

과학기술관련 사회쟁점 (SSI)과 위험교육의 통합적 접근의 필요성 및 교육 모형 탐색

이현주¹, 박영신², 이현옥³, 문공주⁴, 황요한^{5*}

¹이화여자대학교, ²조선대학교, ³강원대학교, ⁴동덕여자대학교, ⁵서울여자대학교

Exploring Educational Models for Integrating Socioscientific Issues (SSI) with Risk Education

Hyunju Lee¹, Young-Shin Park², Hyunok Lee³, Kongju Mun⁴, Yohan Hwang^{5*}

¹Ewha Womans University, ²Chosun University, ³Kangwon National University, ⁴Dongduk Women's University, ⁵Seoul Women's University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 June 2024

Received in revised form

4 July 2024

Accepted 27 July 2024

Keywords:

socioscientific issues, risk, nature of science and technology, instructional model

ABSTRACT

This study aims to explore educational methods to help students and citizens, who are exposed to numerous manufactured risks, better understand the nature of science and technology. It also seeks to develop their ability to identify, analyze, and evaluate the risks associated with science and technology, ultimately enabling them to live safer lives in society. To achieve this, through an extensive literature review, we explored the definition of risk, the necessity of risk education, and the relationship between SSI (Socioscientific Issues) education and risk education. Based on the results, we proposed the SSI-CURE (Socioscientific Issues Centered on the Understanding of Risk and its Evaluation) model, which can systematically educate about risks in the context of SSI. The SSI-CURE model proceeds through the following four steps: 1) Confrontation of SSI, 2) Understanding the Nature of Science and Technology with SSI, 3) Risk Assessment in SSI, and 4) Enactment of Countermeasures for SSI. These steps represent the key elements for education on risks in the context of SSI: Conceptual understanding of risks (risk knowledge), competencies necessary for discussing or addressing risk situations (risk competency), scientific content knowledge needed to understand risks (knowledge in science), and knowledge required to understand the causes of risks and their impacts (knowledge about science). We expect that the SSI-CURE model can be used not only as a guide for instruction but also as a representative framework for developing programs to educate about risks in the SSI context.

1. 서론

2011년 발생한 후쿠시마 원전 사고 이후, 지속해서 생성되고 있는 오염수의 방류와 관련하여 여러 국가와 기관, 시민 단체와 개인의 우려가 크다. 지난 2024년 5월, 일본 도쿄전력은 후쿠시마 제1원자력 발전소 오염수의 6차 해양 방류를 개시했다. 이들은 다핵종 제거설비(ALPS, Advanced Liquid Processing System)를 거쳐 방사성 핵종 물질들을 처리하고 오염수를 희석했으며 시료를 채취해 분석한 결과 기준을 충족했다고 발표하였다.¹⁾ 그러나, 일본 현지 어민과 시민 환경 단체, 한국과 중국을 포함한 주변국은 방류의 안전성에 대해 여전히 우려하고 있다.

우리 사회가 직면하고 있는 위험은 비단 후쿠시마 오염수 방류뿐만이 아니다. 최근에는 지진이나 화산, 가뭄 등의 자연재해로 인한 위험 못지않게 인간 활동, 즉 과학기술의 발달로 인해 ‘생산된 위험(manufactured risk)’도 적지 않다. 화학물질 유출사고, 대형 싱크홀 발생, 심각해지는 환경오염 등 인간의 건강과 안전을 위협하는 사건·사고 등이 계속해서 발생하고 있다. Beck(1992)과 Giddens(1990)는 이미 30여 년 전부터 현대 사회가 직면한 위험의 근저에는 과학기술이 놓여 있으며, 특정 지역이나 사회적 지위를 막론하고 누구나 위험에

노출되어 있다고 강조했다. 이러한 상황 속에서 일부 시민들은 위험을 과대평가하여 지나치게 두려움을 느끼거나, 잠재된 위험을 저평가하여 치명적일 수 있는 요소를 간과하는 실수를 범하기도 한다(Hopkins, 2017). 이에, 위험을 인식·예측·평가하고 합리적으로 대응할 수 있는 역량이 시민으로서 갖추어야 할 중요한 소양 중 하나로 대두되고 있다(Aven, 2023).

그동안 위험과 관련된 연구는 주로 심리학, 과학기술학이나 과학사 회학 등의 학문 분야에서 진행되어 왔다. 심리학 분야에서는 위험인식이나 위험판단에 영향을 주는 요인 등을 파악하는 데 초점이 있었다(Slovic, 1987; Zinn & Taylor-Goodby, 2006). 반면, 과학기술학이나 과학사회학에서는 주요 사건들(예: 원자력발전 사고, 질병, 화학물질 유출 등)에 내재한 과학기술의 본성을 파헤치거나, 대중의 위험인식, 미디어 담론분석, 위험 커뮤니케이션과 거버넌스 등을 탐색해 왔다(Kang, 2015; Seong & Jung, 2007). 과학교육 분야에서 위험을 다루어야 한다는 주장은 Howes(1975)에 의해 처음 제기되었다. 그는 저준위 방사선 맥락에서 위험평가의 중요성과 과학의 한계에 대한 개방적인 토의가 필요하다고 주장하였다. 그 이후 Eijkelhof(1986)가 위험평가, 즉 무엇이 감수할 만한 위험이고 아닌지를 판단하는 것을 과학교육과정에 포함해야 한다고 강하게 주장하였다. 그 이후로 위험

* 교신저자 : 황요한 (yohan@swu.ac.kr)

이 논문은 2023년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 공동연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2023S1A5A2A03083957)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.4.313

1) 연합뉴스 2024.05.17.기사 “후쿠시마 원전 오염수 6차 방류 개시...내달 4일까지 7천800t”

교육에 대한 연구가 많지 않다가, 최근 과학기술관련 사회쟁점 (Socioscientific Issues, SSI) 교육과 연계하여 과학기술의 위험을 가르쳐야 한다는 연구들이 국내외에서 소개되고 있다(Hansen & Hammann, 2017; Pietrocola *et al.*, 2021; Schenk *et al.*, 2021).

SSI는 그 본성상 과학기술로 인한 위험을 다루기에 적합한 맥락을 제공한다(Levinson *et al.*, 2011; Schenk *et al.*, 2021; Wojcik *et al.*, 2019; Zeidler *et al.*, 2005). 과학기술이 인간과 사회, 환경에 미칠 수 있는 영향, 위험이 발생하게 된 원인, 복잡하게 얽힌 이해관계자와 그 관점 간의 대립, 과학기술에 내재된 불확실성과 통제 불가능성 등 현대 과학기술의 본성을 잘 드러내기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 기존의 SSI 교육이 위험을 본격적으로 다루지 못했다는 비판도 적지 않다. SSI 수업의 대부분이 위험을 어쩔 수 없이 발생하는 과학기술의 부작용으로 단순화해서 다루기 때문이다(Covitt & Anderson, 2022; Pietrocola *et al.*, 2021). SSI 교육 관련 선행 연구들을 분석한 Schenk *et al.*(2021)의 연구가 이를 뒷받침한다. 이들은 검색엔진을 통해 SSI 교육관련 주요 연구 387편을 찾아 각 논문에서 위험에 대해 언급하고 있는지와 위험이 왜 발생하는지를 논의하는지 등을 조사하였다. 그 결과, 논문에 포함된 대부분의 SSI가 위험과 관련 있음에도 불구하고, 위험개념과 위험분석 방법을 명시적으로 제시한 논문은 거의 없었으며, 50% 정도의 논문들은 위험에 대해 언급조차 하지 않았음을 확인하였다. 다른 연구자들(Hansen & Hammann, 2017; Schenk *et al.*, 2021)도 SSI 교육이 위험을 다룬다 하더라도 위험의 유형에 따라 위험을 관리하고 대응하는 전략, 전문가가 제시한 데이터와 그에 대한 해석의 타당성 평가, 데이터 수집과 분석 과정에서 발생하는 불확실성과 논쟁 등에 대해서는 충분히 강조하지 않고 있음을 지적하였다.

위험에 대한 인식과 이해는 SSI에 대한 의사결정이나 행동에 영향을 미친다(Jho, 2015; Kolsto, 2006). 특히, 위험의 본질에 대한 이해는 과학기술의 본성에 대한 이해를 높여줄 뿐만 아니라 과학지식을 위험 상황에 적용해보는 탐구 맥락으로 안내한다(Hansen & Hammann, 2017; Sadler, 2009; Schenk *et al.*, 2021). 또한 위험과 관련된 실제 데이터를 분석하고 모델링하는 과정은 우리가 위험 상황을 어떻게 해석하고 적절히 대응해야 하는지에 대해 학습할 수 있는 기회를 제공한다(Levinson *et al.*, 2011; Peel *et al.*, 2019; Sadler *et al.*, 2020). 따라서, SSI 교육에서 위험에 대한 탐색을 강조하는 통합적 접근은 우리의 삶에서 당면하는 여러 위험 상황에 합리적으로 대응할 수 있는 역량을 기르는 데 기여할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 SSI 맥락에서 과학기술 위험을 식별하고 이를 종합적으로 분석 및 평가하는 과정의 교육적 함의와 접근 방법을 탐색해 보고자 한다. 이를 위해, 본 연구자들은 우선 위험의 의미와 위험 교육의 필요성을 탐색하고, SSI 교육과 위험을 연결 짓는 선행 연구를 분석하였다. 또한 이를 기반으로 SSI 맥락에서 위험교육을 수행할 때 고려해야 하는 핵심 요소들을 도출하였으며, 교육프로그램을 개발하는 데 기초가 되는 교육 모형(SSI-CURE)을 제안하였다. 본 연구는 SSI 교육과 위험교육을 통합적으로 접근하는 좋은 사례를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 위험의 의미와 위험교육

‘위험’에 대한 정의는 여러 학자들에 의해 논의되어 왔다. 위험 분야의 대표 학자인 Aven(2012)은 그의 논문에서 위험의 개념을 역사적으로 분석한 후, 위험에서 강조되고 있는 요소들을 중심으로 그 정의를 9개로 분류하였다. 또한 위험의 정의가 변화되어 온 과정을 6개의 유형으로 나누어 설명하였다(Figure 1 참조, p. 40). 그는 각각의 위험에 대한 정의가 특징과 제한점을 가지고 있기는 하나, 현재 받아들여지고 있는 가장 타당한 정의는 위험을 ‘결과(Consequences)’와 ‘불확실성(Uncertainty)’을 결합하여 정의한 것(C&U)이라고 설명하였다. 여기서 ‘결과’는 개념적으로(실제로는 바람직하지 않은 결과에 초점을 두더라도) 특정 사건과 행위의 긍정적(바람직한) 결과와 부정적(바람직하지 않은) 결과를 의미한다. 바람직 또는 바람직하지 않음은 가치(예: 환경, 건강, 자산 등)를 내재하고 있기 때문에, 특정 위험 사건은 모든 사람들에게 부정적인 결과만을 초래하는 것은 아닐 수 있다. ‘불확실성’도 사건이 일어날 정량적인 확률이나 수치만을 의미하는 것이 아니라 정성적(주관적) 측면의 의미도 포함한다. 즉, 위험은 미래의 불확실성을 인정하고 부정적인 영향을 초래할 수 있는 인간 활동의 인과관계 메커니즘을 조절하여 바람직하지 않은 결과를 줄이거나 피할 수 있다고 보며, 이러한 점에서 유사 단어(예: hazard, disaster, harm, danger, peril 등)와 차별성을 갖는다.

