



탈원전 정책에 대한 초등학생의 위험 초점 추론 분석

김종욱¹, 김찬종², 강다연^{3*}

¹서울길동초등학교, ²서울대학교, ³한국과학창의재단

Analyzing Risk-Focused Informal Reasoning in Elementary School Students Regarding Nuclear Power Phase-Out Policy

Jong-Uk Kim¹, Chan-Jong Kim², Da Yeon Kang^{3*}

¹Seoul Gildong Elementary School, ²Seoul National University, ³Korea Foundation for Science and Creativity

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 October 2024

Received in revised form

11 November 2024

Accepted 18 November 2024

Keywords:

informal reasoning, risk perception, socio-scientific issues

ABSTRACT

This study investigates the risk-focused informal reasoning modes of 41 sixth-graders from two distinct contexts concerning nuclear power policy in South Korea. Drawing on existing literature that highlights the influence of personal relevance and prior experiences on individuals' risk perception and reasoning regarding risk-focused issues, the informal reasoning modes of two groups of students were analyzed and compared. The study contrasted students from Pohang, who reside near nuclear power plants and have experienced earthquakes, with students from Seoul, serving as a comparative group. Three reasoning modes were identified: risk-focused, economic-focused, and science-and-technology-focused, with the risk-focused mode predominating in both groups. However, notable differences were observed within the risk-focused mode between the two groups. The Pohang students were more inclined to doubt the safety of nuclear power plants and express negative emotions compared to the Seoul students. These findings suggest that the Pohang students' heightened risk perception of nuclear power generation reflects their earthquake experiences and geographical proximity to nuclear power plants. Finally, the study discusses the impact of personal relevance and prior experiences on informal reasoning and proposes strategies to manage emotions in socio-scientific issues classes.

1. 서론

1. 연구의 필요성

사회학자 울리히 벡은 현대 사회가 부의 분배보다 위험의 분배가 중심이 되는 사회로 변하고 있다고 지적했다(Beck, 1986). 이는 산업화 사회에서는 위험이 주로 기술적, 경제적 측면에서 발생하는 '부수 효과'로 간주되어 기술적 진보를 위해 위험은 감내할 수 있는 문제로 여겨졌으나, 현대 사회에서는 위험이 인류의 생존 자체를 위협하며 그 영향이 전 지구적으로 미쳐 누구도 완전히 자유로울 수 없음을 강조한다. 이제 과학과 기술의 발전이 가져온 새로운 형태의 위험(환경오염, 기후변화, 핵위험, 생명공학위험 등)이 우리의 삶과 생존을 직접적으로 위협함에 따라 전통적이고 실증주의적인 관점에서 행해지던 위험 관리 방식에 근본적인 변화가 필요하게 된 것이다. Funtowicz와 Ravetz(1993)는 '후기 정상 과학(post-normal science)' 개념을 제시하며, 명확한 정답이 없고 다양한 당사자에게 영향을 미치는 위험 관련 이슈에 대응하기 위해 과학이 고립된 전문가 집단의 논의에 머물지 않고, 여러 분야의 전문가와 시민, 이해관계자들이 참여하는 '확장된 동료 집단(extended peer community)' 방식으로 확장되어야 한다고 주장했다. 이는 과학교육의 초점이 기존의 과학적 산물과 과정 중심 교육에서 위험 사회에서 살아가기 위해 요구되는 시민의 역량에

대한 교육으로 그 외연을 확장해야 한다는 과학적 소양(Roberts, 2007)에 대한 논의나, 최근 과학교육계에서 과학과 관련된 사회적 논쟁(socio-scientific issues [SSI]) 교육에 대한 관심이 강화된 것과 맥을 같이 한다.

SSI 교육은 학생들이 과학에 기초하는 사회적인 논쟁들을 정보에 입각하여 합리적으로 다룰 수 있는 능력을 키워주는 것에 그 목표를 두고(Sadler, 2004), 과학과 사회 사이의 상호 의존, 과학의 윤리적 차원에 대한 인식을 강조하면서(Zeidler *et al.*, 2005) 그간 과학 교육에서 중요하게 다루어져 왔다. 최근 20여 년간 이러한 관점에서 수행된 SSI 연구들 중 상당수는 학생들의 의사 결정이나 비행식 추론의 패턴, 혹은 논증 수준, 그리고 이러한 것들에 영향을 미치는 다양한 요소들(예: 내용 지식, 과학의 본성, 도덕적 수준, 사회문화적 배경 등)을 탐색하는데 목표를 두었다(Han-Tosunoglu & Ozer, 2022; Ladachart & Ladachart, 2021; Morin *et al.*, 2015; Topcu *et al.*, 2010; Walker & Zeidler, 2007; Wu & Tsai, 2007; Zohar & Nemet, 2002).

그러나 기존 SSI 교육 연구는 과학과 관련된 사회적 이슈들에 내재된 위험을 학생들이 어떻게 인식하고 추론하는가에 대해서는 제한적인 접근을 취해온 것으로 비판받기도 한다. Schenk 등(2021)은 SSI 교육 논문 343편에 대한 조사를 통해 12편(약 3.5%)만이 위험이라는 단어를 명시적으로 사용했다고 지적했다. 몇몇 유전자 변형 식품이나 원자력 발전, 코로나-19와 같이 위험과 관련된 이슈에 대한 학생들의 추론을

* 교신저자 : 강다연 (dayeon.kang.9@gmail.com)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.6.581>

탐색한 연구(Han-Tosunoglu & Ozer, 2022; Ozturk & Yilmaz-Tuzun, 2017; Wu, 2013)에서는 학생들은 알려지지 않았거나 예측할 수 없는 위험을 피하는 것을 중요하게 여기는 경향이 있다는 것을 보고했으나, 이들의 연구 역시 특별히 학생들의 위험 인식에 초점을 두고 수행된 연구는 아니었다. 이는 SSI 관련 추론에서 위험을 고려하는 것이 위험 사회를 살아갈 학생들에게 중요한 역량을 키워줄 것이라는 연구자들의 강조에도 불구하고(Christensen, 2009; Hansen & Hammann, 2017; Wojcik *et al.*, 2019), 아직 SSI 교육에서 위험에 대한 관심이 초보적인 수준에 머물러 있음을 보여준다.

다만 일부 연구자들만이 학생들이 SSI에 대해 인식하는 위험이 그들의 추론에 어떠한 영향을 미치는지 탐색을 시도했다(Cebesoy, 2021; Es & Yenilmez, 2021; Kilinc *et al.*, 2013; Wojcik *et al.*, 2019). Kolstø(2006)는 지역 송전선 건설에 관한 의사 결정에서 백혈병의 위험에 대한 정보가 학생들의 추론 패턴에 결정적인 영향을 미쳤음을 밝혔다. 또한 발트해의 어류에서 발견되는 환경 독소 문제에 대한 학생들의 추론을 탐구한 Rundgren 등(2016)은 학생들이 의사결정에서 다이옥신이 건강에 미치는 위험과 개인의 자유로운 식품 선택의 자유라는 두 가지 핵심 가치를 고려한다고 보고했다. 이 두 연구는 학생들이 개인마다 위험을 다르게 인식하며, 그 차이는 개인의 신념 차이(Kolstø, 2006) 혹은 개인의 지적 보관소(intellectual baggage)(Rundgren *et al.*, 2016)의 차이에 기인할 수 있음을 보여준다. 그럼에도 불구하고 이들 연구에서는 그 구체적인 요인이 무엇이었는지 제시하지 못했다는 점에서 추가적인 연구가 필요함을 제안한다.

연구자들은 SSI 관련 추론 활동을 논리적인 하나의 정답이 존재하는 형식적 추론(Evans & Thompson, 2004)과 대조되는 비형식 추론(informal reasoning)으로 인식한다. 이것은 학생들의 추론 과정에 개인의 가치관, 과거 경험, 사회문화적 맥락이 반영됨을 의미한다(Chang & Chiu, 2008; Sadler & Zeidler, 2004; Zohar & Nemet, 2002). 따라서 학생들의 다양한 비형식 추론 모드를 이해하고 그것에 영향을 미치는 맥락을 탐색하는 것은 SSI 교육을 계획하고 실행하는데 중요한 과제라 할 수 있다.

비형식 추론 모드와 관련하여 Patronis 등(1999)은 지역 교통 문제에 대한 학생들의 논증을 사회적, 생태적, 경제적, 실용적 모드로 분류했다. 또한 Yang과 Anderson(2003)은 원자력 발전에 관한 고등학생들의 추론 모드를 과학 지향적, 사회 지향적, 그리고 동등한 고려 모드로 구분했다. 이들 연구를 바탕으로 Ozturk과 Yilmaz-Tuzun(2017, p. 15)은 “위험 논증(types of risk arguments)” 모드를, Han-Tosunoglu와 Ozer(2022, p. 339)은 “위험인식” 모드를 추가로 보고했다. 다만 이 연구들은 학생들의 위험 인식을 여러 논증 중 하나로 여김으로써 추가적인 관심을 두지는 않았다.

한편 학생들의 추론에 영향을 미치는 요인으로 지역적 관련성과 과거 경험의 영향에 대한 분석이 수행되었다(Capkinoglu *et al.*, 2020; Evagorou *et al.*, 2012; Patronis *et al.*, 1999; Simonneaux & Simonneaux, 2009). Ladachart와 Ladachart(2021)는 지역 및 문화 활동에 참여한 예비 교사들이 그렇지 않은 교사들보다 지역 문화 활동 보존에 더 찬성하는 경향을 보인다고 밝혔다. 또한, Albe(2008)는 11학년 학생들이 휴대폰 사용에 관한 과학적 텍스트의 타당성과 신뢰성을 평가하는 과정에서 자신의 경험을 활용한다고 보고한 바 있다.

