

고등학생의 화학 문제해결 산출물에 대한 화학 교사의 노티싱(Noticing) 탐색

송나윤¹, 배신영², 노태희^{2*}

¹서울대학교 교육융합연구원, ²서울대학교

Exploring Chemistry Teachers' Noticing of High School Student's Chemistry Problem-Solving Materials

Nayoon Song¹, Shinyoung Bae², Taehee Noh^{2*}

¹Center for Educational Research, Seoul National University, ²Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 July 2024

Received in revised form

30 July 2024

Accepted 23 August 2024

Keywords:

noticing

chemistry teacher

problem-solving

student's materials

stoichiometry

ABSTRACT

In this study, chemistry teachers' noticing of high school student's chemistry problem-solving materials was explored. Fourteen high school teachers participated in the study. We created materials documenting student's problem-solving processes and conducted semi-structured interviews with teachers. The results of the study revealed that most teachers only paid attention to errors in student's scientific thinking, and the number of teachers who paid attention to scientific thinking partially or completely was the same. In interpreting, teachers were most likely to provide an exaggerated interpretation with evidence, followed by a correct interpretation with evidence, and an incorrect interpretation with some evidence. In responding, many teachers suggested responses that aligned with student's thinking, with slightly more aligning with student's specific thinking than with general thinking. Teachers who suggested actions that aligned with student's specific thinking tended to be content-focused, with some vague or off-target responses. Teachers who suggested responses that aligned with student's general thinking tended to be similar to those who suggested responses that aligned with student's specific thinking, but neither type of teacher suggested student-centered responses. Some teachers suggested responses that did not align with student thinking. Based on these findings, we discussed ways to improve teachers' noticing of student problem-solving.

1. 서론

구성주의적 관점에 따라 학생이 과학적 현상이나 원리를 탐색하여 주제적으로 학습할 수 있도록 하는 활동이 중요시되고 있다(Schwarz *et al.*, 2021; Stroupe, 2014). 이때 교사는 학생을 주의 깊게 관찰하면서 학생의 사고 과정을 이해하고 그에 따른 적절한 피드백을 제공해야 한다. 그러나 많은 교사가 학생의 생각을 확대해석하거나 편향적으로 듣는 등 학생의 사고 과정이나 원인을 적절하게 파악하고 이해하는 능력이 부족하였다(Wallach & Even, 2005). 따라서 교사는 학생의 사고에 대한 이해를 바탕으로 적절히 반응할 수 있도록 기초적인 역량을 함양할 필요가 있다. 이에 최근 노티싱(noticing)에 대한 관심이 높아지고 있다. 노티싱의 개념은 다양한 영역으로 발전해 왔는데, 이 중 학생의 사고에 특이적인 개념으로 Jacobs *et al.*(2010)의 개념이 많이 쓰이고 있다. Jacobs *et al.*(2010)에 따르면 노티싱은 교사가 학생의 사고나 이해에 주의를 기울이고 이를 해석하여 어떻게 반응할지 결정하는 것에 관한 기술을 의미하며, 수업 전문성의 한 요소로 주목받고 있다.

교사의 노티싱 관련 연구는 수학교육 분야에서 비교적 활발하게 이루어지고 있다(Callejo & Zapatera, 2017; Cho & Lee, 2021; Fernández *et al.*, 2013; Jacobs *et al.*, 2010; Son & Hwang, 2021;

Sunwoo, 2024; Sunwoo & Pang, 2020; van Es & Sherin, 2008). 이 연구들에서는 교사가 교수·학습 상황을 녹화한 영상이나 학생의 산출물을 직접 관찰하면서 학생의 문제해결에서 나타나는 수학적 사고를 어떻게 노티싱하는지를 주의 기울이기, 해석하기, 반응하기의 세 가지의 관점에서 분석하였다. 일부 연구에서는 비디오 클립에 참여한 수학 교사의 노티싱이 어떻게 변화했는지 양상을 분석(Han *et al.*, 2018)하거나 면담 모듈을 적용했을 때 학생의 사고에 대한 교사의 노티싱이 어떻게 변화했는지 조사(Lesseig *et al.*, 2017; Monson *et al.*, 2020)하여 교사의 노티싱 향상 방안을 모색하기도 하였다.

문제해결은 수학교육뿐만 아니라 과학교육 분야에서도 중요하게 다루는 목표 중 하나이다. 과학교육 분야에서는 주어진 문제 상황에 적용할 수 있는 사실이나 원리, 개념 등을 생각해 내고, 이를 활용하여 체계적으로 조직화하는 사고 과정을 통해 문제해결이 이루어진다(Park & Kwon, 1991; Taconis *et al.*, 2001). 학생들은 이론적 지식인 사실이나 원리, 개념에 대한 이해를 바탕으로 문제를 해결하기 위한 수리적 추론을 수행하므로, 문제와 관련된 지식이 부족한 경우 문제 해결에 어려움을 겪을 가능성이 크다(Carey, 1986; Clement, 1982). 그러나 문제를 성공적으로 해결하는 학생들조차 개념에 대한 이해 없이 단순한 알고리즘으로 문제를 해결하는 경향이 있는 것으로 나타

* 교신저자 : 노태희 (noth@snu.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.5.379>

났다(Chiu, 2001; Zoller *et al.*, 2002). 이는 학생이 문제를 성공적으로 해결하더라도 그것의 바탕이 되는 과학 개념을 올바르게 이해하고 있다는 것과 동일시될 수 없음을 보여준다(Noh *et al.*, 1995). 따라서 교사는 관련 개념이나 학생의 사고 과정에 대한 종합적인 이해를 바탕으로 학생의 과학 문제해결 과정을 지도할 수 있도록 과학 특이적인 맥락에서 노티싱에 대한 전문성을 가질 필요가 있다.

그럼에도 그동안 과학교육 분야에서 이루어진 노티싱 연구들은 주로 교수학습 상황을 관찰하는 데 초점을 두어 왔다(Dalvi & Wendell, 2017; Lam & Chan, 2020; Luna, 2018; Russ, 2018; Song & Yoon, 2023; Talanquer *et al.*, 2013; Yoon, 2015). 이러한 연구를 통해 예비교사나 교사가 교수학습 상황을 관찰할 때 어떤 측면에 주목하는지 파악할 수 있도록 하였지만, 학생의 과학적 사고에 초점을 둔 연구가 아니었으며 과학 문제해결 맥락에서 이루어진 것도 아니었다. 즉 과학교육 분야의 전문성과 특수성을 고려하여 학생의 과학 문제해결에 대한 교사의 노티싱을 조사한 연구는 상대적으로 미비한 상태이다.

한편 학생은 학습 과정에서 자신의 사고가 포함된 다양한 산출물을 남긴다(Pang & Cho, 2019). 이러한 산출물은 학생의 불완전한 사고를 종합적으로 보여주며(Jacobs *et al.*, 2010), 교사가 학생의 사고에 집중하도록 유도하게 할 수 있으므로(Cho & Lee, 2021), 학생의 과학적 사고에 대한 교사의 노티싱을 분석하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 또한 산출물은 다인수 학습에서 교사가 일반적으로 접할 수 있는 것 중 하나이므로 활용도가 높다. 이러한 맥락에서 학생의 산출물에 대한 교사의 노티싱을 분석한 연구(Talanquer *et al.*, 2015)가 일부 이루어지기도 하였다. 그러나 이 연구는 학생에게 단힌계에서 화학 반응이 일어날 때 질량이 어떻게 변하는지 글로 설명하게 한 후 이에 대한 교사의 노티싱을 분석한 것으로, 과학 문제해결이라는 맥락에서 나타나는 교사의 노티싱을 조사한 것은 아니었다. 따라서 학생의 과학 문제해결에 대한 교사의 노티싱을 조사하여 그 수준을 탐색하고 이를 향상하는 방안에 대한 정보를 얻을 필요가 있다.

이에 이 연구는 교사의 노티싱 향상 방안을 모색하는 기초 연구로서, 화학 교사가 고등학생의 화학 문제해결 산출물을 보며 어떻게 노티싱하는지 그 특징을 탐색하였다.

II. 용어의 정의

최근 국내에서 ‘noticing’에 대한 연구가 활발히 진행되면서, 이에 대한 국문 용어로 ‘주목하기’(e.g. Jung *et al.*, 2022; Lee & Lee, 2018; Sung & Yeo, 2023)와 ‘노티싱’(e.g. Han *et al.*, 2018; Pang *et al.*, 2017; Son & Hwang, 2021; Sunwoo, 2024; Yoon, 2022)이 혼용되고 있다. 연구자에 따라 ‘노티싱’의 요소 중 하나인 ‘attending’을 ‘주의 기울이기’(e.g. Kim, 2022; Pang *et al.*, 2017) 또는 ‘주목하기’(e.g. Cho & Lee, 2021; Sunwoo, 2024)로 번역하기도 한다. 이 연구에서도 ‘주의 기울이기’를 사용하였고, ‘주목하기’와의 혼란을 방지하기 위해 ‘noticing’을 원어 그대로 발음한 ‘노티싱’으로 표기하기로 하였다.

한편 노티싱은 특정 분야의 전문가가 동일한 현상에 대해 일반인과는 다른 방식으로 관찰하고 해석할 수 있는 능력, 즉 전문적 시각(professional vision; Goodwin, 1994)에서 비롯된다. 이후 Mason(2002)은 Goodwin(1994)의 전문적 시각을 수업 상황으로 확장하여 교사의 전문성을 전문적 시각의 관점에서 설명하였다. 노티싱의 개념은 다양

하게 발전해 왔으며, 이중 van Es & Sherin(2002)과 Jacobs *et al.*(2010)의 노티싱 개념이 가장 많이 활용되고 있다(Amador *et al.*, 2021). Jacobs *et al.*(2010)의 노티싱은 ‘학생의 사고에 대한 전문적 노티싱(professional noticing of children’s thinking)’으로 정의할 수 있으며, 이 연구에서는 학생의 문제해결에서 드러난 특이적 사고를 교사가 어떻게 주목하는지를 중점적으로 분석하고자 하므로 Jacobs *et al.*(2010)의 노티싱 개념을 따르고자 한다. 노티싱은 학생의 사고에 대한 주의 기울이기(attending), 학생의 사고 해석하기(interpreting), 학생의 사고에 대한 이해를 바탕으로 반응하기(responding)라는 세 가지 상호 연계된 기술로 구성된다(Jacobs *et al.*, 2010).

III. 연구 방법

1. 연구 참여자

수도권 소재의 고등학교에 재직 중이면서 화학 I 교과를 가르쳐 본 경험이 있는 교사 중 자발적으로 연구 참여에 동의한 14명(남 5명, 여 9명)의 화학 교사가 연구에 참여하였다. 교직 경력과 화학을 가르친 경험이 다양한 교사들을 섭외하여 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 노티싱을 탐색할 수 있도록 하였다(Table 1). 이 교사들은 교과교육 강좌나 연수에서 교사의 노티싱을 들어본 경험이거나 학습한 경험이 없는 것으로 파악되었다.

Table 1. Overview of teachers’ background

배경 변인	명 (%)	
전체 교육 경력	5년 미만	4 (28.6)
	5년 이상 10년 미만	6 (42.8)
	10년 이상	4 (28.6)
화학 I 교육 경력	5년 미만	9 (64.3)
	5년 이상 10년 미만	3 (21.4)
	10년 이상	2 (14.3)

2. 자료 수집

이 연구는 학생의 문제해결 과정이 담긴 산출물을 수집한 후 이 산출물에 대한 교사의 노티싱을 조사하는 과정으로 이루어졌다. 화학 I 교과의 첫 단원에서 다루는 내용인 ‘화학 반응에서의 양적 관계’에서는 미시적 관점의 화학 개념을 바탕으로 비례 논리에 기초한 수리적 문제해결을 요구하므로, 문제해결 과정이 비교적 명확히 드러난다. 이에 이 연구에서는 Noh *et al.*(1995)을 참고하여 해당 내용에 관한 화학 문제 1문항을 선정하였고, 이를 학생의 문제해결을 조사하는 문항으로 제작하였다. 이후 수도권에 소재한 고등학교에 재직 중인 화학 교사 2명에게 화학 I 교과 선택자 중에서 성적이 중하위 수준인 고등학교 2학년 학생을 각각 1명씩 추천받아 ‘화학 반응에서의 양적 관계’에 관한 문제를 해결하게 하였다. 이때 문제를 해결하는 과정에서 학생의 사고가 잘 드러날 수 있도록 문제를 읽고 풀면서 생각나는 것을 최대한 자세히 적을 수 있도록 하였고, 쓰다가 틀린 것은 지우지 않도록 하였다. 또한 학생의 사고가 잘 드러날 수 있도록 발생사고법을 활용하여 문제를 해결하도록 요청하였다. 이후 학생의 발생사고

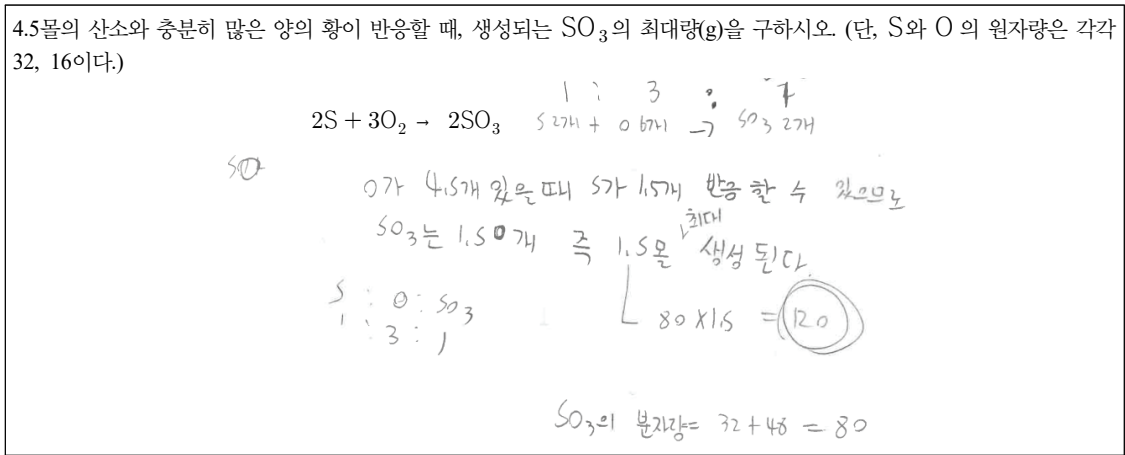


Figure 1. Stoichiometric problems and student's problem-solving materials

영상과 산출물을 비교하여 학생들의 사고가 산출물에 잘 드러나는지 파악하였고, 수집한 학생의 산출물 중 학생의 오류와 문제해결 과정이 잘 드러난 1부를 선정하여 연구에 활용하였다. 화학 반응식에서 계수의 의미를 올바르게 이해하고 있거나 계수를 입자 또는 몰 개념의 관점에서 올바르게 진술하는 학생은 적다고 보고되므로(Friedel & Maloney, 1992; Lythcott, 1990; Yaroch, 1985), 계수의 의미와 관련한 오류가 나타나는지, 학생의 사고 과정이 산출물에 충분히 드러나는지 등을 기준으로 학생의 산출물을 선정하였다(Figure 1).

산출물에 나타난 학생의 문제해결 과정을 구체적으로 살펴보면, 학생은 문제에 제시된 4.5몰의 산소를 산소 분자(O₂)가 아닌 산소 원자(O)로 이해하는 오류를 범하였다. 이러한 이해를 바탕으로 반응물과 생성물의 계수를 활용하여 “S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개”라는 식을 세웠으며, 결과적으로 “S:O:SO₃ = 1:3:1”이라는 비례식을 도출하게 되었다. 학생은 문제에 제시된 단서를 이용하여 생성물의 분자량을 계산할 수 있었고, 분자량과 몰수의 관계를 활용해 생성물의 질량을 구할 수 있었지만, 잘못된 비례식에 근거해 반응하거나 생성되는 물질의 몰수를 구했기 때문에 오답을 도출하게 되었다.

학생의 문제해결 산출물은 교사의 노티싱을 조사하기 위한 반구조화된 면담을 하는 데 활용하였다. 면담 질문지는 교사의 노티싱을 조사한 선행연구(Jacobs *et al.*, 2010; Son & Hwang, 2021; Sunwoo & Pang, 2020)를 참고하여 구성하였다. 구체적으로 면담에서는 오류가 포함된 학생의 문제해결 산출물을 보면서 어디에 주의를 기울였는지, 학생의 과학적 사고를 구체적으로 해석할 수 있는지, 어떠한 교수 행동을 계획할 것인지 등에 대하여 질문하였다. 교사에게 면담 질문지를 사전에 제공하여 교사가 면담하게 될 내용을 미리 확인하고 충분히 생각해 볼 수 있도록 하였다. 면담 내용은 녹음한 후 전사본을 작성하였고, 교사가 면담 질문지에 기록한 내용을 함께 수집하여 분석에 활용하였다.

3. 분석 방법

이 연구에서는 문제해결이 드러난 산출물에서 나타나는 학생의 과학적 사고를 교사가 어떻게 노티싱하는지 면밀하게 분석하고자 하므로, Jacobs *et al.*(2010)의 정의에 기반하여 노티싱을 ‘주의 기울이기’, ‘해석하기’, ‘반응하기’의 세 요소로 분석하였다. 교사의 노티싱을 심층적으로 조사하기 위해 수집한 자료를 반복하여 검토하고 요소별로 정교화해 나가는 과정인 지속적 비교 방법(constant comparative method; Strauss & Corbin, 1998)을 사용하였다. 구체적으로 노티싱의 전체적인 흐름을 잘 파악하고자 교사나 예비교사의 노티싱을 조사한 선행연구(Jacobs *et al.*, 2010; Lam & Chan, 2020; Son & Hwang, 2021)를 바탕으로 주의 기울이기, 해석하기, 반응하기에 대한 예비 분석 틀을 구성하였다. 과학교육 전문가와 대학원생으로 구성된 2인의 연구자는 교사의 면담 전사본과 교사가 사전에 면담 질문지에 기록한 내용 중 일부를 예비 분석 틀에 따라 각자 분석하였다. 이후 분석 결과를 논의하고 합의하는 과정을 통해 노티싱의 각 요소를 명료화하였다. 예를 들어 이 연구에 참여한 교사 중 학생의 과학적 사고에 주의를 기울이지 않은 교사는 없었으므로 해당 요소를 삭제하였고 과학적 사고 중 과학적 이해에 주의를 기울인 정도를 기준으로 부분적으로 주의를 기울인 교사와 전체적으로 주의를 기울인 교사로 나누었다. 이상과 같이 예비 분석 틀을 수정·보완하는 과정을 거침으로써 최종 분석 틀을 확정하였다.

주의 기울이기는 학생의 과학적 사고에 어떻게 주의를 기울이는지를 나타내며, ‘과학적 사고에 대해 전체적으로 주의 기울이기’, ‘과학적 사고에 대해 부분적으로 주의 기울이기’, ‘과학적 사고 중 오류에만 주의 기울이기’의 세 가지 수준으로 구분하였다(Table 2).

해석하기는 학생의 과학적 사고를 증거에 기반하여 어떻게 추론하는지를 나타내며, ‘근거에 기초한 올바른 해석하기’, ‘근거에 기초한 과장된 해석하기’, ‘제한된 근거에 기초한 잘못된 해석하기’의 세 수준으로 구분하였다(Table 3). 이때 학생의 산출물에 드러난 문제해결

Table 2. The framework of attending

주의 기울이기	설명
과학적 사고에 대해 전체적으로 주의 기울이기	학생이 범한 오류와 과학적 이해를 모두 포함하여 학생의 과학적 사고에 주의를 기울인 경우
과학적 사고에 대해 부분적으로 주의 기울이기	학생이 범한 오류와 과학적 이해를 일부 포함하여 학생의 과학적 사고에 주의를 기울인 경우
과학적 사고 중 오류에만 주의 기울이기	학생의 과학적 사고 중 학생이 범한 오류에만 주의를 기울인 경우

Table 3. The framework of interpreting

해석하기	설명
근거에 기초한 올바른 해석하기	근거를 토대로 학생의 과학적 사고를 해석하였으며, 이에 대한 올바른 해석을 제시한 경우
근거에 기초한 과장된 해석하기	근거를 토대로 학생의 과학적 사고를 해석하였지만, 이에 대한 과장된 해석을 제시한 경우
제한된 근거에 기초한 잘못된 해석하기	근거를 토대로 학생의 과학적 사고를 해석하였지만, 제한된 근거만을 활용하여 학생의 사고를 잘못 해석한 경우

Table 4. The framework of responding

반응하기	설명	
학생의 특이적 사고와 연계한 반응하기	학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응	학생의 문제해결과 관련하여 학생의 문제해결 산출물에서 드러난 과학적 사고를 기반으로 교수 행동을 제시한 경우
	학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응	
	모호하거나 목표 개념과 무관한 반응	
학생의 일반적 사고와 연계한 반응하기	학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응	학생의 문제해결과 관련하여 일반적으로 알려진 학생의 과학적 사고를 기반으로 교수 행동을 제시한 경우
	학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응	
	모호하거나 목표 개념과 무관한 반응	
학생의 사고와 연계하지 않은 반응하기	학생의 사고와 무관한 반응	학생의 문제해결과 관련하여 학생의 과학적 사고에 기반한 교수 행동을 제시하지 못한 경우

과정을 특정 증거에만 기반하여 해석하였을 때 근거가 제한적이라고 판단하였다.

반응하기는 특정 상황에서 드러난 학생의 과학적 사고에 기반하여 어떠한 교수 행동을 결정하는지를 나타낸다. 구체적으로 반응하기는 ‘학생의 특이적 사고와 연계한 반응하기’, ‘학생의 일반적 사고와 연계한 반응하기’, ‘학생의 사고와 연계하지 않은 반응하기’의 세 수준으로 구분하였다. 학생의 특이적 사고와 연계한 반응 및 학생의 일반적 사고와 연계한 반응은 ‘학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응’, ‘학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응’, ‘모호하거나 목표 개념과 무관한 반응’으로 세분화하였다(Table 4).

2인의 연구자가 최종 분석 틀을 기반으로 수집한 자료를 요소별로 분류하고, 이를 반복하여 검토함으로써 노티싱을 분석하였다. 이때 면담 내용을 전사한 자료를 교사의 노티싱을 조사하는 주요 자료로 활용하였으며, 연구자의 면담 노트와 교사가 사전에 면담 질문지에 기록한 내용을 보조 자료로 사용하였다. 면담 자료, 교사가 면담 질문에 기록한 내용, 연구자의 면담 노트 등을 비교하여 일관되게 나타나는지 검토하는 삼각 측정(triangulation)을 하여 신뢰도와 타당도를 확보하였다. 또한 과학교육 전문가와 과학 교사, 대학원생으로 구성된 세미나를 여러 차례 진행하여 결과 분석 및 해석의 타당도를 점검하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 주의 기울이기

학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 주의 기울이기 분석 결과를

Table 5. The number and percentage of teachers on attending

주의 기울이기	명 (%)	교사
과학적 사고에 대해 전체적으로 주의 기울이기	4 (28.6)	T1, T7, T9, T12
과학적 사고에 대해 부분적으로 주의 기울이기	4 (28.6)	T4, T6, T13, T14
과학적 사고 중 오류에만 주의 기울이기	6 (42.8)	T2, T3, T5, T8, T10, T11

Table 5에 제시하였다. 학생이 범한 오류와 과학적 이해를 포함하여 학생의 과학적 사고에 주의를 기울인 교사는 8명(57.2%)으로 나타났다. 이중 교사 4명(28.6%)은 학생의 과학적 사고에 대해 부분적으로 주의를 기울였다. 이 교사들은 산소를 산소 분자가 아닌 산소 원자로 이해한 학생의 오류뿐만 아니라, 분자량 유도 방법이나 유도된 물리량 간의 관계를 찾는 방법에 대한 학생의 과학적 이해에도 주의를 기울였다. “삼산화황의 분자량을 바르게 계산했고 몰과 분자량의 관계를 이용해 화합물의 질량을 계산하는 것을 봤을 때, 학생이 분자량 계산 방법이나 분자량, 몰, 질량 사이의 관계에 대해서는 이해하고 있음을 파악할 수 있다.”는 T6의 응답은 교사가 학생의 문제해결 산출물을 토대로 학생이 범한 오류뿐만 아니라 학생의 과학적 이해와 관련한 사고까지 주의를 기울이고 있음을 보여준다.

T6: 학생이 계수비로부터 최종적으로 삼산화황이 몇 몰 생성되는지는 유도할 수 있지만 처음에 화학 반응식의 계수비를 잘 이해하지 못했어요. 그걸 조금 잘못 푼 것 같고 나머지는 괜찮아요. 삼산화황의 분자량이 80인 것을 올바르게 계산했고 이 분자량과 몰수를 곱했을 때 화합물의 질량이 나온다는 거 계산했고. 이 문제의 평가 기준을 화학 반응식에서의 계수비의 이해, 분자량의 계산, 그리고 분자량, 질량, 몰과의 관계 이렇게 3단계라고 한다면, 1단계만 못 한 거죠. 2단계와 3단계는 잘한 거죠.

(T6의 면담)

이와 달리, 학생의 과학적 사고에 대해 전체적으로 주의를 기울인 교사(4명, 28.6%)는 앞서 부분적으로 주의를 기울인 교사가 언급한 점들을 포함하여 학생이 문제를 얼마나 잘 이해하고 있는지에도 주의를 기울이는 모습을 보였다. 특히 학생이 문제를 성공적으로 해결하

기 위해 문제로부터 필요한 정보를 적절히 추출할 수 있는지에 주의를 기울였다. 구체적으로 이 교사들은 학생이 문제에 제시된 조건으로부터 한계반응물을 찾아낼 수 있다는 점에 주의를 기울였다. 예를 들어 T1은 학생이 산소가 한계반응물이라는 정보를 추출하였고 이에 기반해서 생성되는 삼산화황의 최대 생성량을 계산했지만, 산소라고 쓰여 있는 글자를 산소 원자라고 잘못 이해했기 때문에 오답을 도출했다고 응답하여 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울이는 모습을 보였다.

T1: 학생이 산소라고 쓰여 있는 글자를 원자로 생각해서 한계반응물인 산소 원자의 수에 따라 생성되는 삼산화황의 수를 계산했다고 생각했고, 이후에는 화학식량이란 물질의 양이란 곱해서 삼산화황의 최대값을 구했다고 생각했습니다. (중략) 첫 번째로 화학 반응식을 보고 반응 원자 수의 비로 문제 바로 아래쪽에 재표현을 해냈더라고요. 그래서 이 부분을 주목했고 두 번째로 한계반응물 개념을 완전히 이해하고 있고 이에 따라서 최대 생성량을 계산해 낸 점을 주목했습니다.

(T1의 면담)

교사 개인별로 지식이나 경험이 다르므로 같은 수업 상황에 대해 교사가 주의를 기울이는 측면은 다를 수 있으며, 주의를 기울인 측면이 일치하더라도 다르게 이해할 수 있다(Jacobs *et al.*, 2010; van Es & Sherin, 2002). 이 연구에서도 동일한 학생의 문제해결 산출물에 대해 교사마다 다르게 주의를 기울이는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 학생이 문제에 내포된 정보를 잘 추출할 수 있는지 등 문제를 이해하는 것에 주의를 기울인 교사는 많지 않았다. 문제를 해결하는 데에는 문제에 제시된 조건으로부터 정보를 추출하고 정보 사이의 정성적 관계를 유도하는 과정이 필요하다(Kwon & Lee, 1988). 특히 문제해결에 실패한 학생일수록 문제를 이해하는 데 더 많은 어려움을 겪고 있는 것으로 보고되므로(Noh *et al.*, 1996), 교사가 이러한 측면에서 학생의 사고를 파악하는 과정은 더욱 강조될 필요가 있다. 따라서 학생의 문제해결로부터 문제에 대한 이해를 포함하여 학생의 과학적 사고를 전체적으로 파악할 수 있도록 안내가 이루어져야 할 것이다.

학생의 과학적 사고 중 오류에만 주의를 기울인 교사는 6명(42.8%)으로 나타났다. 즉 주의 기울이기 측면에서는 가장 낮은 수준에 머무른 교사의 비율이 가장 높았다. 이 교사들이 주로 주의를 기울인 것은 학생이 문제를 성공적으로 해결하지 못한 원인이 문제에 제시된 산소를 분자가 아닌 원자로 이해하는 오류를 범한 데서 비롯되었다는 점이었다. 다음은 이와 관련된 T2의 면담 내용이다.

T2: 학생은 4.5몰의 산소 원자가 반응했다고 이해했는데, 이 학생이 처음에 쓴 내용을 보면 반응 전에 있는 원자의 개수비랑 반응 후에 있는 분자의 개수비를 비교해서 비례식을 세웠어요.

(T2의 면담)

또한 이 교사들은 반응물과 생성물의 수를 “몰”이 아니라 “개”로 표현한 점을 토대로 학생이 입자 수의 단위인 몰과 개를 구분하지 않고 혼용하여 사용한다는 점에 주의를 기울였다. 예를 들어 T3는 몰과 입자의 개수가 서로 다른 의미를 지님에도 불구하고 이 학생이 두 단위를 혼용하여 몰이 아니라 개수로 표현한 것을 볼 수 있었다고 응답하였다.

T3: (산소가) 4.5몰이라는 것을 4.5개 이렇게 적은 것처럼 (물질들) 개수로 생각하더라고요. 몰이 의미하는 게 입자의 수고 그 입자 수의 묶음이 몰인데 학생은 이것을 그냥 개수로 생각하는 것 같고, 그 외중에 원자랑 분자의 개수 차이를 구분하지 않고 학생 마음대로 해석하는 것 같은 느낌이 들었어요.

(T3의 면담)

학습 목표나 학생의 수준 등에 따라 각 수업에서 유의미한 학생의 사고는 다를 수 있으며, 교사는 수업 중에 나타나는 학생의 특정 사고에 주의를 기울여 적절한 의사결정을 내릴 수 있어야 한다(Leatham *et al.*, 2015). 이러한 점에서 교사가 학생이 범한 오류나 몰 대신 개라고 표현한 점에 주의를 기울인 것은 학생이 과학적 개념이나 단위를 올바르게 학습하도록 지도할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

한편 이 교사 중 일부는 문제 풀이의 도식화나 비례식 계산과 같은 절차적 측면에 주의를 기울이기도 하였다. 예를 들어 T5는 학생의 문제해결 산출물을 보며 학생이 화학 반응의 전·중·후의 과정을 글로 풀어나가는 것에 주의를 기울였고, 이를 토대로 이 학생은 문제를 도식화하는 연습이 덜 되어 있다고 이해하는 모습을 보였다.

T5: 보통은 세 줄 쓰기라는 표현으로 반응 전·중·후 이런 걸 양적인 방향으로 좀 더 도식화시키는데, 이 학생은 글로 풀어나가는 느낌더라고요. 그러다 보니까 그런 부분(도식화)에 대한 학습이 좀 덜 되지 않았나라는 생각이 들어요.

(T5의 면담)

이처럼 교사가 학생의 절차적 측면에 주의를 기울이는 것은 학생의 공식이나 연산을 통한 문제해결 능력을 개선하여 학생이 주어진 시간 안에 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 능력을 기르도록 하는 데 도움을 줄 수 있다. 그러나 교사가 학생의 절차적 측면에만 주의를 기울인다면 학생이 화학 개념을 적절히 이해했는지보다는 연산을 활용한 수리적 문제해결이 주요 목표로 강조될 수 있으며, 이는 학생의 문제해결 과정을 이해하려는 노력을 방해할 수 있다. 교사의 주의 기울이기는 교수 행동을 실천하는 데 영향을 미치는 요소로, 교사가 전체적인 수업을 조직해 나가는 데 중요한 역할을 한다(Lee & Lee, 2016). 따라서 교사가 알고리즘 이외에 학생의 다양한 전략을 이해하고 이를 토대로 학생의 오류를 포함하여 학생의 과학적 사고에 종합적으로 주의를 기울일 수 있도록 기회를 제공할 필요가 있다.

2. 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 해석하기

학생의 문제해결에 대한 교사의 해석하기 분석 결과를 Table 6에 제시하였다. 교사의 해석하기는 근거에 기초한 해석의 수준에 따라 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 많은 교사가 학생의 사고를 근거에 기초하여 해석하였다(11명, 78.6%). 그러나 근거에 기초해 올바른 해석을 제시한 교사도 있었지만, 과장된 해석을 제시한 교사도 있었다. 근거에 기초하여 올바른 해석을 제시한 교사는 5명(35.7%)으로, 대부분 주의 기울이기에서 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울인 교사들이었다. 이는 선행연구(Barnhart & van Es, 2015)에서 보고한 바와 같이 주의 기울이기 해석하기의 수준을 결정짓는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다.

Table 6. The number and percentage of teachers on interpreting

해석하기	명 (%)	교사
근거에 기초한 올바른 해석하기	5 (35.7)	T1, T6, T7, T9, T12
근거에 기초한 과장된 해석하기	6 (42.9)	T2, T3, T5, T10, T11, T14
제한된 근거에 기초한 잘못된 해석하기	3 (21.4)	T4, T8, T13

이 교사들은 자신이 주의를 기울인 학생의 과학적 사고를 종합적으로 활용하였으며, 학생이 문제해결에 실패하는 데 핵심적인 영향을 미쳤던 부분들을 명시적으로 제시하여 학생의 과학적 사고를 해석하는 특징을 보였다. 예를 들어 T7은 학생이 1:3:1이라는 비율을 어떻게 도출하게 되었는지를 알아내기 위해 문제해결을 순차적으로 따라가면서 학생의 사고를 분석하였다. 학생이 풀이 과정 첫 부분에서 “S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개”라고 표현한 것으로부터 산소를 산소 분자 3개가 아니라 산소 원자 6개로 잘못 이해하고 있음을 알아차릴 수 있었고, 이러한 오류가 학생이 문제해결에 실패하는 데 결정적인 역할을 하였다고 해석하였다. 또한 정답을 도출하지는 못하였으나 삼산화황의 몰수를 구하기 위해 화학 반응식의 계수비를 활용해야 한다는 것을 알고 있다는 점, 몰과 분자량의 관계를 이용하여 질량을 계산해 낼 수 있다는 점을 통해 문제를 해결할 수 있는 능력은 어느 정도 갖춘 학생으로 파악된다고 응답하였다.

T7: 맨 위에 1:3:1로 되어 있고 거기 아래에 학생이 ‘S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개’라고 적은 것을 봤을 때, 여기까지는 (산소를) 산소 원자로 봤다는 거 외에 크게 틀린 부분은 없는 것 같아요. 왜냐하면 산소 분자 3개라고 안 쓰고 산소 원자 6개로 썼으니까요. 다음 줄에 ‘O가 4.5개 있을 때 S가 1.5개 반응할 수 있다’라고 적은 것도 학생 관점에서 이해해 보자면 원자 기준에서 봤을 때 틀린 말은 아니잖아요. 그래서 황과 산소 원자가 1 대 3으로 반응한다고 생각했고 그러니까 4.5몰의 산소를 산소 원자 4.5개 또는 4.5몰로 이해했다고 판단했습니다. 비례 관계를 이용해서 삼산화황이 최대 1.5몰 생성될 것이라고 이해했고 그다음에 80×1.5는 잘했고, 그래서 결과적으로 120이라는 오답을 얻게 된 것 같아요. (중략) 계수비인 2:3:2를 읽어야 하는데 그게 아니라 1:3:1로 해석한 부분은 잘못했지만 그래도 (학생이) 계수비를 활용하는 방법을 모르는 것 같진 않아요. 자기 마음대로 산소를 쪼개놓는 게 가장 결정적인 실책인 것 같다고 생각합니다.

(T7 면담)

학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울이는 것은 교사가 학생의 사고 과정을 종합적으로 해석할 수 있도록 방향성을 제공하므로, 문제해결에 실패한 원인을 구체적으로 파악하는 데 도움을 줄 수 있다. 이때 교사는 학생의 사고를 지나치게 일반화하는 것에서 벗어나 각 상황에 제시된 증거에 기초하여 학생의 사고를 구체적으로 해석할 수 있어야 한다(Jacobs *et al.*, 2010). 실제로 이 연구에서 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울인 교사들은 해석하기에서도 문제해결과 연계된 학생의 사고를 구체적으로 해석하는 것으로 나타났다. 따라서 교사가 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울이는 데에서 나아가 그 관계성을 파악하고 이를 토대로 일련의 과정을 해석하도록 한다면 학생의 과학적 사고를 올바르게 해석하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

근거에 기초했지만 과장된 해석을 보인 교사는 6명(42.9%)이 있었

다. 이 교사들도 위 사례와 마찬가지로 “S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개”와 “1:3:1”이라고 적은 학생의 풀이를 자신의 해석을 뒷받침하는 근거로 활용하였다. 그러나 이 교사들은 학생의 이해를 사고의 흐름에 따라 해석하기보다는 교사가 제시한 근거 중 일부에 초점을 두어 해석하면서 학생의 문제해결 과정을 역으로 추론해 나갔다. 이에 따라 교사들은 학생이 산소뿐만 아니라 반응물 전체를 원자로 떼어내서 이해하고 있다고 판단하여 과장된 해석을 하는 모습을 보였다. 즉, 학생이 원자와 분자에 대한 개념이 제대로 정립되어 있지 않아 반응물은 모두 원자 상태로, 생성물은 분자 상태로 존재한다고 이해하고 있는 것 같다고 응답하였다. 예를 들어 T14은 학생이 계수비를 유도할 때 물질의 기본적인 성질을 가진 입자가 분자라는 개념이 없어 원자와 분자를 구분하지 못하고 있으며, 원자 단위에서 반응이 일어난다고 생각하여 1:3:1이라는 비율을 유도하게 되었다고 해석하였다. 이 과정에서 “처음에는 왜 1:3:1이라고 적었을까 생각했는데, 황은 2개, 산소 원자는 6개라고 써놨더라고요.”라는 T14의 응답은 교사가 1:3:1이라는 일부 근거를 중심으로 학생의 사고를 해석하였으며, 이 과정에서 학생이 기록한 황과 산소 원자의 개수를 발견하고 추가적인 추론을 진행하였음을 보여준다.

T14: (학생이) 1:3:1로 분석한 것을 봤어요. 처음에는 왜 1:3:1이라고 적었을까 생각했는데 바로 아래에 (이것을) 풀어서 황은 2개, 산소 원자는 6개라고 써놨더라고요. 학생에게 이 부분을 지도해 주면 다 풀 수 있겠다는 느낌을 받았습니다. (중략) 분자 단위로 몰수비를 해석하지 않고 원자 단위로 봤기 때문에 이런 문제가 생긴 것 같아요. 거기서 좀 더 학생의 마음을 들여다본다면 물질의 기본적인 성질을 가진 입자인 분자 단위가 아닌 원자 단위에서 반응이 일어날 것으로 추측했기 때문이 아닐까라고 생각합니다.

(T14 면담)

이상의 결과는 교사에게 자신의 해석을 뒷받침하는 타당한 근거를 제시해 보도록 하는 것뿐만 아니라 학생의 과학적 사고를 흐름에 따라 해석해 보는 기회를 제공할 필요가 있음을 보여준다. 해석하기는 교사의 수업 전문성과 가장 관련이 높으며(Han *et al.*, 2018), 반응하기에 그대로 반영되어 나타나므로 교사의 잘못된 해석하기는 반응하기 수준을 결정하는 데에도 영향을 미친다(Cho & Lee, 2021; Han *et al.*, 2018). 따라서 교사에게 근거에 기반하여 학생의 사고 흐름을 유추해 볼 수 있도록 기회를 제공하여 학생의 이해를 올바르게 해석할 수 있도록 도울 필요가 있다. 예를 들어 학생의 문제해결 산출물을 보고 학생의 사고 흐름을 유추해 본 후 교사 공동체에서 이를 토의해 보도록 한다면 학생의 과학적 사고에 대한 교사의 해석하기 수준을 높이도록 촉진할 수 있을 것이다.

한편 제한된 근거에 기초하여 학생의 과학적 사고를 잘못 해석한 교사는 3명(21.4%)으로 나타났다. 3명의 교사는 학생의 풀이 중 “S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개”를 놓치고, “1:3:1”이라는 근거만을 활용하여

학생의 사고를 잘못 해석하는 모습을 보였다. 이에 따라 학생이 황 원자 1개와 산소 원자 3개가 만나 생성물인 삼산화황 1개를 생성하는 화학 반응식을 다시 만들어서 이를 기반으로 문제를 해결했다고 해석하였다. 다음은 이와 관련된 T13의 면담 내용이다. T13은 학생이 주어진 화학 반응식의 반응 계수를 사용하지 않고, 삼산화황을 만들기 위해서는 황 1개와 산소 원자 3개가 필요하다는 것으로부터 1:3:1의 비율을 세워서 문제를 해결했다고 해석하였다.

T13: 학생이 황 1개랑 산소 원자 3개랑 결합해서 삼산화황이 된다는 기본적인 개념으로 문제를 푼 것으로 파악했습니다. 산소 원자와 분자의 개념을 정확하게 모른다고 생각했어요. 여기서 말한 이 산소가 원래 산소 분자를 말하는 건데 이 학생은 산소 원자 하나로 봐서 해결했다고 생각했습니다. 또 이 학생이 이 화학 반응식을 봤을까 하는 생각을 했는데요. 봤으면 1:3:1이 나오기 어려운데 화학 반응식을 보고 뭔가 혼돈에 빠졌을 것 같아요. 반응 계수비는 2:3:2인데 그것을 사용하지 않은 것으로 보이고요. 그냥 자기가 생각했을 때 삼산화황을 만들기 위해서는 황 1개랑 산소 원자 3개가 필요하니까 이렇게 1:3:1이라고 쓴 것 같아요. 그러니까 뭔가 비례식을 써야 한다는 건 알았는데 화학 반응식의 반응 계수를 사용하는 과정까지는 못 간 것 같습니다.

(T13 면담)

학생의 문제해결 과정을 바르게 해석하기 위해서는 “1:3:1”이라는 비율뿐만 아니라 “S 2개 + O 6개 → SO₃ 2개”라고 화학 반응식과 유사하게 적은 부분도 근거로 제시할 필요가 있다. 이를 근거로 활용하면 학생이 몰수비를 구할 때 화학 반응식의 계수비를 이용해야 한다는 것은 이해하고 있지만, 산소를 분자가 아닌 원자로 이해하여 산소 원자의 개수(2개)와 반응식에서의 산소의 계수(3)를 곱하여 ‘6개’라는 결과를 얻게 되었다는 것을 해석할 수 있기 때문이다. 그러나 교사들은 이러한 학생의 문제해결 과정은 근거로 활용하지 않았으며 1:3:1이라는 비율만을 근거로 활용하여 학생의 과학적 사고를 잘못 해석하는 결과를 보여주었다. 피상적인 근거 또는 부족한 근거를 토대로 학생의 사고를 해석하는 교사들은 개인적인 경험이나 의견을 토대로 현상을 설명하는 경우가 많은 것으로 보고된다(Sunwoo, 2024). 이는 교사들이 학생의 사고를 설명할 때 타당하고 구체적인 근거에 기초하는 것이 얼마나 중요한지를 보여준다. 따라서 학생의 과학적 사고를 해석하기에 앞서 학생의 과학적 사고를 해석하기 위한 구체적인 근거를 탐색해 보는 노력이 선행될 필요가 있다.

3. 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 반응하기

학생의 문제해결에 대한 교사의 반응하기를 분석한 결과를 Table 7에 제시하였다. 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 보인 교사는 6명(42.9%)이 있었으며, 학생의 일반적 사고와 연계한 반응을 보인 교사는 5명(35.7%), 학생의 사고와 연계하지 않은 반응을 보인 교사는 3명(21.4%)이 있었다. 각 반응하기 수준별 구체적인 특징은 아래와 같다.

반응하기에서 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 보인 교사는 주로 학생의 과학적 사고에 대해 전체적으로 주의를 기울이고 근거에 기초하여 올바르게 해석하여 주의 기울이기와 해석하기 수준이 높은 교사들이었다. 이 교사들은 학생의 과학적 사고에 대한 해석을 바탕으로 지도가 필요하다고 생각되는 부분과 추가적인 지도가 필요하지 않다고 생각되는 부분을 명시적으로 구분하여 반응하는 특징을 보였다. 예를 들어 T6는 학생이 분자량 계산이나 몰수, 질량, 분자량의 관계는 이미 이해하고 있으므로 추가적인 지도가 필요하지 않으며, 학생이 계수비를 바로 이용하여 문제를 해결할 수 있도록 문제 유형을 분류하여 지도하겠다고 응답하였다.

T6: 지금 분자량을 계산한다든가 아니면 몰수, 질량, 분자량의 개념을 헷갈리는 것 같지는 않거든요. 그래서 화학 반응식의 계수비로부터 원기를 계산하는 다양한 형식의 문제들을 4가지 유형별로 나누어서 지도할 것 같아요. 성취 기준에 화학 반응식에서의 계수비를 정확하게 이해하고 있는지에 대한 내용이 있잖아요. 성취 기준을 확실하게 충족시켜야 하니까 그것을 이해시키기 위해서 이렇게 유형별로 문제를 풀어보는 것이고.

(T6 면담)

이는 반응하기의 수준이 높은 교사가 주의 기울이기와 해석하기 수준도 대부분 높다는 선행연구(Barnhart & van Es, 2015; Land *et al.*, 2019; Sánchez-Matamoros *et al.*, 2019)와 맥락을 같이 한다. 따라서 수준 높은 반응을 제안하도록 하기 위해서는 교사가 주의 기울이기, 해석하기, 반응하기의 세 요소에 대한 통합적인 관점에서 학생의 과학적 사고를 분석하도록 해야 할 것이다.

학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 보인 교사는 주로 학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응(4명, 28.6%)을 보여주었다. 이 교사들은 학생에게 나타난 오류와 관련한 개념을 교사가 설명한 후 화학 반응식을 이용한 양적 관계를 지도함으로써 학생이 적절한 개념을

Table 7. The number and percentage of teachers on responding

	반응하기	명 (%)	교사
학생의 특이적 사고와 연계한 반응	학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응	0 (0.0)	
	학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응	4 (28.6)	T6, T7, T9, T12
	모호하거나 목표 개념과 무관한 반응	2 (14.3)	T1, T5
	계	6 (42.9)	
학생의 일반적 사고와 연계한 반응	학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응	0 (0.0)	
	학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응	3 (21.4)	T2, T3, T4
	모호하거나 목표 개념과 무관한 반응	2 (14.3)	T10, T11
	계	5 (35.7)	
학생의 사고와 연계하지 않은 반응	학생의 사고와 무관한 반응	3 (21.4)	T8, T13, T14

형성하고 문제를 성공적으로 해결할 수 있도록 하였다. 이때 모든 교사가 학생이 오류를 보인 개념들을 수정하기 위한 지도 방안을 제시하였다는 점은 공통적이었지만, 이를 유기적으로 연결하여 제시하는 정도에는 차이가 있었다. 3명의 교사는 학생이 범한 오류를 토대로 학생이 문제를 성공적으로 해결할 수 있도록 지도하는 과정을 병렬적으로 제시하였다. 예를 들어 T9은 학생이 1학년 때 배운 주기율표나 결합에 대한 개념을 가져와 산소 원자가 상온에서 단독으로 존재할 수 없는 이유를 설명하겠다는 지도 계획을 세웠다. 그러나 이를 학생이 올바른 비례식을 세우지 못한 원인과 연결하여 구체적으로 설명하지 못하고, 다양한 화학 반응식을 이용하여 계수비를 활용한 문제해결 훈련을 반복적으로 시킬 것이라고 응답하였다.

T9: 이 학생이 분자하고 원자 사이의 개념이 좀 혼동되거나 정확하지 않은 상태라면 고1 내용을 인용해서 보충 학습을 해줘야 할 것 같아요. 그다음에 이 학생이 참신하게 문제를 풀었잖아요. 이런 희한한 비례식으로. 근데 이게 조금 돌아간 측면이 없지 않아 있어서 계수비를 이용해서 바로 문제를 푸는 훈련을 반복적으로 시켜줄 것 같아요. (T9 면담)

반면 T12는 학생이 범한 오류를 수정하고 이를 문제 상황에 어떻게 적용할 수 있는지를 명시적으로 언급함으로써 학생이 범한 오류를 문제 상황과 유기적으로 연계하여 지도 방안을 제시하였다. T12는 아래의 예시처럼 산소가 평상시에 분자로 존재한다는 것을 설명한 후 화학 반응식에서 산소의 계수는 원자가 아니라 분자의 몰수로 구해진다는 점을 그림으로 보여주고, 학생이 제대로 된 계수비를 유도할 수 있도록 지도하겠다고 하였다.

T12: 가장 많이 하는 방법의 하나는 모형이나 그림을 이용한 방법이라는 생각이 들거든요. 원자나 분자 개념을 다시 한번 이야기해주고 평상시에 산소는 산소 원자가 아니라 산소 분자로 존재한다는 것도 같이 설명해 줄 것 같아요. 마지막에는 황과 산소의 색깔을 다르게 그림으로 보여주면서 2:3:2의 비례식에서 산소가 원자를 뜻하는 게 아니라 분자를 뜻하는 것이라고 가르쳐줄 것 같아요. (T12 면담)

수리 문제해결이 해당 문제의 바탕이 되는 개념의 이해를 반드시 수반하지는 않는다(Chiu, 2001; Zoller, 2002). 학생의 성공적이고 의미있는 학습을 위해서는 학생이 자신이 이해한 개념을 수리 문제해결에 연결하여 학습할 수 있도록 기회를 제공해야 한다(Chiu, 2001; Pushkin, 1998). 그러나 이 연구에서는 학생의 특이적 사고와 연계한 교수 행동을 제안하더라도 학생의 이해를 문제 상황과 유기적으로 연계하여 지도 방안을 제시하는 교사는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 학생의 수리 문제해결에 실질적인 도움을 제공하기 위해서는 교사가 학생의 개념 이해를 수리 문제해결에 조직적으로 연결하여 학생의 학습을 촉진하는 반응을 탐색할 수 있도록 도움을 줄 필요가 있다.

학생의 특이적 사고와 연계한 반응하기를 보여주었지만, 구체적인 지도 계획이 모호하거나 목표 개념과 무관한 반응을 제시한 교사도 2명(14.3%) 있었다. 이 교사들은 학생이 산소를 분자가 아닌 원자로 착각한 부분에 대해서는 구체적인 지도 계획을 제시하였다. 그러나 문제에서 달성하고자 하는 목표를 충족시키기 위해서는 학생이 계수

비와 반응 몰수비의 관계를 이해하고 있는지에 대한 지도도 필요하다. 그런데도 이와 관련해서는 모호하거나 목표 개념과 무관한 지도 계획을 제시하는 모습을 보였다. 예를 들어 T5는 학생에게 원자와 분자의 구분에 대해 정확히 알려 주어야 한다고 강조했으나 구체적인 지도 계획이 없었으며, 산소 대신 황의 생성량을 물어보는 등 목표 개념과 다소 무관한 계획을 제시하였다.

T5: 2015 교육과정에서는 원자, 분자, 화합물을 먼저 다루는 부분이 없어서 학생들도 이렇게 홑원소 물질로 이루어진 분자인 산소나 수소 같은 경우, 원자를 가지고 해야 하는지 분자를 가지고 해야 하는지 모르는 경우가 많아요. 그런 부분을 정확히 알려줘야 하지 않을까 생각했습니다. 학생들은 소수점도 별로 좋아하지 않으니 숫자만 조금 바꿔서 3몰의 산소로 물어보거나, 아니면 산소 대신 황을 물어볼 수 있을 것 같아요. (T5 면담)

T5와 유사한 반응을 보인 T1의 경우, 주의 기울이기와 해석하기에서는 학생 사고의 근거에 대한 자세한 설명을 제공하여 매우 높은 수준을 보여주었으나 반응하기에서는 모호하거나 목표 개념과 무관한 반응을 보여 상대적으로 낮은 수준을 나타냈다. 반응하기는 교사가 가장 어려워하는 요소이면서 동시에 쉽게 개발되기 어려운 요소이다(Barnhart & van Es, 2015; Jacobs *et al.*, 2010; Sunwoo, 2024). 학생의 학습에 효과적으로 반응하기 위해서는 교사가 학생의 사고뿐만 아니라 구체적인 수업 목표에 기반하여 대안을 제시할 수 있어야 한다(Monson *et al.*, 2020; Spitzer & Phelps-Gregory, 2017). 따라서 교사가 문제를 통해 달성해야 할 목표를 함께 고려하여 학생의 문제 해결에 대한 구체적인 반응을 제안할 수 있도록 체계적인 교사 교육이 이루어질 필요가 있다.

반응하기에서 학생의 일반적 사고와 연계한 반응을 보인 교사의 경우, 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 보인 교사들과 마찬가지로 학생 중심의 반응을 보이기도는 내용 중심의 반응(3명, 21.4%)이나 모호하거나 목표 개념과 무관한 반응(2명, 14.3%)을 지도 방안으로 제시하였다. 내용 중심의 반응을 제시한 교사들은 문제 상황보다 상대적으로 학생들에게 친숙한 화학 반응식을 이용하여 문제해결에 필요한 일련의 과정을 교사가 설명하는 방식으로 지도하고자 했다. 예를 들어 T3는 학생에게 이산화탄소 생성 반응식을 이용하여 계수의 의미를 설명한 후, 다양한 화학 반응식을 활용하여 계수비를 적용할 기회를 제공할 것이라고 응답하였다.

T3: 이산화탄소 생성 반응처럼 학생이 친숙하게 느끼는 화학 반응식을 가져와서 기본적인 것을 처음부터 설명할 것 같아요. 학생이 다른 반응에서도 똑같이 해석하는지 보고 싶고, 만약 같은 오류가 발생한다면 처음부터 다시 계수를 설명하고 그런 후에 여러 가지 반응식을 통해 계수비 연습을 많이 시킬 것 같아요. 물질은 물질대로 보고 계수는 따로 의미가 있다. 그리고 계수를 맞추는 과정 자체가 이미 네가 생각하는 원자의 개수나 종류가 변하지 않는다는 전제하에 계수가 나왔다는 것을 설명할 것 같아요. (T3 면담)

모호하거나 목표 개념과 무관한 반응을 제시한 교사들은 학생이 문제를 해결하는 데 필요한 개념에 대한 안내보다는 절차적 측면에

대한 안내를 강조하였다. 아래는 T11의 면담 내용으로, 이 교사는 자신이 생각하는 이상적인 문제해결 방법을 도식화하여 설명하겠다고 반응하기를 제안하였다.

T11: 제가 푸는 방법으로 학생에게 한 번 설명을 해주면 될 것 같아요. 일단 반응하는 산소의 몰수가 4.5몰이라고 생각하고 풀기 때문에 황하고 산소라고 하는 두 반응물 간의 반응하는 계수비가 2:3인데 우리가 먼저 구해야 하는 황의 몰수를 x 라고 미지수를 잡고 계산하게 해요. (중략) $3\text{몰} \times 80\text{g/몰}$ 을 계산하면 물이 없어지면서 질량인 80×3 은 240이 되니까 결국에 생성되는 삼산화황의 최대량은 240g이라고 구할 것 같아요.

(T11 면담)

공식이나 비례식을 이용한 수리 문제를 성공적으로 해결하더라도 그 수리 문제와 관련된 개념은 잘 이해하지 못하고, 심지어 관련된 오개념을 가지고 있는 경우도 많은 것으로 보고된다(Chiu, 2001; Zoller *et al.*, 1995). 따라서 성공적인 문제해결을 위해서는 학생이 관련된 개념에 대해 이해할 수 있도록 지도하는 것이 선행될 필요가 있다(Heyworth, 1999). 그러나 이 연구에서 학생의 일반적 사고와 연계한 교수 행동을 제안한 교사들은 학생을 지도할 때 전체 학습을 대상으로 하는 일반적인 지도 방법이나 절차적인 측면을 강조하여 반응하기에서 한계를 드러냈다. Sánchez-Matamoros *et al.*(2019)의 연구에서는 예비교사들이 학생의 일반적이고 절차적인 행동에만 초점을 두는 경향을 지적하였고, 이에 따라 학생의 개별적인 특성을 이해하고 이를 기반으로 적절한 교수 행동을 제안할 필요성을 강조하였다. 따라서 교사가 학생의 사고를 촉진하는 적절한 반응을 제안할 수 있으려면 학생 사고에 대한 올바른 해석이 선행되어야 하며, 이러한 해석을 토대로 학생의 특이적 사고와 연계한 구체적인 반응을 제안할 수 있도록 충분한 기회를 제공할 필요가 있다.

학생 특이적, 일반적 사고와 연계한 반응을 제안한 교사 모두에게서 학생 중심의 반응을 제안한 교사는 한 명도 나타나지 않았다. 이는 Lam & Chan(2020)에서 보고한 것과 마찬가지로 학생의 사고와 연계하는 것이 반드시 학생 중심의 반응을 제안하는 반응하기로 이어지지 않을 수 있음을 보여준다. 따라서 학생의 사고를 발전시킬 수 있을 만큼 구체적인 학생 중심의 수업을 계획할 수 있도록 교사 교육이 강화될 필요가 있다. 예를 들어 교사들이 제안한 교수 행동이 교수학적 측면에서 학생의 자발적인 참여에 따른 학습 기회인지 판단하도록 토론해 보거나, 학생 중심의 교수 행동이 드러나는 반응하기 영상을 제공하고 실습해 보는 경험을 제공하는 것은 교사의 반응하기 능력을 향상하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

한편 학생의 사고와 연계하지 않은 반응하기를 제안한 교사는 대개 해석하기 수준이 낮은 교사들이었다. 이들은 부족한 근거를 토대로 학생의 문제해결에 대한 잘못된 해석을 제시하였기 때문에 반응하기에서도 개인적인 교육 경험에 기반하여 학생의 사고와 무관한 교수 행동을 보여주었다. 예를 들어 T13은 학생이 생성물인 삼산화황의 화학식을 토대로 화학 반응식을 새롭게 만들어 문제를 해결했다고 해석한 교사였다. 이 교사는 수업에서 만났던 다른 많은 학생들처럼 이 학생도 원자와 분자에 대한 개념이 없을 것이라고 생각하여, 먼저 원자와 분자의 차이를 설명하고 화학 반응식의 일반적인 의미를 설명하겠다고 하였다. 또한 이 학생이 계산 실수를 범하지 않았음에도

문제에 제시된 4.5라는 숫자를 어렵게 느끼는 것 같다고 자의적으로 판단하여 물질의 몰수를 정수로 바꾸어 지도하겠다는 계획을 밝혔다.

T13: 제가 수업을 해보면 일단 다 몰라요. 학생들이 원자, 분자 개념을 아예 모르고 오더라고요. 원소, 화합물도 잘 모르구요. 먼저 분자량 원자의 개념을 알려주고, 화학 반응식을 정확하게 이해했는지를 한번 볼 것 같아요. 화학 반응식을 가지고 문제를 풀 때 이 4.5몰이라는 숫자가 소수점이기도 해서 조금 어려운 숫자라고 생각이 들거든요. 그래서 반응 계수만큼 2개, 3개, 2개로 놓고 시작해서 학생이 이해했는지 물어볼 것 같습니다.

(T13 면담)

이상의 결과는 교사의 해석하기와 반응하기 능력이 밀접하게 관련되어 있다는 Sunwoo & Pang(2020)의 연구와 맥락을 같이하는 것으로, 학생의 사고에 대한 잘못된 해석이 수준 높은 반응하기를 저해하는 요인으로 작용할 수 있음을 보여준다. 따라서 학생의 과학적 사고에 대한 반응을 계획하기에 앞서 학생의 과학적 사고를 구체적으로 해석하고, 자신의 해석이 타당한지 비교해 볼 기회를 충분히 제공해야 할 것이다.

V. 결론 및 제언

이 연구에서는 고등학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 노티싱을 탐색하였다. 연구 결과, 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 주의 기울이기에서는 학생의 과학적 사고 중 오류에만 주의를 기울인 교사가 가장 많았다. 과학적 사고에 대해 부분적으로 주의를 기울인 교사와 전체적으로 주의를 기울인 교사의 수는 동일했다. 해석하기에서 교사들은 근거에 기초한 과장된 해석을 가장 많이 제시했으며, 그다음으로 근거에 기초한 올바른 해석, 제한된 근거에 기초한 잘못된 해석을 제시한 교사 순으로 나타났다. 반응하기에서는 많은 교사가 학생의 사고와 연계한 반응을 제시하였으며, 그중 학생의 특이적 사고와 연계된 경우가 일반적 사고와 연계된 경우보다 다소 많았다. 구체적으로 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 제시한 교사들은 주로 학생의 사고를 촉진하는 내용 중심의 반응을 제시했고, 일부는 모호하거나 목표 개념과 무관한 반응을 제시했다. 학생의 일반적 사고와 연계한 반응을 제시한 교사들도 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 제시한 교사들과 그 경향성은 유사하였다. 두 유형 모두 학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응을 제시한 교사는 없었다. 한편 일부 교사는 학생의 사고와 연계하지 않은 반응을 제시했다.

그동안 교사의 노티싱에 대한 연구는 주로 비디오를 통해 교수학습 상황을 관찰하고 분석하는 데 집중되었으며, 화학 문제해결이라는 특수한 상황에서 교사의 노티싱을 분석한 연구는 거의 없었다. 이 연구는 학생의 화학 문제해결이 담긴 산출물을 제공했을 때 교사가 학생의 과학적 사고에 어떻게 주의를 기울이고 해석하며 반응하는지를 조사하여 차별성을 가진다고 할 수 있다. 이상의 연구 결과를 바탕으로 학생의 문제해결에 대한 교사의 노티싱 향상 방안을 다음과 같이 제안할 수 있다.

교사 중 일부는 학생의 과학적 사고 중 오류에만 주의를 기울이는 경향이 있었으며, 오류를 포함한 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울인 교사는 많지 않았다. 따라서 교사가 학생의 다양한

과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울일 수 있도록 하여 주의 기울이기 능력 향상의 기회를 제공할 필요가 있다. 이때 일부 교사들은 학생이 세 줄 쓰기와 같은 알고리즘을 형성하는 데 집중한 나머지 학생의 문제해결 과정에서 나타나는 구체적인 전략을 놓쳤다. 또한, 학생이 문제에 내포된 정보를 잘 추출할 수 있는지에 대해서도 주의를 기울이는 데 한계를 보였다. 교사 개인의 지식이나 경험이 다르므로 같은 수업 상황이라도 교사별로 주의를 기울이는 측면과 그에 대한 이해는 다를 수 있다. 따라서 교사가 학생 산출물로부터 이러한 정보를 잘 추출하여 학생의 문제해결을 학생의 사고 흐름에 따라 구체적으로 파악할 수 있도록 안내가 이루어져야 할 것이다.

다음으로 교사가 타당한 근거에 기초하여 학생의 과학적 사고를 올바르게 해석할 수 있도록 기회를 제공할 필요가 있다. 연구 결과에 따르면, 교사가 타당한 근거를 제시하는 것만으로는 학생의 과학적 사고를 올바르게 해석할 수 없음을 보여주었다. 이는 교사가 학생의 사고 과정에서 근거를 찾도록 유도하는 것만으로는 교사의 해석하기 능력을 향상하는 데 충분하지 않음을 시사한다. 따라서 교사의 해석하기 능력을 향상하기 위해서는 전문적인 지식이나 기술을 학습하기 위한 의도적인 개입이 필요하다. 학생의 문제해결 산출물을 토대로 교사가 학생의 과학적 사고를 흐름에 따라 해석해 보고, 자신의 해석이 타당한지 토론해 보는 경험을 제공한다면 교사의 해석하기 수준을 높이는 데 도움을 줄 수 있을 것이다. 한편 학생의 문제해결에 대한 과학적 사고를 잘못 해석하는 교사도 일부 있었다. 이 교사들은 주로 학생의 문제해결 산출물로부터 주의를 기울인 근거를 적절히 활용하지 못하고 제한된 근거에만 초점을 맞추어 학생의 과학적 사고를 제대로 해석하지 못했다. 이는 교사가 학생의 과학적 사고를 해석하기에 앞서 타당하고 구체적인 근거를 탐색하는 것의 중요성을 보여준다. 따라서 교사에게 학생의 과학적 사고를 해석하기 위한 충분한 근거를 탐색할 수 있도록 기회를 제공해야 할 것이다.

반응하기 수준이 높은 교사들은 주의 기울이기와 해석하기의 수준 또한 높았지만, 그 반대의 관계는 성립하지 않았다. 이는 주의 기울이기, 해석하기, 반응하기의 세 요소에 대한 통합적인 관점에서 학생의 과학적 사고를 분석해야 함을 시사한다. 즉, 교사가 학생의 산출물에서 학생의 과학적 사고에 전체적으로 주의를 기울이는 데에서 나아가 그 관계성을 파악하고, 학생의 사고를 구체적으로 해석하여 이에 기반한 교수 결정을 내릴 수 있도록 강조해야 할 것이다. 이때 교사가 학생의 사고와 연계된 교수 행동을 제안하더라도 학생의 사고를 촉진하는 학생 중심의 반응을 제안하는 것은 부족하였다. 따라서 학생의 과학적 사고에 대한 해석을 토대로 학생의 특이적 사고와 연계하여 학생 중심의 반응을 제안할 수 있도록 교사에게 경험을 제공하는 것이 필요하다. 예를 들어 교사가 제안한 교수 행동이 학생의 자발적 참여를 촉진하는 학습 기회로서 적절한지 판단할 수 있도록 토론하거나 학생 중심의 반응이 드러나는 반응하기 영상을 제공하고 실습하는 경험을 제공하는 것은 교사의 반응하기 능력을 향상하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

이외에도 학생이 성공적으로 문제를 해결할 수 있게 하기 위해서는 수리적 측면과 과학 개념을 통합하여 학습할 수 있도록 지도해야 한다. 이 연구에서는 학생의 특이적 사고와 연계한 교수 행동을 제안하더라도 학생의 이해를 문제 상황과 유기적으로 연계하는 교사는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 학생의 개념 이해와 화학 문제해결을

조직적으로 연결하는 반응하기를 탐색할 수 있도록 촉진하여 교사가 학생의 화학 문제해결에 실질적인 도움을 제공할 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 교사가 문제를 통해 달성해야 할 목표를 함께 고려한 교수 행동을 제안할 수 있도록 한다면 교사의 반응하기 능력을 향상시킬 수 있을 것이다.

한편 이 연구에서는 학생의 화학 문제해결에 대한 산출물을 활용하여 교사의 노티싱을 주의 기울이기, 해석하기, 반응하기의 관점에서 탐색하였다. 교사가 실제 수업에서 마주하는 학생에 따라 학생의 과학적 사고는 다양하게 나타날 수 있으며, 교사의 반응하기도 다르게 나타날 수 있다. 따라서 산출물을 활용한 교사의 노티싱이 실제 수업에서는 어떻게 반영되어 나타나는지 다양한 수업 상황에서 교사의 노티싱을 분석하는 연구로 확장될 필요가 있다. 이 연구는 교사의 노티싱을 조사하기 위해 학생의 과학적 사고가 잘 드러나는 산출물을 선정하였고, 이를 위해 학생의 발생사고와 산출물을 비교하는 과정을 거쳤다. 산출물은 다인수 학습에서 교사가 일반적으로 접할 수 있는 교수학습 자료 중 하나라는 점에서 활용도가 높다. 그러나 학생이 자신의 문제해결 과정을 어떤 방향으로 기록했는지를 교사가 파악하기 어렵다는 한계가 있었다. 따라서 학생의 문제해결 산출물 이외에 발생사고법이나 소집단 활동과 같이 학생의 문제해결 과정이 담긴 다양한 자료를 활용한다면 학생의 과학적 사고에 대한 교사의 노티싱을 더 심층적으로 조사할 수 있을 것이다.

국문요약

이 연구에서는 14명의 화학 교사를 대상으로 고등학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 노티싱을 탐색하였다. 학생들의 문제해결 과정을 기록한 산출물을 수집하고, 이를 바탕으로 교사의 노티싱을 조사하기 위한 반구조화된 면담을 시행하였다. 연구 결과, 학생의 화학 문제해결에 대한 교사의 주의 기울이기에서는 학생의 과학적 사고 중 오류에만 주의를 기울인 교사가 가장 많았고, 과학적 사고에 부분적으로 또는 전체적으로 주의를 기울인 교사의 수는 동일했다. 해석하기에서 교사들은 근거에 기초한 과장된 해석을 가장 많이 제시했으며, 그다음으로 근거에 기초한 올바른 해석, 제한된 근거에 기초한 잘못된 해석을 제시한 교사 순으로 나타났다. 반응하기에서는 많은 교사가 학생의 사고와 연계한 반응을 제시했고, 그중 학생의 특이적 사고와 연계된 반응이 일반적 사고와 연계된 반응보다 다소 많았다. 학생의 특이적 사고와 연계한 반응을 제시한 교사들은 주로 내용 중심의 반응을 제안했고, 일부는 모호하거나 목표와 무관한 반응을 제시했다. 학생의 일반적 사고와 연계한 반응을 제시한 교사들도 학생 특이적 사고와 연계한 교사들과 유사한 경향이 있었지만, 두 유형 모두 학생 중심의 반응을 제시한 교사는 없었다. 한편, 일부 교사는 학생 사고와 연계하지 않은 반응을 제안했다. 이상의 연구 결과를 바탕으로 학생의 문제해결에 대한 교사의 노티싱 향상 방안을 논의하였다.

주제어 : 노티싱, 화학 교사, 문제해결, 학생 산출물, 화학 반응에서의 양적 관계

References

- Amador, J. M., Bragelman, J., & Superfine, A. C. (2021). Prospective teachers' noticing: A literature review of methodological approaches to support and analyze noticing. *Teaching and Teacher Education*, 99, 103256.
- Barnhart, T., & van Es, E. (2015). Studying teacher noticing: Examining the relationship among pre-service science teachers' ability to attend, analyze and respond to student thinking. *Teaching and Teacher Education*, 45, 83-93.
- Callejo, M. L., & Zapatera, A. (2017). Prospective primary teachers' noticing of students' understandings of pattern generalization. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 20(4), 309-333.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Chiu, M. H. (2001). Algorithmic problem solving and conceptual understanding of chemistry by students at a local high school in Taiwan. *Proceedings-National Science Council Republic of China Part D Mathematics Science and Technology Education*, 11(1), 20-38.
- Cho, H., & Lee, E. (2021). Prospective teachers' noticing about concept of variables. *Communications of Mathematical Education*, 35(3), 257-275.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Dalvi, T., & Wendell, K. (2017). Using student video cases to assess pre-service elementary teachers' engineering teaching responsiveness. *Research in Science Education*, 47(5), 1101-1125.
- Fernández, C., Llinares, S., & Valls, J. (2013). Primary school teacher's noticing of students' mathematical thinking in problem solving. *The Mathematics Enthusiast*, 10(1), 441-468.
- Friedel, A. W., & Maloney, D. P. (1992). An exploratory, classroom-based investigation of students' difficulties with subscripts in chemical formulas. *Science Education*, 76(1), 65-78.
- Goodwin, C. (1994). Professional vision. *American Anthropologist*, 96(3), 606-633.
- Han, C., Kim, H.-J., & Kwon, O.-N. (2018). Teacher noticing on students' reasoning of statistical variability. *Journal of the Korean School Mathematics*, 21(2), 183-206.
- Heyworth, R. M. (1999). Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, 21(2), 195-211.
- Jacobs, V. R., Lamb, L. L. C., & Philipp, R. A. (2010). Professional noticing of children's mathematical thinking. *Journal for Research in Mathematics Education*, 41(2), 169-202.
- Jung, H. Y., Seo, Y., Han, J., Seo, M. (2022). Analyzing the changes of elementary pre-service teacher's noticing occurred in the process of participating in the actual class and learning community. *Journal of the Korean School Mathematics*, 25(3), 279-306.
- Kim, H.-J. (2022). Pre-service mathematics teachers' noticing competency: Focusing on teaching for robust understanding of mathematics. *The Mathematical Education*, 61(2), 339-357.
- Kwon, J.-S., & Lee, S.-W. (1988). A comparative analysis of expert's and novice's thinking processes in solving physics problems. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 8(1), 43-55.
- Lam, D. S. H., & Chan, K. K. H. (2020). Characterising pre-service secondary science teachers' noticing of different forms of evidence of student thinking. *International Journal of Science Education*, 42(4), 576-597.
- Land, T. J., Tyminski, A. M., & Drake, C. (2019). Examining aspects of teachers' posing of problems in response to children's mathematical thinking. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 22(4), 331-353.
- Leatham, K. R., Peterson, B. E., Stockero, S. L., & van Zoest, L. R. (2015). Conceptualizing mathematically significant pedagogical opportunities to build on student thinking. *Journal for Research in Mathematics Education*, 46(1), 88-124.
- Lee, E. J., & Lee, K.-H. (2016). A study on teacher's pre-noticing and actual noticing in mathematics classroom. *School Mathematics*, 18(4), 773-791.
- Lee, Y., Lee, S. J. (2018). Prospective secondary mathematics teachers' noticing in lesson evaluation and lesson reflection. *School Mathematics*, 20(1), 185-207.
- Lesseig, K., Elliott, R., Kazemi, E., Kelley-Petersen, M., Campbell, M., Mumme, J., & Carroll, C. (2017). Leader noticing of facilitation in videocases of mathematics professional development. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 20(6), 591-619.
- Luna, M. J. (2018). What does it mean to notice my students' ideas in science today?: An investigation of elementary teachers' practice of noticing their students' thinking in science. *Cognition and Instruction*, 36(4), 297-329.
- Lythcott, J. (1990). Problem solving and requisite knowledge of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 67(3), 248-252.
- Mason, J. (2002). *Researching your own practice: The discipline of noticing*. London, UK: Routledge.
- Monson, D., Krupa, E., Lesseig, K., & Casey, S. (2020). Developing secondary prospective teachers' ability to respond to student work. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 23(2), 209-232.
- Niaz, M. (1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakatosian interpretation. *Science Education*, 79(1), 19-36.
- Noh, T., Jeon, K., Han, I., & Kim, C. (1996). Comparison of chemistry problem solving behaviors in the aspects of cognitive development level of student and context of problem. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 16(4), 389-400.
- Noh, T., Lim, H., & Woo, K. (1995). A composition of middle and high school students' conceptual understanding in stoichiometry and gas state. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 15(4), 437-451.
- Pang, J., & Cho, S. (2019). An analysis of solution methods by sixth grade students about 'reverse fraction problems'. *The Journal of Educational Research in Mathematics*, 29(1), 71-91.
- Pang, J., Kwon, M., & Sunwoo, J. (2017). Trends and issues in research on noticing in mathematics education. *Journal of Korea Society Educational Studies in Mathematics*, 19(4), 795-817.
- Park, H.-K., & