질이 양호한 하천이나 연못인 경우, 학생들은 진단 시약을 이용하여 발색시킨 하천수나 연못물의 수질 등급 간 색 차이가 작아 등급을 정확하게 판단하기 어려운 경험을 하게 된다. 따라서 키트 비용이나 화학물질을 다루어야 하는 안전상의 문제를 차치하더라도 이화학적 수질 측정 키트를 물환경 체험 및 탐구 현장에서 사용하는 데는 한계가 있다.

한편, 학생들의 환경 탐구 활동이나 연구발표장에서 수질 개선 효과나 수환경 모니터링을 위해 전기전도도(EC)나 총용존고형물질(TDS) 농도를 측정하였다는 발표를 종종 접하게 된다(Yoon and Noh, 2005; Chang, 2008; Park, 2008; Chang, 2016; Noh, 2018). 일반적으로 수질을 판단하는 대표적인 측정 항목은 BOD(생물 화학적 산소요구량)나 COD(화학적 산소요구량) 혹은 TN(총질소)이나 TP(총인)인데 학생들은 EC나 TDS를 수질오염을 판단할 수 있는 기준인 것처럼 활용하는 경우가 있었다(Anyang student new, 2019). BOD나

COD가 초·중·고등학교 수준을 넘는 실험 내용과 비용이 들기 때문에 학생들이 수행하기 어렵고, 수질 진단 키트로는 위에서 언급한 것처럼 미세한 수질 변화를 알기 어려운 현실에서, 측정기기를 물에 넣어 바로 측정값을 알 수 있고 가격도 비교적 저렴한 EC나 TDS 측정기를 이용하는 것이 아닌가 추정된다. 그렇다면 EC나 TDS가 과연 수질오염을 판단할 수 있는 항목으로 적절한가? 나아가 더욱 근본적으로 이러한 과학실험에 기초한 환경 탐구 활동이 환경 교과의 교육목적과 학교급별 내용 수준에 부합하려면 어떻게 운영되어야 하는지에 대한 논의가 필요하다.

이에 본 연구는 EC 혹은 TDS의 수환경에서의 의미를 알아보고 환경교육현장에서의 적절한 활용 방안을 제안하고자 한다.

이를 위해 첫째, 시중에서 판매되는 TDS 측정기에 적용되는 EC와 TDS의 관계를 알아보고 EC와 여러 가지 수질오염 지표들과의 상관성을 이론적으로 고찰하고자 한다. 또한, 국가수질측정망인 물환경정보시스템에서 제공하는 하천 수질 측정값을 이용하여 BOD, COD, TN, TP와 EC(혹은 TDS)와의 상관관계를 살펴볼 것이다. 둘째, 환경교육 활동에서 EC 혹은 TDS 등 환경과학 내용의 활용 방안을 환경과 교육과정에 비추어 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. EC와 TDS의 관계

시중에서 판매되는 TDS 측정기는 실제로는 EC를 측정하는 것이다. 물속의 용존이온의 농도를 나타내는 EC를 측정한 후 이를 eq. (1)과 같이 변환계수(k)를 이용하여 변환하는 방식이기 때문이다(Waziri and Ogugbuaja, 2012; Jung et al., 2017). 현재 사용되는 측정 장비들은 0.40 ~ 0.99의 변환계수를 사용한다(Choi et al., 2017). 즉, EC와 TDS는 선형 비례관계이다.

$$TDS = kEC \text{ ----- eq. (1)}$$

2.2. 측정 자료

본 연구에서 사용한 측정 자료는 국가 물환경정보시스템에서 제공하는 한강 유역의 수질 자료이다(Water Environment Information System, 2019, 2020). 한강

수계에 있는 332개 측정소(2020년에는 327개)에서 2019년 7월과 2020년 1월 측정된 자료를 사용하였는데 2019년 7월은 여름철을 대표하는 자료로 선정하였고, 2020년 1월은 겨울철을 대표하는 자료로 선정하였다. 각 측정소의 위치는 Fig. 1에 나타내었으며 사용한 분석 항목은 BOD, COD, TN, NH_4^+-N , $NO_3^- -N$, TP, EC이다. 물환경정보시스템에서는 TDS는 없고 EC만 제공되는데 EC와 TDS는 eq. (1)에 제시된 바와 같이 비례관계가 있으므로, EC로 TDS를 대신하여 자료를 해석해도 무방한 것으로 판단하였다(Waziri and Ogugbuaja, 2012; Choi et al., 2017; Hanafiah et al., 2018).

측정지점이 하구 지역에 위치하고 측정값이 일반적인 담수의 EC를 훨씬 넘어 해수의 영향을 받는 지점으로 판단한 곳은 자료 분석에서 제외하였다. 2019년 7월 2,338 $\mu S/cm$ 와 2020년 1월 8,209 $\mu S/cm$ 를 나타낸 사직(강원도 삼척시 사직동), 2019년 7월에 각각 22,585 $\mu S/cm$ 와 24,127 $\mu S/cm$, 그리고 2020년 1월에는 각각 10,209 $\mu S/cm$ 와 17,463 $\mu S/cm$ 를 나타낸 아라천 1(인천광역시 계양구 장기동)과 아라천 2(인천광역시 서구 경서동)가 여기에 해당하는 지점이었다. 사직, 아라천 1, 그리고 아라천 2의 경우 다른 시기에 물환경정보시스템에서 조사한 모든 측정값이 매우 높게 나타나 항상 해수의 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

EC와 BOD, EC와 COD, EC와 TN 그리고 EC와 TP의 상관관계를 분석하기 위한 통계프로그램으로 R (The R project for statistical computing, 2020)을 이용하였고 이를 EC와 비례관계에 있는 TDS에 적용하여 고찰하였다.

2.3. 환경과 교육과정에 대한 고찰

환경 교과의 목표, 내용, 성취기준은 교육부의 교육과정 개발의 철학과 방향에 따르며, 시대에 따라 변화되었다. EC나 TDS 등의 환경과학 내용이 환경과 교육과정의 변천에 따라 어떻게 수용되어왔으며, 바람직한 활용 방안은 무엇인지 알아보기 위해 교육부의 교육과정 고시, 환경 교과서, 관련 연구논문을 중심으로 환경과 교육과정 변천의 배경과 과정에 대해 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. EC 값

2019년 7월에 조사된 EC는 64~3,879 $\mu S/cm$ (평균

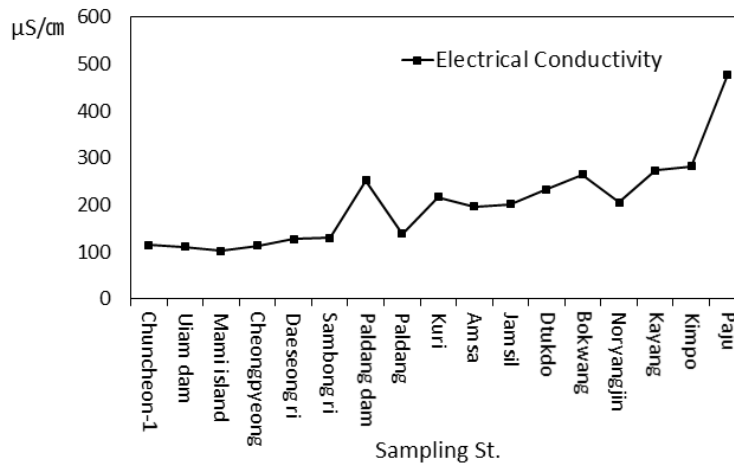


Fig. 1. Electrical conductivity of sampling stations.