유사한 관점으로, 개인의 위험 인식에 대한 심리학적 연구에서는

위험(hazard) 지점으로부터의 지리적 거리가 재해(disaster)와 관련된 위험 인식에 중요한 영향을 미친다고 밝혔다. 예를 들어, 홍수나 지진과 같은 자연재해(Botzen *et al.*, 2009; Edey *et al.*, 2022; O'Neill *et al.*, 2016)나 원자력 발전소(이하, 원전) 및 폐기물 처리장 같은 기피 시설(Gallagher *et al.*, 2008; Moffatt *et al.*, 2003)에 대해 대중은 위험 지점에 인접하여 거주할수록 시설의 유치를 반대하거나 우려를 표하는 경향이 있는 것으로 보고된다. 원자력 발전 관련 위험 인식을 조사한 Kılınc 등(2013)의 연구에서도 원전 건립이 예정된 도시에 사는 학생들이 먼 도시에 사는 학생들에 비해 원전이 미칠 위험에 더 큰 우려를 보이며, 원전의 긍정적인 측면을 과소평가하는 경향을 확인하였다.

개인의 과거 경험 역시 위험 인식에 영향을 미치는 요소로 보고된다. 국내 연구에 따르면, 지진을 경험한 사람들은 그렇지 않은 사람들보다 원자력 발전 정책에 대해 더 큰 우려를 드러낸다(Kim & Oh, 2018). 특히, 지진, 쓰나미, 홍수와 같은 자연재해 경험은 사람들의 위험 회피 성향을 강화하며(Carone & Marincioni, 2020; Cassar *et al.*, 2017; Edey *et al.*, 2021), 그들이 더 큰 위험에 직면하고 있다고 인식하게 하여 상대적으로 위험이 적은 행동을 선택하게 만든다고 분석되었다(Cameron & Shah, 2015).

다만 이러한 지역적 맥락과 경험에 기반한 SSI 추론 연구는 여전히 부족하며 다양한 이슈와 연구참여자에 대해 질적으로 깊이 탐구될 필요가 있다. 또한 상기 심리측정학적 배경의 위험 인식 연구들은 개인의 복잡하고 주관적인 위험 인식 과정을 분석하기에 제한적이다. 아울러 위험 인식 연구가 주로 성인을 대상으로 수행되어 왔다는 점에서(Edey *et al.*, 2021), 그 연구 결과를 과학 교육에 직접적으로 적용하는 것 역시 쉽지 않다.

상기 문제 인식에 기초하여 이 연구는 원전과 인접한 도시이면서 비교적 최근 지진이 발생한 포항에 거주하는 학생들과 그에 대조되는 맥락인 서울 학생들의 탈원전 정책에 대한 비형식 추론 모드를 탐색하였다. 이러한 비교는 위험 관련 이슈에 대한 지역적 관련성과 개인의 경험 유무를 비교 분석하기 위한 맥락을 제공하여 위험에 초점을 맞춘 추론의 특성을 드러나게 한다. 이 연구를 통해 향후 위험 관련 이슈에 대한 추론에 참여하는 학생들을 지도하기 위한 함의를 제안하는 것을 목적으로 한다. 그에 따라 다음과 같이 연구 문제를 설정하였다.

- 1) 탈원전 정책 관련 의사 결정에서 학생들은 어떠한 추론 모드를 적용하는가?
- 2) 이슈에 대한 지역적 관련성과 지진의 경험은 위험 초점 추론에 어떠한 영향을 미치는가?

2. 위험과 위험 인식

위험에 대한 합의된 정의가 없다는 점은 많은 학자들이 지적하고

1) 이 문장에서 위험과 위험은 구분하여 서술되었다. Renn(2008, p. 50)은 위해(hazard)와 위험(risk)을 구분하여 사용한다. “위해는 특정 기술, 사건, 활동 등이 사람들이 가치를 두는 것에 해(harm)를 끼칠 잠재성을 나타낸다. 예를 들어, 화학 물질의 독성은 위해가 될 수 있다. 이 잠재성이 해를 발생시키는 방식으로 발현될 가능성이 있을 때 위해는 위험이 된다.” 즉, 우리가 어떤 화학 물질에 노출되어 해를 입을 가능성이 존재하지 않는다면 그 물질은 독성이 있다는 점에서 위험한 물질이더라도 인간에게 위험은 아닌 것이다.

있으나(Aven & Reniers, 2013; Wojcik, 2019), 일반적으로 위험은 부정적이거나 원하지 않는 결과가 미래에 발생할 가능성을 지칭하는 용어이다(Aven & van Kessenich, 2020; Hansen & Hammann, 2017; Renn, 2008; Wojcik *et al.*, 2019). 이러한 정의는 가능성과 현실성 사이의 구분을 전제한다. 즉, 미래는 이미 결정된 시나리오를 따르는 것이 아니며, 인간은 주어진 맥락 속에서 자신에게 주어진 여러 선택들 중 한 가지를 취함으로써 미래의 원치 않는 결과에 영향을 주거나 그것을 피할 수 있다는 것이다(Renn, 2008). 다시 말해 위험은 인간의 활동과 연결되어 있으며, 이러한 활동은 특정한 결과를 야기한다. 한편 미래에 발생할 결과는 가능성이라는 영역에 있기에, 위험에는 불확실성 역시 존재한다(Aven & van Kessenich, 2020). 정리하면 위험은 그것이 현시화되는 특정한 맥락, 원치 않는 결과(혹은 부정적 결과), 그리고 불확실성의 요소를 전제한다(Renn, 2008).

위험을 정의하는 이유는 인간이 미래의 부정적인 결과나 사건을 회피하기 위한 특정한 활동을 하기 위함이다. 따라서 밝혀야 할 다음 문제는 위험을 어떻게 평가하고 관리할 것인지, 혹은 인간이 위험을 어떻게 인식하는지 이해하는 것이다. 이 문제에 대해 실증주의자와 구성주의자는 위험을 연구하는 대조적인 패러다임을 보여준다(Jasanoff, 1998; Singleton *et al.*, 2009; Rosa, 1998). 일반적으로 실증주의적 접근은 과학자나 공학자, 경제학자들이 취하는 방식으로, 위험을 원치 않는 사건의 발생 가능성과 그 사건 규모의 곱으로 추정한다(Renn, 2008; Rosa, 1998). 이들에게 위험은 객관적으로 존재하는 대상이며 체계적인 분석을 통해 평가될 수 있는 자연적 혹은 사회적 과정의 부산물이다(Jasanoff, 1998). 실증주의자들은 위험에 대한 분석적이고 객관적인 측정 및 추정을 통해 위험 저감 및 관리, 위험-이익 분석 등을 목표로한다(Renn, 2008). 보험 상품을 설계할 때, 방사성 폐기물을 처리할 때, 화학약품을 이용한 생필품을 개발할 때 등 일상의 많은 영역은 실증주의자의 접근에 기초한다. 그러나 실증주의적 접근에 대한 한계도 지적된다. 우선, 원치 않는 사건의 가능성과 강도에는 복잡하고 다층적인 요인이 영향을 줄 수 있음에도 불구하고 인간의 인지적, 방법론적 한계는 특정 위험을 과도하게 단순화하여 평가할 수 있다는 것이다(Wojcik *et al.*, 2019). 또한 과학적 연구는 그 사회의 담론, 역사, 문화 속에서 이뤄지기에 실증주의적 위험 분석은 특정 가치로부터 자유로울 수 없다는 관점 역시 주의할 필요가 있다(Rosa, 1998).

대조적으로 구성주의자들은 위험을 환원적으로 평가하거나 측정하기보다는 인간이 위험을 어떻게 인식하는가를 측정하고 이해하고자 한다. 이러한 접근은 심리학, 사회학, 문화인류학 연구자들에 의해 주로 취해진다. 구성주의자들은 위험이 객관적으로 존재하는 실재가 아니며 인간의 주관적인 구성물이라는 이론적 전제에 동의한다(Kasperson *et al.*, 1988; Singleton *et al.*, 2009). 따라서 구성주의자 관점에서 위험은 ‘위험 인식’이라는 용어로 지칭된다(Hansen & Hammann, 2017). 앞서 원전 및 폐기물 처리장 같은 시설에 대해 인접하여 거주할수록 그 시설 유치나 가동을 반대하거나 경향이 있다는 연구(Gallagher *et al.*, 2008; Moffatt *et al.*, 2003) 등은 구성주의자 관점에서 수행된 대중의 위험 인식 연구이다. 본 연구 역시 위험에 대한 구성주의자 관점, 즉 학생들이 인식하는 위험에 초점을 둔다. 선행 연구들(Kolstø, 2006; Rundgren *et al.*, 2016)에서 나타났듯이 학생들의 비형식적 추론은 그들이 이슈와 관련된 위험을 어떻게 인식

하는가에 따라 다른 양상을 나타낼 수 있다는 점, 그리고 개인의 위험 인식이 지역적 맥락과 개인의 경험에 영향을 받을 수 있다는 점(Carone & Marincioni, 2020; Edey *et al.*, 2022; O'Neill *et al.*, 2016)은 위험과 관련된 SSI의 추론을 탐색하는 데 있어 위험에 대한 구성주의자 관점이 본 연구에 적절함을 시사한다.

