Journal of the Korean Chemical Society
2009, *Vol. 53, No. 6*
Printed in the Republic of Korea

문·이과 계열에 따른 중금속에 대한 고등 학생들의 인식 및 이해도 분석

문경아 · 채희권*
서울대학교 화학교육과
(접수 2009. 4. 3; 수정 2009. 11. 22; 게재확정 2009. 11. 22)

Diagnosis of Students' Cognition and Understanding about Heavy Metals According to the Different Major between Liberal Art and Science in High School

Kyung-Ah Moon and Hee K. Chae*
Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea
(Received April 3, 2009; Revised November 22, 2009; Accepted November 22, 2009)

요약. 본 연구에서는 화학적으로 잘 정의되지 않은 '중금속' 에 대해서 고등학생들의 인식을 설문지를 통해 조사하였다. 고등학교 2학년생 19개 반 (*N=611*)을 대상으로 '화학 I'을 이수한 이과 반 10개와 이수하지 않은 문과 반 9개의 두 집단으로 나눠서 조사하였으며 서로 비교하였다. 중금속에 대한 학생들의 인식과 정의, 인식 형성에 미치는 요인과 화학적인 지식에 대한 세 가지 항목을 SPSS에 의해 분석하였다. 학생들 중 문·이과 전공에 상관없이 대다수가 중금속을 생물체 내에 축적을 일으키고 인체 유해한 금속으로 인식하고 있었다. 이러한 인식을 형성함에 있어서 대중매체와 학교 수업이 가장 많은 영향을 끼친 것으로 밝혀졌다. 특히 이과 반 학생들의 경우 문과 반에 비해 학교 수업에 의한 영향이 더 많은 것으로 나타나 중금속 정의를 금속의 종류와 인체에서의 함량에 관계없이 인체 유해한 물질 및 교과서의 잘 정의되지 않은 용어에 따라 물리적인 밀도와 관련된 것으로 오해하는 경향이 높았다. 흥미롭게도 이과 반 학생들이 중금속의 유해성과 화학적인 구조에 대한 이해도가 높았던 반면 금속의 독성학적 성질에 관한 질문에서 문과 반 학생들의 정답률이 높았다.

주제어: 잘 정의되지 않은 중금속, 화학 I의 이수, 학생들의 인식

ABSTRACT. In this study, high school students' perceptions of chemically ill-defined 'heavy metals' were examined through questionnaires. Nineteen classes of 11th graders (*N = 611*) were divided into two groups according to completion of 'Chemistry I', which were 10 science-classes and 9 liberal art-classes and compared each other. Three terms of students' cognition and definition, impact on the formation of their cognition, and their chemical knowledge of 'heavy metals' were analyzed by SPSS. The findings revealed that most of students recognized 'the heavy metal' as the metal which causes to be accumulated on any living thing and is hazardous in human body regardless of different major between liberal art and science. Mass media and school instruction were found to be the greatest impact on the formation of these cognitions. Especially, school instruction had more effects on students majoring in science than students majoring in liberal art, which bring the result that students in science-classes have more misconception about the definition of 'heavy metals' with human toxicant regardless of metal species and its content in human body and physical density due to the ill-defined terminology of the textbook than students in liberal art-classes do. It is interesting that students in science-classes understood hazard and chemical structure of 'heavy metals' better, while students in liberal art-classes answered the question better about hazardous properties of heavy metals.

Keywords: Ill-defined heavy metal, Completion of chemistry I, Students' cognition

서론

지난 30년 간 과학교육은 과학-기술-사회(Science-Technology-Society, STS) 라는 교수학습 모형 속에서 학생들의 과학적 소양을 함양시키는데 큰 기여를 해 왔다. 현재 인류가 당면한 건강, 식품과 농업, 에너지 자원과 소비에서부터 윤리와 사회적 책무에 이르기까지 다양한 사회 및 환경문제를 다루기 위해서는 이러한 모형에다가 사회정치적인 이슈를 다룰 수 있는 능력을 과학교육과정에 반영시켜 초중등학교에서부터 함양시켜야 한다는 주장이 제기되고 있다.[1] Hodson과 Pedretti 등은 이것을 구체화시켜 광의의 환경문제를 첨가한 과학-기술-사회-환경(Science-Technology-Society-Environment, STSE) 모형을 통해 과학·기술의 지식습득, 과학·기술의 방법과 본성에 대한 이해 증진, 현실 세계 속에서 과학적 탐구와 문제 해결 능력으로 과학·기술을 실천하고 사회, 경제, 환경 및 도덕적 관심사에 주도적으로 참여하기 등을 향후 과학교육과정의 중요 지향점으로 삼자고 제안하였다.[2] 기존의 STS모형에 추가된 환경문제를 통해 학생들이 환경 쟁점에 대한 사려 깊은 의사결정 능력의 함양[2,3] 즉, 환경에 대한 바른 인식과 행동을 배우고 이것을 실천에 옮기는 것을 핵심으로 삼고 있으며, 그래서 환경교육은 환경에 대한 올바른 태도의 형성과 관련이 있는 정의적인 영역에 초점이 맞추어 지고 있다.[4] 하지만 일반 대중들은 환경에 관련된 기초 지식의 부족으로 환경 문제에 대해 감정적으로 대응하는 경향이 있고[5] 일상의 경험과 대중 매체로부터 환경 정보를 접할 수 있는데 이는 사람들로 하여금 환경 지식에 대한 부정확한 개념을 가지게 하는 원인이 될 수 있다.[6] 이러한 문제를 해결하기 위해서는 체계적인 환경 교육을 통해 환경 현상에 대한 무지와 오개념 및 환경을 무시하는 태도를 바로 잡을 필요성이 있으며, 환경 의제들을 과학교육과정에 반영하자는 견해가 있어 왔다.[7]

우리나라의 경우 교육과정상 환경이란 과목이 독립되어 있으나 필수과목으로 지정되어 있지 않아서 초등학교 4학년부터 시작된 과학교육에서 그 역할을 담당하고 있다.[8,9] 환경에 대한 분야만 살펴보면 7년간 국민공통기본과정인 과학을 통해 학생들이 환경에 대한 배경 지식을 쌓도록 하고 있으며 이후에는 선택 과목인 화학 I과 화학 II를 통해 수질, 대기 및 폐기물 등 각각의 환경문제에 대한 화학적 문제제기와 해결방안을 소개하고 있다.