위험에 대한 여러 학자들(Hansen & Hammann, 2017; Lupton, 1999; Renn, 1998; Singleton *et al.*, 2009)의 관점을 종합해 보면, 크게 실재론적(realist 또는 positivist) 패러다임과 구성주의적(constructivist) 패러다임으로 나누어진다. 실재론적 패러다임은 위험을 계산 가능한 정량적 특성으로 가정하여, ‘사건 발생 시 피해의 확률(probability)’과 ‘피해의 심각성(severity)’의 곱으로 나타낸다(Crouch & Wilson, 1983; Levinson & Turner, 2001). 이 패러다임에서는 부정적인 사건을 ‘인간이나 생태계에 대한 물리적 피해’로 정의하며, 통계적 확률이나 외삽 등을 통해 이를 예측하거나 평가하여 피해를 최소화하고자 한다. 따라서 통계와 확률에 대한 기초 소양을 토대로 위험과 관련된 데이터를 해석할 수 있는 역량과 전문가의 위험분석 결과를 이해하고 합리적으로 의사결정하는 역량을 강조한다(Till, 2014).

반면, 구성주의 패러다임에서의 위험에 대한 정의는 불확실한 세계에서 위험을 이해하고 대처하는 인간의 주관적 인식(risk perception)이라는 점에 초점을 두고 있다(Burgess, 2015; Hansson, 2010; McDaniel, 1998; Slovic, 1999). 즉, 위험인식은 개인, 문화 및 사회적 특성에 영향을 받는 정서적 요인과 인지적 과정의 복잡한 상호작용을 통해 나타나기 때문에(Gardner & Jones, 2011), 위험의 객관성보다는 맥락성에, 위험의 예방보다는 사회적 작동방식에 관심을 둔다(Kang, 2008). 이 패러다임에서 위험교육은 학생들이 위험을 사회적 맥락과 구조 속에서 이해하고, 왜곡된 위험인식을 극복하도록 인지 조절을 촉진하는 데 목적이 있다.

최근 과학교육 분야에서는 위험에 대한 이 같은 이분법적 접근보다는 통합적인 접근이 더 바람직하다는 주장이 제기되고 있다(Christensen, 2009; Levinson *et al.*, 2011; Schenk *et al.*, 2019). 통합적 접근의 대표적 예로는 영국에서 진행되었던 Promoting Teachers’ Understanding of Risk in Socio-scientific Issues (TURS) 프로젝트(Levinson *et al.*, 2011)와 스웨덴의 RISKEDU 프로그램(Schenk *et al.*, 2019; Wojcik

et al., 2019) 등이 있다. Levinson et al.(2011)은 SSI 의사결정에서 위험에 대한 정량적, 정성적 이해와 분석의 필요성을 인지하고, ‘데보라의 딜레마’라는 시나리오에 포함된 위험을 분석하는 소프트웨어를 개발하였다. 이 시나리오는 데보라의 입장에서 다양한 의료 전문가의 조언을 기반으로 척추 수술을 받을지의 여부를 결정하도록 요청한다. 학습자는 소프트웨어를 통해 수술의 성공률 및 부작용의 확률, 일상 생활에서 하는 다양한 신체활동이 데보라의 고통을 어느 정도 증감시키는지 등을 수치적으로 추정해 본다. 여기서 연구자들은 학습자가 위험을 정량화하는 기회를 제공할 뿐만 아니라, 다양한 변인들을 조정하고 해석하는 과정을 거치게 함으로써 수치적인 확률모델이 지닌 한계도 동시에 인지하도록 의도하였다.

스웨덴의 RISKEDU 프로젝트는 고등학생들이 원자력발전, 무선 통신, 생명공학과 같은 현대 과학기술 분야에서 발생하는 위험을 평가하고 정보에 기반한 의사결정을 할 수 있는 역량을 개발하는 것을 목표로 진행되었다. 이들은 특히 위험을 평가하는 방법을 학생들에게 가르치는 교수학습 방법을 모색하기 위해 노력했으며, 그 이론적 배경과 교육 효과성에 대한 연구물이 최근 발표되고 있다. 그 중 Wojcik et al.(2019)은 고등학생들에게 방사선과 관련된 위험을 가르치는 프로그램을 운영하였다. 이들은 저용량 방사선이 건강에 미치는 수준은 정확히 밝혀지지 않았으나, 그 불확실성 때문에 일반인들은 적은 양의 방사선이라도 노출되는 것에 대해 매우 민감하게 반응하고 있음에 주목하였다. 예를 들어, 음식의 보존을 위해 사용되는 저용량 방사선의 영향을 해석하는 데에도 일반인과 과학자 집단의 의견이 종종 상반된다. 이들은 방사선 노출에 대한 지나친 공포를 줄이기 위해 위험에 대해 구체적으로 이야기하는 과정이 필요하다고 주장했다. 즉, 단순히 관련된 과학적 사실을 제시하는 것을 넘어, 다각적인 측면에서 위험에 대해 토의 및 분석하고, 그 정보를 기반으로 의사결정을 할 수 있도록 돕는 것이 중요하다고 보았다. 이에, 이들은 학생들에게 위험에 대해 전문가와 토의할 수 있는 기회를 제공하였고, 그 결과 2/3의 학생들이 위험과 그에 대한 수용 가능성에 대해 양적 또는 질적인 평가를 진행하는 것을 확인했다. 결과적으로 TURS나 RISKEDU 프로젝트는 위험을 정량적, 정성적으로 분석해보는 과정을 제공함으로써 학생들이 위험에 대해 종합적으로 평가하고 이해하며, 나아가 위험상황에서 보다 합리적으로 대응하는 역량을 기르도록 하였다.

III. SSI 교육과 위험에 대한 통합적 접근의 필요성

SSI 교육은 과학기술로 인한 위험을 다루고 있으나 그 위험에 대해 적극적으로 탐색하지는 않아 왔다(Schenk et al., 2021). 대부분 특정 과학기술이 일으킬 수 있는 피해를 예상해 보도록 함으로써 SSI 해결의 시급성을 강조하기 위한 목적으로 위험을 언급하거나, 해당 SSI에 대해 찬반 논쟁을 할 때 반대쪽 입장의 주요 근거로 활용했다. 예를 들어, Lee et al.(2014)이 제안한 집단지성에 기반한 SSI 수업모형을 살펴보면, SSI를 둘러싼 다양한 논점들을 이해하고 조율해 나가는 과정에 초점을 두고 있다. 일부 모형에서 미래 상황을 예측하게 함으로써 SSI로 인해 야기될 수 있는 위험에 대해 논의할 기회를 제공하는 하지만, 왜 이와 같은 위험이 발생하며, 이러한 위험이 어느 정도의 위험인지를 평가하거나 어떻게 대응하고 관리해야 하는지에 대해 구

체적으로 논의하도록 권장하고 있지는 않다. 과학기술의 본성에 대한 이해를 바탕으로 SSI에 대한 과학적·공학적 문제해결을 하도록 안내하는 ENACT 프로젝트(Lee et al., 2020)의 경우에도 이와 유사하다. 프로젝트 수행 과정에서 과학기술의 사회적 함의에 대해 논의하고, 미래 상황에 대해 예측해 보며, 여러 이해관계자와의 소통을 통해 위험에 대해 보다 구체적으로 논의할 수 있는 기회를 제공하기는 하지만, 위험분석의 필요성이나 방법에 대해서는 구체적으로 명시하고 있지 않다.

하지만, SSI를 다루는 과정에서 위험을 적극적으로 포함해야 한다는 주장은 일찍부터 있어 왔다. Cross(1993)는 과학기술로 인한 사회적 쟁점들을 다루는 과정에서 평가나 위험 관리의 중요성이 높아지기 때문에 이를 과학적 소양의 개념에 포함해야 한다고 주장하였다. Jenkins(2000)도 사회가 더욱 복잡해지고 불확실성이 증가함에 따라 학교에서 배우는 과학의 예측력이나 설명력만 강조하는 것은 충분치 않음을 언급하면서, 과학교육에 위험에 대한 평가를 포함하는 방향으로 패러다임이 변화해야 한다고 설명하였다. Christensen(2009)도 현대 사회의 불확실성과 위험이 증가함에 따라 학교 과학에서 이를 반드시 다루어야 한다고 주장하였다.

과학교육이 학생들에게 과학과 관련된 유용한 지식을 가르치는 것이라면, 학생들이 과학의 불확실한 측면에 대해서도 논의할 수 있도록 해야 한다. 과학지식의 불확실성에 대해 논의하는 것은 과학의 가치를 떨어뜨리는 일이 아니다. 또한 과학지식의 신뢰성이나 무수한 과학적 발견들이 우리가 직면한 많은 문제를 해결하는 데 있어 중요한 역할을 해왔다는 사실도 부정하는 것이 아니다. 하지만, 학교 과학은 과학의 이러한 불확실한 측면을 거의 다루지 않는다. 그리고 지금 우리는 그 결과가 어떤 것인지를 보고 있다(Christensen, 2009, pp. 208-209).

Christensen은 현재 학교 교육이 과학의 불확실성과 그로 인한 위험에 대해 다루고 있지 않음을 강하게 비판하였다. 마치 학교에서 과학의 불확실한 측면을 다루는 것이 과학의 절대적 가치를 폄하하는 것으로 생각하는 암묵적 분위기도 지적하였다. 그러나 학생들이 삶 속에서 과학을 영위하며 안전하게 살아갈 수 있기 위해서는 이러한 불확실성에 대한 이해가 필수적이라고 주장했다. Pietrocola et al.(2021)도 유사한 입장을 취했다. 이들은 COVID-19 팬데믹 상황을 ‘제조된 위험(manufactured risk)’의 예시로 들면서, 현재 학교 교육이 이와 같은 위험을 충분히 준비하지 못하고 있다고 비판했다. 또한 지난 15년 동안 SSI 연구자들이 과학기술의 부작용에만 초점을 두고 인간 및 환경 위험과의 연결이나 논쟁과 불확실성의 원천을 밝히는 데에는 별로 주목하지 않았다고 지적했다. Covitt & Anderson(2022)도 일반인을 대상으로 한 SSI에 대한 커뮤니케이션에서 불확실성을 생략하거나 과도하게 단순화하는 경향이 있다고 설명하였다. 이들은 일반인이 위험이 내포하고 있는 불확실성의 분석과 양적인 표현을 충분히 이해하지 못하면, SSI 의사결정에 대해서도 회의적일 수밖에 없다고 보았다.

종합하면, 과학교육과 위험교육의 통합은 현대 사회가 요구하는 과학적 소양을 함양하기 위해 학생들이 과학지식(knowledge in science) 뿐만 아니라 과학에 대한 지식(knowledge about science)도 함께 갖추어야 한다는 관점에서 비롯되었다. 여기에, SSI가 급속하게 증가함에 따라 위험에 대한 합리적인 의사결정과 대응의 필요성도

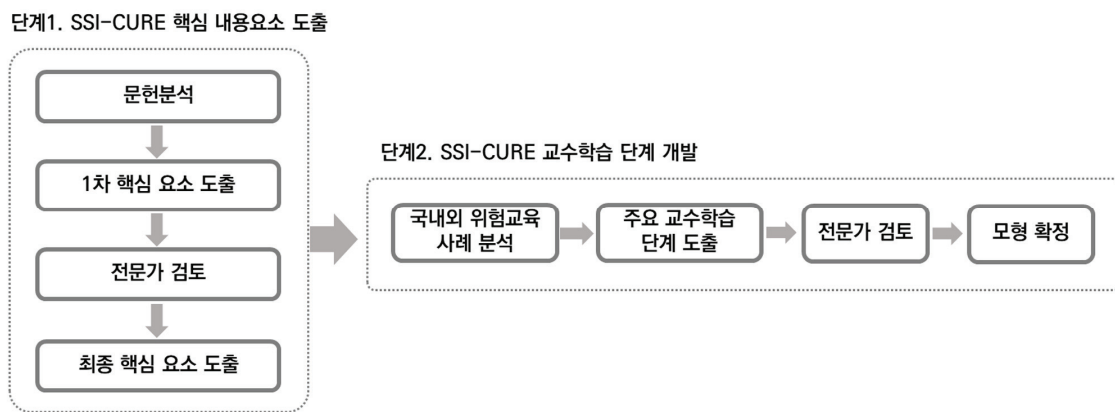


Figure 1. Process of the SSI-CURE model development

높아졌다. SSI는 과학기술의 본성을 내포하여 위험에 대해 심도 있게 이해할 수 있는 맥락을 제공하기 때문에 위험교육과 자연스럽게 통합 될 수 있다는 관점이 제기되었다. 이러한 통합의 필요성은 과학교육 분야에서만 제기된 것은 아니다. Aven(2023)은 위험교육의 맥락에서 위험소양(risk literacy)이 과학적 소양(science literacy)과 연결되어야 하는 이유를 설명하였다. 그는 과학을 이해하는 것(‘위험과학(risk science)’이라고 칭함)은 위험을 이해하는 데 도움을 줄 수 있으며, 반대로 위험소양에 대한 연구가 과학적 소양을 높이기 위한 연구에도 시사점을 줄 수 있다고 보았다. 그러나 그는 위험소양은 과학적 지식에 기반한 설명을 이해하는 것을 넘어, 불확실성이 큰 상황에서 그 과학지식을 어떻게 해석하고, 위험신호를 인지하며 행동해야 하는가도 포함되어 있다고 설명하였다.

그렇다면, 위험교육과 과학교육을 어떻게 통합할 것인가? Schenk et al.(2019)은 과학교육과 위험을 통합하는 방법을 두 가지로 구분하여 설명하였다. 첫째는 ‘위험에 대해 가르치는 것(teaching about risk)’으로, 위험의 본질과 그것이 어떻게 의사결정에 사용되는지를 연결하는 데 집중하는 접근을 의미한다. 이를 위해서는 학생들이 SSI와 같은 위험 관련 논쟁을 분석하고 비판적으로 참여하는 과정에서 위험을 표현하는 여러 가지 방법, 예측되는 결과와 그 심각성, 위험판단에 다양한 가치가 작용하는 등의 특성을 이해하도록 하는 것을 강조한다. 둘째로, ‘위험을 통해 가르치는 것(teaching through risk)’이다. 즉 다양한 위험 사례를 활용하여 학생들이 특정 과학지식을 이해하고, 과학적 탐구과정에 참여하며, 가치 판단 등을 하는 기회를 제공하는데 초점이 있다. 교사가 과학수업에서 위험을 가르칠 때, 이 두 가지 방법의 하나만을 선택할 필요는 없다. 그렇지만, Schenk et al.(2019)의 구분은 우리가 과학교육에서 위험을 다룰 때 무엇을 초점을 두어야 하는가에 대해서 생각해 보게 한다. 첫 번째 접근에서 강조하는 위험의 본질은 과학기술의 본성이나 사회적 함의 등과 맞닿아 있어 과학기술의 본성을 이해하고 적용하는 데 효과적일 수 있다. 또한 두 번째 위험을 통해 가르치는 것은 의미 있는 과학학습 맥락을 제공하여(Park, 2020; Sadler, 2009), 과학 학습의 효과를 높이고 나아가 다양한 탐구활동에 참여하게 이끌 수 있다. 즉, 과학교사가 어떠한 접근을 사용하든지 간에, 과학교육과 위험교육의 결합은 과학기술의 불확실성과 복잡성에 대한 이해뿐만 아니라 과학지식이 위험 문제를 비롯한 SSI에서 어떻게 적용되고 해석될 수 있는지 등에 대해 학습할 기회를 제공할 수 있다.

IV. SSI 교육과 위험의 통합적 접근 방법: SSI-CURE 모형 (Socioscientific Issues Centered on the Understanding of Risk and its Evaluation)

본 연구에서는 과학교육과 위험의 통합적 접근을 위해 Figure 1과 같은 절차에 따라 SSI-CURE(발음은 SECURE와 유사함) 모형을 개발하였다. SSI-CURE 모형은 학생들이 직면한(선택한) SSI 맥락에서 위험을 유발할 수밖에 없는 과학기술의 본성을 이해하고, 주어진 맥락 속에서 위험 요소를 식별하고, 분석하고, 종합적으로 평가해봄으로써 학생들이 더 합리적으로 위험 상황에 대해 대처하고 나아가 지속가능한 SSI 해결방안을 모색할 수 있는 역량을 기르는 데 목적이 있다. Schenk et al.(2019)이 제시한 과학교육과 위험을 통합하는 방법 중 하나를 인용한다면, SSI-CURE는 SSI에 포함된 “위험을 통해(through risk)” 과학지식과 과학에 대한 지식, 위험의 본질을 이해하고, 위험을 종합적으로 평가해봄으로써 합리적으로 SSI를 해결하고 위험에 대처하도록 교육하고자 한다.

SSI-CURE 모형의 개발은 Figure 1과 같이 크게 두 단계로 진행되었다. 단계1은 과학교육과 위험의 통합적 접근을 위해 개념적으로 포함해야 할 핵심 내용 요소들을 문헌 분석과 관련 분야 전문가 검토를 거쳐 도출하는 단계이다. 단계2는 핵심 내용요소가 반영된 교수학습 모형을 구성하기 위해 국내외 위험교육 프로그램 사례를 분석하고 주요 교수학습 단계를 도출한 후 전문가 검토를 받는 과정으로 진행되었다.

1. SSI 교육과 위험교육의 통합을 위한 핵심 내용요소 도출(단계1)

가. 문헌 분석을 통한 1차 핵심 내용요소 도출

본 연구자들은 SSI-CURE 모형에 포함해야 할 핵심 내용요소를 도출하기 위해 위험교육, 위험심리, SSI 교육, 대중의 과학 이해, 과학기술학 분야 등에서 관련 문헌들을 찾아 분석하였다. 과학교육자들은 과학교육의 관점에서 위험을 통합해야 하는 이유나 달성하고자 하는 목표를 설명하거나, 개념적으로 고려해야 할 요소들을 제안하였으며, 위험교육 분야의 학자들은 위험교육의 입장에서 과학교육과 연계될 수 있는 요소들을 직·간접적으로 제시하였다. 몇 가지 주요한 문헌을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, Eijkelhof(1986, 1996)와 Christensen(2009)의 연구는 과학교육에서 위험을 다루어야 한다고 명시적으로 주장한 대표적인 논문이다. 이 논문들은 SSI 교육과 위험교육을 통합할 때 고려할 내용 요소에 대해 광범위하게 제시하고 있지는 않다. 그러나 Eijkelhof는 방사성 물질의 잠재적 위험을 주제로 교육할 때 학생들이 합리적인 의사결정을 하도록 돕기 위해서는 그 과학기술이 사회에 미치는 긍정적·부정적 영향뿐만 아니라, 관련된 과학지식의 이해 및 위험의 영향력이나 일반인의 방사성 물질에 대한 인식 등에 대한 이해가 필요하다고 설명하였다. Christensen(2009)은 과학기술의 ‘불확실성’에 대한 이해를 가장 강조했다. 실제 세계의 상황은 복잡하고 여러 변수가 작용하여 선형적 인과관계는 거의 존재하지 않음에도 불구하고, 학교 과학은 변수를 통제하여 원인과 결과 사이의 직접적인 관계를 보여주는 것에만 주로 초점을 맞추고 있다고 비판했다. Zink & Peyton(2001)은 위험을 “피해(harm)가 발생할 수 있는 확률”(p. 47)로 정의한 후, 과학교육과 위험교육의 연계를 통해 달성할 수 있는 10개의 목표를 제시하였다. 이들은 위험교육에 포함되어야 할 요소를 명시적으로 제시하고 있지는 않지만, 이들이 제시한 목표로부터 위험교육에 포함할 수 있는 요소를 유추해 볼 수 있다. 이들이 제시한 목표는 1) 위험 상황에 대한 의사결정 능력, 2) 위험의 유형과 크기를 평가하는 과학적 접근에 대한 평가, 3) 과학적으로 계산된 위험 예측(확률)에 대한 해석, 4) 대중매체가 타인의 위험인식에 미치는 영향 평가, 5) 주변인의 의견이나 행동이 타인의 위험인식에 미치는 영향 평가, 6) 개인의 편견이 타인의 위험에 대한 판단에 미치는 영향 평가, 7) 위험의 특성이 타인의 위험인식에 미치는 영향 평가, 8) 개인의 위험인식이 타인의 관련된 행태에 미치는 영향 평가, 9) 위험 관련 정보를 수집하고 평가하며 적절하게 활용하는 능력, 10) 위험 관리를 위해 관련된 이해관계자를 알고 참여하도록 하는 능력을 포함한다. 즉, 대부분의 목표들이 위험인식에 영향을 미치는 여러 가지 요인들을 인지하고 위험을 평가할 수 있는 역량을 강조하고 있다.

이 논문들에 비해 보다 구체적으로 과학교육과 위험교육을 통합하는 방법을 제안한 연구들도 있다. Hansen & Hammann(2017)은 과학교육과 위험교육을 연계할 때 포함해야 할 핵심 요소들을 가장 구체적으로 제안한 연구라 할 수 있다. 위험의 개념뿐만 아니라 위험역량에 대해서도 언급하고 있으며, 과학교육과 연계될 수 있는 부분까지도 함께 제안하고 있다는 점에서 주목할 만하다. 이들이 도출한 핵심 요소는 크게 1) 과학지식과 통계/확률에 대한 이해(Scientific knowledge and statistics/probability), 2) 과학에 대한 지식(knowledge about science), 3) 위험평가(risk assessment)로 구성되어 있다. ‘과학지식과 통계/확률에 대한 이해’는 위험 이슈와 관련된 과학지식을 갖추어야 할 뿐만 아니라 전문가의 위험분석 결과를 이해하는 데 필요한 기본적인 통계 및 확률에 대한 지식이 필요함을 의미한다. ‘과학에 대한 지식’은 불확실성에 대한 이해와 인간 활동으로서의 과학에 대한 이해를 포함하고 있다. 불확실성은 특히 최첨단 과학 분야의 경우 전문가 간에 다른 의견이 제시되거나 다른 결과 해석을 하는 경우에 대해 이해할 필요가 있으며, 위험 문제는 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 위험의 영향을 정확하게 알기 어렵다는 점에서 불확실성을 이해해야 한다고 설명하였다. 인간 활동으로서의 과학은 과학연구가 갖는 사회적 영향력과 동시에 한계를 이해하고, 다양한 이해관계자로서 얽혀져 있으며, 과학자의 신념이나 가치판단이 관여할 수 있음

을 이해해야 함을 뜻한다. 마지막으로 ‘위험평가’는 위험 문제에서 드러나는 위험과 이득의 파악, 위험-이득 분석의 수행, 논증의 구성 등이 중요하다고 설명하였다.

Schenk *et al.*(2019)도 Hansen & Hammann(2017)과 마찬가지로 위험교육과 과학교육을 연계하기 위한 모델을 제시했다. 이들이 제시한 모형은 스웨덴의 RISKEDU 프로젝트의 이론적 틀이다. 이 모형은 크게 위험개념에 대한 ‘핵심 요소(core elements)’와, 위험의 핵심 개념은 아니지만 위험문제의 맥락화와 이해에 중요한 ‘프레임 요소(frame elements)’로 구성되어 있다. 이들은 Hansen & Hammann(2017)가 제시한 것에 비해 위험개념을 명확히 규정하고 이에 접근할 수 있는 방법도 함께 제시하였다는 점에서 특징이 있다. 이들은 Aven(2012)이 위험을 결과(consequence) 및 확률(probability), 불확실성(uncertainty) 등을 포함하는 개념으로 정의하는 것에 주목하고, 여기에 결과의 본성인 심각성(severity)을 추가하였다. 프레임 요소로는 지식, 가치, 활동을 제안하였는데, 이는 위험에 대해 다양한 접근이 가능함을 시사한다. 예를 들어 과학지식(예: 에너지 효율)을 학습하는 것으로부터 위험교육(예: 원자력 발전의 효율성과 안정성에 대한 교육)을 시작할 수도 있고, 다양한 탐구활동(예: 다양한 신재생에너지원에 대한 탐색)을 통해 위험(예: 각 에너지원이 가져올 수 있는 위험)을 다룰 수도 있다. 주목할 만한 것은 ‘가치’인데, 위험을 분석하고 평가하는 과정에서 서로 다른 입장의 사람들(예: 원자력 발전 관계자, 소비자, 환경운동가, 근로자 등)은 그들의 입장에 따라 동일한 수준의 위험에 대해서도 다른 인식과 해석을 할 수 있음을 이해하도록 하는 방법으로 위험을 접근할 수 있다고 설명하였다(이러한 이유로 Table 1에서 ‘위험인식’에 표시함).

위험교육의 입장에서 과학교육과의 통합을 언급한 대표적인 학자는 Aven과 그의 동료들이다. Aven & van Kessenich(2020)는 학생들에게 위험과 위험분석에 대해 가르치는 것의 의미와 교육적 목표에 대해 논의하였다. 이들은 이후 이를 위험소양의 개념으로 발전시켰다(Aven, 2023). Aven(2023)은 위험소양과 과학적 소양과의 연관성을 언급하였고, 위험소양으로 4개의 요소를 제시하였다. 첫째는 위험개념(risk concept)인데, 가장 중심적인 개념이 불확실성이라고 설명하였다. 둘째는, 확률지식(probability and knowledge)이다. 그는 전통적인 통계 수치에 대한 해석의 한계를 지적하면서, 현대 사회에서는 불확실성을 제대로 설명하고 이해하는 과정이 중요하다고 설명하였다. 셋째는 위험에 대한 이해와 평가(understanding and evaluating risk)이다. 전문가와 일반인의 위험인식이 다르듯이, 개인의 사회, 문화, 심리적인 요인에 따라 위험을 주관적으로 인식할 수 있음을 이해하는 것이 중요하다는 것이다. 또한 위험평가는 위험의 중요성과 수용 가능성을 결정하는 과정인데, 이것이 위험에 대한 의사결정을 할 때 매우 중요한 기초가 된다고 설명하였다. 마지막 요소는 다른 세 가지 요소를 기반으로 한 위험에 대한 의사결정(risk and decision-making)이다.

지금까지 논의된 핵심 내용요소들을 정리하면 Table 1과 같다. 이 내용요소들은 크게 4개의 범주로 나누어진다. 위험 자체에 대한 개념적 이해(위험지식), 위험상황에 대해 논의하거나 대처하는 데 필요한 역량(위험역량), 위험을 이해하기 위해 필요한 과학 내용지식(과학지식, knowledge in science), 위험이 발생하는 원인과 위험이 미치는 영향을 이해하기 위해 필요한 지식(과학에 대한 지식, knowledge about science)이 이에 해당된다. 문헌 분석 결과에 따르면, ‘위험지식’과 관련

Table 1. Key elements of risk education in previous studies

관련 문헌	핵심 범주와 내용요소	위험지식			위험역량			과학에 대한 지식			
		(위험 수치의) 불확실성	확률	결과와 심각성	위험 인식	위험분석/평가	의사결정/대응	과학 지식	(과학 기술의) 불확실성	복잡성	사회적 함의
Eijkkelhof(1986, 1996)				✓	✓	✓	✓	✓			✓
Christensen(2009)									✓	✓	✓
Levinson <i>et al.</i> (2011)		✓	✓	✓		✓	✓				
Hansen & Hammann(2017)			✓			✓		✓	✓	✓	✓
Schenk <i>et al.</i> (2021)		✓	✓	✓	✓			✓			
Zink & Peyton(2001)			✓	✓	✓	✓	✓				
Aven(2023), Aven & van Kessenich(2020)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

해서는 정량적 데이터가 내포하고 있는 불확실성, 확률의 개념, 결과와 심각성에 대한 이해를 가장 핵심으로 보았다. ‘위험역량’과 관련해서는 개인이 위험을 인식하는 특성(주관성)에 대해 인지하고, 위험과 관련된 수치나 통계를 위험의 개념과 연관 지어 제대로 이해하고 설명할 수 있으며, 이를 종합적으로 판단하여 의사결정할 수 있는 능력을 중요하게 보았다. 또한 위험상황을 이해하기 위해 적절한 ‘과학지식’을 적용하고, 과학기술의 본성, 즉 과학지식은 인간 활동의 산물이기 때문에 불확실성, 복잡성, 사회적 함의를 가질 수밖에 없다는 ‘과학에 대한 지식’을 갖추는 것을 중요하게 고려하고 있었다.