Table 1. Number of samples in BOD level

BOD level (mg/L) date	Ia (≤1)	Ib (≤2)	II (≤3)	III (≤5)	IV (≤8)	V (≤10)	VI (10<)	Total
July 2019	104(34.6%)	112(34.7%)	39(11.9%)	37(11.3%)	21(6.4%)	3(0.9%)	11(3.4%)	327
Jan. 2020	170(51.2%)	86(25.9%)	35(10.5%)	28(8.4%)	7(2.1%)	3(0.9%)	3(0.9%)	332

459 $\mu\text{S}/\text{cm}$)의 범위를 나타내었고, 2020년 1월의 EC는 58~1,824 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (평균 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$) 범위를 나타내어 하천의 일반적인 EC 범위에 해당한다(An and Kang, 2006; USEPA, 2012). 더불어, 여름철에 강우로 인한 육상으로부터의 용존 물질 유입으로 EC가 높게 나타나는 경향을 나타내었다(An and Shin, 2005; An and Kang, 2006). 하천의 상류에서 하류로 이동함에 따른 EC의 변화를 알아보기 위해 북한강과 한강 본류에 있는 측정지점들만 선택하여 2020년 1월의 EC 측정값을 살펴보았다. 지천의 경우 유량이 적어 유입물질의 영향을 상대적으로 많이 받기 때문에 측정일의 주변 상황에 따라 EC 값의 편차가 크게 나타날 수 있다는 점을 고려하였다. 상류에 있는 측정지점인 춘천 1지점에서 114 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 EC 값을 나타낸 반면, 가장 하류에 있는 파주에서는 478 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내어 상류보다는 하류에서 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있었다(Fig. 1). 이러한 경향은 여러 논문(Kim and Shim, 2001; Jung et al., 2004; Jeon et al.,

2012)에서 관찰되는 것으로 하천 유로를 따라 상류로부터 운반되는 용존 물질들이 하류로 갈수록 축적되기 때문에 나타나는 일반적인 현상이다(Al-Badaii et al., 2013).

3.2. EC와 BOD의 상관관계

2019년 7월과 2020년 1월 한강 수계에서 측정된 BOD 자료를 하천생활환경기준의 수질 등급별로 나누면 Table 1과 같다. 2019년 7월에 BOD 기준으로 가장 많은 빈도수를 보인 수질 등급은 Ib 등급(34.7%), 그다음으로 빈도수가 많은 수질 등급은 Ia(34.6%) 등급이었다. 2020년 1월에 가장 빈도수가 높은 수질 등급은 Ia 등급(51.2%)이고 그다음은 Ib(25.9%) 등급이었다. BOD Ia와 Ib 등급이 차지하는 비율이 2019년에는 전체의 69.3%, 2020년에는 전체의 77.1%를 차지하였다.

EC와 BOD 간의 상관계수(r)를 Table 2에 정리하였고 Fig. 2와 Fig. 3은 상관계수가 도출된 선형관계를

Table 2. Pearson's correlation coefficient(r) of EC vs. BOD

	July 2019			Jan. 2020		
	BOD all data	BOD Ia(34.6%)	BOD Ib(34.7%)	BOD all data	BOD Ia(51.2%)	BOD Ib(25.9%)
EC	0.347***	-0.041	-0.030	0.483***	0.041	0.392***

*** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, based on the significance in the 2-tailed test

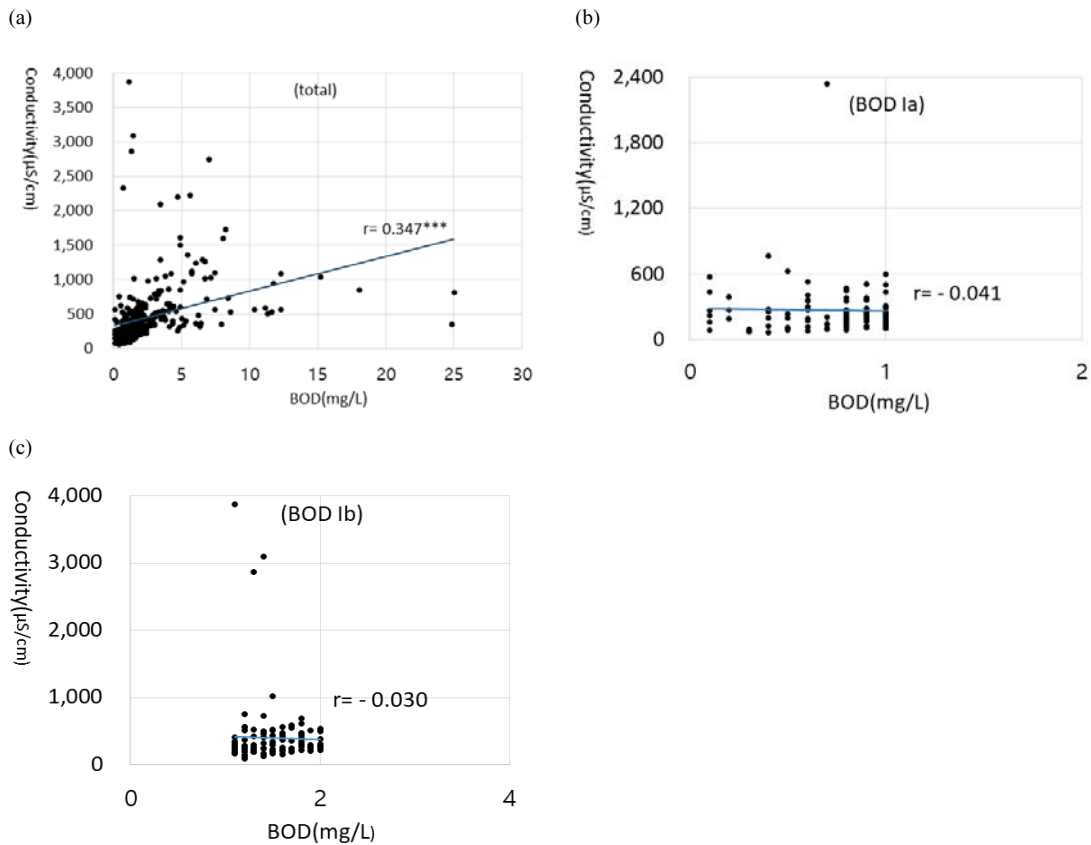


Fig. 2. EC vs. BOD in July 2019. (a) all BOD data. (b) data of BOD Ia. (c) data of BOD Ib.

그래프로 나타낸 것이다. BOD 전체자료와 EC의 상관관계뿐 아니라 빈도수가 많은 BOD Ia 등급과 Ib 등급의 EC와의 상관관계도 살펴보았다. 다른 수질 등급의 경우 빈도수가 상대적으로 적어 두 항목 간의 상관관계를 분석하는 것이 통계적으로 무의미하다고 판단하여 상관관계 분석을 하지 않았다. 2019년 7월의 경우 BOD 모든 자료(n=327)와 EC 간의 상관계수(r)는 0.347인 반면,

가장 빈도수가 많은 수질 등급인 Ib 등급(n=112)에서는 r= -0.030, 그다음으로 빈도수가 많은 BOD Ia 등급(n=104) 자료와 EC 간의 상관계수(r)는 -0.041로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. BOD 전체자료를 사용한 분석의 상관계수와 BOD 등급별 상관계수 값이 매우 큰 차이를 나타내었다. 2020년 1월의 경우에는 BOD 전체 자료(n=332)를 사용한 분석에서 BOD와 EC 간의 상관