교육과정에서 화학과 환경의 이러한 조합은 학생들에게 화학을 친숙하게 소개할 수 있는 방안이 되며 환경문제에 대한 과학적인 시각과 STSE 학습모형을 제공하므로 서로 시너지 효과를 주고 있다.[7] 통상 학생들이 화학이 어려운 과목이라고 생각하는 이유 중의 하나를 화학의 본성에서 찾을 수 있다. 즉 화학은 물질과 그 변화를 다루는 학문으로 *Fig.* 1에 제시되어 있는 것처럼 거시적-분자적-상징적(Macroscopic-Molecular-Symbolic, MMS)의 세 가지의 종합적인 요소로 이해해야 한다.[11] 하지만 눈에 보이는 거시 세계를 보이지 않는 분자의 시각으로 바라봐야 하기 때문에 사고의 전환이 필요하며 또 그 현상이 실험실에서 일어나는 물질과 그 변화에 초점을 두고 있기 때문에 삶의 현장과는 괴리가 생길 수도 있다. 그러므로 학생들에게 다가갈 수 있는 화학교육이 되기 위해서는 *Fig.* 1의 사면체 모델처럼, 화학교육의 틀이 이들

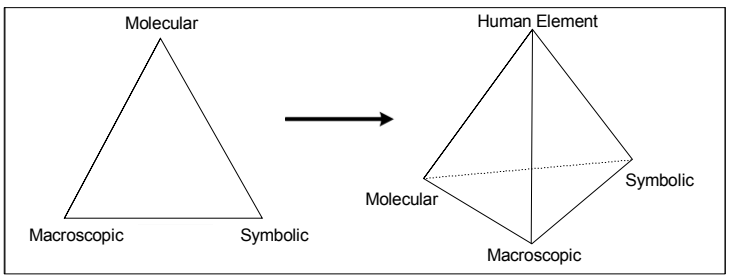

Fig. 1. Direction of chemistry education: A new emphasis on the human element in tetrahedral scheme

MMS 세 가지 요소에서 더 나아가 '인간(Human)' 요소가 첨가된 네 가지 MMSH (Macroscopic-Molecular-Symbolic-Human) 요소가 서로 균형을 이루어 학생들의 실제 생활과 연관되어야 한다는 주장이 제기되었다.[12] 환경문제는 이러한 면에서 생활과 화학을 이어주는 역할을 하는 동시에 물질의 속에 갇혀 있던 MMS적인 화학 개념과 반응을 MMSH로 확대시켜 학생들로 하여금 사회, 역사, 정치, 경제적 고려 요소들과의 연계성을 갖게 하여 화학을 통해 STSE 교육을 가능하게 할 수 있다.[1,2,8,12] 이렇듯 환경문제는 화학을 위한 좋은 소재를 제공 할 뿐만 아니라, 그 내용면에서도 화학교육과 큰 연계성을 가지고 있다.

화학 I에서 환경문제가 중시되고 있음은 화학 I 전체 단원 중 환경과 관련된 단원의 비율이 평균 43.7%를 차지하고 있다는 것을 보아도 알 수 있다.[9] 내용면으로는 '공기' 및 '금속과 그 이용' 대단원에서 '공기 오염'과 '중금속 오염'을 각각 소단원으로 취급하고 있다. '중금속 오염' 소단원에서도 구체적으로 '인체에 해로운 금속'과 '중금속 오염을 어떻게 막을 수 있을까?' 라는 주제를 구체적으로 다루고 있다. 화학 I 이외에도 과학의 '광물의 이용' 단원이나 화학 II의 '원자 구조와 주기율' 단원에서 전이금속을 언급하는 설명에서 중금속이 포함되어 있다. 과학 이외의 학문 분야에서도 중금속으로 인한 환경 문제에 대한 연구가 진행 되고 있으며, 특히 최근 발표된 환정정책연구원에서는 학교 현장의 납중독을 광범위하게 조사하기도 하였으며 정책자들도 중금속으로 인한 피해를 줄이기 위해 제도적 노력을 기울이고 있다.[13,14] 하지만 교과서에서 사용되는 중금속이란 용어는 과학적으로 정의 내려 지지 않은 불분명한 용어이고, 그 용어를 사용함에 있어서 관련 저서, 정책, 법규에서 그 일관성을 찾아보기 힘들다.[15-17] 또한 중금속이 환경오염과 인체 유해물질의 원인으로써의 관심이 증대되고 있는 분야로 많은 교과에서 환경오염과 관련하여 이 주제를 다루고 있음에도 불구하고 고등학생들이 실제적으로 중금속을 어떻게 이해하고 인식하고 있는지에 대한 연구도 식품의 안정성에 대한 인식도 조사 이외에는 거의 이루어지지 않았다.[14]

이에 본 연구에서는 중금속에 대해 학생들의 인식 및 과학적 이해도를 조사하여, 이를 바탕으로 교과서에서 학생들에게 실제적이고 교육 목표에 부합한 교과서 구성을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다. 특히 이번 연구에서는 중금속에 대해 자세하고 많은 내용을 다루고 있는 화학I 과목을 배운 학생들과 화학I 과목을 배우지 않은 학생들을 비교하여 중금속에 대한 인식과 중금속 관련 지식에 대한 이해도 차이를 살펴보고자 한다. 이를 달성하기 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

1. 중금속이라는 단어를 들었을 때, 학생들이 떠오르는 생각은 무엇이며 이에 영향을 준 요인은 무엇인가?
2. 학생들이 알고 있는 중금속의 정의는 무엇인가?
3. 학생들은 중금속이 생체 축적 및 인체 유해성과 관련하여 이에 대한 화학적인 이해도는 어느 수준이며 이에 대해 두 집단 간 차이가 존재하는가?

연구 방법 및 절차

문항 개발 과정. 본 연구에서는 중금속에 대한 학생들의 인식 및 과학적 이해도를 조사하기 위해 연구자가 개발한 문항지를 사용하였다. 문항지의 문항 개발 과정은 다음과 같다.

먼저 고등학교 화학 I 교과서에 나오는 중금속에 관한 내용을 명제로 진술하고 유목화한 후 문헌 조사를 통해 중금속과 관련된 문항을 수집하였다. 그리고 중금속에 관한 개방형 문항지를 만들어 고등학생 100명을 대상으로 예비 조사를 실시하였다. 이 개방형 문항지의 응답 결과와 화학 I 교과서, 문헌 조사를 토대로 하여 폐쇄형 문항지를 개발하였으며, 선택지 구성 시 가급적 교과서 문장을 사용하였다. 개발된 폐쇄형 문항지의 문항은 화학교육 전공자 4인과 현직 과학 교사 4인으로부터 안면 타당도 검증받았으며, 본 연구에서 신뢰도(Cronbach-α)는 0.692이었다.

조사 대상 및 시기. 본 연구는 2008년 10월에 실시되었으며 조사는 서울 특별시내에 소재한 인

문계 고등학교 4곳 에서 시행되었으며, 연구를 위해 화학 I을 선택한 학생에는 2학년 이과 10개 반, 화학 I을 선택하지 않은 학생에는 2학년 문과 9개 반을 대상으로 하였다. 회수된 설문지는 이과 327부, 문과 284부, 총 611부였다. 지필 검사 시 시간 제한을 두지 않았으며 정답이 2 개 이상 표시된 것이나 무응답이 1 문항이상 존재하는 설문지, 그리고 이과 계열 학생 중 화학 I을 택하지 않은 학생의 설문지는 결과 분석 대상에서 제외하였다. 그 결과 이번 연구에서는 화학 I을 선택한 집단(이하 이과) 222명(50.9%), 화학 I을 배우지 않은 집단(이하 문과) 214명(49.1%)을 합쳐 총 436명의 응답결과를 토대로 하였다.

조사 도구. 본 연구를 위하여 중금속에 관한 3개의 주제로 되어 있으며, 총 11문항의 선택형과 1문항의 개방형 문항으로 되어 있다. 각 주제는 다음과 같다.

1. 중금속에 대한 학생들의 인식과 정의
2. 중금속에 대한 학생들의 인식에 영향을 끼친 요인과 정의 습득 양식
3. 중금속 관련 과학 지식

결과 분석 방법. 설문지의 응답 결과는 SPSS 12.0 통계프로그램을 사용하여 처리하였다. 각 문항별 응답에 대한 빈도수 분석을 실시한 후, 카이스퀘어 검증을 통해 계열에 따른 차이 여부를 통계적으로 검증하였다. 개방형 문항인 3번 문항의 분석은 학생들이 기술한 문장에서 단어를 추출한 후 빈도수가 많은 단어를 선택하여 6개의 핵심어로 범주화하였다. 또한 <*문항* 1>(중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍)과 <*문항* 3>(학생들이 생각하는 중금속의 정의)에 대해서는 학생들이 중금속에 대하여 떠오르는 것과 알고 있는 중금속 정의와 관련성을 조사하기 위해여 상관관계를 분석하였다.

연구의 제한점. 본 연구는 우리나라 고등학교 학생 전체를 연구 대상으로 하지 않고 일부지역의 고등학생을 그 연구 대상으로 표집 하였으므로 우리나라 전체 고등학생들의 인식 수준으로 대표하여 해석하기는 어려우며, 중금속에 대한 인식을 측정하기 위한 자료가 설문지였기 때문에 대상자들의 생각을 파악하는 것이 제한적이다. 또한 이 연구는 이과 학생 중 화학 I 과목을 선택한 집단과 선택하지 않은 문과 집단을 비교 한 연구이다. 그렇기 때문에 연구 결과에서 집단에 따른 차이가 단순히 이과 집단의 화학 I 선택 유무에 따른 결과인지 아니면 계열에 따른 이과적 특성에 의한 영향은 없었는지에 대한 연구는 이루어 지지 않았다.

연구 결과 및 논의

중금속에 대한 학생들의 인식과 정의

중금속에 대한 학생들의 인식 및 이에 영향을 끼친 요인

가. 중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍

학생들에게 '중금속'이라는 단어를 들었을 때, 가장 처음 생각나는 것(*문항* 1), 브레인스토밍)에 대해 질문한 결과 학생들은 인체 유해 물질(48.6%)로써의 중금속을 가장 많이 떠올리는 것으로 나타났다 (*Fig.* 2). 그 다음으로는 생물체 내 축적을 일으키는 물질로써의 중금속이 29.4%, 밀도가 큰 금속으로써의 중금속이 10.3%를 차지하고 있다. 중금속을 환경오염을 일으키는 물질로써의 인식은 7.8%에 불과했으며, 이를 보아 학생들은 중금속을 환경오염 물질보다는 인체에 유해 및 생물체에 축적과 관련하여 인식하고 있음을 볼 수 있다. 한편 이 문항에 대한 이과와 문과 집단에 따른 학생들의 인식을 비교한 결과 집단에 따라 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

Table 1. Categories on questionnaire

Category	Question number	# of items
Students' cognition and definition about heavy metal	Q1, Q3, Q4	3
Impact on formation of cognition	Q2	1
Chemical knowledge of heavy metals	Q5, Q6, Q7, Q8(sub-questions : 5)	4 (total: 8)

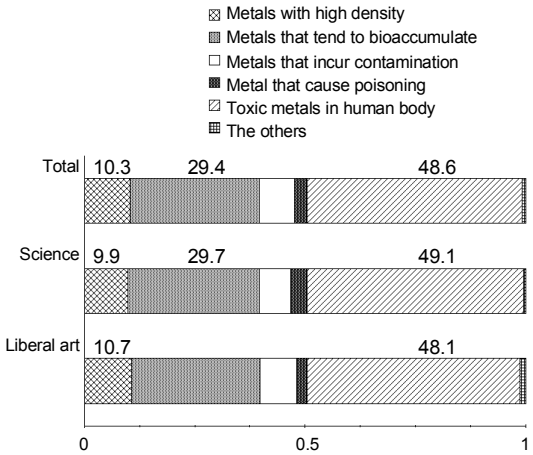

Fig. 2. Brainstorming about heavy metal (Q1)

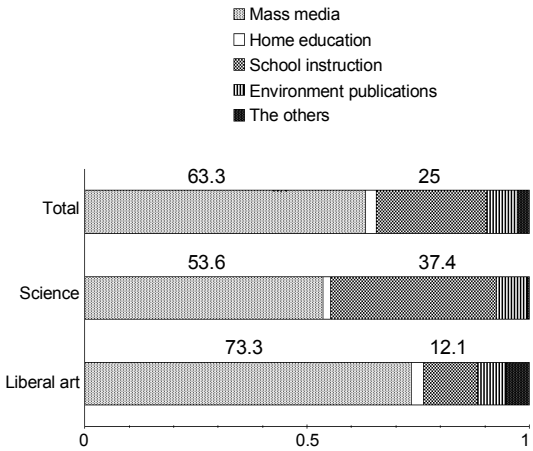

Fig. 3. Factors affecting recognition about heavy metals (Q2)

나. 중금속에 대한 인식에 영향을 끼친 요인

학생들이 중금속에 대한 인식형성에 가장 큰 영향을 준 것(*문항* 2)은 대중매체(63.3%)로 나타났으며, 학교 수업에 의한 영향이 25.0%로 그 다음을 차지하였다(*Fig*. 3). 이는 대중 매체가 환경문제 인식과 환경오염에 대한 지식 형성에 영향을 미칠 수 있다는 기존의 연구[18,19]와 일치한다. *Fig*. 3에서도 나와 있듯이 집단 간 학생의 응답 서열(기타 제외)은 동일하지만, 그 비율에서 차이가 나는 것을 볼 수 있으며 통계적으로도 유의미한 차이가 있었다($p < .05$). 특히 대중매체와 학교수업에 의한 영향을 살펴보면 문과의 경우 각각 73.4%, 12.1%인 대중매체가 중금속 인식형성에 크게 기여한 반면, 이과는 각각 53.6%, 37.4%를 나타내는 것을 볼 수 있다. 두 집단 모두 대중매체에 의한 영향이 크긴 하지만, 두 집단의 차이를 비교해 보면, 대중매체와 학교 수업의 비율의 차(문과 △61.3%, 이과 △16.2%)가 큰 것을 볼 수 있다. 즉 대중매체에 의한 영향은 문과가 이과에 비해 19.8% 높은 반면, 학교 수업에 의한 영향은 이과가 문과보다 25.3% 높게 나타났다. 이는 이과 반 학생들이 과학 및 화학 I 과목을 통해 중금속 관련 내용을 더 많이 학습하기 때문이라고 생각된다.