나. 전문가 검토를 통한 최종 내용요소 도출

본 연구자들은 Table 1에서 제시한 내용요소에 대해 가슴기살균제 사건 등에 대해 연구해 온 과학기술사회학 전문가와 위험상황에 대한 심리학을 연구해 온 전문가의 검토를 받았다. 연구자들과 전문가와의 회의는 3시간 가량 진행되었고, 연구자들은 본 연구의 주된 목적과

방향, 전문가들은 위험과 관련하여 수행한 연구 내용을 공유하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서 도출한 내용요소와 교수학습 단계에 대한 의견을 수렴하였다. 과학기술사회학 전문가는 가슴기 살균제로 인한 쟁점과 관련한 연구를 수년간 진행해 왔기 때문에 과학기술 위험에 초점을 두어 핵심 내용요소들을 검토하였으며, 위험 심리학자는 일반인의 위험에 대한 인지 방식을 고려하여 핵심 내용요소 및 교수학습 과정에 대한 의견을 제공하였다. 이들은 4개의 범주에 대해서는 동의하였다. 다만, 일부 요소의 용어 변경을 제안하여 최종 Table 2와 같이 수정하였다.

위험역량과 관련해서는 본 연구자들 간 논의가 있었다. 기존의 위험역량 관련 문헌을 살펴보면 위험인식(risk perception), 위험평가(risk assessment), 위험관리(risk management)가 중요한 요소로 언급되고 있다(Covitt *et al.*, 2005; Gardner *et al.*, 2009; Jho, 2015). 그러나 본 연구에서는 위험식별(risk identification), 위험분석(risk analysis), 위험평가(risk evaluation)로 명명하였다. 사실, SSI에 대한 토의 과정에서 위험에 대한 인식은 자연스럽게 나타난다(Kolsto, 2006; Simonneaux

Table 2. Key elements of risk education in the context of SSI

범주	핵심 내용요소	개념
위험지식	• 결과와 심각성	• 결과는 손실, 사건 또는 결과(후자 두 가지는 부정적인지 여부와 관계없이)를 모두 포함하는 용어이며, 심각성은 결과의 본성임. 심각성을 정의할 때 신체적·경제적·환경적 영향을 비롯하여 규모에 따라 국지적/광범위 또는 단기적/장기적 등을 고려할 수 있음.
	• 확률과 불확실성	• 확률은 어떤 사건이 일어나 가능성을 수로 표현한 것이며, 확률적 분석은 위험분석에 관련된 불확실성을 다루는 데 사용되는 주요 방법임. 불확실성은 우리가 어떤 사건이 일어날 확률을 잘 모르는 경우에 발생하며 이를 확률로 표현한 경우에도 확률 자체가 확정적이지 않을 수 있음을 의미함
	• 가치내재성	• 동일한 위험도 사회적·문화적·경제적·환경적 상황 등에 의해 그 피해와 인식이 다를 수 있음. 또한 위험을 식별하고 분석하는 과정에서 이해관계자가 어떻게 얽혀져 있는가에 따라 다른 관점이나 가치, 우선 순위가 반영될 수 있음을 의미함.
위험역량	• 위험식별	• 과학기술과 연계된 특정 활동이나 상황에서 발생할 수 있는 잠재적인 위험 요소를 체계적으로 찾아내고 명시하는 과정
	• 위험분석	• 위험의 결과나 심각성, 위험 발생 확률과 결과의 불확실성에 대한 분석 및 해석 과정
	• 위험평가	• 위험에 대한 의사결정을 하기 위해 분석한 내용을 종합적, 비판적으로 평가하는 과정
과학지식	• 과학지식	• 위험을 이해하는 데 필요한 과학 내용 지식
과학에 대한 지식	• 과학기술의 사회적 함의	• 과학기술의 개발이 인간, 환경, 사회 등에 긍정적·부정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 사회·경제·문화적 요구 등에 의해 과학기술이 새롭게 창출되는 등 서로 영향을 주고 받음.
	• 과학기술의 복잡성	• 과학기술의 생성과 적용의 과정에는 다양한 이해관계자가 존재하며 복잡하게 얽혀져 있어 발생하는 속성. 과학기술의 대형화로 인해 더욱 복잡해짐.
	• 과학기술의 불확실성	• 인간의 오류, 인간 인지의 한계, 인간 가치의 영향을 비롯하여 자연계의 무작위성 및 복잡한 상호작용 등으로 인해 발생하는 과학기술의 예측불가능한 본성
	• 과학기술의 통제 불가능성	• 특정 과학기술이 사회에 안착되면 해당 기술과 관련된 새로운 이해관계자가 증가하면서 그들 사이에 이해관계가 고착화되어, 해당 기술시스템의 목적과 방향성 및 변화 속도가 일정하게 유지되어 변화가 어렵게 되는 속성.

et al., 2013). 다만, 선행 연구(Hansen & Hammann, 2017; Pietrocola et al., 2021; Schenk et al., 2019)에서 언급된 것처럼, 기존의 SSI 수업에서는 과학기술의 부작용으로서 위험을 인식하고 결과에만 초점을 두고 있으며, 그 이상의 탐색을 진행하지 않는다는 한계가 있다. 이에, 본 연구자들은 위험분석을 위해 SSI 맥락에서 무엇이 위험요소 인지를 명확히 파악할 수 있는 역량(‘위험식별’)을 중요하게 포함하였다. 또한 데이터를 기반으로 위험의 결과나 심각성, 위험 발생 확률 등을 분석하고 해석하는 역량(‘위험분석’)을 강조하였으나, ‘위험평가’와 개념적으로 구분하였다. ‘위험평가’는 우선되는 가치나 수용가능성, 다양한 집단의 이해관계 등을 고려하여 위험을 종합적·비판적으로 평가하는 역량을 의미한다. 이는 SSI에 대한 의사결정이나 문제 해결의 기초가 된다(Aven, 2023). 반면, ‘위험관리’는 위험역량에서 제외하였다. 실제로 위험관리 분야 문헌을 살펴보면, 대부분 재해재난에 대한 피해보상이나 회복을 위한 노력에 초점을 두고 있다. 위험교육에서 매우 중요한 요소임에는 분명하나, 학교 현장의 SSI 수업에서 ‘위험관리’를 적용하는 것은 한계가 있다고 판단하였다.

2. SSI 교육과 위험교육의 통합적 접근을 위한 교수학습 모형 개발 (단계 2)

가. 해외 사례 연구를 통한 주요 교수학습 단계 도출

본 연구자들은 위험과 관련된 해외 교육프로그램 사례들을 찾아 내용과 교수 방법을 분석하였다. 이때 일반적인 재해·재난 교육이 아닌 과학기술의 발전으로 인해 생성된 위험, 즉 SSI와 연계된 프로그램으로 제한을 두어 탐색하였다. 대표적인 프로그램은 앞에서 소개한 TURS(Levinson et al., 2011)와 RISKEDU(<https://www.riskedu.se/>)를 들 수 있으며, 그 외에도 밴더빌트 대학에서 개발된 위험교육 커리큘럼 개발 프로젝트(<https://www.vanderbilt.edu/risk-education/>)나 노스캐롤라이나 대학의 COVID 19 팬데믹 교육프로그램(Sadler et al., 2020) 등이다. 이 프로그램들은 위험교육에 포함할 주요 내용요소 뿐만 아니라 위험의 정량적, 정성적 분석이 포함된 교수학습 사례를 제시해 주었다.

나. 교수학습 단계 초안 구성과 전문가 검토

본 연구자들은 SSI-CURE 모형의 교수·학습 단계를 SSI 수업에서 사용되는 일반적인 네 단계(쟁점발견→쟁점 속 위험이해→쟁점

속 위험분석→쟁점대응 및 실천)로 구성하였다. SSI-CURE 모형을 중·고등학교에 도입할 것을 고려하여 SSI 교수 경험이 있는 4명의 과학 교사를 섭외하여 의견을 수렴한 결과, SSI 맥락이 위험을 가르치는데 있어 효과적인 것에는 동의하나 교사나 학생 모두 위험을 구체적으로 다루어 본 경험이 부족하기 때문에 수업의 단계가 쉽게 제시될 필요가 있다고 의견을 제시했다. 또한 교사와 학생이 쟁점 속에서 위험요소를 찾아 분석·평가한다는 것의 의미를 명확히 이해할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다고 응답하였다. 이를 수렴해서 본 연구자들은 수업 단계는 단순화하고, Table 2의 핵심 내용요소를 Table 3과 같이 각 단계와 연결시켰다. 또한 각 교수·학습 단계에서 SSI-CURE 모형의 목적을 달성하기 위해 생각해볼 질문들을 예로 제시하였다.