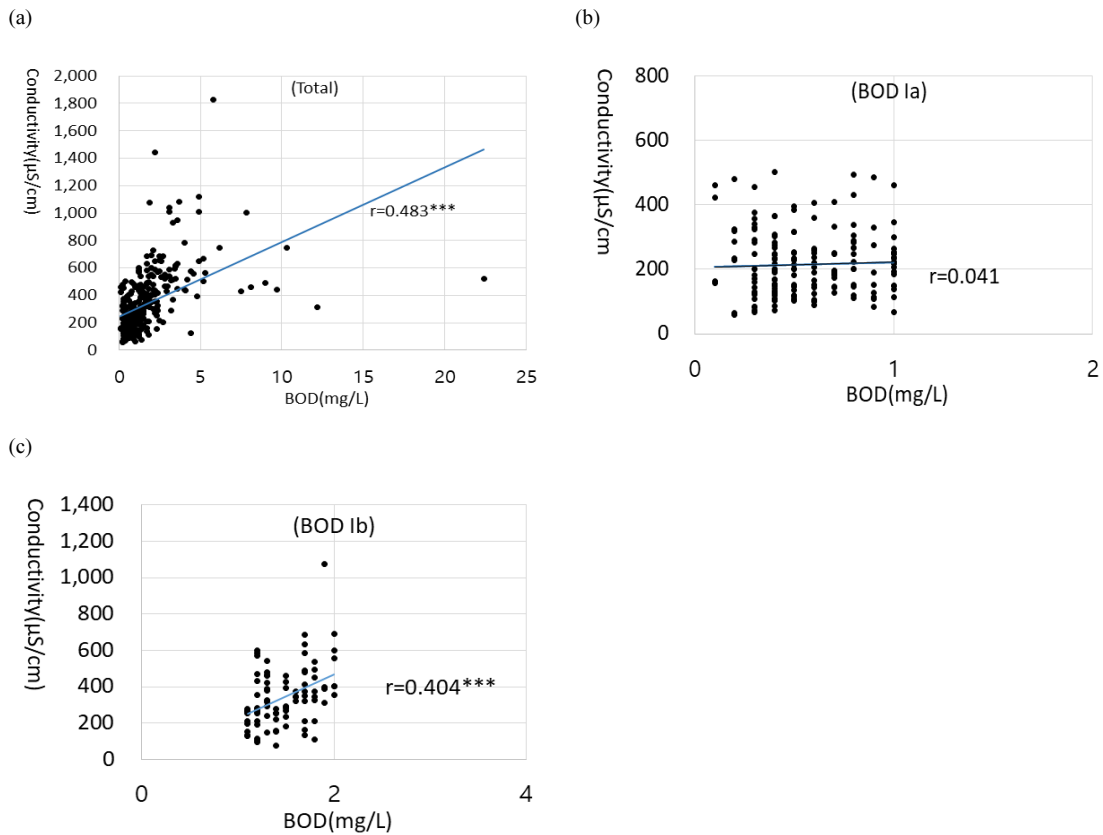


Fig. 3. EC vs. BOD in Jan. 2020. (a) all BOD data. (b) data of BOD Ia. (c) data of BOD Ib.

Table 3. Number of samples in COD level

COD level (mg/L) date	Ia (≤2)	Ib (≤4)	II (≤5)	III (≤7)	IV (≤9)	V (≤11)	VI (11<)	Total
July 2019	18(5.5%)	129(39%)	40(12.2%)	61(18.7%)	38(11.6%)	21(6.4%)	24(7.3%)	327
Jan. 2020	92(27.7%)	128(39%)	42(12.7%)	45(13.6%)	18(5.4%)	4(1.2%)	3(0.9%)	332

계수는 $r=0.483$ 으로 2019년에 비해서는 약간 증가하였으나 가장 빈도수가 많은 수질 등급 Ia($n=170$) 만을 보면, $r=0.041$ 로 상관관계가 없는 것으로 나타난다. 하지만 Ib 등급($n=86$)에서는 $r=0.404$ 로 다시 상관계수 값이 큰 폭으로 증가하였다. 이는 측정 시기, 측정 장소, 수질 환경에 따라 상이한 결과를 보여주는 것으로 적어도 수질이 양호한 하천의 경우 EC와 BOD 간에 항상 상관관계가 있다고 일반화하기 어렵다는 것을 의미한다.

학생들이 물환경 체험활동을 하는 장소가 자연 하천인 경우가 많고 이들 하천은 대부분은 수질 환경이 좋은 곳이다. 이러한 양호한 수질 환경에서는 EC만으로 수질 오염을 유추하거나, 수질오염을 알아보기 위해 EC를 측정하는 것은 적절한 과학 탐구 활동이라고 보기 어렵다.

3.3. EC와 COD의 상관관계

COD는 BOD와 더불어 수체내 유기성 물질의 농도를 판단하는 대표적인 항목이다. 2016년부터 우리나라의

Table 4. Pearson's correlation coefficient(r) of EC vs. COD

	July 2019			Jan. 2020		
	COD	COD Ib(39%)	COD III(18.7%)	COD	COD Ia(27.7%)	COD Ib(39%)
EC	0.543**	0.266**	0.367**	0.610***	0.040	0.224*

*** p<0.001, ** p<0.01, *p<0.05, based on the significance in the 2-tailed test

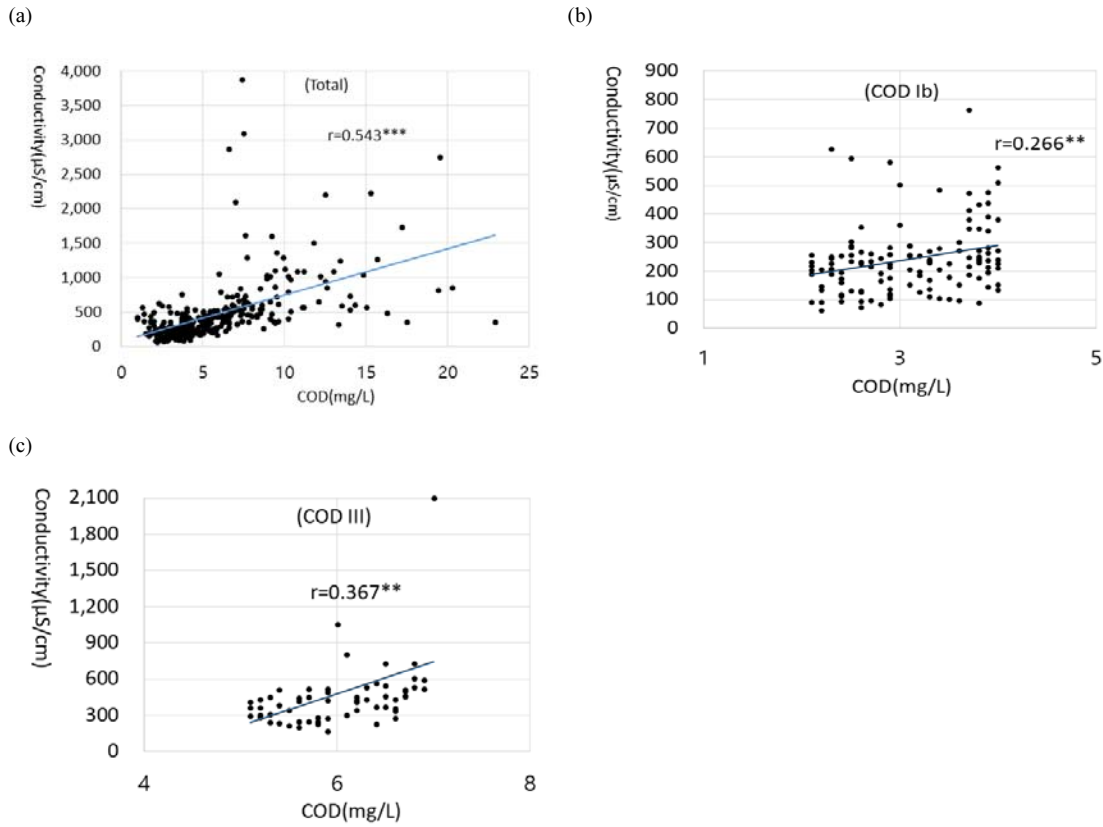


Fig. 4. EC vs. COD in July 2019. (a) all COD data. (b) data of COD Ib. (c) data of COD III.