II. 연구 방법

1. SSI 맥락: 탈원전 정책과 포항 지진

2011년 동일본 대지진과 그로 인한 후쿠시마 원전 사고는 원전의 위험성에 대한 인식을 자극했다. 2017년 10월 정부는 새로운 원전 건설을 중단하고, 운영 중인 원전을 단계적으로 폐쇄하며, 재생 가능 에너지 시설을 확충하는 탈원전 정책을 발표했다(Office for Government Policy Coordination, 2017). 우연히도 정책 발표 한 달 후, 포항에서 규모 5.4 지진이 발생했다. 이 지진의 진앙지 50km 이내에 다섯 개의 원자로와 한 개의 방사성 폐기물 처분장이 자리했기 때문에, 당시 지진 경험은 포항 학생들의 원전 관련 위험 인식에 특정한 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 그러나 지진으로 인한 위험 우려에도 불구하고 원전은 경제적 이익, 안정적 전력 생산, 안전 설비 확보를 통한 안전 수준 증진 등 긍정적인 측면을 명백히 띠고 있었기 때문에, 탈원전 정책에 대한 찬성과 반대 입장이 팽팽히 대립하고 있었다. 따라서 이 연구가 수행되었던 2018-2019년 당시 이 정책은 포항 학생들에게 실제적이고 개인적으로 관련성이 높은 문제였으며, 학생들의 위험 인식과 관련된 추론을 탐구할 적절한 맥락에 놓인 이슈였다.

2. 연구 참여자

본 연구에서는 학생들의 비형식적 추론이 그들이 처한 대조적인 환경에 의해 어떻게 달라지는지 조사하기 위해 비교 사례연구(Goodrick, 2014)의 형태로 설계되었다. 서울과 포항에 거주하는 41명의 초등학교 6학년 학생들(서울 19명, 포항 22명)이 본 연구에 참여했으며, 연구는 각각 2018년 12월과 2019년 2월에 각 교실에서 진행되었다. 연구 수행에 앞서 IRB 심의를 거쳤으며, 모든 학생과 보호자는 연구 동의서와 윤리적 고려 사항에 대한 세부 정보를 제공 받았다.

연구에 참여한 학생들의 배경을 파악하기 위한 사전 설문에 의하면, 두 그룹의 학생은 포항 지진 경험에 대한 반응에서 뚜렷한 차이를 보였다. 모든 포항 학생들은 지진을 직접 경험했으며 놀라거나 두려웠다는 감정적 반응과 함께 당시의 상황을 구체적으로 기술했다. 또한 지진이 다시 일어날까봐 현재도(지진 발생 1년 후 시점) ‘걱정된다’고 응답(8명)하거나, 작은 흔들림에도 ‘민감해졌다’고 응답하는 학생(7명)도 많았다. 반면, 서울 학생들은 TV 뉴스나 휴대폰으로 지진 경보를 받기 전까지 포항 지진을 알지 못했다고 응답했으며 일부 학생들은 당시 포항에 사는 사람들에 대해 ‘걱정했다’고 했지만(4명), 지진이 ‘흥미롭다’(4명)거나 ‘신기하다’(5명)고 응답하는 학생도 있었다. 사전 설문 결과는 두 도시 학생이 처한 맥락이 상이함을 대변한다.

3. 자료수집

사전 설문으로서 학생들은 포항 지진에 대한 경험을 질문지에 기술했다. 포항 학생은 ‘지진이 일어났을 당시 자신이 처했던 상황’을 쓰고, ‘그때 내가 했던 생각이나 감정’을 쓰도록 했으며, 서울 학생들은 ‘포항 지진 발생을 어떻게 알게 되었는지’, ‘지진 발생을 알게 되었을 때의 생각이나 감정’을 쓰도록 했다.

다음으로 학생들은 원자력 발전 및 탈원전 정책에 대한 80분간의 수업에 참여했다. 수업 내용은 원자력 발전의 원리, 한국의 원자력 발전 현황, 원자력 발전의 장단점, 경주 및 포항 지진 사례, 탈원전 정책을 둘러싼 다양한 주장들이 포함되었다. 수업 자료는 3인의 저자가 공동 개발했으며, 수업은 교원 자격을 갖춘 1저자와 교신저자가 번갈아 가며 진행했다.

이어서 학생들은 탈원전 정책에 대한 찬성 측과 반대 측의 입장을 대변하는 각각의 기사를 읽었다. 두 편의 글은 연구자가 여러 편의 신문 기사를 편집하여 제공했는데, 각 입장을 지지하는 근거와 반박수를 동일하게 설정하고 단어 수 또한 유사하게(약 410 단어) 맞추었다. 이는 학생들에게 이슈에 대한 균형 잡힌 시각을 제공하기 위함이었다. 찬성 측 기사에는 포항-경주 지역의 원전의 안전성에 대한 우려, 방사선 피폭으로 인한 질병 위험, 방폐물 처리의 어려움, 원전의 경제성에 대한 반박이 포함되었다. 반대 측 기사에는 원전이 지진에 위험하다는 주장에 대한 반박, 온실가스 배출이 없는 원전, 전력 생산 방식의 다양화 측면에서 원전의 중요성, 원전의 경제적 이점이 강조되었다. 통제된 맥락에서 두 지역 학생들을 비교하기 위해 추가적인 자료 조사는 허용하지 않았다.

신문 기사를 읽은 후 학생들은 ‘탈원전 정책을 추진해야 한다’는 진술에 대해 자신의 논증을 작성하였다. 이 연구의 초점인 비형식 추론은 내적인 인지 과정이기에, 이를 분석하기 위한 방법으로서 개인 추론의 인지적인 구성물인 논증(Mason & Scirica, 2006)을 생성하도록 한 것이다. 연구에서 탈원전 정책은 ‘신규 원전 건설을 중지하고, 현재 운영되고 있는 원전을 점진적으로 폐쇄하며, 동시에 재생에너지 비중을 확대하는 정책’으로 정의되었다. 연구자들은 학생들에게 이 이슈에 대한 명료한 입장을 밝히고 자신의 주장을 정당화할 것을 요구했다. 아울러 여러 개의 근거나 반박을 제시하였을 경우 그 중 가장 중요하다고 생각하는 것이 무엇인지 쓰고 그 까닭도 쓰도록 논증에 대한 질문지(이하 ‘논증 질문지’)를 제시하였다.

끝으로 탈원전 정책에 대한 입장이 글에 명확히 표현되지 않았거나, 주장에 대한 근거나 반박에 좀 더 명료한 구두 설명이 필요한 경우 추가적인 인터뷰를 수행하였다. 그 결과, 포항 학생 19명, 서울 학생 12명이 인터뷰에 참여했다. 포항 학생이 서울 학생보다 더 많은 까닭은 포항 학생들이 처한 맥락(즉, 지진에 대한 경험, 지역적 관련성)이 논증 글에 더 빈번히 드러났기 때문이다. 인터뷰 프로토콜은 ‘탈원전 정책에 대한 자신의 입장은 무엇입니까?’, ‘서술한 주장을 다시 명료하게 설명해 주세요’가 공통 질문이었으며, 인터뷰 중 원전에 대한 위험 인식이나 지진 경험, 지역적 관련성이 드러날 경우 그에 대한 추가 설명을 요구하였다. 인터뷰 과정은 동의를 얻어 녹음 후 전사되었다.

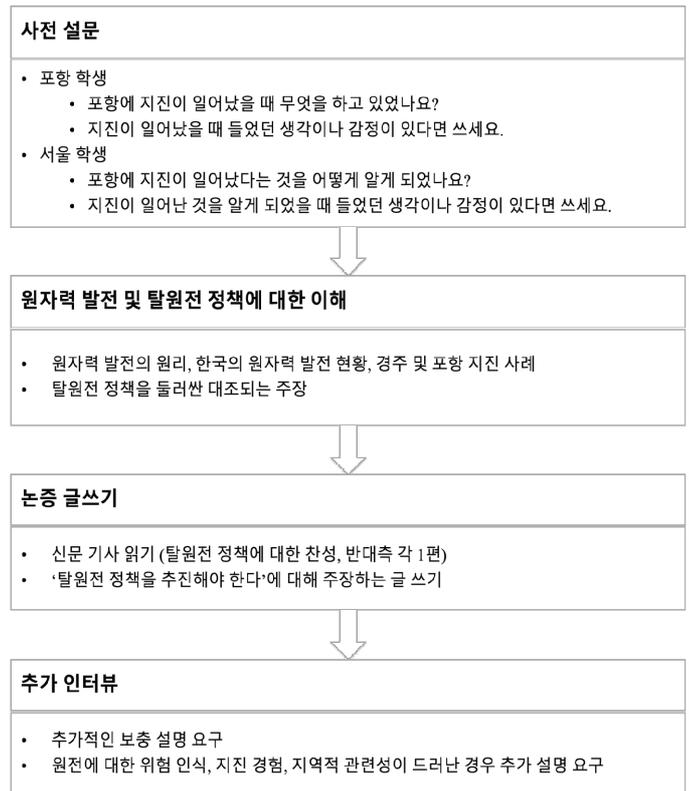


Figure 1. Data collection procedure

4. 자료분석

위험 관련 비형식 추론을 탐색하기 위해 학생들의 논증 글, 논증 질문지, 인터뷰 전사 자료가 분석되었다. 전체적인 자료 분석 과정은 주제 분석법(thematic analysis)을 따랐다(Braun & Clarke, 2006). 먼저 연구자들은 반복적으로 전체 자료를 읽으며 떠오르는 의미 단위나 패턴들을 메모했다. 이어서 학생들의 비형식 추론을 분석하기 위한 초기 코드를 생성하였다. 여기서 논증 글은 학생들이 숙고를 거쳐 최종적으로 생산한 자료이기에 주요 분석 대상이었으며 나머지 자료는 이 논증 글의 의미를 명료히 하는 목적으로 수집되었기에, 보완 자료로 활용되었다.