3. SSI-CURE 모형의 개요

SSI-CURE 모형은 Figure 2와 Table 3과 같이 크게 네 단계로 구성되어 있다. SSI-CURE 모형의 네 단계 중 가장 특징적인 것은 단계2와 단계3이다. 단계2 “쟁점 속 위험이해”는 선택한 쟁점을 중점적으로 탐색하면서 과학기술의 본성(과학기술의 사회적 함의, 과학기술의 불확실성, 과학기술의 복잡성과 통제 불가능성 등)에 대해 이해하는 데 초점이 있다. 이는 SSI에 대한 합리적인 의사결정과 실행을 하기 위해서는 과학기술의 본성에 대한 이해가 선행되어야 함을 강조한 선행 연구들과 맥을 같이 한다(Bencze & Krstovic, 2017; Han et al., 2012; Lee & Lee, 2016; Lee et al., 2020; Sjöström & Eilks, 2018). 특히, Bencze & Krstovic(2017)은 SSI 맥락에서 다양한 이해관계자가 복잡하게 얽혀져 있고, 그 복잡성 내에 존재하는 불합리성이나 부조리, 불평등 등을 학생들이 확인하게 되면, 이것이 문제 해결과 실천을 위한 동력으로 작용한다고 설명했다. 이러한 이유로 사회적 책임감을 함양하기 위한 SSI 교육 모형(예: ENACT 프로젝트(Lee et al., 2020), STEPWISE 프로그램(Bencze, 2017) 등)에서 이해관계자 지도를 통해 과학기술의 본성을 들여다보도록 하고 있다. SSI-CURE 모형의 단계3 “쟁점 속 위험분석”은 선택한 쟁점에서 위험을 식별하고, 위험의 정량적·정성적 분석을 통해 해당 위험의 속성(결과와 심각성, 확률과 불확실성)을 이해하며, 위험에 대해 종합적·비판적으로 평가하는 단계이다. 위험은 누구에게나 영향을 줄 수 있지만 일부 계층은 다른 계층에 비해 위험에 더 노출되어 있으며 더 큰 영향을 받을 수 있다는 점(Beck, 1990)을 고려해서, 위험과 관련된 데이터 수치 해석에만 의존하기보다는 그 위험이 입장이나 상황 등에 따라 서로 다르

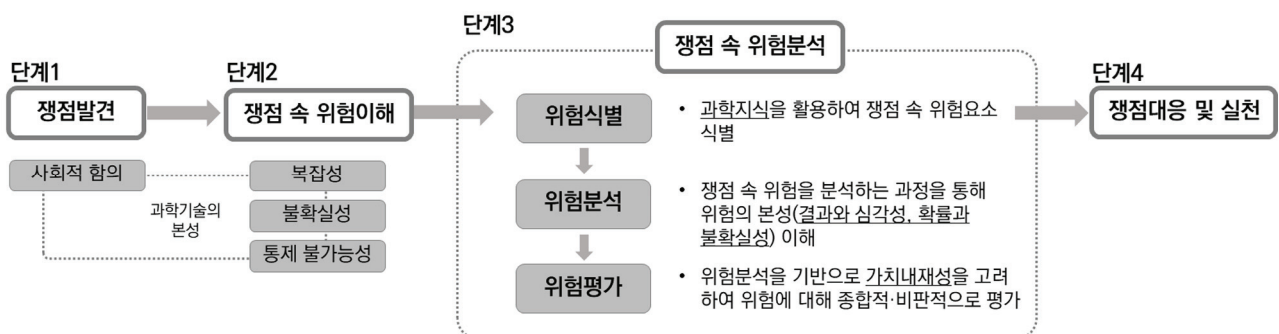


Figure 2. Instructional process of the SSI-CURE model

Table 3. Description of the SSI-CURE model steps

단계	정의	관련 내용요소	교수학습 상황에서 생각해 볼 질문들 (후쿠시마 오염수 방류와 가슴기 살균제 피해 쟁점 예시)
쟁점발견	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술이 야기한 쟁점을 찾아, 쟁점해결의 필요성을 인식하는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술의 사회적 함의 	<ul style="list-style-type: none"> 우리 사회는 왜 이 과학기술(원전 관련 기술, 화학물질)을 필요로 하는가? 이 과학기술은 인간, 환경, 사회에 어떠한 영향을 미치는가? 이 과학기술이 논쟁을 야기하는 이유는 무엇인가?
쟁점 속 위험이해	<ul style="list-style-type: none"> 선택한 쟁점을 다양한 측면에서 탐색함으로써, 쟁점에서 드러나는 과학기술의 본성을 학습하는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 과학기술의 복잡성 과학기술의 불확실성 과학기술의 통제 불가능성 	<ul style="list-style-type: none"> 이 쟁점(또는 과학기술)에는 어떠한 이해관계자가 존재하며, 어떠한 다양한 관점과 가치가 얽혀져 있는가? 왜 이 과학기술이 위험을 야기할 수 있는가? 이 과학기술이 사회에 적용될 때 가능한 다양한 시나리오를 예측해 볼 수 있는가? 왜 이 과학기술 지식에 불확실성이 존재하는가? 왜 위험이 예상됨에도 불구하고 우리는 이 과학기술을 변화시킬 수 없는가?
쟁점 속 위험분석	<ul style="list-style-type: none"> 선택한 쟁점에서 위험을 식별하고, 위험의 정량적·정성적 분석을 통해 해당 위험의 속성(결과와 심각성, 확률과 불확실성)을 이해하며, 위험에 대해 종합적·비판적으로 평가하는 단계 	<ul style="list-style-type: none"> 위험식별 위험분석 - 결과와 심각성 - 확률과 불확실성 위험평가 - 가치내재성 과학지식 	<ul style="list-style-type: none"> 후쿠시마 오염수 방류가 인간이나 해양생태계에 미치는 부정적 위험 요인은 무엇인가? 가슴기 살균제 사용으로 발생한 폐손상은 얼마나 심각한가? 후쿠시마 오염수 방류는 국지적인 영향을 미치는가? 아니면 광범위한 영향을 주는가? 가슴기 살균제 노출량에 따라 폐손상이 발생할 확률은 어떻게 되는가? 후쿠시마 오염수가 해양생태계에 미칠 영향에 대해 전문가들의 의견이 왜 다른가? 가슴기 살균제 사용으로 인한 피해를 어떻게 규정할 것인가? 이러한 평가에서 우선순위로 두어야 하는 것은 무엇인가? 이 과정에서 소외된 사람은 없는가? 후쿠시마 오염수 방류를 해야 하는가? 이와 관련해서 우리가 수용할 수 있는 위험의 수준은 무엇인가?
쟁점대응 및 실천	<ul style="list-style-type: none"> 위험에 대한 분석과 평가결과를 기반으로 대처방안 및 해결 방안을 함께 모색하고 실행하는 단계 		<ul style="list-style-type: none"> 이 위험에 대해 개인, 지역사회, 국가 수준에서 대처할 수 있는 방안은 무엇일까? 이 위험에 노출되어 피해를 받았거나, 위험에 노출되기 쉬운 사람들을 위한 방안은 무엇일까? 이 과학기술이 위험가능성이 있음에도 불구하고, 지속가능한 사회를 만들어 나가기 위해 고려해야 할 점은 무엇일까?

게 해석될 수 있다는 비판적 관점을 강조하였다.

각 단계를 좀 더 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 우선, ‘쟁점발견’ 단계는 학생들이 위험을 내포하고 있는 SSI에 직면하는 단계이다. 일반적으로 본인의 삶과 관련된 SSI를 선정하면, 학습에의 동기를 높이고 이것이 문제해결과 실천까지 보다 책임감 있게 이끌 수 있다(Morgan, 2011). 따라서 학생들은 이 단계에서 본인 삶의 안녕과 건강을 위협하는 SSI 중에서 관심 있는 주제를 선정한 후(또는 교사가 제시해 주는 SSI에 대해서) 해당 SSI가 우리 사회에서 논쟁이 되는 이유를 알아보고, 왜 우리가 이와 같은 문제에 관심을 갖고 대응해야 하는지에 대해 생각해 보는 기회를 갖게 된다.

‘쟁점 속 위험이해’ 단계는 해당 SSI를 다양한 각도에서 탐색해 보면서 과학기술의 본성을 이해하도록 하는데 목적이 있다. Pietrocola *et al.*(2021)은 일반적인 SSI 수업은 학생들이 위험을 과학기술의 발전의 부작용으로만 바라보도록 제시하는 경향이 있다고 비판했다. 즉, 왜 이와 같은 위험이 발생하게 되는지에 대한 숙고 없이 개인 또는 사회가 피해야만 하는 부정적인 결과로 인지한다는 것이다. 이에 이들은 과학기술의 발달로 인해 지속적으로 생산되고 있는 문제들(이들은 ‘사악한 문제(wicked problems)’로 칭함)를 고정된 문제가 아닌 변화가능한 문제로 정의하고, 그 해결책도 시간과 공간의 축에서 과학기술의 발전 방향을 반성적으로 논의하도록 함으로써 과학기술에 대한 인식론적 이해가 확장되도록 할 필요가 있다고 주장했다. 즉 과학기술은 사회에 어떠한 필요에 의해 개발되었으며 어떠한 영향

을 주고 있는지, 왜 과학기술이나 지식은 그 결과를 예측하기 어려우며, 불확실성을 내포할 수밖에 없는지, 과학지식의 생성 및 적용과정에서 다양한 이해관계자가 서로 얽혀져 있고 이는 이해관계자 간의 갈등을 유발할 수밖에 없음을 이해해야 할 필요가 있다. 위험은 이와 같은 ‘증폭된 위험인식 공간(amplified risk perception space)’(Pietrocola *et al.*, 2021)에서 인지될 필요가 있으며, Beck(1992)이 언급한 현대 사회에서의 ‘반성(reflexivity)’의 개념을 충분히 이해할 수 있게 된다. 또한 이 과정에서 개인이나 집단이 사회·문화적인 맥락에서 위험을 어떻게 인지하고 반응하는지를 이해하게 된다.