하천 생활환경기준에는 COD 대신 TOC가 도입되었으나 COD가 여전히 많은 자료에서 사용되고 있고 사람들에게 익숙한 항목이어서 COD와 EC의 상관관계를 분석하였다. COD 기준 수질 등급별 측정값의 빈도수는 Table 3에 나타내었다. 2019년 7월과 2020년 1월 모두 Ib등급이 39%로 가장 높은 빈도를 나타내었고 그다음으로 높은 빈도를 나타낸 것은 2019년 7월에는 III 등급(18.7%), 2020년 1월에는 Ia 등급(27.7%) 이었다.

Table 4는 EC와 COD 간의 상관계수(r)를 정리한 것으로, 2019년 7월에 전체 측정값을 대상으로 한 경우 EC와 COD의 상관계수(r)는 0.543이었다. 2019년 7월 빈도수가 가장 많은 Ib 등급의 129개의 측정값으로 분석한 EC와 COD 간의 상관계수(r)는 0.266으로 전체자료를 대상으로 한 상관계수보다 감소하였고, 61개의 빈도수를 보인 COD III 등급의 경우 상관계수는 0.367로 Ib 등급 구간보다는 약간 증가하였다(Fig. 4).

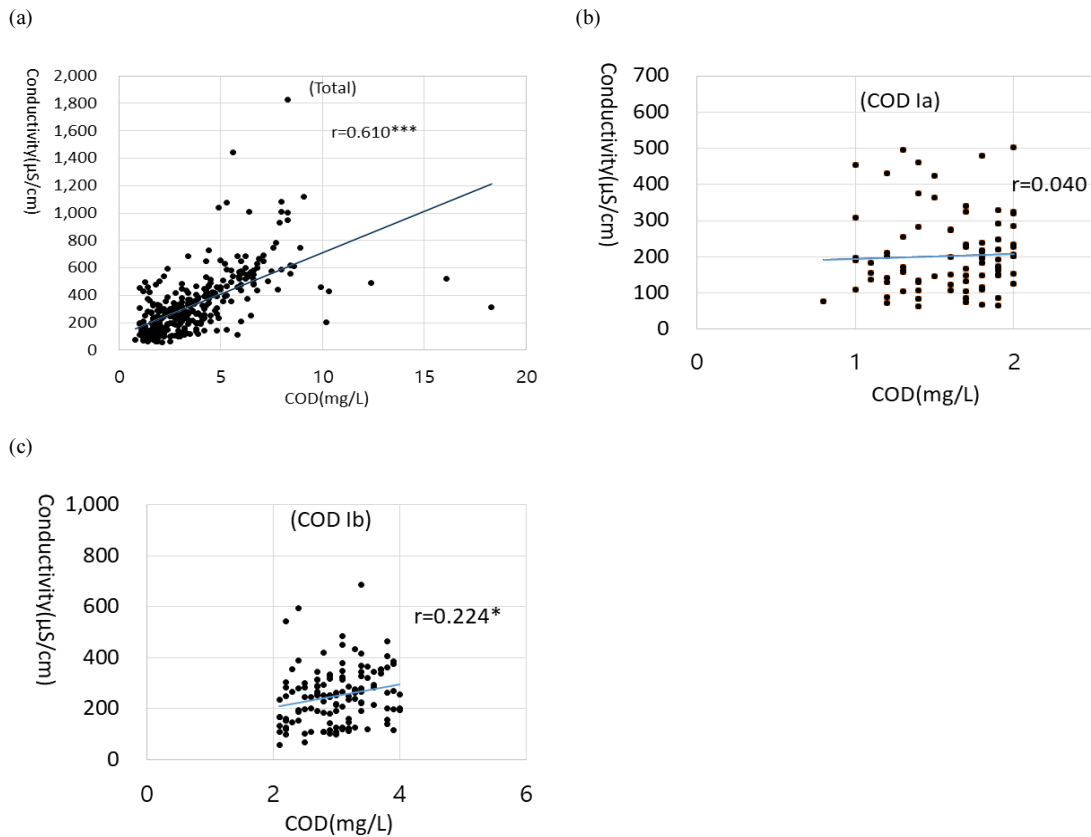


Fig. 5. EC vs. COD in Jan. 2020. (a) all COD data. (b) data of COD Ia. (c) data of COD Ib.

2020년 1월의 자료 분석에서는 EC와 COD 전체자료 간 상관계수(r)는 0.610으로 BOD 경우보다는 상관관계가 더 있는 것으로 파악되었다. 그런데 2020년 1월 측정값 빈도수가 가장 많은 Ib 등급 128개 자료를 대상으로 산출한 상관계수(r)는 0.224로 나타났으며, 92개의 시료수로 두 번째로 빈도가 많은 Ia 등급 구간에서 EC와 COD 간의 상관계수(r)는 0.040이었다(Fig. 5). 종합하면, 2019년 7월과 2020년 1월 한강 수계에서 측정된 EC와 COD는 측정값 전체로는 상관관계가 있는 것으로 나타났으나 COD 등급 구간별로 나누어서 보면 상관관계가 없거나 감소하였다. 앞서 조사한 BOD의 경우와 유사한 결과를 나타낸 것이다. Hanafiah et al.(2018)은 하천에서 조사한 EC와 BOD 간의 상관계수는 0.179(대장균과 분변계 대장균 조사 시)와 0.202(거대 무척추동물 조사 시)라고 보고하였으며, EC와 COD의 상관계수는

-0.03(대장균과 분변계 대장균 조사 시)과 -0.149(거대 무척추동물 조사 시)로서 상관관계가 없다고 하였다. Sudani(2014)의 지하수를 대상으로 한 연구에서는 EC와 COD 간의 상관계수가 0.607로 높은 편이었는데 지하수의 경우 용존되어 있는 양이온이나 음이온 가운데 산화제를 소비하는 Cl^- , Fe^{2+} 등이 다량 존재할 수 있기 때문에 EC가 높은 경우 COD도 높게 측정될 수 있다. 이 문헌에서 Cl^- 의 농도가 157~259 mg/L 범위였고 2가 양이온의 합을 나타내는 총경도는 210~340 mg/L를 나타내었으며, COD도 15~24 mg/L를 나타내었다. 한편, EC와 BOD 간의 상관계수는 -0.470으로 상관관계가 없는 것으로 나타났는데 BOD는 0~5 mg/L 범위로 지하수의 특성상 유기물 양이 적다는 것을 알 수 있었다. 따라서, EC와 COD 간의 상관관계는 높으나 EC와 BOD 간에는 상관관계가 없는 것으로 나타난 것이다. 이러한

연구 결과들은 자연수체에서는 EC가 높다고 반드시 수질이 오염된 것이라고 볼 수 없다는 것을 다시 한번 보여준다.