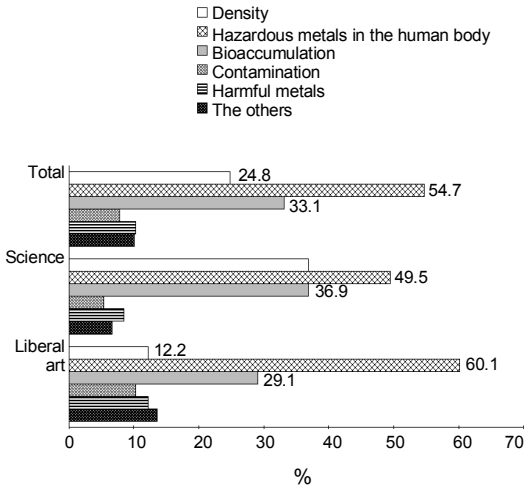

Fig. 4. Definition of heavy metals (Q3)

학생들이 생각하는 중금속의 정의 및 습득 유형

학생들에게 중금속에 대한 정의를 조사(*문항* 3)함으로써 학생들이 중금속에 대해 어떻게 생각하고 있는지 알아본 결과는 다음과 같다. 먼저 중금속 정의에 대한 학생들에 응답에 대해 *Table* 2와 같이 다섯 개의 단어로 범주화 하였으며 각 키워드에 대한 응답 결과는 *Fig*. 4에 나타내었다.

전체 학생의 54.7%가 '인체 유해'와 관련하여 중금속을 정의내리고 있었다. 그 다음으로 33.1%의 학생들은 생물체 내 축적과 관련된 개념으로, 24.8%의 학생들은 밀도와 관련하여 중금속을 정의내리고 있었다. 이 결과를 <문항 1>(중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍)과 비교해 보면, 응

Table 2. Keywords for definition of heavy metals

Keywords	Explanations	Examples
Density	meaning of density, heaviness, mass	metals with high density, metals with mass, metals with high weigh.
Hazardous metals in the human body	meaning harmful for human body	toxic metals in human body, metals poisoning in human body.
Accumulation into organism	meaning accumulation or concentration into organism	bioconcentration , metals that accumulate into organism
Contamination	meaning contamination	environmental contaminant, materials which have bad influences on the environment
Harmful metals	meaning harmful or bad things except words like human body or environment	bad things, bad materials, bad metals, harmful metals.
The others	-	non-metals, transition metals, materials from yellow sand

Table 3. Analysis of the keywords in the answer about Q1 and Q3

Order	1	2	3	4	5
Q1	toxic metal (48.6%)	bioaccumulation (29.4%)	density (10.3%)	contamination (7.8%)	poisoning (3%)
Q3	hazardous metal (54.7%)	bioaccumulation (33.1%)	density (24.8%)	harmful metal (10.3%)	contamination (7.8%)

답의 빈도수 순위가 비슷한 것을 볼 수 있다(*Table* 3). 즉 학생들은 중금속에 대해 인체 유해 금속, 생물체 내 축적을 일으키는 금속, 어원적으로 무겁다는 의미의 밀도가 큰 금속의 순으로 인식하고 있는 것으로 나타났고, 이는 학생들이 중금속의 정의로 응답한 것과 그 순서가 일치한다. 또한 <*문항* 1>(중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍)의 응답 유형에 따른 중금속 정의에 대한 응답 비율을 살펴보면, 그 응답 키워드가 많은 부분 일치하는 것으로 나타났다(*Table* 4). 즉 학생들이 알고 있는 중금속에 대한 정의를 기술한 응답을 분석한 결과, <*문항* 1>(중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍)의 결과와 일치되는 응답이 대체적으로 다른 응답 보다 많았다. 예를 들면, <*문항* 1>(중금속에 대한 학생들의 브레인스토밍)에서 밀도라고 응답 한 학생의 경우, <*문항* 3>(학생들이 가지고 있는 중금속에 대한 정의)에 대한 응답 시 다른 키워드보다 '밀도'라고 응답한 학생의 비율이 인체 유해 혹은 축적 등의 다른 키워드의 응답 비율보다 높은 것을 볼 수 있다. 이는 학생들이 중금속에 대해 처음 생각나는 것을 중금속의 '인체 유해' 관련 정의로 인식하는 경향이 있다는 것을 의미한다. 반면에 미국 고등학생의 경우 화학교과서에 중금속이란 말 자체를 사용하지 않고 있다. 따라서 예를 들면 수질의 유해성 판단기준으로 양이온이나 음이온의 종류와는 상관없이 미국 환경청이 정해 놓은 기준인 물 1 리터당 이온의 질량(mg)을 삼고 있으며 환경 및 인체 유해한 물질로는 오히려 환경 오폐수에 의한 질산 이온(NO_3^-)과 지표면에서 지구화학 작용에 의해 유입된 Fe^{3+} 이온을 유해 가능성이 있는 이온으로 거론하고 있다.[20]

Table 5에서는 학생들이 응답한 중금속의 정의가 자신의 추측에 의한 것인지 혹은 학습에 의한 것인지를 나타내었고, *Table* 6에서는 중금속 정의에 대한 학생들의 습득 유형에 따른 각각의 키워드를 나타내었다. 전체 학생에 대한 정의 습득 양식은 학습에 의한 것이 49.9%, 자신에 추측에 따른 것이 50.1%로 그 차이는 거의 보이지 않았다. 하지만 이과 집단의 경우 자신의 추측 보다는 학습에 의해 정의를 습득했다는 응답이 많았던 반면, 인문 계열 학생들의 경우에는 학습을 통해서가 아니라 자신의 추측에 의한 중금속 정의를 가지고 있다고 응답하였으며 집단에 따른 정의 습득 양상은 통계적으로 유의미하였다($p < 0.05$). 이

Table 4. Analysis of definition(Q3) according to brainstorming(Q1)

Q1 \ Q3	Hazardous metals in the human body	Accumulation into organism	Density	Contamination	Harmful metals	The others	N
Density	10 (N) 2.3 (%)	7 1.6	32 ***7.4***	1 0.2	0 0.0	7 1.6	45 10.3
Accumulation	75 17.2	83 ***19.1***	21 4.8	9 2.1	12 2.8	10 2.3	128 29.4
Contamination	16 3.7	4 0.9	9 2.1	10 ***2.3***	6 1.4	3 0.7	34 7.8
Poisoning[a]	16 ***2.3***	4 0.7	9 0.9	10 0.2	6 0.0	3 0.2	13 3.0
Toxic metals in the human body	127 ***29.2***	47 10.8	41 9.4	13 3.0	27 6.2	20 4.6	212 48.6
The others	0 0.0	0 0.0	1 0.2	0 0.0	0 0.0	3 0.7	4 4.0
N	238	144	108	34	45	44	
%	54.7	33.1	24.8	7.8	10.3	10.1	