논증 글의 개별 문장은 Toulmin(1958)과 Evagorou 등(2012)의 분석틀에 따라서 주장, 정당화, 반박으로 구분되었다. 여기서 정당화는 Toulmin(1958)의 자료(data, 주장을 지지하는 사실 및 정보), 보증(warrant, 주장과 자료를 연결하는 근거), 뒷받침(backing, 보증을 정당화하는 추가적인 가정)을 포함하나, 이들을 개별적으로 구분하지 않고 모두 정당화로 코딩했다(Evagorou et al., 2012; Zohar & Nemet, 2002). 또한 탈원전 정책에 대한 찬성, 반대, 중립의 입장이 표현된 문장은 주장으로 코딩되었으며, 상대방의 주장을 약화하는 문장은 반박으로 코딩되었다.

이를 바탕으로 연구자들은 탈원전 정책에 대한 추론 모드를 탐색하였다. 즉, 정당화와 반박 코드의 반복적인 의미 패턴을 확인하고 서로 비교 및 대조하는 과정을 통해 유사한 의미 단위로 분류하였으며, 최종적으로 위험 초점, 경제 초점, 과학기술 초점 추론 모드가 도출되었다. 전체 학생들의 추론 모드별 빈도 차이는 카이제곱 검정을 수행하여 가장 빈번한 추론 모드가 무엇인지 확인하였다. 이어서 개별

추론 모드마다 포항과 서울 학생들의 차이가 있는지 분석하기 위해 빈도 분석과 질적인 분석을 모두 수행하였다. 서울과 포항 학생 간 추론 모드 빈도 차이는 교차 분석을 통해 이루어졌으며, 표본 크기가 작고 기대빈도가 5 미만인 추론의 수가 많으므로(Agresti, 1992) 피셔의 정확 검정(Fisher's exact test)이 수행되었다. 질적인 측면에서는 지역적 관련성과 지진의 경험 측면에서 뚜렷한 추론 모드의 차이가 확인되었다. 이는 본 연구에서 상정된 두 집단의 맥락적 차이와도 일치되는 것으로서 연구 문제 측면에서 두 그룹의 차이를 해석할 수 있었다.

전체 자료 정리 및 분석 과정은 질적 자료 분석 소프트웨어(NVivo, version R 1.7)가 활용되었으며, 이는 연구자의 체계적이고 세밀한 분석을 가능하게 했다. 피셔의 정확 검정은 R 통계 패키지로 수행되었다. 분석의 신뢰도와 타당도를 높이기 위해 학생들의 논증 글, 논증 질문지, 인터뷰 자료에서 도출되는 코드를 대조하며 검토했으며, 연구자 간의 개별 분석과 협의가 이뤄졌다. 1저자가 일차적으로 자료 분석을 수행한 이후 교신저자가 전체 자료를 검토하였으며, 이견에 대해서는 3인의 저자가 모여 협의를 거쳐 최종 합의에 도달하였다.

III. 연구 결과

첫 번째 연구 결과는 탈원전 이슈에 대한 두 그룹의 공통적인 비형식 추론의 패턴을 기술하였다. 두 번째 연구 결과에서는 서울과 대조되는 포항 초등학생들의 맥락이 그들의 위험 초점 추론에서 어떻게 드러나는지에 초점을 두었다. 연구 참여자들의 정보를 보호하기 위해 개별 학생에 대한 영숫자 코드(예: Po-22, Seo-19)를 사용했으며, Po는 포항 학생을, Seo는 서울 학생을 의미한다.

1. 탈원전 정책에 대한 비형식 추론 모드

서울과 포항 학생들은 탈원전 이슈에 대해 위험 초점 추론, 경제 초점 추론, 과학기술 초점 추론을 나타냈다 (Table 1, 이슈에 대한 찬성 및 반대 입장에 상관없이 추론 모드의 수를 누계). Fisher의 정확 검정 결과, 전반적으로 두 지역 학생들 사이에 추론 모드의 빈도 측면에서는 유의미한 차이가 없었으나 위험 초점 모드의 하위 논증인 '원전 안전에 대한 불확실성'에 대해서만 유의미한 차이(p<.001)를 나타

냈다. 본 절에서는 우선 공통적인 추론 모드에 대해 기술하고 유의미한 차이를 보인 포항 학생들의 추론 특성은 다음 절에서 자세히 다루는데, 이는 포항 학생들의 지역적 관련성과 지진에 대한 경험이 원전 안전에 대한 불확실성 논증에서 잘 드러났기 때문이다.

위험 초점 추론은 원전 안전에 대한 불확실성(다음 절에서 다룸), 인간에 대한 방사선 노출 우려, 자연 훼손 우려를 망라하는 사고이다. 다음 인용문에서 Seo-6 학생은 방사선 노출은 암이나 백혈병 등을 유발할 수 있기 때문에 위험하다는 논증을 생성함으로써 이 이슈에 대한 자신의 주장을 정당화하였다.

나는 탈원전 정책에 대해 찬성한다. 그 까닭은 먼저 원전은 전기 생산 과정에서 방사성 물질이 생산되고 이 방사성 물질은 사람들에게 있어 매우 위험한 물질이다. 방사성 물질에 오염된 식품이나 공기를 들이마시게 되면 신체의 세포, 유전자를 파괴시켜 암, 백혈병 등 치명적인 병에 걸릴 수 있기 때문이다. (Seo-6, 찬성, 논증 글)

자연 훼손 우려와 관련하여 Seo-11 학생은 원자력 발전이 자연을 오염시킬 수 있다고 진술함으로써 탈원전 정책을 지지했다. 다만 이 학생은 원자력 발전이 어떻게 자연에 영향을 미치는지 기술하지는 않았는데, 이는 내용 지식에 대한 부족에 귀인하는 것으로 추정된다. 반면 Seo-5 학생은 탈원전 정책에 반대하면서 원자력 발전은 태양광 발전에 비해 온실가스 배출을 더 적게 한다고 기술하였다.

저는 탈원전 정책을 추진해야 한다고 생각합니다. ... 원전이 안전하다고 생각하지만 비용이 많이 들고 환경 오염을 시킬 수 있어서 원전을 조금씩 없애야 한다고 생각합니다. (Seo-11, 찬성, 논증 글)

원전은 지구의 기후 변화의 원인인 이산화탄소를 가장 적게 발생시키는 발전 방식이다. 태양광 발전조차 원자력 발전 대비 다섯 배의 이산화탄소를 배출하고 있다. (Seo-5, 반대, 논증 글)

다음으로 경제 초점 추론은 원자력 시설 건설비, 전기요금, 원자력 기술의 수출, 관련 산업의 고용과 같이 탈원전 정책이 국가나 개인 차원에 영향을 줄 수 있는 경제적인 이익 혹은 손실에 대한 근거이다. Po-12 학생은 방사성 폐기물 처분장 건설 및 운용 경비를 근거로 원전이 값싼 전기를 생산한다는 상대의 주장을 반박하였다. 반면 탈원전에 반대했던 Seo-9 학생은 한국의 전력 생산의 30% 정도를 차지하는

Table 1. Students' reasoning modes and frequency across both groups

추론 모드	논증	설명	빈도 (n=100)		Fisher의 정확검정 (p)
			포항	서울	
위험 초점 추론	원전 안전에 대한 불확실성	원전의 사고 가능성이 있으며, 안전성은 불확실함	26	6	0.000***
	인간에 대한 방사선 노출 우려	방사선에 노출되는 것은 위험하며, 치명적인 질병에 이를 수 있음	10	11	1.000
	자연 훼손 우려	원자력 발전은 환경을 오염시킬 수 있음	3	3	1.000
경제 초점 추론	원자력 시설 건설비	신재생에너지가 원자력 발전보다 더 많은 온실가스를 배출함	2	1	1.000
	전기 요금	원전과 방사성 폐기물 처리장 건설 비용은 비쌈	7	5	0.767
	원자력 기술의 수출	원자력 발전은 저렴한 비용으로 전기를 생산함	4	3	1.000
과학기술 초점 추론	관련 산업의 고용	원자력 발전 기술을 수출할 수 있음	2	2	1.000
	신재생에너지 기술	고용을 늘릴 수 있음	-	2	0.497
	원자력 기술	신재생 발전량이 원자력 발전량을 대체할 수 있음	3	4	1.000
		원자력 발전은 안전하며, 그것의 단점은 기술 개발을 통해 보완될 것임	4	2	0.682

원전을 폐기하는 것은 전기요금의 상승을 야기할 것이라 주장했다.

또 원전이 싸다고 하는데, 나는 싼 것인지 아닌지 모르겠다. 왜냐하면 경주의 방사선 폐기물 처분장의 건설 비용은 1조 7000억 원이고, 2015년 8월 운영이 시작된 이후 매년 300억원의 관리 비용이 들어가기 때문이다. 그러므로 저는 탈원전 정책을 찬성합니다. (Po-12, 찬성, 논증 글)

첫 번째 이유는 무엇보다 돈 때문이다. 지금 우리나라의 원전으로 생산 되는 양은 30%, 약 우리나라의 전기의 1/3이 갑자기 사라진다면 엄청난 전기세가 오를 것이다. ... 원전을 줄여 나가는 것은 별로 좋지 않은 것 같다. (Seo-8, 반대, 논증 글)

끝으로 과학기술 초점 추론의 경우, 신재생 에너지 기술, 원자력 기술과 관련된 근거를 제시한다. 탈원전에 찬성한 Seo-3 학생은 신재생 에너지 기술의 발달을 통해 충분한 에너지를 생산할 수 있다는 점을 찬성의 근거로 들었다. 탈원전에 반대한 Po-3 학생은 원자력 기술의 발전은 현재의 단점을 해결할 수 있을 것이며, 현재의 원전 기술도 잠재적 강점에 대해 충분히 대응하고 있다는 점을 반대에 대한 근거로 제시했다.

우리나라는 원전으로만 전기를 생산하는 게 아니고 신재생(풍력, 태양 광)으로도 전기를 생산한다. ... 독일은 햇빛이 내리쬐는 양이 우리나라의 2/3이라고 한다. 우리나라보다 더 약조건에서 신재생 에너지를 발전시켰으니 우리는 독일보다 더 발전할 수 있다. ... 그러므로 우리는 원전을 쓰지 않고 신재생 등을 쓰도록 해야 한다. (Seo-3, 찬성, 논증 글)

나는 그 정책에 반대한다. 물론 위험한 에너지라는 것은 알고 있다. 하지만 ... 지금 발전소의 내진 설계는 7.4 정도로, 높은 내진 설계가 되어 있다. (Po-3, 반대, 논증 글)

전반적인 비형식 추론 모드의 경향성을 살펴보면, Table 1에서 보듯이, 지역과 상관없이 모든 학생들은 위험 초점, 경제 초점, 과학기술 초점 순서로 추론을 하였다. 카이제곱 검정을 통해 확인한 전체 학생들의 추론 모드 간 빈도 차이는 통계적으로 유의미하다 (Figure 2). 특히 위험 초점 추론이 가장 많이 나타난 것은 상당수의 학생들(62%)이 탈원전 이슈에 대한 추론 과정에서 원전의 안전 및 원전이 자연이나 인간에게 미칠 위험에 대해 우려하였음을 보여준다. 주목할 것은

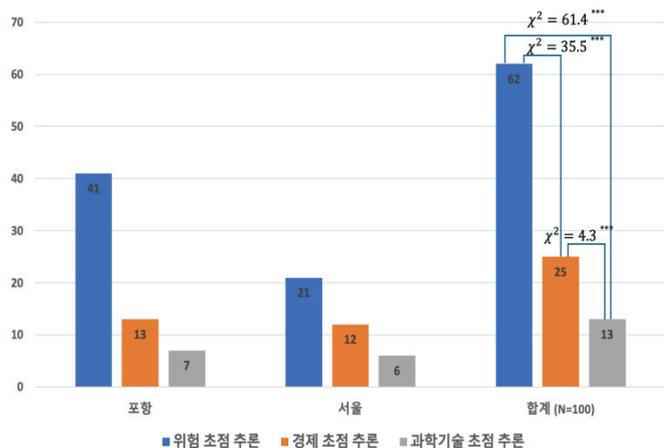


Figure 2. Frequency of students' reasoning modes by regions

포항 학생들은 서울 학생들에 비해 대략 두 배 많은 위험 초점 추론을 포함한 점인데(포항 41건, 서울 21건), 이는 그들이 위험 초점 추론의 하위 항목인 '원전의 안전에 대한 불확실성' 논증을 뚜렷하게 많이 포함했기 때문이다(Table 1). 이는 이어지는 연구 결과에서 자세히 다룬다.

2. 지역적 관련성과 지진의 경험이 위험 초점 추론에 미치는 영향

앞선 연구 결과에서 포항 학생들은 서울 학생들보다 위험 초점 추론 모드를 약 2배 많이 포함했으며, 특히 '원전의 안전에 대한 불확실성' 논증은 두 지역의 학생 간에 통계적으로 유의미한 빈도 차이가 있었다. '원전의 안전에 대한 불확실성' 논증에는 방사성 물질 누출이나 발전소 폭발에 대한 우려와 원전의 안전성은 보장될 수 없다는 생각이 드러난다. 포항 학생들은 서울 학생에 비해 이 논증을 빈번하게 포함했다. 이 '원전의 안전에 대한 불확실성' 논증은 서울과 구분되는 포항 학생의 맥락을 반영하여 '지역적 관련성'과 '지진 관련 우려'로 나누어 살펴볼 수 있다.

가. 지역적 관련성

지역적 관련성 논증은 포항학생들이 탈원전 정책 혹은 원자력 발전을 그들의 지역과 그들의 삶에 영향을 미치는 실제화된 문제로 보았음을 드러낸다. 지역적 관련성 논증은 '포항 지역 주변의 원전의 밀집에 대한 우려'와 '지역 주민들이 겪은 위험에 대한 우려'로 다시 나뉜다. 5명의 포항 학생들과 1명의 서울 학생은 포항 주위에 원전이 밀집해 있기 때문에 원전에 의한 위험이 증가한다고 주장했다.

탈원전 정책은 우리의 안전을 위해 추진해야 한다. 그 이유는 특히 경상도 지역에 너무 많이 몰려있기 때문이다. 자칫하다 경상도 지역 전체에 지진이 나게 되면 큰 사고로 이어질 수 있기 때문이다. (Seo-13, 찬성, 논증 글)

탈원전 정책을 우리 계속 추진해 나가야 합니다. ... 원전이 한 지역에 모여있다는 걸 아십니까? 원전이 10개가 몰리면 (밀집되면) 1개에 비해 19.4배나 위험해집니다. (Po-15, 찬성, 논증 글)

위 사례에서 두 지역 학생들은 모두 원전의 밀집이 안전을 위협하는 요인이라고 주장했다. 그러나 아래 사례에서 보듯이 포항 학생들은 이 밀집 문제를 원전의 안전과 관련된 불신과 불안에 연관 짓는 구분되는 특성을 나타냈다.

탈원전을 해야 한다고 생각합니다. ... (국내 원전의) 안전(기술)이 세계 1위라고 해도 (그것이) 다 밀집되어 있으니 믿지 못할 거 같다. (Po-8, 찬성, 논증 글)

위 Po-8 학생은 '자신의 논거 중 가장 중요한 논거'를 묻는 논증 질문지에서 원전이 단층이 지나는 지역에 밀집되어 있다는 점은 확실한 것이며 그것이 자신을 불안하게 한다고 밝혔다. 특히 밀집 그 부분은 탈원전 반대 측 신문 기사의 주장이기에 이 학생은 원전 안전에 대한 반박 논증을 포함하여 자신의 주장을 강화한 것을 알 수 있다.

전반적으로 원전의 밀집은 부정적 감정과 연관되었으며, 반박 논증 형성에도 영향을 주었다고 볼 수 있다.

한편, 학생들에게 제시된 두 편의 기사 중 찬성 측의 기사는 포항 인근 원전 주변에 거주하는 주민들을 대상으로 수행된 소변 검사에서 방사성 물질인 삼중 수소가 검출되었음을 언급하였다. 탈원전 정책에 대한 추론에서 5명의 포항 학생들은 원전 인근 지역 주민의 소변에서 방사성 물질이 검출된 것에 대해 우려를 표현하며 탈원전을 찬성하는 논거로 사용했다. 상대적으로 서울 학생들의 글에는 이 사건에 대한 언급이 전혀 나타나지 않았다. 다음은 포항 학생들의 논증이다.

원전을 줄여 나가는 정책을 추진해야 한다는 의견은 좋은 생각이다. ... 원전 인근 지역에 거주하는 양남면 주민들 40명 전원의 소변에서 방사성 물질이 검출되었기 때문에 암, 백혈병이 걸릴 확률이 높기 때문이다. (Po-1, 찬성, 논증 글)

첫째, 원전 주변 도시 사람들이 방사선에 노출되고 있어 주민들이 불안에 떨고 있다. ... 따라서 탈원전 정책을 지속적으로 추진해야 합니다. (Po-5, 찬성, 논증 글)

Po-1 학생은 주민들 소변에서 방사성 물질이 검출되었으므로 원자력 발전이 암이나 백혈병 등의 치명적인 질병을 유발할 가능성이 있다고 주장하며 탈원전 정책을 정당화하였다. 이는 학생이 직접 겪지 않았더라도 지역적이며 실재 위험의 사례를 통해, 원전을 잠재적으로 건강상 위험이 될 수 있는 것으로 인식하게 되었음을 보여주는 사례라 할 수 있다. 실제로 이 학생은 인터뷰에서 신문기사의 내용 중 이 사건이 가장 인상적이었다고 지목했으며 그 까닭으로 “어린이와 청소년까지도 위험한 것을 알게 돼서”(Po-1, 찬성, 인터뷰)라고 응답하였다. 마찬가지로 두 번째 학생(Po-5)은 논증에서 이 사건을 언급하며 ‘주민들이 불안에 떨고 있다’고 서술하였는데, 인터뷰에서 역시 “원전 주변 도시 시민들의 소변에서 방사성 그런 게 나왔다고 해서 (저도) 불안한 것 같아요”(Po-5, 찬성, 인터뷰)라고 말하며 원전 관련 높은 수준의 위험 인식을 나타냈다. 이러한 응답들은 원전에 인접한 자신의 지역에서 발생한, 특히 자신의 연령 그룹에도 영향을 미치는 위험의 사례가 그들을 높은 수준의 위험 인식에 이르게 함을 보여준다. 다만 주민들의 소변에서 방사성 물질이 검출된 현상 자체만으로 암이나 백혈병 발병에 대해 우려하는 것이 타당한 판단인지에 대해서는 과학적으로 재고가 필요할 것이다. 이는 학생이 지닌 과학 지식과 접하는 정보와 관련되는 문제로 이어지는 논의 섹션에서 토의할 것이다.

요약하면 포항 인근의 원전 밀집 상황과 시민들의 소변에서 방사성 물질이 검출된 사건은 학생들로 하여금 자신이 현재 위험에 노출되어 있다고 인식하게 했으며, 탈원전 정책을 옹호하는 결정을 하게 한 것으로 분석된다. 대조적으로 서울 학생은 1명(위 발췌문의 Seo-13)만이 지역적 관련성 논증을 포함하였다는 점은 원자력 발전을 둘러싼 위험 인식과 비형식 논증이 학생들이 처해있는 상황과 거주하는 지역에 크게 영향을 받을 수 있음을 함의한다.

나. 지진 관련 우려

지진 관련 우려는 지진에 대한 원전의 안전성을 담보할 수 없고

불확실한 것으로 인식한 논증들이다. 이 논증들은 ‘원전 운용 지역의 지질학적 안정성에 대한 우려’, ‘원전이 지진에 대비되었다는 주장에 대한 반박’으로 나뉜다.

다음 인용문과 같이 4명의 포항 학생들은 원전이 위치한 곳은 지질학적으로 안정적이지 않다고 기술하는 탈원전 정책 찬성 측 뉴스 기사를 인용했다. 상대적으로 서울 학생들은 이 지질학적 안정성 문제에 대해 언급하지 않았다. 다음은 이 논거가 나타난 포항 학생들의 글과 인터뷰 자료이다.

저는 더 이상 원전을 짓지 않고 지진이 많이 발생하는 지역의 원전을 가동 중지시켜야 한다고 생각합니다. (Po-14, 찬성, 논증 글)

탈원전을 해야 한다고 생각한다. 단층이 원전 밑에 있는데 가동을 중지하든지 다른 곳에 옮기지 않으면 다 터질 것 같다. ... (Po-8, 찬성, 논증 글)

항상 제가 폰을 많이 보는데, 폰으로 인터넷 뉴스를 주로 보는데, 거기서 지진에 대한 게 있어 좀 봤는데 (경주에) 원전이 있는데 지진 지층이 있대요. 그래가지고 더 불안하고 ... (Po-8, 찬성, 인터뷰)

두 학생 모두 지진이 많이 발생하며, 단층 지대 위에 세워진 포항 인근의 원전들은 가동을 멈춰야 한다고 생각하였다. 특히 Po-8 학생은 인터뷰에서 이미 월성 원전 인근에 활성 단층이 있음을 뉴스로 접해 알고 있었으며 이로 인해 원전의 안전에 대해 불안감을 지닌다고 응답하였다. 이 학생들의 응답은 학생들이 잠재적 지진 발생 가능성에 대해 인식함으로써 원전 관련 위험 인식 수준이 올라갔고 결국 탈원전 정책을 지지하는 결정으로 이어졌음을 보여준다.

끝으로 12명의 포항 학생과 5명의 서울 학생들은 원전은 내진 설계로 지어져 지진에 충분히 대비하고 있다는 신문기사의 주장에 대해 적극적인 반박 논증을 포함했다. 즉, 학생들은 내진 설계보다 큰 강진이나 지진해일 등의 발생으로 인해 원전의 안전을 보장할 수 없다고 주장했다. 다음은 서울과 포항 학생들의 논증 글과 인터뷰 발췌문이다.

왜냐하면 안전하다고 하지만 자연은 아무도 모르는 거라서 안전하지 않다고 생각한다. 그리고 우리나라 지진 최대 강도가 6.5라고 하지만 그 예상이 틀릴 수도 있기 때문이다. ... (Seo-14, 찬성, 논증 글)

왜냐하면 어떤 사람들은 원전이 안전하다고 하는데, 만약 너무 큰 지진이 일어나거나 쓰나미가 오면 원전에 이상이 생겨 자동 정지가 되지 않을 수도 있고, 폭발할 수도 있을 것 같다. (Po-12, 찬성, 논증 글)

(탈원전 반대 기사에서) 안전하다고 계속 했는데, 일본도 그렇게 따지면 큰 지진 일어났을 때는 그것을 못 버티고 원전이 터졌는데, (규모) 7.0까지 버틸 수 있다고 해도 잘못하면 (원전이) 터질 수도 있고, 그게 안 터질 거라는 가능성이 그렇게 많지는 않을 것 같아서 (위험하다고 썼어요). (Po-12, 찬성, 인터뷰)

Seo-14 학생은 예상보다 큰 강진의 가능성을 기술했고, Po-12 학생은 원전에 영향을 미칠 수 있는 지진해일 발생의 가능성을 주장했다. 사후 인터뷰에서 Po-12 학생은 일본 후쿠시마 원전 사고를 떠올렸는데, 포항뿐만 아니라 서울 학생까지 총 3명이 이 사고를 논거로 포함하였다. 이는 논쟁적 이슈와 연관되며 큰 파장을 일으킨 사건의 인식

이 두 지역 학생 모두에게 위험 인식 수준을 높이는 데 영향을 줄 수 있음을 함의한다. 다른 논증들과 달리 유독 이 논증에서만 서울 학생들도 포항 학생들처럼 원전 안전에 대한 불확실성과 관련되는 논거를 포함하였는데, 그 까닭을 일부 설명할 수 있을 것이다. 그러나 포항 학생은 서울 학생들과 두 가지에서 구분되었는데, 첫 번째로 절반 이상(12명)의 포항 학생들이 이 추론을 포함하였다는 점, 두 번째로 지진을 직접 경험한 포항 학생은 아래와 같이 원전에 대한 불안한 감정이 반박 논거에 뚜렷이 나타났다는 점이다.

원전이 7.0을 기준으로 보강 작업을 실시한다지만 더 높은 지진이 올 시에는 위험하고 터질 가능성도 있어 안심하지 못하고, 원전을 줄여 ... 전기를 못 쓰는 것 보다 더 중요한 것이 안전이기 때문에 우리의 안전을 위해서라도 원전을 줄여나가야 된다고 생각한다. (Po-16, 찬성, 논증 글)

약간 지진에 대한 공포감도 있는데, 지진이 일어났을 때 내가 살았다 해도 원전이 폭발하면 다 살아있는 것도 아니니까 (위험해질 수 있으니까) ... 원전이 편리하긴 하겠지만 그래도 폭발이 될 수도 있으니까 그럴 때 약간 겁이 났어요. (Po-16, 찬성, 인터뷰)

Po-16 학생의 경우 내진 설계가 된 원전이라든가 그 이상의 강진으로 인한 사고의 가능성에 대해 ‘안심하지 못하고’ 있으며, 따라서 전기 부족으로 인한 불편함보다 안전에 더 높은 가치를 두는 판단을 하고 있음을 알 수 있다. 이후 이뤄진 인터뷰에서 이 학생은 지진에 의해 발생할 수 있는 원전 폭발에 대한 공포감을 느낀다고 응답하였다. 이는 포항 지진의 경험이 원전의 안전에 대한 불안과 공포와 연관되어 원전이 안전하다는 상대적 주장에 대해 적극적으로 반박하는 논거를 생성하게 하였을 것이라는 추정을 가능케 한다.

종합하면, 포항 인근의 지질학적 불안정성과 포항 지진의 경험은 인근 지역에서 가동 중인 원전들의 안전에 대한 우려를 강화한 것으로 해석할 수 있다. 다만 후쿠시마 원전 사고는 포항뿐만 아니라 서울 학생들의 탈원전 이슈 관련 추론에도 영향을 미쳐 원전이 안전하다는 주장에 대한 적극적인 반박 논거를 생성하게 한 것으로 보인다.

IV. 논의 및 결론

이 연구는 위험 사회에서 과학교육은 민주적이고 변혁적인 역할을 해야 하며, SSI 교육은 위험 개념을 좀 더 적극적으로 통합해야 할 필요성을 지지한다. 이에 기초하여 서울과 포항이라는 서로 구분되는 두 맥락의 초등학교 학생들의 위험 관련 이슈에 대한 비형식 추론을 그들이 작성한 논증과 인터뷰를 바탕으로 분석하였다.

연구 참여자들은 탈원전 정책에 대해 크게 위험 초점, 경제 초점, 과학기술 초점 추론을 통해 자신의 입장을 결정했다. 특히 위험 초점 추론과 경제 초점 추론은 각각 첫 번째와 두 번째로 빈번히 등장한 추론 모드였다. 선행 연구에서도 이 두 가지는 위험 관련 SSI 추론에서 핵심 요소로 보고되어 왔다. 예를 들어 나노 기술의 개발에 대한 토론을 분석한 Simonneaux 등(2013)의 연구는 나노기술이 야기할 수 있는 위험에 대해 우려하는 그룹과 이 기술을 통한 경제적, 기술적 진보를 지지하는 그룹 사이의 논증 활동을 기술했다. 대학생을 대상으로 한 Driver 등(2010)의 연구 또한 원전의 안전 여부와 전기 요금과 같은 경제적 측면이 거의 모든 학생들에게 가장 중요한 요소였다고

보고하였다. 따라서 본 연구 결과는 위험과 이익 사이의 추론이 위험에 초점을 둔 SSI에서 중요한 요소가 된다는 선행 연구(Kolsto, 2006; Ratcliffe & Grace, 2003; Rundgren *et al.*, 2016)를 지지하는 동시에 앞으로 연구자와 교사들이 더 많은 관심을 기울여야 함을 함의한다.

다만 우리 연구는 선행 연구들에서 더 나아가 학생들의 위험 초점 추론에 많은 관심을 가졌다는 것에 의의가 있다. 예비교사의 원전 건설에 대한 논증을 분석한 Ozturk와 Yilmaz-Tuzun(2017) 역시 예비교사들의 논증에서 위험에 대한 추론이 일부 드러났음을 보고했으나, 위험에 초점을 두고 분석하지 않았기에 원자력 발전이 사람이나 자연에 미칠 위험에 대한 논증을 뚜렷이 밝히지는 못했다. 대조적으로 본 연구에서는 학생들이 ‘원전의 안전에 대한 불확실성’, ‘인간에 대한 방사선 노출 우려’, ‘자연 훼손 우려’ 측면에서 위험 초점 추론을 하였음을 확인하였다. 나아가 포항과 서울이라는 구분되는 지역적 맥락이 위험 초점 추론에서 어떠한 차이를 보이는지 역시 분석하였다.

앞서 위험에 대한 이론적 접근에서 기술했듯이 위험은 부정적인 결과와 불확실성의 측면에서 인식된다. 서울 학생들의 경우 원전이 가져올 부정적 결과를 중심으로 자신의 입장을 정당화하기 위해 ‘인간에 대한 방사선 노출 우려’와 ‘자연 훼손 우려’ 논거를 동원한 것으로 볼 수 있다. 그러나 대부분의 서울 학생은 불확실성의 측면(‘원전의 안전에 대한 불확실성’)에서 논거를 제시하지는 않았다. 대조적으로 다수의 포항 학생은 원전이 가져올 부정적 결과 논증(‘인간에 대한 방사선 노출 우려’와 ‘자연 훼손 우려’)은 물론 원전의 안전에 대한 불확실성 논증(‘원전의 안전에 대한 불확실성’)도 포함하였다. 따라서 이들은 서울 학생들에 비해 위험의 두 측면을 모두 내적으로 고려하며 위험 회피 결정을 했음을 알 수 있다. 선행 연구는 학생들이 비형식 추론에서 사전 경험을 동원하는 경향이 있음을 강조한 바 있다(Albe, 2007; Sadler & Zeidler, 2005; Topçu *et al.*, 2010). 우리 연구의 포항 학생들 역시 지역적 맥락과 함께 개인의 지진 경험을 동원하여 원전 안전의 불확실성을 추론함으로써 서울 학생들과 구분되는 추론을 하게 된 것으로 해석된다.

한편, 포항 학생들이 주로 나타내었던 ‘원전 안전에 대한 불확실성’ 논증 사례에서 보았듯이 그들은 원전의 안전과 관련하여 불안, 우려, 두려움 등의 부정적인 감정을 뚜렷이 나타냈으며, 이것은 그들의 위험 초점 추론에 중요한 기여를 했다(예: Po-8, Po-16 사례). 탈원전에 찬성했던 Po-26 학생은 인터뷰에서 “아무래도 자기가 보고 느끼고 그런 거가 더 와 닿잖아요. ... 그래서 포항에서 강진이 또 일어나게 되면 ‘원전이 굉장히 무서운 곳이 될 수 있겠구나’ 그렇게 생각하게 됐던 것 같아요.”라고 응답하였는데, 이 또한 개인이 느끼는 긍정 혹은 부정적 감정이 위험과 관련된 결정과 추론에 큰 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

그러나 학생들의 감정과 대조하여 SSI의 비형식 추론에서 과학 지식 혹은 과학적인 정보의 중요성 역시 논의할 필요가 있다. 예를 들어 다수의 학생들은 후쿠시마 원전 사고 사례를 통해 국내 원전의 안전에 대해 우려를 표했으나, 가압경수로 방식인 국내 원전은 비등경수로 방식의 후쿠시마 원전에 비해 사고 발생 시 방사성 물질을 격납구조 내에 가두기 훨씬 유리하다. 또한 설계지진을 초과하는 지진의 발생이 곧 원전 재해로 이어진다는 것은 아니라는 사실(예: 2011년 3월 동일본 대지진 때 진원지에서 가장 가까웠던 오가나와 발전소, 2011년 8월 버지니아 지진 때 North Anna 발전소 등) 등이 자료로

주어졌다면 학생들의 원전에 대한 위험 인식이나 탈원전 정책에 대한 추론은 달라졌을 가능성을 배제할 수 없다. 이는 그간 SSI 교육 연구가 주장해 왔듯 과학 지식이 학생들의 추론 및 논증의 질에 일정 부분 긍정적 기여를 한다는 점과 일맥상통하는 부분이다(Lewis & Leach, 2006; Chang & Chiu, 2008; Sadler & Fowler, 2006).

따라서 타당한 정보와 논리에 기반하여 추론할 것을 강조하는 SSI 교육에서 감정을 어떻게 다뤄야 할 것인가에 대한 질문에 직면하게 된다. Damasio(1994)는 인간의 이성은 감정이 안내하는 힘이 아니었다면 발달하지 못했을 것이라고 주장한다. 또한 Slovic 등(2007)은 인간은 문제가 복잡하고 활용 가능한 자원이 제한적인 상황에서 의사 결정을 해야 할 때 감정 휴리스틱(affect heuristic)에 의존하며, 이는 인간이 고안해낸 효과적이며 신속한 방법의 일종으로 보았다. 다만 이와 같은 정신적인 지름길을 사용하는 것이 때로는 효과적인 방법이 될 수 있더라도 감정에만 의거한 의사 결정이 최선의 결과를 가져오는 것은 불가능할 것이다. 따라서 SSI 수업에서 학생들의 비형식 추론에 인지적 과정과 감정적 과정을 모두 존중할 방법을 찾을 필요가 있다. 우선은 위험을 회피하고자 하는 감정적인 과정이 인지적인 과정을 일방적으로 고립시키지 않도록 학생들은 논쟁적인 이슈와 관련된 다양한 관점과 자료 소스(예: 과학자들의 증거에 입각한 자료, 지역 주민들의 인터뷰 자료 등)에 노출되어야 할 것이다. 특히 인간은 이슈에 대해 분석적으로 숙고할 시간이 주어지지 않을 때 감정 휴리스틱에 강하게 의존한다는 점에 비추어 볼 때(Finucane et al., 2000), 학생들에게 이슈에 대한 숙고와 비판적 사고를 위한 충분한 시간을 제공할 필요가 있다. 한편 어떤 자극에 대한 긍정적 혹은 부정적 감정은 그 감정이 야기될 것으로 기대되는 결정을 피하고자 하는 동력으로 작용하기 때문에(Epstein, 1994), 과학교실에서 위험 이슈에 대한 학생들의 불안, 우려를 학습 동기의 원천으로 활용할 방안도 고민해볼 수 있을 것이다. 실제 본 연구에서 Po-30 학생은 인터뷰에서 “제가 포항 지진을 겪어 보니깐 지진을 겪어본 사람만 알 수 있는 게 있는 거예요. 그래서 뉴스에 지진이나 원자력 발전소 같은 얘기 나오면 일부러 찾아 듣고 그랬어요.”라고 진술했는데 이 장면 역시 동기화된 모습을 반영한다. 따라서 비형식 추론에 위험에 대한 학생들의 감정이 건설적으로 기여할 수 있도록 포용하기 위한 더 많은 고민과 연구가 필요하다.

이 연구는 SSI 연구에 위험 인식 개념을 도입하여 초등학교 학생들의 비형식 추론 모드를 탐색하였다. 지역적으로 서로 구분되는 맥락에 거주하는 학생들의 비형식 추론을 비교함으로써, 이 연구는 지역적 관련성과 개인 경험이 서로 다른 위험 초점 추론에 기여할 수 있음을 보였다. 그러나 위험 인식은 본질적으로 주제 특이적 성격을 가지며, 이슈와 관련된 지식, 경험, 지역적 맥락 등에 영향을 받을 수 있기에 위험 이슈 관련 비형식 추론에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 끝으로 이 연구가 학생들이 과학과 관련된 다양한 사회적 논쟁에 대한 공론의 장에 민주적으로 참여하기 위한 역량을 갖출 수 있도록 돕기 위한 노력의 일환이 되기를 기대한다.

국문요약

이 연구는 초등학교 6학년 학생 41명을 대상으로 탈원전 정책 관련 위험에 초점을 맞춘 추론을 분석했다. 이슈와 관련된 지역적 관련성

과 과거 경험이 개인의 위험 인식과 추론에 영향을 줄 수 있다는 선행 연구 결과에 따라 서로 대조되는 맥락에 처한 서울과 포항 학생들의 추론 방식을 비교하였다. 그 결과, 위험 초점, 경제 초점, 과학기술 초점 추론의 세 가지 추론 방식이 도출되었으며, 특히 두 그룹 모두 위험 초점 추론이 두드러졌다. 그러나 서울 학생들과 달리 최근에 지진을 겪었으며 인근에 원전이 위치하고 있는 포항 학생들의 경우, 원전 안전에 대해 부정적 감정과 함께 불확실성을 더 많이 표현하는 것이 확인되었다. 포항 학생들의 원자력 발전에 대한 높은 수준의 위험 인식은 원전과의 인접성과 과거 지진의 경험이 반영된 결과로 해석된다. 끝으로 이 연구의 의의를 바탕으로, 위험 관련 SSI 수업에서 학생들의 감정을 포용하며 타당한 정보에 입각한 추론을 지도할 수 있는 교육적인 방법에 대해 논의했다.

주제어 : 비형식 추론, 위험인식, 과학과 관련된 사회적 논쟁 (SSI)

References

- Agresti, A. (1992). A survey of exact inference for contingency tables. *Statistical Science*, 7(1), 131-153.
- Albe, V. (2008). When scientific knowledge, daily life experience, epistemological and social considerations intersect: Students' argumentation in group discussions on a socio-scientific issue. *Research in Science Education*, 38(1), 67-90.
- Aven, T., & Reniers, G. (2013). How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. *Safety science*, 51(1), 223-231.
- 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*. Sage Publications.
- Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H., & van den Bergh, J. C. J. M. (2009). Dependence of flood risk perceptions on socioeconomic and objective risk factors. *Water Resources Research*, 45(10), W10440.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Cameron, L., & Shah, M. (2015). Risk-taking behavior in the wake of natural disasters. *Journal of Human Resources*, 50(2), 484-515.
- Capkinoglu, E., Yilmaz, S., & Leblebicioglu, G. (2020). Quality of argumentation by seventh-graders in local socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(6), 827-855.
- Carone, M. T., & Marincioni, F. (2020). From tale to reality: Geographical differences in children's flood-risk perception. *Area*, 52(1), 116-125.
- Cassar, A., Healy, A., & Von Kessler, C. (2017). Trust, risk, and time preferences after a natural disaster: Experimental evidence from Thailand. *World Development*, 94, 90-105.
- Cebesoy, U. B. (2021). Pre-service science teachers' informal reasoning patterns and risk perceptions in SSI: Case of gene therapy. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 9(4), 211-229.
- Chang, S. N., & Chiu, M. H. (2008). Lakatos' scientific research programmes as a framework for analysing informal argumentation about socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1753-1773.
- Christensen, C. (2009). Risk and school science education. *Studies in Science Education*, 45(2), 205-223.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. Avon.
- Driver, L., Stanistreet, M., & Boyes, E. (2010). Young people's views about using nuclear power to reduce global warming. *International Journal of Environmental Studies*, 67(1), 1-3.
- Edey, D., Thompson, C. M., Cherian, J., & Hammond, T. (2022). Online local natural hazards education for young adults: Assessing program efficacy and changes in risk perception for Texas natural hazards. *Journal of Geography in Higher Education*, 46(3), 447-478.
- Epstein, S. (1994). Integration of the cognitive and psychodynamic unconscious. *American Psychologist*, 49(8), 709-724.
- Eş, H., & Yenilmez Türkoglu, A. (2021). Using Q methodology to explore science teachers' socioscientific decision-making. *International Journal of Research in Education and Science*, 7(3), 659-680.
- Evagorou, M., Jimenez-Aleixandre, M. P., & Osborne, J. (2012). 'Should

- we kill the grey squirrels?' A study exploring students' justifications and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428.
- Evans, J. S. B. T., & Thompson, V. A. (2004). Informal reasoning: Theory and method. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58(2), 69-74.
- Finucane, M. L., Alhakami, A., Slovic, P., & Johnson, S. M. (2000). The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *Journal of Behavioral Decision Making*, 13(1), 1-17.
- Funtowicz, S. O., & Ravetz, J. R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
- Gallagher, L., Ferreira, S., & Convery, F. (2008). Host community attitudes towards solid waste landfill infrastructure: Comprehension before compensation. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(2), 233-257.
- Goodrick, D. (2014). Comparative case studies, methodological briefs: Impact evaluation 9. Florence: United Nations Children's Emergency Fund Office of Research.
- Han-Tosunoglu, C., & Ozer, F. (2022). Exploring pre-service biology teachers' informal reasoning and decision-making about COVID-19. *Science and Education*, 31(2), 325-355.
- Hansen, J., & Hammann, M. (2017). Risk in science instruction: The realist and constructivist paradigms of risk. *Science and Education*, 26(7-9), 749-775.
- Jasanoff, S. (1998). The political science of risk perception. *Reliability Engineering & System Safety*, 59(1), 91-99.
- Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J. X., & Ratick, S. (1988). The social amplification of risk: A conceptual framework. *Risk Analysis*, 8(2), 177-187.
- Kılınc, A., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2013). Exploring students' ideas about risks and benefits of nuclear power using risk perception theories. *Journal of Science Education and Technology*, 22(3), 252-266.
- Kim, J. Y., & Oh, H. (2018). The determinants of attitudes toward nuclear power plant: The effects of earthquake experience and the reduction in electricity charges. *Environmental and Resource Economics [Review]*, 27(1), 139-160.
- 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.
- Ladachart, L., & Ladachart, L. (2021). Preservice biology teachers' decision-making and informal reasoning about culture-based socioscientific issues. *International Journal of Science Education*, 43(5), 641-671.
- Lewis, J., & Leach, J. (2006). Discussion of socio-scientific issues: The role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1267-1287.
- Mason, L., & Scirica, F. (2006). Prediction of students' argumentation skills about controversial topics by epistemological understanding. *Learning and Instruction*, 16(5), 492-509.
- Moffatt, S., Hoeldke, B., & Pless-Mulloli, T. (2003). Local environmental concerns among communities in North-East England and South Hessen, Germany: The influence of proximity to industry. *Journal of Risk Research*, 6(2), 125-144.
- Morin, O., Simonneaux, L., Simonneaux, J., Tytler, R., & Barraza, L. (2014). Developing and using an S3R model to analyze reasoning in web-based cross-national exchanges on sustainability. *Science Education*, 98(3), 517-542.
- Office for Government Policy Coordination. (2017). Notifications and news. Press Releases. <https://www.opm.go.kr/opm/news/press-release.do?mode=view&articleNo=142652&srSearchVal=%EC%8B%A0%EA%B3%A0%EB%A6%AC&article.offset=0&articleLimit=10>.
- O'Neill, E., Brereton, F., Shahumyan, H., & Clinch, J. P. (2016). The impact of perceived flood exposure on flood-risk perception: The role of distance. *Risk Analysis*, 36(11), 2158-2186.
- Ozturk, N., & Yilmaz-Tuzun, O. (2017). Preservice science teachers' epistemological beliefs and informal reasoning regarding socioscientific issues. *Research in Science Education*, 47(6), 1275-1304.
- Patronis, T., Potari, D., & Spiliotopoulou, V. (1999). Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: Implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21(7), 745-754.
- Pietrocola, M., Rodrigues, E., Bercot, F., & Schnorr, S. (2021). Risk society and science education: Lessons from the Covid-19 Pandemic. *Science and Education*, 30(2), 209-233.
- Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). Science education for citizenship: Teaching socio-scientific issues. McGraw-Hill Education.
- Renn, O. (2008). Concepts of risk: An interdisciplinary review - Part 1: Disciplinary risk concepts. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 17(1), 50-66.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 743-794). Routledge.
- Rosa, E. A. (1998). Metatheoretical foundations for post-normal risk. *Journal of Risk Research*, 1(1), 15-44.
- Rundgren, C.-J., Eriksson, M., & Rundgren, S.-N. C. (2016). Investigating the intertwining of knowledge, value, and experience of upper secondary students' argumentation concerning socioscientific issues. *Science and Education*, 25(9-10), 1049-1071.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sadler, T. D., & Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science education*, 90(6), 986-1004.
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
- 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.
- Simonneaux, L., & Simonneaux, J. (2009). Socio-scientific reasoning influenced by identities. *Cultural Studies of Science Education*, 4(3), 705-711.
- 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.
- Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E., & MacGregor, D. G. (2007). The affect heuristic. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1333-1352.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Topçu, M. S., Sadler, T. D., & Yilmaz-Tuzun, O. (2010). Preservice science teachers' informal reasoning about socioscientific issues: The influence of issue context. *International Journal of Science Education*, 32(18), 2475-2495.
- Walker, K. A., & Zeidler, D. L. (2007). Promoting discourse about socio-scientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387-1410.
- 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(1), 13-20.
- Wu, Y. T. (2013). University students' knowledge structures and informal reasoning on the use of genetically modified foods: Multidimensional analyses. *Research in Science Education*, 43(5), 1873-1890.
- Wu, Y. T., & Tsai, C. C. (2007). High school students' informal reasoning on a socio-scientific issue: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1163-1187.
- 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.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.

저자정보

김종욱(서울길동초등학교 교사)
 김찬중(서울대학교 명예교수)
 강다연(한국과학창의재단 연구원)