한편, Seo and Cho(1998)는 난지도 매립지에서 발생한 침출수를 조사한 연구에서 BOD 및 COD_{cr}와 EC의 상관관계(r)가 각각 0.767과 0.858로 매우 높은 상관관계를 보인다고 보고하였다. 조사가 이루어진 침출수의 경우는 BOD가 최고 2,000 mg/L, COD_{cr}이 최고 12,000 mg/L, EC가 최고 35,000 µS/cm, TDS도 30,000 mg/L, Cl⁻이 5,000 mg/L, Na⁺이 3,000 mg/L에 이르는 매우 고농도의 오염수이고 그 밖에 SO₄²⁻, Ca²⁺ 등 이온성 물질의 농도도 매우 높다는 특성이 있다. 본 연구에서 사용한 분석자료 총 659개의 평균 EC 값이 370 µS/cm인 것과 비교하면 매립지 침출수의 EC 값은 무려 100배나 높은 농도이다. 또한, 인근에 가축시장, 도살장, 광산 등이 위치한 하천에서 측정된 TDS와 COD 간에는 밀접한 상관관계(r=0.855)가 있다는 연구 결과도 있다(Oketola et al., 2013). 이 경우 COD 값이 98~300 mg/L로 상당히 오염된 하천으로, 본 연구에서 조사한 한강과는 매우 다른 수질 환경이다. 공장폐수의 경우에도 TDS(앞 절에서 언급한 바와 같이 TDS는 EC와 비례관계이므로 이 자료를 EC와 COD 간의 상관관계로 해석해도 무방할 것으로 판단함)와 COD 간에 0.8513으로 매우 높은 상관관계가 있다는 연구 결과들을 찾을 수 있는데(Li et al., 2019). 이러한 연구 결과들을 종합해보면, 고농도의 오염수에는 유기물과 용존염이 높은 농도로 공존하는 경우가 많기 때문에 EC(혹은 TDS)와 BOD, EC(혹은 TDS)와 COD 간 상관관계가 높게 나타나지만, 수질이 양호한 지하수나 자연하천의 경우에는 EC와 수질오염 간 상관관계가 항상 존재한다고 보기는 어렵다.

3.4. EC와 TN의 상관관계

TN은 총질소를 측정하는 것으로서 유기질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 총합을 의미한다. 총질소는 하수 및 가축 분뇨의 유입, 농경지의 비료사용과 밀접한 관련이 있는 항목으로 부영양화를 일으키는 영양염류의 원인물질이다. 부영양화는 하천보다는 호소에서 중요한 항목이어서 TN의 경우 하천생활환경기준에는 들어있지 않다. 따라서, 등급별 분석은 하지 않고 전체 측정 자료에 대한 EC와의 상관관계만을 살펴보았다.

일반적으로 단백질이나 요소 같은 유기질소가 수체로 유입되면 생물학적 분해과정을 거쳐 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 최종적으로는 질산성 질소로 변화된다. 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소는 이온성 물질이고 유기질소도 분자구조의 아민기(-NH₂)는 -NH₃⁺ 이온이 될 수 있으며 카복실기(-COOH)는 -COO⁻ 이온이 될 수 있어서 이들의 농도가 높으면 EC 값도 증가할 것이다. 본 조사에서 활용한 한강수계의 수질 자료에서 TN 대비 암모니아성 질소와 질산성질소가 차지하는 비율이 2019년에는 각각 7%와 68%이었고 2020년에는 각각 7%와 80%로 특히 질산성 질소의 비율이 매우 높았다. 아질산성 질소의 농도는 물환경정보시스템에서 제공하지 않아 포함하지 못하였다.

이처럼 TN 중 이온성 물질의 농도가 높은 비율을 차지하므로 TN과 EC 간에 높은 상관관계가 예상되며 실제 상관계수도 2019년에는 0.573, 2020년에는 0.658이었다 (Table 5). Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는 각각 2019년 7월과 2020년 1월에 TN과 EC의 상관관계를 나타내는 그래프이다.

3.5. EC와 TP의 상관관계

TP는 총인의 농도를 의미하며 물속에 존재하는 여러 가지 형태의 인을 모두 측정하는 것이다. 인은 질소와 더불어 부영양화를 일으키는 영양염류로서 하천보다는 호소에서 중요한 수질항목이며 인 또한 하수, 가축 분뇨, 비료 등을 통해 하천과 호수로 유입되므로 총인 농도가 높다는 것은 수질오염을 추정할 수 있다. 하천에 존재하는 인의 화학조성은 매우 복잡하다. 용해도가 큰 질산염 이온이나 암모늄 이온과는 달리 인산염 이온은 여러 종류의 양이온들과 불용성염을 형성하며, 이들의 용해도는 수체의 이화학적 환경(pH, 양이온 농도, 산화환원전위, 용존산소량 등) 및 생물학적 환경(미세조류, 식물 등)에 의해 달라진다(Wetzel, 2011). 또한, 이온성이지만 불용성 인산염의 경우 총인에서는 검출이 되지만 EC에서는 측정이 안 될 수도 있다. 따라서 EC와 TP의 상관성은 EC와 TN보다는 작을 것으로 예상되고 실제로 상관계수(r)는 2019년에 0.403, 2020년에 0.359로 EC와 TN 간의 상관계수보다는 감소하였다. Fig. 6(c)와 Fig. 6(d)는 각각 2019년 7월과 2020년 1월에 TP와 EC의 상관관계를 나타내는 그래프이다.

Table 5. Pearson's correlation coefficient(*r*) of EC vs. TN and TP

EC	July 2019		Jan. 2020	
	TN	TP	TN	TP
	0.573***	0.403***	0.658***	0.359***

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, based on the significance in the 2-tailed test

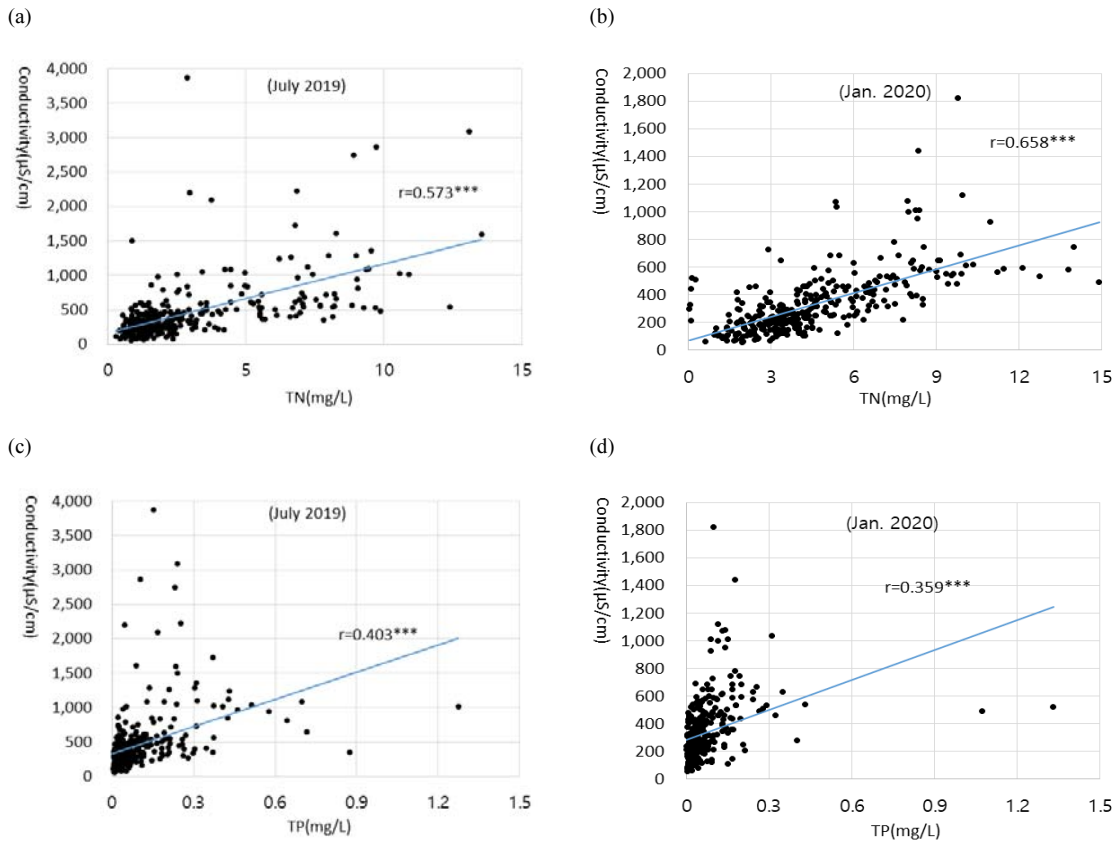


Fig. 6. (a) EC vs. TN in July 2019. (b) EC vs. TN in Jan. 2020. (c) EC vs. TP in July 2019. (d) EC vs. TP in Jan. 2020.