Italics are rates with same response between Q1 & Q3. [a]Poisoning(Q1) is categorized in "Hazardous metals in the human body(Q3)"

Table 5. Types of acquiring the definition (Q4)

Types	Major	Number (N)	Total (N)	Percentage (%)
Guessing	Science	84	219	50.1
	Liberal art	135		
Learning	Science	138	217	49.9
	Liberal art	79		
Total			436	100

Pearson χ^2 = 27.781, df = 1, p = .000

결과 중금속에 대한 학생들의 인식에 영향을 끼친 요인(문항 2)에 관한 항목에서 이과의 경우 문과에 비해 학교 수업에 의한 영향이 컸던 것을 고려할 때, 학교 수업이 학생들이 가지고 있는 중금속 정의에 영향을 끼쳤음을 추측할 수 있다. 한편 정의 습득 유형에 따른 각각의 응답 키워드 순서를 살펴보면 학생들이 가지고 있는 중금속에 대한 정의는 그 습득 유형에 따라 차이가 나타나지 않았지만 그 비율에 있어서는 차이를 보였다(*Table* 6). 그 중 중금속에 대한 정의를 '축적', '밀도'와 관련하여 형성하고 있는 경우, 각각의 습득 유형에 따른 응답 비율의 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 특히 '밀도'의 경우 이과가 문과에 비해 24.7% 높게 나타났는데, 앞의 결과를 종합하여 볼 때 이는 과학 관련 교과서, 특히 화학 I 교과서 8종 중 중금속에 대한 정의가 제시 되어 있는 6종 모두 중금속을 '밀도'와 관련하여 무겁다라는 의미의 단순한 물리적 의미로 그 정의를 기술하고 있으며[15] 이것이 문과 집단에 비해 이과 학생들이 중금속에 대해 '밀도'와 관련된 정의를 갖게 하는 요인으로 작용한 것으로 생각된다.

학생들의 중금속 관련 과학 지식 수준

중금속의 축적 및 유해성에 대한 이해[15,17,22,23]

이에 대해 먼저 중금속이 체내에 축적되는 이유를 묻는 문항(문항 5)에 대해 전체 학생 중 43.8%가 '중금속이 우리 몸 일부 장기에 흡착되어 잘 떨어지지 않기 때문에 축적된다(이하 체내 흡착)'라고 응답하였다. 전체 학생 중 20.2%만이 '중금속이 체내 물질과 상호작용해 안정한 형태로 되기

Table 6. Keywords of the definition according to acquiring types

		Hazardous metals in the human body	Accumulation into organism	Density	Harmful metals	Contamination	The others
Guessing	N	123	51	34	25	18	29
	%	56.4	23.4	15.6	11.5	8.3	12.4
Learning	N	115	93	74	20	16	17
	%	53.0	42.9	34.1	9.2	7.4	7.8

rate (%): percentage within same types on acquiring definition

Table 7. Comparison of answers to Q5 with majors (The reason for bioaccumulation of heavy metals) (%)

Answer Keyword	absorbing within the viscera	Interaction with body materials[a]	No idea	High density	Metal's size	total
Total	43.8	20.2	17.9	12.6	5.5	100
Science	36.5	28.4	16.7	13.5	4.9	100
Liberal arts	51.4	11.7	19.2	11.7	6.0	100

[a]correct answer, Pearson $\chi^2 = 21.499$, df = 4, p = .000

Table 8. Comparison of answers to Q6 with majors (The reason for noxious working of heavy metals in the human body) (%)

Answer Keyword	Metal mass	Complex with bioprotein[a]	Harmful Oxide	No idea	Germ's working	total
Total	39.4	23.4	21.8	11.7	3.7	100
Science	38.3	30.2	17.1	11.7	2.7	100
Liberal arts	40.7	16.4	26.6	11.7	4.6	100

[a]correct answer, Pearson $\chi^2 = 14.740$, df = 4, p = .005

때문에 축적된다(이하 상호작용)'라고 정답을 선택하였다(*Table* 5). 17.9%는 '중금속이 왜 체내에 축적되는지 잘 모르겠다.'고 응답하였고 중금속의 체내 축적 이유가 '중금속의 밀도(이하 밀도)' 혹은 '금속 원자의 크기(이하 원자크기)'에 기인한다는 응답 또한 각각 12.6%, 5.5%를 차지하였다. 이 응답결과를 집단별로 분석한 결과 집단차를 보였는데, 이과는 '체내 흡착'(36.5%) '상호작용'(36.5%), '밀도'(13.5%), '원자크기'(5.0%) 순으로, 그 경향이 전체 응답 순서와 일치하였다. 반면 문과 경우, '체내 흡착'(51.4%), '밀도'(11.7%), '상호작용'(11.7%), '원자크기'(6.1%)였으며 <문항 5>에 대한 집단에 따른 차이는 통계적으로 유의미하였다($p < 0.05$).

중금속의 인체 유해성의 원인(문항 6)에 대한 문항에 대해서는 전체 학생의 39.4%의 학생들이 '중금속 덩어리가 체내에 돌아다니면서 각 기관의 활동을 방해하기 때문에 중금속이 인체에 해롭다(이하 중금속 덩어리)'고 응답하였다(*Table* 8). 전체 학생의 23.4%는 '중금속이 체내 단백질과 결합하여 단백질의 고유 기능을 파괴하기 때문에 유해하다(이하 단백질 파괴)'고 응답했으며, 21.8%는 '체내 중금속이 산화될 때 발생되는 유해성 물질 때문에 유해하다(이하 산화 유해 물질)', 그리고 3.7%의 학생은 '중금속을 분해하는 미생물이 유해성분을 발생시킨다(이하 미생물)'고 응답하였다. 이를 집단별로 분석하면 두 집단 모두 '중금속 덩어리' 때문에 인체 유해성이 발현 된다고 가장 많이 응답하였고, 그 다음은 각각 이과의 경우 '단백질 파괴'(30.2%), '산화 유해 물질'(17.1%), '미생물'(2.7%)의 순으로, 문과는 '산화 유해 물질'(26.6%), '단백질 파괴'(16.4%), '미생물'(4.7%) 순으로 나타났다. 특히 이 문항의 정답인 '단백질 파괴'의 경우 이과의 정답률이 13.8% 높았으며 전체적인 집단 간의 차는 통계적으로 유의미 하였다($p < .05$).