‘쟁점 속 위험분석’ 단계는 과학기술의 본성에 대한 이해를 바탕으로 SSI에 내재되어 있는 위험의 본질을 이해하고 평가해봄으로써 합리적 의사결정을 위한 기반을 마련하는 단계이다. COVID19 팬데믹을 되돌아보면, 우리는 불충분한 데이터양, 과학자들의 각기 다른 해석들, 예측모델의 불확실성 등으로 인해 많은 불안움을 느꼈다. 위험의 속성을 이해하고, 데이터에 대한 확률적 관점 등을 갖추는 능력은 위험에 대한 의사결정을 하는데 도움을 줄 수 있다(Levinson *et al.*, 2012). 그러나 데이터를 해석하는 과정에서 여전히 불확실성이 존재하며 그 결과와 심각성도 위험에 처한 집단에 따라 다르게 해석될 수 있다는 구성주의적 관점도 필요하다. 이에 학생들이 위험식별, 위험분석, 위험평가의 과정을 거치면서 이와 같은 위험의 본질을 이해하도록 하였다. 우선, ‘위험식별(risk identification)’은 과학지식을 기반으로 특정 활동이나 상황에서 발생할 수 있는 잠재적인 위험 요소

를 체계적으로 찾아내고 명시하는 과정(Oehmen *et al.*, 2020)이라는 점에서 ‘위험인식(risk perception)’과 구별된다. 위험식별은 전문가의 의견, 데이터 등을 기반으로 분석적이고 객관적인 접근을 필요로 하며, 이 과정에서 학생들은 해당 SSI와 관련하여 발생할 수 있는 잠재적 위험을 목록화하고, 각 위험의 원인과 가능한 결과를 이해하는데 중점을 둔다. Oehmen *et al.*(2020)은 위험식별 과정에서 위험에 영향을 받는 이해관계자, 시점, 영향 등을 고려하는 것을 권장하였다. ‘위험분석(risk analysis)’은 위험의 결과나 심각성, 위험 발생 확률과 결과의 불확실성 등에 대한 논의의 과정이다. Aven(2018)은 위험분석을 위험을 이해하고 평가하며 설명하고, 소통하고, 관리하는 데 도움을 주며, 이 과정을 “위험분석에서의 개념적 지식 생성(conceptual knowledge generation in risk analysis)”이라고 설명했다. Aven(2016, 2023)은 또한 위험을 분석하는 과정에서 위험에서 불확실성의 해석을 위해서 대한 과학적 지식이나 확률에 대한 지식이 필요하다고 설명했다. 즉, 이 단계에서는 위험을 분석하기 위한 여러 연구방법을 사용하면서 과학지식이 적용되고 다시 생성되는 단계라 할 수 있다. 그리고 ‘위험평가(risk evaluation)’는 위험에 대한 의사결정을 하기 위해 분석한 내용을 종합적, 비판적으로 평가하는 과정을 의미한다(Aven, 2023; SRA, 2015). 이 과정에서 위험에 대한 의사결정을 하는데 가장 우선 순위를 두어야 하는 것은 무엇이며, 어느 정도의 위험까지 수용할 수 있는가, 그리고 위험평가 과정이 사회적으로 위험에 취약한 계층을 고려하고 있는가 등을 종합적으로 판단하게 된다.

마지막으로 ‘쟁점대응 및 실천’ 단계는 이전 단계에서 위험을 분석 및 평가한 자료를 바탕으로 위험상황에 대해 어떻게 대응할 것인가에 대한 의사결정을 하거나 실행방안을 모색해보는 단계이다. 최근 강조되고 있는 SSI 교육의 패러다임은 학생이 행위주체로서 문제해결에 참여하고 실천하는 과정을 강조하고 있으며, 기존의 SSI 연구에서도 의사결정이나 대응방안을 모색 및 실행하는 것을 포함해왔다(Bencze, 2017; Sjöström & Eilks, 2018). SSI-CURE 모형도 역시 학생들이 분석한 결과에 기반하여 실행에 옮기는 과정을 강조하였다.

V. 제언

본 연구에서는 현대 과학기술 사회의 수많은 위험에 노출된 학생과 시민들이 과학기술의 본성을 제대로 이해하고, 과학기술로부터 야기되는 위험을 식별, 분석, 평가하는 역량을 함양함으로써 안전한 삶을 영위할 수 있도록 돕는 교육 방안을 모색해 보았다. 위험 그 자체는 우리 사회의 각 영역에서 매우 광범위하게 적용될 수 있기 때문에, 본 연구자들은 과학기술로 인해 야기되는 ‘생산된 위험(manufactured risk)’에 제한을 두었으며, 과학교육 분야에서 위험을 다루기에 적합한 과학기술관련 사회쟁점(SSI)을 위험교육을 위한 맥락으로 활용하여 SSI-CURE 모형을 제안해 보았다. 과학교육 분야에서 이미 자연재해·재난(예: 태풍, 홍수, 가뭄, 지진, 화산 등)에 관련된 연구들은 진행되어 왔다. 물론 현대 사회의 특성상, 자연적으로 발생하는 위험과 생산된 위험을 구분 짓는 것이 사실상 어렵거나 또는 큰 의미가 없을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 과학기술로 인해 생산된 위험에 보다 초점을 맞추어, 학생들이 위험과 관련된 과학지식과 과학기술의 본성을 이해하고 이를 바탕으로 위험상황에 대한 해결방안을 찾아보도록 했다. 또한 일반적인 위험교육 분야에서 재해·재난은 주로 재해·재

난으로 인해 생긴 사회적·경제적·정서적 피해를 어떻게 회복할 것인지, 재해·재난이 다시 발생하지 않도록 어떻게 예방할 것인지, 어떠한 정책이 필요한 지 등과 같이 결과론적인 측면에서 다루는 경우가 많다. 그러나 본 연구에서는 결과에만 초점을 두지 않고, 왜 과학기술이 이러한 위험을 야기할 수 밖에 없는지 그 원인을 과학기술의 본성과 함께 탐색한다는 점에 있어서도 차별화된다.

지난 20여 년간 SSI 교육과 관련된 많은 연구들이 진행되어 왔다. 여러 과학교육자들이 SSI 교수를 위한 방법을 제안했고, 다양한 프로그램도 개발되어 적용되었다. 그런데, 선행 연구에서 언급된 것처럼 학생들은 SSI에 대한 의사결정을 하는 과정에서 자연스럽게 위험에 대해 언급함에도 불구하고(Kolsto, 2006; Simonneaux *et al.*, 2013), ‘위험’을 심도 있게 다루지 않았다. 그런데, SSI에 대한 토의과정을 자세히 살펴보면, 학생들의 위험에 대한 인식은 과학기술의 본성에 대한 인식과 매우 연관된다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 나노기술과 관련된 문제에 대해 토의하는 과정을 분석한 Simonneaux *et al.*(2013)의 연구를 살펴보면, 과학기술이 진보를 가져온다고 생각하는 학생들은 위험에 크게 염려치 않고 과학기술로 인해 얻을 수 있는 경제적 이익에 관심을 두는 경향을 보였으며, 과학기술에 대해 부정적 관점을 지닌 학생들은 위험을 회피하는 성향을 띤다는 것이다. 즉, 위험을 과학기술의 본성과 연결지어 심도 있게 탐색하는 기회를 제공하지 않으면, 학생들은 위험을 지나치게 무시하거나 회피할 수 있다는 것이다. 이를 고려할 때, SSI-CURE 모형과 같이 SSI 맥락에서 과학기술의 본성을 이해하고 이를 위험과 연결 짓는 접근은 충분히 효과적일 수 있을 것으로 기대된다.

사실 많은 과학교사들이 여전히 SSI를 수업에 도입하는데 부담을 느끼고 있다(Bryce & Gray, 2004; Gray & Bryce, 2006; Lee & Yang, 2019; Zeidler *et al.*, 2011). 과학이 내포하고 있는 사회적·윤리적·도덕적 측면이나 위험에 대해 다루는 것의 필요성에 대해서는 대부분 동의하지만, 본인의 수업을 변화시킬 만큼의 동기를 갖고 있는 교사는 많지 않다. 따라서 ‘위험’이라는 생소한 소재까지 더해져 불확실성이나 확률의 개념 등의 강조, 위험분석 등의 내용이 추가될 경우, 교사의 심리적 부담은 가중될 수 있다. 위험에 대한 인식을 조사한 연구(Kim & Na, 2023; Kim, Na, & Jeong, 2024)에서도 위험교육을 실험실 안전 교육이나 재해·재난교육에 한정시켜 이해하고 있는 교사들이 적지 않았다. 따라서, SSI-CURE 모형과 같이 위험의 의미와 위험의 분석과정, 그리고 수업의 진행 단계를 구체적으로 제안해 보는 것은 그 의미가 크다. 본 연구에서 제안된 SSI-CURE 모형은 수업의 안내자로서 역할을 할 뿐만 아니라, SSI 맥락에서 위험을 교육하기 위한 프로그램을 개발하는 데에도 기본적인 틀이 될 것으로 생각된다.

마지막으로 본 연구는 과학교육에서 위험을 다루는 것의 필요성 및 역할과 가능성에 대한 논의를 포함하고 있다. 본 연구를 기반으로 앞으로 과학교육에서 위험을 다룰 수 있는 SSI 맥락의 발견, 교사들의 관심 확대를 이끌 수 있는 탐색 연구가 지속되는 것이 필요하다. 특히 현재 운영되고 있는 정규 교육과정에서 어떻게 다루어져야 할지에 대한 논의가 우선되어야 하며, 이를 위해서는 현재 과학교육과정 및 교과서 등에서 SSI 교육과 위험의 통합적 접근을 위한 핵심 요소가 어떻게 반영되어 있는지에 대한 탐색이 필요하다. 위험교육에 대한 접근 방법이나 관점을 달리하여 위험교육 요소에 대한 논의가 활발하게 이루어지는 것이 필요하며, 본 연구에서 제안한 요소들 외에도

논쟁의 종류 등에 대한 학술적 논의 및 현장에서의 실천이 병행되는 것이 필요하다.

국문요약

본 연구는 현대 과학기술 사회의 수많은 위험에 노출된 학생과 시민들이 과학기술의 본성을 제대로 이해하고, 과학기술로부터 야기 되는 위험을 식별, 분석, 평가하는 역량을 함양함으로써 안전한 삶을 영위할 수 있도록 돕는 교육 방안을 모색하는 데 목적이 있다. 이에, 문헌분석을 통해 위험의 의미와 위험교육의 필요성, SSI 교육과 위험 교육의 관계 등을 탐색한 후, SSI 맥락에서 위험을 체계적으로 교육할 수 있는 SSI-CURE 모형을 개발하였다. SSI-CURE 모형은 위험 자체에 대한 개념적 이해(위험지식), 위험상황에 대해 논의하거나 대처하는 데 필요한 역량(위험역량), 위험을 이해하기 위해 필요한 과학 내용지식(과학지식), 위험이 발생하는 원인과 위험이 미치는 영향을 이해하기 위해 필요한 지식(과학에 대한 지식)의 네 가지 내용요소에 기반하여, 쟁점발견, 쟁점 속 위험이해, 쟁점 속 위험분석, 쟁점대응 및 실천의 단계로 진행된다. 본 연구에서 제안된 SSI-CURE 모형은 수업의 안내자로서 역할을 할 뿐만 아니라, SSI 맥락에서 위험을 교육하기 위한 프로그램을 개발하는 데에도 대표적인 틀이 될 것으로 생각된다.