3.6. 환경과 교육과정의 변천

환경교육 분야에서 환경과학 내용의 구성체계와 수준, 교수·학습 방법에 대한 논의는 환경교육의 중요 논제임에도 불구하고 연구가 많이 이루어지지 않았다. 환경교육에서 과학적 지식과 윤리적 가치의 관계를 고찰한 Kim(1997)의 논문이나 중학교 환경 교과서의 내용 체계를 분석한 Koo et al.(2001)의 논문 모두 초창기 환경 교과에서 나타나는 인간중심주의에 기초한 과학 기술적 환

경문제 해결 방식을 비판적으로 고찰하고 있다. 이 시기 환경교육의 패러다임은 생태중심주의적, 인문·사회과학 지향적 방향으로 점차 바뀌게 되는데(Lee and Choi, 2010), 환경교육이 중·고등학교에 교과목으로 처음 도입된 제6차 교육과정에 의한 1990년대의 환경 교과서와 가장 최근의 2015 개정 교육과정에 의한 환경 교과서를 비교하면 그 변화를 확연히 알 수 있다(Table 6과 Table 7). 제6차 교육과정에서 환경 교과의 과목명이 중학교는

Table 6. Contents of high school environment textbook 『Environmental Science』 in the 6th national curriculum

Categories	Sub-categories	Contents	
Concept of environment	1. Natural environment	(1) Natural environment (2) Ecosystem structure and function	
	2. Human activities and environment	(1) Human-environment interaction (2) Changes in the environmental view (3) Environmental problems	
Environmental issues and countermeasures	3. Water	(1) Water use and cycle (2) Causes of water pollution (3) Current situation and impact of water pollution (4) Prevention and countermeasures for water pollution (5) Prevention and Countermeasures for marine pollution	
	4. Air	(1) Composition of air (2) Causes of air pollution (3) Current situation and impact of air pollution (4) Prevention and countermeasures for air Pollution	
	5. Soil	(1) Composition of soil (2) Causes of soil pollution (3) Current situation and impact of soil pollution (4) Prevention and countermeasures for soil pollution	
	6. Waste	(1) Causes of household waste and industrial waste (2) Prevention and countermeasures for household waste and industrial waste	
	7. Noise and vibration	(1) Causes of noise and vibration (2) Impact of noise and vibration (3) Prevention and countermeasures for noise and vibration	
	8. Radiation	(1) Causes of radiation (2) Impact of radiation (3) Use of nuclear power (4) Prevention and countermeasures for radioactive waste	
	Environmental preservation	9. Environmental preservation at the individual and household level	(1) Environment and health (2) Pollution related diseases (3) Occupational disease (4) Consumption life (5) Health
		10. Environmental preservation at the local level	(1) Large cities (2) Industrial areas (3) Rural areas (4) Tourism areas
11. Environmental preservation at the national level		(1) environmental conservation (2) Environmental remediation (3) Environmental quality Improvement (4) Pleasant environment (5) National efforts and international cooperation for the prevention and resolution of environmental problems	

Table 7. Contents of high school environment textbook 『Environment』 in the 2015 revised national curriculum

Categories	Sub-categories	Contents
Environment and human	1. Environmental view and environmental ethics	(1) The meaning of environment and environmental view (2) Environmental ethics for the future
	2. Environmental experiences	(1) Daily and direct nature-experience (2) Understanding the region through experience
	3. Composition of environmental system	(1) Composition and interaction of environmental system (2) Traditional ecological knowledge and sustainability
Environmental system	4. Ecosystem	(1) Characteristics of ecosystem (2) Composition of ecosystem (3) Change in the ecosystem
	5. Environment and social system	(1) Mass production and consumption and environmental issues (2) Environmental rights and conflict (3) Risk society and environmental justice (4) Environment and art
	6. Interaction of ecosystems and social systems	(1) Water·soil·air (2) Biology
	7. In-depth look at environmental cases	(1) Cases of water·soil·air environment (2) Cases of biology and bioethics (3) Cases of climate change and energy
Environmental exploration	8. Living theme related environmental topics	(1) Food related environmental topics (2) House related environmental topics (3) Traffic related environmental topics (4) Consumption related environmental topics
	9. Environmental projects	(1) Environmental projects
Sustainable society	10. Sustainable social system	(1) Sustainable development (2) The duality of science and technology and appropriate technology (3) Environmental disaster and safety
	11. Sustainable lifestyle	(1) Sustainable lifestyle and green industry (2) The power to create a sustainable society

『환경』, 고등학교는 『환경과학』이었던 데서 엿볼 수 있듯이 1990년대 환경 교과 성격은 환경과학과 관련된 자연과학적 사실을 학습하는 데 초점이 맞추어져 있었다 (Lee and Choi, 2010). Table 6의 고등학교 『환경과학』 교과서 내용구성을 보면 두 번째 대영역인 ‘환경문제와 대책’의 하위영역으로 물, 대기, 토양, 폐기물, 소음·진동, 방사선을 각각 자세히 다루고 있다. 제7차 교육과정에서 고등학교 환경 교과 명칭이 ‘생태와 환경’으로 바뀌면서 자연과학과 인문·사회과학의 통합성이 강조되었고 환경 감수성과 ‘환경과 인간의 관계’가 중시되기 시작하였으

며, 이후 2007 개정 교육과정과 2009 개정 교육과정에서 이러한 기초가 더욱 심화하는 것을 확인할 수 있다 (Lee and Park, 2000; Choi et al., 2007; Kim and Shin, 2012).

이 과정에서 환경과학 내용은 축소되었고, 환경교육에서 요구되는 환경 과학적 내용 연구에 관한 관심 또는 필요성이 감소한 것으로 판단된다. Table 7에 제시된 2015 개정 교육과정의 고등학교 『환경』 교과서 내용구성을 보면 물, 대기, 토양, 폐기물 등의 오염에 관한 내용은 없고 환경과 사회의 상호관련성과 생활주제와 관련된

환경 탐구 및 환경프로젝트 환경학습, 지속가능한 사회 등의 내용이 주를 이룬다.

이러한 변화에는 두 가지 주요 원인이 있다고 보는데, 그 하나는 과학기술에 대해 많은 지식을 갖는 것이 곧 환경오염 문제를 해결할 행동의 변화로 이어지지 않는다는 반성이다(Kim, 1997; Lee and Choi, 2010; Seo, 2017). 2015 개정 교육과정의 『환경』 교과서에는 오염 관련 용어에 대한 구체적인 용어 설명이나 오염 예방 혹은 방지기술에 관한 내용을 다루지 않으며 지구환경의 이해, 전 지구적 문제인 기후위기 대응을 위한 저탄소사회, 지속가능한 발전을 위한 세계시민으로서의 실천 등이 주요 내용이다. 환경문제를 해결하기 위해서는 과학기술뿐 아니라 더 근본적으로는 생태계와 사회시스템에 대한 통합적 이해를 바탕으로 삶의 방식이 변화해야 한다고 보는 것이다.

또 다른 하나는 중등학교에서 환경 과목이 독립 교과로서의 정체성을 확보하기 위해서는 과학이나 사회 등의 관련 교과와 차별화되어야 한다는 것이다(Jeung, 2004; Ahn et al., 2013). 2015 개정 환경과 교육과정의 개정 방향에서는 ‘다른 교과와의 내용 중복 회피와 접근 방법의 차별화’를 제시하고 있는데, 이는 환경 과목의 학문적 특성 때문에 과학이나 사회 교과와 내용상으로 중복되는 부분이 있으므로, 이를 효과적으로 회피하고 환경과에서는 생태계와 환경문제 등 환경 과목 고유의 내용을 다루도록 안내하고 있다. 그 결과로 기본적인 개념이나 원리에 관한 내용은 줄이는 방향으로 교육과정을 개정하였다(Kwon et al., 2016).

3.7. 환경교육현장에서 EC 혹은 TDS 활용 전략

이러한 교육과정의 배경에서 환경과학 용어나 개념에 대한 이해를 전제로 하는 실험이나 탐구를 환경교육 활동으로 수행하는 데는 여러 가지 어려움이 예상된다. 환경교육에 할당된 한정된 시간과 자원을 효율적으로 배분하여 교육 성과를 얻기 위한 교수 학습 전략이 필요하다. 따라서, 이화학적 수질 측정과 같은 환경과학 탐구 활동 프로그램을 고안하고 운영하고자 할 때 초중등 다른 교과와의 연계를 제안한다. 과학과와 교과 연계 융합인재 교육(STEAM) 교수 학습 방안이 하나의 예가 될 수 있다. 예를 들어, 물환경 체험프로그램에서 EC나 TDS를 활용하고자 한다면 이온, 전기전도도, 용해, 용존 물질 등

의 개념이 다루어지는 학교급별 과학과 교육과정과 연계하는 것이다. 환경 교과에서 독자적으로 이런 내용까지 포함하는 것은 어렵기 때문이다. 과학 교과에서는 환경 과학 내용의 비중이 높고 지식이해가 필요한 반면, 환경 교과에서는 과학과 관련된 사회적 쟁점, 지속가능발전, 생태 및 사회시스템을 다루기 때문에 융합 교육은 환경 과학 지식을 환경태도 및 가치관 형성, 환경실천과 참여 역량으로 발전시킬 수 있다(Shim, 2016). Jung and Lee(2015)는 생태연못에서 수온, DO, EC 등을 측정하는 과학탐구활동을 하고 이 과정을 사진으로 찍는 등 감성 표현하기와 연결하여 자연과의 동화감 및 환경감수성 및 예술적 감성을 함양하고자 하였다.

사회 교과와의 교과 연계를 통해 EC 측정값이 하천의 지리적 위치나 하천 유역의 특성(농촌 지역, 도시 지역, 산책로, 농경지, 공장, 산업단지 등의 존재, 지천의 유입 등 주변의 인문지리환경)과 어떻게 연관되는지 등을 통합적으로 조망하는 것도 가능할 것이다. 진주시 남강 유역을 대상으로 하천의 지리학적 요소와 생태환경 요소를 연계한 현장학습 활동 프로그램 개발이 이러한 시도의 좋은 예가 될 수 있다(Kim and Shin, 2017).

앞서 예시한 과학, 사회, 그리고 환경 교과를 모두 접목한 교수 학습 방안도 다 학문적이고 간 학문적이며, 통합적 사고를 필요로 하는 환경 교과의 성격에 부합하는 방안이다. 과학 교과와 사회 교과와의 융합 혹은 연계 수업을 통해 관련 지식을 습득하고 환경 교과에서는 수환경에 대한 과학적·인문사회적 통합이해를 바탕으로 수환경 보전을 위한 참여와 실천 능력을 함양하는 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 EC 혹은 TDS가 물환경 체험 및 탐구 활동에서 어떻게 활용되는 것이 바람직한지에 대한 논의를 전개하기 위해 한강에서 측정된 여러 가지 수질 지표 값을 분석하여 환경과학적 의미를 고찰하였고, 환경 과목이 도입된 제 6차 국가 교육과정 이후의 환경과 교육과정을 검토하였다.

한강 수계의 약 300개가 넘는 지점에서 여름철(2019년 7월)과 겨울철(2020년 1월)에 측정된 BOD, COD, TN, TP와 EC의 상관관계를 보면 BOD와 COD 전체자료와 EC와의 상관관계는 어느 정도 있는 것으로 나타났

으며 BOD보다는 COD와의 상관관계가 더 있는 것으로 파악되었다. 하지만 학생들의 체험 활동이 이루어지는 상대적으로 깨끗한 수질 등급에 해당하는 BOD Ia와 Ib 등급에서는 상관관계가 줄어들거나 없는 것으로 나타나, 이런 수 환경에서 EC만을 측정하여 수질오염 여부를 판단하는 것은 적절하지 않다는 것을 시사하였다.

또한, 각각의 수질 지표에 대한 개별 지식보다 환경시스템에 대한 종합적 이해가 강조되는 현재의 환경과 교육과정을 고려할 때, EC와 TDS, BOD, COD, TN, TP 등의 환경과학 개념에 대한 선행지식이 필요한 탐구 활동을 환경과 독자적으로 수행하기에는 한계가 있음을 파악하였다. 따라서, EC 혹은 TDS 등의 과학 탐구내용을 환경 체험 활동에 활용하고자 할 때 과학 교과, 나아가 사회 교과와 연계를 통한 상호 보완적이고 효율적인 교육 전략을 제안하며 향후 구체적인 교수-학습 방법의 연구와 교육 자료의 개발을 기대한다.

REFERENCES

- Ahn, J. J., Choi, D. H., Cho, S. H., 2013, A Study on the identity of environmental education as a subject, *Korean J. Environ. Educ.*, 26, 358-380.
- Ahn, S., 2015, Application and limitations of physicochemical water quality criteria for water environment education in elementary and secondary schools, *Proceedings of the Korean Soc. Environ. Educ.*, 7, 163-165.
- Al-Badaii, F., Shuhaimi-Othman, M., Gasim, M. B., 2013, Water quality assessment of the Semenyih river, Selangor, Malaysia, *J. Chem.*, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/871056>.
- An, K. G., Kang, S. A., 2006, Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan-river watershed, *Korean J. Limnol.*, 39, 73-84.
- An, K. G., Shin, I. C., 2005, Influence of the asian monsoon on seasonal fluctuations of water quality in a mountainous stream, *Korean J. Limnol.*, 38, 54-62.
- Anyang students news, 2019, Throwing the earthen ball to save the hak-eui stream, <http://aynuri.co.kr/news/article.html?no=22699>.
- Chang, M. K., 2008, Water quality and indoor environment improvement effect of EM fermentation broth using waste water, The 54th National Science Fair, https://www.science.go.kr/resources/synapskin/skin/doc.html?fn=j05420081832.pdf&rs=/upload_data/synapResult/202201.
- Chang, J. H., Paik, S. W., 2016, Precious resource rainwater! Can I just use it? The 62th National Science Fair, https://www.science.go.kr/resources/synapskin/skin/doc.html?fn=j06220161819.pdf&rs=/upload_data/synapResult/202201.
- Choi, S. J., Lee, D. G., Cheong, C., Lee, D. Y., Yun, S. H., 2007, A Study on the process of developing the new national curriculum of the environment' subject for middle and high schools and the announced results, *Korean J. Environ. Educ.*, 20, 108-122.
- Choi, I. K., Park, Y., Yu, J. Y., 2017, Evaluation for reliability of groundwater quality in Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, 53, 303-312.
- Hanafiah, M. M., Yussof, M. K. M., Hsaan, M., Abdulhasan, M. J., Toriman, M. E., 2018, Water quality assessment of Tekala river, Selangor, Malaysia, *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 16, 5157-5174.
- Jang, J. I., Han, I., Kim, K. T., Ra, K., 2011, Spatial characteristics of pollutant concentrations in the streams of Shihwa lake, *J. Korean. Soc. Environ. Eng.*, 33, 289-299.
- Jeon, H. W., Choi, J. W., An, K. G., 2012, Spatio-temporal water quality variations at various streams of Han-river watershed and empirical models of serial impoundment reservoirs, *Korean J. Limnol.*, 45, 378-391.
- Jeung, M., 2004, What should environmental education as a separate subject be? *Korean J. Environ. Educ.*, 4, 1-9.
- Jung, S. W., Lee, J. H., Hue, H. K., 2004, Environmental studies in the lower part of the Han river VI. The statistical analysis of eutrophication factors, *Korean J. Limnol.*, 37, 78-86.
- Jung, O. Y., Lee, D. G., 2015, Proposal of a convergent educational model of the inquiry-based environmental education and steam education, *Korean J. Environ. Educ.*, 3, 24-49.
- Jung, B. G., Yoon, T. K., Choi, Y. I., Jang, S. H., Cho, Y. J., Seo, J. B., Choi, S. M., Kim, N. K., Cho, Y. J., 2017, Correlations between flow rate and water quality in the discharge chamber by using a buoy type automatic flow control system, *J. Korean Soc. Environ. Tech.*, 18, 252-258.
- Kang, I. J., Ha, M. S., Cha, H. Y., 2008, The development and application effects of STS modules focused on

- ecological trait of Ulsan, *Biol. Educ.*, 36, 76-84.
- Kang, K. H., 2009, The development of experience education program for elementary upper grades using local environmental resources of Jeju Island, *Korean J. Environ. Educ.*, 22, 72-82.
- Kim, J. H., 1997, The relationship of scientific knowledge and ethical value in environmental education, *Korean J. Environ. Educ.*, 10, 51-62.
- Kim, K. H., Shim, E. S., 2001, Geochemical characteristics and origin of dissolved ions in the Han river water, *Econ. Environ. Geol.*, 34, 539-553.
- Kim, H. K., Shin, J. H., 2012, An Analysis on the curriculum and textbooks of environmental education: an interpretation from perspectives of ecological citizenship, *J. Kor. Assoc. Geo. Environ. Educ.*, 20, 125~141.
- Kim, G. H., Shin, J. R., 2017, Development of fieldwork programs for geomorphology and ecology education in the high school korean geography textbooks-focused on the area around the Namgang river basin of Jinju-si, *J. Assoc. Korean Photo-Geo.*, 27, 117-135.
- Ko, S. W., Hong, S. H., 2010, Effects of the nature game experience learning on schoolchild's environmental sensitivity change in Jeju Gotjawal forest, *Korean J. Environ. Educ.*, 23, 97-114.
- Koo, S. J., Jun, E. H., Yoo, E. S., Shim, S. B., 2001, A Study on the relation between the content organization system of environment textbooks for the middle school and the teaching & learning methods of the 7th korean national curriculum, *Korean J. Environ. Educ.*, 14, 15-27.
- Kwon, Y., Lee, J., Kim, C., Ahn, J., Seo, E., Nam, Y., Park, E., Choi, S., Ahn, Y., 2016, The 2015 revised national curriculum for "environment" subject: major changes in contents and approaches, *Korean J. Environ. Educ.*, 29, 363-383.
- Lee, M. B., Park, S. K., 2000, Characteristics in environmental education contents of the 7th national curriculum for elementary and secondary schools, *Korean J. Environ. Educ.*, 13, 103-113.
- Lee, B. A., Kwon, G. J., Kim, J. G., 2005, The relationship of vegetation and environmental factors in Wangsuk stream and Gwarim reservoir: 1. Water environments, *J. Ecol. Environ.*, 28, 365-373.
- Lee, S. C., Choi, D. H., 2010, A Historical study on the paradigm shift of environment subject curriculum in Korea, *Korean J. Environ. Educ.*, 3, 27-35.
- Li, J., Teng, Z., Weng, S., Zhou, B., Turner, E. R., Vinyard, B. T., Luo, Y., 2019, Dynamic changes in the physicochemical properties of fresh-cut produce wash water as impacted by commodity type and processing conditions, *PLoS ONE*, 14, e0222174.
- Ministry of Environment, 2006, Framework act on environmental policy.
- Myeong, S., 2019, The Influence of preadulthood experiences in rural areas on korean adults' perceptions on the ecosystem services of rice-paddies, *Korean J. Environ. Educ.*, 32, 488-497.
- National Institute of Environmental Research, 2021, Quality management field evaluation practice, <https://qaqc.nier.go.kr/qaqcnew/board/boarddetail.do#n>.
- Noh, K. S., 2018, Comparative study and application of algae removal effect of aquatic plants, The 64th National Science Fair, https://www.science.go.kr/resources/synapskin/skin/doc.html?fn=j06420181826.pdf&rs=/upload_data/synapResult/202201.
- Oketola, A. A., Adekolurejo, S. M., Osibanjo, O., 2013, Water quality assessment of river Ogun using multivariate statistical techniques, *J Environ. Prot.*, 4, 466-479.
- Park, T. Y., Jung W. H., Choi, S. J., Choi, D. H., Lee, D. Y., Noh, K. I., 2001, Introduction to environmental education, 1st ed., Kyoyookbook Inc, Seoul, 77.
- Park, S. Y., 2008, Biochemical study of Taehwa river and its surrounding rivers, The 54th National Science Fair, <https://www.science.go.kr/mps/exhibit/view>, PDF File is not available.
- Seo, Y. H., Cho, S. H., 1998, Correlation and principal component analysis of the landfill leachate characterization data, *Environ. Eng. Res.*, 20, 1705-1715.
- Seo, E. J., 2017, A Review of the study of Robottom and Hart for a new perspective on environmental education curriculum, *Korean J. Environ. Educ.*, 30, 26-42.
- Seo, E. J., 2017, An Exploration of competencies in the 2015 revised national curriculum for the environment subject, *Korean J. Environ. Educ.*, 30, 237-250.
- Shim, S. H., 2016, Effect of eco-steam program on environmental behavior of middle school students, Master thesis, National University of Education, Chungbuk, KOREA.
- Sudani, R. B., 2014, A study of ground water chemistry of

- Gundlav GIDC area, Valsad-Gujarat, Int. J. Chem. Stud., 1, 54-58.
- The R project for statistical computing, 2020, <http://www.r-project.org>.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2012, <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>.
- Water Environment Information System, 2019, 2020, <http://water.nier.go.kr>.
- Waziri, M., Ogugbuaja, O. V., 2012, Prediction of some water quality indices in river Yobe- Nigeria, through annual projections, Front. Sci., 2, 58-61.
- Wetzel, G. R., 2001, Limnology: lake and river ecosystems. 3rd ed., Academic Press, San Diego, 242-250.
- Woo, S. G., Nam S. J., 2008, The development and effects of extra curricular activity class program for cultivating environmental sensitivity, J. Kor. Assoc. Geo. Environ. Educ., 14, 377-386.
- Yoon, T. H., Noh, Y. J., 2005, What kind of trees should be planted around Pungam reservoir in our village? The 51th National Science Fair, https://www.science.go.kr/resources/synapskin/skin/doc.html?fn=j05120051806.pdf&rs=/upload_data/synapResult/202201.
-
- Professor. Sam-Young Ahn
Department of environmental education, Suncheon National University
sahn@snu.ac.kr