한편 금속이 독성을 발휘하게 되는 화학적 형

Table 9. Comparison of answers to Q7 with majors (Chemical form of heavy metals as hazardous metals) (%)

Answer Keyword	Heavy metal liquid	Metal Oxides[a]	Heavy metal ion	No idea	Metal itself	total
Total	24.8	23.2	22.7	17.7	11.6	100
Science	23.4	20.3	27.0	18.5	10.8	100
Liberal arts	26.2	26.2	18.2	16.8	12.6	100

[a]correct answer, pearson $\chi^2 = 6.157$, df = 4, p = .188

Table 10. Comparison of chemical form(Q7) with mass of the metal(Q6)

Q6 \ Q7	metal itself	heavy metal liquid	heavy metal ions	metal oxides	no idea
metal mass	23 (N)	54	40	37	18
	13.4 (%)	31.4	23.3	21.5	10.5

태, 즉 금속의 이온상태에 대한 이해(문항 7) 조사 결과는 다음과 같다. 전체 학생의 24.8%가 '중금속이 체액에 녹은 중금속 액체가 유해 작용을 한다(이하 중금속 액체)', 23.2%는 '중금속이 산소와 반응해 산화금속의 형태로 유해 작용을 한다(이하 산화금속)'고 응답하였으며 '염 또는 증기 형태로 흡수된 중금속 이온이 유해 작용을 한다(이하 중금속 이온)'고 정답을 선택한 학생은 22.7%였다(*Table* 9). '금속 그 자체로 유해하다(이하 금속자체)'고 응답한 학생은 11.7%였는데 이는 <문항 6>의 '중금속 덩어리'(39.4%)와 선택지 내용이 유사함에도 불구하고, <문항 6>의 '중금속 덩어리'를 선택한 학생 중 13.4%의 학생만이 <문항 7>의 '금속 자체'를 선택하였다(*Table* 10).

<문항 7>을 집단별로 분석한 결과, 문과는 '중금속 액체, 산화금속'(26.2%), '중금속 이온'(18.2%), '금속 자체'(12.6%)의 순으로 전체 응답과 일치하였으며 이과의 경우 '중금속 이온'(27.0%)이 가장 높은 비율을 차지하였고, '중금속 액체'(23.4%), '산화금속'(20.3%), '금속 자체'(10.8%)가 각각 그 다음을 차지하였다 (*Table* 9). 하지만 집단 간의 차이가 통계적으로 유의미하지는 않았다($p > .05$).

이 세 문항에 대한 정답률을 보면 이과 학생의 정답률이 문과 학생의 정답률에 비해 높게 나타났는데 이는 화학 I 교과에 중금속과 관련하여 한 소단원에 걸쳐 그 내용이 소개되어 있고, 화학 I 교과목 특성 상 다른 과목에 비해 화학적인 지식을 더 다루고 있기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 정답률의 전체 평균은 22.1%에 불과 하며, 이과 집단의 경우도 평균 28.5 %로 정답률 자체는 다소 저조하다고 볼 수 있다. 또한 이 세 문항에 대해 모르겠다는 응답도 전체 평균 15.8%를 차지하고 있다. 이는 화학 I에서 중금속에 대한 학습 내용이 화학과 관련한 과학 지식 보다는 단순히 중금속에 대한 부정적인 측면이 부각되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 부정적인 기조는 예를 들면 화학 II에서도 계속 이어져 치사량 등 농도에 대한 언급 없이 "전이원소의 대부분 이온들은 인체에 해롭다"라고 기술되어 있기도 하였다.[21] 결과를 종합해 보면, 상당수의 학생들은 중금속이 체내 유해 작용을 할 때, 이것이 금속 그 자체인지, 아니면 금속의 이온 형태인지에 대한 지식이 부족하였을 뿐만 아니라 중금속이 체내에 축적되는 이유와 유해 작용 메카니즘에 대한 이해가 부족한 것으로 여겨진다.

그 밖의 중금속에 관한 학생들의 이해

다음은 중금속에 관련된 사항을 '그렇다', '아니다' 또는 '모르겠다'로 응답하게 한 <문항 8>에 대한 결과이며 이를 *Table* 11과 *Table* 12에 나타내었다.

일반적으로 중금속의 인체 유해성은 인체 내 잔류량에 따라 달라지며 중금속이 아닌 일반금속도 인체 잔류량에 따라 독성을 발휘할 수 있다.[22b] 그리고 일반적으로 중금속으로 인식되고 있는 금속 중 인체에 꼭 필요한 필수 원소도 존재한다.[22a] 이와 관련된 내용은 엄밀히 보면 화학보다는 독성학적 관점에서 금속의 성질에 관한 것이지만,

Table 11. Residual concentration of heavy metal in the human body to the major (%) (Q8-1)

	total	science	liberal art
yes	44.7	44.6	44.9
no	36.9	39.6	34.1
no idea	18.3	15.8	21.0

N = 436, Pearson χ^2 = 2.548, df = 2, p = 0.280

Table 12. Hazard of metals except heavy metals to the major (%) (Q8-2)

	total	science	liberal art
yes	62.8	68.9	56.5
no	11.9	10.4	13.6
no idea	25.2	20.7	29.9

N = 436, Pearson χ^2 = 7.231, df = 2, p = 0.027(< .05)

독성학적 관점이 중금속의 인체 유해성과 밀접한 관련이 있기 때문에 중금속 오염 및 인체 유해성을 논할 때는 독성학 지식이 고려되어야 하며 현재 화학 I 교과서 내에서도 중금속 내용이 인체 중독 등의 독성학적 내용을 다루고 있다.[15] 이에 대해 학생들에게 '중금속은 체내 존재량(농도)에 무관하게 인체에 유입될 경우 치명적이다.'(*문항* 8-1)라는 문항에 전체 학생의 36.9%만이 아니라고 응답하였다(*Table* 11). '중금속이 아닌 일반 금속의 경우, 금속의 종류마다 해로운 것도 있고 해롭지 않은 것도 있다.'(*문항* 8-2)의 문항에는 아니라고 정답을 선택한 학생은 11.4%에 불과하였다(*Table* 12). 특히 이 문항의 정답률은 이과보다 문과가 높았고 이 문항에 대한 집단 간 차는 통계적으로 유의미하였다(p < .05). 그리고 '중금속 중에는 인체에 꼭 필요한 필수 원소도 있다.'(*문항* 8-3)에 대해서 이과 학생보다 문과 학생이 '그렇다'라고 대답한 비율이 높았으며 수은전지의 사용을 지양해야 하는 이유(*문항* 8-4)의 문항에 대해서도 문과학생의 정답률이 높았다. <*문항* 8-2>, <*문항* 8-3>, <*문항* 8-4>의 세 문항의 결과를 종합해 보면, 화학 I 교과서에서 중금속 관련 내용이 화학적인 설명을 다루고 있긴 하지만, 이에 대한 체계적인 설명 보다는 환경오염원 혹은 인체 유해 물질로써의 중금속에 중점을 두고 있기 때문에 오히려 중금속에 대한 부정적인 측면이 부각되어 잘못된 지식이 형성되었기 때문이라고 생각된다. 이런 경우 MMSH 학습모형에서 인간(H)의 요소를 지나치게 강조하다가 정확한 과학적 사실을 전달하지 못하는 실수가 발생하였다고 여겨진다. 즉 교과서에서의 잘못 정의된 중금속에 대한 설명이 교과과정상 환경오염 → 중금속 → 인체 유해 물질로 이어지며 부정적 인식체계 형성에 크게 영향을 미쳤을 것이라고 판단된다. 교과서 정의대로라면 중금속중 인체 필수 미량 금속인 크롬, 코발트, 구리, 니켈, 아연의 필요성을 부정하는 결과를 가져다주므로 STSE 교육에서 추구하는 환경 쟁점에 대한 사려 깊은 의사결정 능력의 함양 대신에 '중금속은 무조건 나쁜 것'이라면서 감정적으로 대응하는 경향이 일어날 수도 있다.[2-5] 이러한 경향은 최근의 인문사회학 연구보고서에도 나타나 있다.[13b] 초등학교와 그 주변의 대기환경을 조사하는 과정에서 오염항목으로 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소, 이산화황, 오존, 총휘발성유기화합물, 포름알데히드와 더불어 미세먼지, 중금속(납), 석면 등 무기물이 들어 있는데 납이 단지 인체 유해하고 중금속이기 때문에 조사항목에 넣었다는 의미로 받아들일 수 있다. 보통 대기 오염물질로는 황산화물, 질소산화물, 일산화탄소, 오존, 플루오르화합물, 탄화수소, 석면 및 먼지를 일컬으며 수질 오염물질로는 분해발효성 유기물, 이온성 무기물질 및 부유물질 등을 말한다.[3] 실제로 이 보고서에서 스스로 밝힌 것처럼 대기중에서는 조사의 의미가 없는 납의 수치가 측정되었으며 납 농도를 정확히 조사하려면 대기의 농도 대신에 수질의 농도를 조사할 필요가 있다고 다소 동떨어진 결론을 내리고 있다.[13b] 따라서 이와 같은 시도는 환경 문제를 왜곡시킬 수 있다.