주제어 : 과학기술관련 사회쟁점, 위험, 과학기술의 본성, 교수학습 모형

References

Aven, T. (2012). The risk concept-historical and recent development trends. *Reliability Engineering & System Safety*, 99, 33-44.

Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13.

Aven, T. (2023). Risk literacy: Foundational issues and its connection to risk science. *Risk Analysis*, 1-10.

Aven, T., & van Kessenich, A. M. (2020). Teaching children and youths about risk and risk analysis: What are the goals and the risk analytical foundation?. *Journal of Risk Research*, 23(5), 557-570.

Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. London, UK: Sage.

Bencze, L. (Ed.). (2017). *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments: STEPWISE* (Vol. 14). Dordrecht, Netherlands: Springer.

Bencze, L., & Krstovic, M. (2017). Science students' ethical technology designs as solutions to socio-scientific problems. In L. Bencze (Ed.), *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments* (pp. 201-226). Dordrecht, Netherlands: Springer.

Bryce, T., & Gray, D. (2004). Tough acts to follow: The challenges to science teachers presented by biotechnological progress. *International Journal of Science Education*, 26(6), 717-733.

Burgess, A. (2015). Social construction of risk. In H. Cho, T. Reimer, & K. A. McComas (Eds.), *The Sage handbook of risk communication* (pp. 56-68). Los Angeles, CA: Sage.

Christensen, C. (2009). Risk and school science education. *Studies in Science Education*, 45(2), 205-223.

Covitt, B. A., & Anderson, C. W. (2022). Untangling trustworthiness and uncertainty in science: Implications for science education. *Science & Education*, 31(5), 1155-1180.

Covitt, B. A., Gomez-Schmidt, C., & Zint, M. T. (2005). An evaluation of the risk education module. *The Journal of Environmental Education*, 36(2), 3-13.

Cross, R. T. (1993). The risk of risks: A challenge and a dilemma for science and technological education. *Research in Science and Technological Education*, 11(2), 171-183.

Crouch, E., & Wilson, R. (1983). *Risk/Benefit analysis*. Cambridge, MA: Ballinger.

Eijkkelhof, H. M. C. (1996). Radiation risk and science education. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3-4), 273-278.

Gardner, G. E., & Jones, M. G. (2011). Science instructors' perceptions of the risks of biotechnology: Implications for science education. *Research in Science Education*, 41(5), 711-738.

Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J., & Robertson, L. (2009). Students' risk perceptions of nanotechnology applications: Implications for science education. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1951-1969.

Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Redwood City, CA: Stanford University Press.

Gray, D. S., & Bryce, T. (2006). Socio-scientific issues in science education: implications for the professional development of teachers. *Cambridge Journal of Education*, 36(2), 171-192.

Han, K., Heo, J., Yun, I., Lee, K., & Kang, H. (2012). Ethical problem solving in engineering: Matrix guide. *Journal of Engineering Education Research*, 15(1), 61-71.

Hansen, J., & Hammann, M. (2017). Risk in science instruction: The realist and constructivist paradigms of risk. *Science & Education*, 26, 749-775.

Hansson, S. O. (2010). Risk: Objective or subjective, facts or values. *Journal of Risk Research*, 13(2), 231-238.

Hopkin, P. (2017). *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating and implementing effective risk management*. London, UK: Kogan Page Publishers.

Howes, R. W. (1975). Radiation risks: A possible teaching topic? *Physics Education*, 10(6), 412.

Jenkins, E. (2000). Science for all: Time for a paradigm shift. In J. Millar (Ed.), *Improving science education: the contribution of research* (pp. 207-226). London, UK: McGraw-Hill Education.

Jho, H. (2015). A literature review of studies on decision-making in socio-scientific issues. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(5), 791-804.

Kang, Y. (2008). Risk epistemology and STS perspective. *Journal of Science & Technology Studies*, 8(2), 1-26.

Kang, Y. (2015). An essay on the relationship between the risk communication and scientific citizenship of nuclear power in Korea. *Journal of Science & Technology Studies*, 15(1), 45-67.

Kim, J., & Na, J. (2023). Elementary school teachers' educational experiences, readiness, and needs for science education that addresses the risks posed by science and technology. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 42(4), 523-537.

Kim, J., Na, J., & Cheong, Y. (2024). Risk education and educational needs related to science and technology: A study on science teachers' perceptions. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 44(1), 57-75.

Kolstø, S. D. (2006). Patterns in students' argumentation confronted with a risk-focused socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 28(14), 1689-1716.

Lee, H. (2018). *What is SSI education?* Seoul: Parkyoungsa.

Lee, H., & Lee, H. (2016). Contextualized nature of technology in socioscientific issues. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(2), 303-315.

Lee, H., & Yang, J. (2019). Science teachers taking their first steps toward teaching socioscientific issues through collaborative action research. *Research in Science Education*, 49(1), 51-71.

Lee, H., Choi, Y., Nam, C., Ok, S., Shim, S., Hwang, Y., & Kim, G. (2020). Development of the ENACT model for cultivating social responsibility of college students in STEM fields. *Journal of Engineering Education Research*, 23(6), 3-16.

Levinson, R., & Turner, S. (2001). *Valuable lessons*. London, UK: The Wellcome Trust.

Levinson, R., Kent, P., Pratt, D., Kapadia, R., & Yogui, C. (2011). Developing a pedagogy of risk in socio-scientific issues. *Journal of Biological Education*, 45(3), 136-142.

Lupton, D. (Ed.). (1999). *Risk and sociocultural theory: New directions and perspectives*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

McDaniels, T. L. (1998). Ten propositions for untangling descriptive and prescriptive lessons in risk perception findings. *Reliability Engineering & System Safety*, 59(1), 129-134.

Morgan, A. (2011). Place-based education versus geography education? In G. Butt (Ed.), *Geography, education and the future* (pp. 84-108). New York, NY: Continuum International Publishing Group.

Oehmen, J., Günther, A., Herrmann, J. W., Schulte, J., & Willumsen, P. (2020, May). Risk management in product development: risk identification, assessment, and mitigation—a literature review. In

- proceedings of the design society: DESIGN conference (Vol. 1, pp. 657-666). Cambridge University Press.
- Park, W. (2020). Beyond the 'two cultures' in the teaching of disaster: Or how disaster education and science education could benefit each other. *Educational Philosophy and Theory*, 52(13), 1434-1448.
- Peel, A., Zangori, L., Friedrichsen, P., Hayes, E. & Sadler, T. (2019). Students' model-based explanations about natural selection and antibiotic resistance through socio-scientific issues based learning. *International Journal of Science Education*, 41, 510-532.
- Pietrocola, M., Rodrigues, E., Bercot, F., & Schnorr, S. (2021). Risk society and science education: Lessons from the COVID-19 Pandemic. *Science & Education*, 30(2), 209-233.
- Renn, O. (1998). The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering & System Safety*, 59(1), 49-62.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sadler, T. D., Friedrichsen, P., Zangori, L., & Ke, L. (2020). Technology-supported professional development for collaborative design of COVID-19 instructional materials. *Journal of Technology and Teacher Education*, 28(2), 171-177.
- Schenk, L., Hamza, K. M., Enghag, M., Lundegård, I., Arvanitis, L., Haglund, K., & Wojcik, A. (2019). Teaching and discussing about risk: Seven elements of potential significance for science education. *International Journal of Science Education*, 41(9), 1271-1286.
- Schenk, L., Hamza, K., Arvanitis, L., Lundegård, I., Wojcik, A., & Haglund, K. (2021). Socioscientific issues in science education: An opportunity to incorporate education about risk and risk analysis?. *Risk Analysis*, 41(12), 2209-2219.
- Seong, J., & Jung, B. (2007). Managing technology risk in a post-innovation world. *Journal of Science & Technology Studies*, 7(1), 33-66.
- Simonneaux, L., Panissal, N., & Brossais, E. (2013). Students' perception of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2376-2406.
- Singleton, G., Herzog, H., & Ansolabehere, S. (2009). Public risk perspectives on the geologic storage of carbon dioxide. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(1), 100-107.
- Sjöström, J. & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In Y. J. Dori, Z. Mevarech, & D. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education* (pp. 65-88). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science*, 236(4799), 280-285.
- Slovic, P. (1999). Trust, emotion, sex, politics, and science: Surveying the risk-assessment battlefield. *Risk Analysis*, 19(4), 689-701.
- Society for Risk Analysis[SRA]. (2015). Glossary society for risk analysis. SRA. <https://www.sra.org/resources>
- Till, C. (2014). Fostering risk literacy in elementary school. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 9(2), 83-96.
- Wojcik, A., Hamza, K., Lundegård, I., Enghag, M., Haglund, K., Arvanitis, L., & Schenk, L. (2019). Educating about radiation risks in high schools: towards improved public understanding of the complexity of low-dose radiation health effects. *Radiation and Environmental Biophysics*, 58, 13-20.
- Zeidler, D. L., Applebaum, S. M., & Sadler, T. D. (2011). Enacting a socioscientific issues classroom: Transformative transformations. In T. D. Sadler (Ed.), *Socioscientific issues in the classroom* (pp. 277-305). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377.
- Zinn, J. O., & Taylor-Goodby, P. (2006). Risk as an interdisciplinary research area. In P. Taylor-Goodby (Ed.), *Risk in social science* (pp. 20-51). New York, NY: Oxford University Press.
- Zint, M., & Peyton, R. B. (2001). Improving risk education in grades 6-12: a needs assessment of Michigan, Ohio, and Wisconsin science teachers. *The Journal of Environmental Education*, 32(2), 46-54.

저자정보

이현주(이화여자대학교 교수)
 박영신(조선대학교 교수)
 이현옥(강원대학교 조교수)
 문공주(동덕여자대학교 조교수)
 황요한(서울여자대학교 조교수)