마지막으로 중금속의 자연 분해 혹은 자정 작용에 의한 중금속 오염 문제 해결(*문항* 8-5)에 대한 문항에 전체 학생의 34.9%가 문제를 해결 할 수 있다고 응답하였으며, 37.4%는 해결할 수 없다고 응답했다(*Table* 13). 이에 대한 집단 간 차이는 통계적으로 유의미하였다(p < .05). 비록 자정작용을 통해 중금속 문제를 해결 할 수 없다고 응답한 이과 반 학생이 조금 많았지만, 정답률에서 크게 차이가 없었으며, 학생들이 중금속을 생물체 농축 혹은 축적과 관련된 개념으로 인식하고 있는 것을 고려하면 학생들은 이 문제를 중금속의 축

Table 13. Self-purification of heavy metals according to the major (%) (Q8-5)

	total	science	liberal art
yes	34.9	33.8	36.0
no	37.4	44.1	30.4
no idea	27.8	22.1	33.6

N = 436, Pearson χ^2 = 10.936, df = 2, p = 0.004(< .05)

적 또는 농축의 개념(*문항* 1, *문항* 3)과 연관시키지 못하고 있는 것으로 생각된다. 따라서 오염원을 원천적으로 봉쇄하는 방법만이 환경오염에 대한 해결책이 될 수 있으므로 STSE 관점에서 중금속에 오염된 사람들에 대한 지속적인 건강 검진 및 사회적인 배려 그리고 중금속 유출 사업장의 폐쇄, 그에 따른 지역경제의 영향 등 다양한 문제점들이 과학적인 소재이기에 앞서 경제사회적인 학습소재가 될 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 고등학교 2학년 학생들이 중금속에 대해 가지고 있는 인식을 조사하고, 중금속의 독성과 관련한 학생들의 이해수준을 파악하려고 하였다. 이에 화학 I를 통해 중금속에 대한 내용을 배운 집단과 화학 I을 배우지 않은 문과 집단을 대상으로, 양 집단 간에 차이를 보이고 있는지를 조사하였다. 본 연구의 결과로부터 내릴 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, 중금속에 대한 학생들의 인식 조사 결과 많은 학생들은 중금속을 인체 유해 및 생물체 내에 축적을 일으키는 금속으로 인식하고 있었으며, 이에 대한 집단 간 차이는 나타나지 않았다. 중금속에 대한 인식을 형성함에 있어서 가장 많은 영향을 끼친 것은 두 집단 모두 대중매체와 학교 수업의 순으로 나타났지만, 각각에 대한 비율은 집단 차는 통계적으로 유의미했다. 즉, 이과의 경우 문과에 비해 대중매체에 의한 영향은 낮은 반면 학교 수업에 의한 영향은 높았으며, 이를 보아 이과의 경우 문과보다 학교 수업에 의한 영향이 크게 작용한 것을 알 수 있다. 이는 이과의 경우 화학 I 과목을 통해서 문과에 비해 중금속에 대한 내용을 많이 접하기 때문인 것으로 생각이 되는데, 이 결과를 통해 학교 수업이 학생들의 인식을 형성함에 있어서 중요한 요인임을 알 수 있다.

둘째, 학생들이 생각하고 있는 중금속에 대한 정의는 인체유해와 관련된 것이 가장 많았으며, 생물체 축적 물질, 밀도, 환경오염에 관한 것이 각각 그 다음을 차지하였다. 이는 중금속에 대한 학생들의 인식의 순위와 같은 양상을 보이고 있으며, 이를 통해 학생들은 중금속에 대한 인식과 그 정의를 동일시하는 경향이 있음을 알 수 있다. 양 집단 사이에 나타난 특징적 차이를 보면, 이과 반 학생들은 인체유해 다음으로 밀도 관련 응답률 순서를 보인 반면, 문과는 밀도 보다 축적 관련 정의가 더 많았으며, 집단 간 각 응답 비율의 차도 큰 것으로 나타났다. 특히, 밀도 관련 응답률의 집단 간 차이가 큰 이유는 이과 반의 경우 화학 I에서 중금속을 밀도의 개념으로 제시된 것이 어느 정도 기인할 것이라고 생각되며, 이는 이과 반 학생들이 학습에 의한 정의 습득률이 더 높게 나온 결과와도 연관 지을 수 있다. 하지만 중금속이라는 용어는 화학적으로 정의 되지 않은 불분명한 용어이고, 이 용어의 사용 또한 임의적이며 실제로 어떤 금속을 중금속의 범주에 넣을 수 있는지 결정할 수 있는 화학적 근거를 결정하는 것이 어렵다.[15] 교과서에서 사용하고 있는 물리적 의미의 밀도의 기준 또한 교과서 마다 조금씩 다른 양상을 보이고 있는 실정이다.[17] 교과서는 학생들의 인식과 개념형성에 큰 영향을 끼칠 수 있기 때문에 정확한 과학 지식을 전달해야 하는 화학교과서에 잘못 회자되고 있는 정의를 검증작업 없이 그대로 사용하는 것은 지양해야 한다.

셋째, 중금속의 인체 유해성과 관련한 화학적 이해에 대한 조사 결과 학생들은 중금속이 생물체 내 축적 및 인체 유해성에 대한 지식은 있지만, 이것이 중금속이 어떠한 형태로 인체에 축적이 되며 유해성을 끼치는지에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났다. 특히 금속의 독성에 대해서는 체내 농도에 따라 인체 유해성분으로 작용하지만 조사 결과 금속에 대한 이러한 기초적인 지식이 부족한 것으로 나타났으며 이는 금속과 중금속을 이원적으로 분류하여 생각하게 함으로써 학생들에게 유해 금속 더 나아가서는 금속에 대한 잘못된 인식을 심어 줄 가능성이 있다. 중금속의 축적 및 유해성 관련 문항의 정답률은 이과 반 학생들이

높은 반면 그 외 중금속의 독성 관련 이해 면에서는 오히려 문과 반 학생들의 정답률이 높았다. 이는 문과 집단에 비해 이과 집단의 경우 화학 I 과목을 통해 중금속에 대해 더 많은 내용을 배우지만, 그 내용이 오히려 MMSH (Macroscopic-Molecular-Symbolic-Human)의 화학 표현에서 '인간 (Human)'이 너무 강조되어 중금속이 인체 유해성 및 환경오염의 측면이 부각되었기 때문이라고 생각된다. 학생들에게 오개념을 줄이고 의미 있는 화학교육이 되기 위해서는 교과서에서 MMSH의 네 가지 표현의 요소가 균형을 이루어야 한다.[12b] 이를 위해 중금속에 대한 교과서 내용은 '중금속은 나쁜 것'이라는 단순히 파편적인 지식에서 벗어나 과학기술의 발전에 따른 금속 화합물이 사회에 미치는 영향을 논의 할 수 있도록 STSE (Science-Technology-Society-Environment) 학습모형의 도입이 필요하다. 그러므로 화학 I에서 환경문제와 관련하여 유해금속을 다루어야 한다면, 다음과 같은 체계의 구성을 제안한다. 즉, '금속'이라는 큰 범주 속에 금속의 특성에 따른 유용성에 대한 설명을 제시하여 주고, 그 틀 안에서 필수 금속과 기타 금속의 체내 농도에 따른 영향, 중금속에 대한 모호한 정의를 배제하는 대신에 금속의 유해성의 원인 등을 화학적 지식으로 다루고 학생들로 하여금 유해성이 사회경제에 미치는 다양한 문제와 그 해결책을 함께 모색하는 교과서의 구성이 바람직스럽다고 여겨진다.

REFERENCES

1. Develaki, M. *Sci. & Educ.* **2008**, *17*, 873-888.
2. a) Hodson, D. *Int. J. Sci. Edu.* **2003**, *25*(6), 645-670. b) Pedretti, E. *Teaching science, technology, society and environment education.* In Zeidler, D. L. Ed., *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education*; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Netherlands, 2003.
3. a) Arvai, J. L.; Cambell, V. E. A.; Baird, A. & Rivers, L. *J. Environm. Edu.* **2004**, *36*(1), 33-44. b) NAAEE (North American Association for Environmental Education) *Excellence in environmental education: Guidelines for learning (pre K-12)*, 2004.
4. Nam, S. J. *Environmental Education*; Daehaksa: Seoul, Korea, 1995.
5. Gigliotti, L. M. *J. Environm. Edu.* **1990**, *22*(1), 9-12.
6. Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. In *Some features of children's idea and their implications for teaching*; R. Driver, E., Guesne, & A. Tiberghien, Eds.; Open University Press: Milton Keynes, U. K. 1985.
7. a) Choi, S. J.; Kim, J. H.; Lee, D. Y.; Jang, H. J. *A study of Korean school environmental education curricula* 1997. b) Munson, B. H. *J. Environm. Edu.* **1994**, *25*(4), 30-34.
8. Choi, S. J.; Park, S. M.; Shim, H. M.; Lee, Y. S.; Park, J. S. *A study of teaching-learning, curriculum and evaluation of environmental education*; Korea Institute for Curriculum and Evaluation: Seoul, Korea, 2001.
9. Nam, M. H.; Nam, Y. S. *Environm. Edu.* **2007**, *20*(2), 16-24.
10. Ministry of Education, Science and Technology *Curriculum guideline book for high school-science*; Daehan Printing & Publishing: Seoul, Korea, 1997.
11. a) Johnstone, A. H. *J. Chem. Edu.* **1983**, *60*(11), 968-671. b) Johnstone, A. H. *J. Chem. Edu.* **1993**, *70*(9), 701-705. c) Gilbert, J. K.; Treagust, D. *Multiple representations in chemical education*; Springer: Berlin, Deutschland, 2009.
12. a) Mahaffy. P. *Chem. Edu. Res. Prac.* **2004**, *5*(3), 229-245. b) Mahaffy, P. *J. Chem. Edu.* **2006**, *83*(1), 49-55.
13. a) Koo, J. H. *A study of Korean and oversee's research results of environmental pollution by heavy metals and their classification by themes*; Korean Medical Association: Seoul, Korea, 2006. b) Choo, J. M. *Environmental policy for low-income people in urban areas II*; Korea Environment Institute: Seoul, Korea, 2008.
14. Kim, B. R. *J. Kor. Home Econom. Edu. Assoc.* **2007**, *19*(3), 119-131.
15. Moon, K. A.; Chae, H. K. *J. Korean Chem. Soc.* **2007**, *51*(6), 560-568.
16. Ochiai, E. I. *J. Chem. Edu.* **1995**, *72*(6), 479-484.
17. Duffus, J. H. *Pure Appl. Chem.* **2002**, *74*, 793-807.
18. Uhm, Y, Y.; Kim, Y. J.; Kim, J. S.; Yoon, M. Y. *J. Korean Chem. Soc.* **2000**, *44*(2), 138-144.
19. a) Lee. J. Y.; Kim, I. H.; Lee, S. K. *Environm, Edu.* **1996**, *9*, 30-38. b) Alaimo, S, J.; Doran, R, L. *J. Environ. Edu.* **1980**, *12*(1), 17-21.
20. Eisenkraft, A. *Active chemistry*; Its' About Time: New York, U. S. A. 2007.
21. Suh, J. S. *Chemistry II*; Kum Sung Publishing: Seoul, Korea, 2006.
22. a) Cox, P. A. *Instant notes inorganic chemistry. 2nd Ed.*; BIOS Scientific Publishers: London, U. K. 2004. b) Vallee B. L.; Ulmer D. D. *Ann. Rev. Biochem* **1972**, *41*, 91-128.
23. Detailed recent progress on the biological mechanism of toxic lead by DNA methylation. Pilsner, J. R.; Hu, H.; Ettinger, A.; Sanchez, B. N.; Wright, R. O.; Cantonwine, D.; Lazarus, A.; Lamadrid-Figueroa, H.; Mercado-Garcis, A.; Tellez-Rojo, M.; Hernandez-Avila, M. *Environ. Health Perspec.* http://dx.doi.org, online 25 March, 2009.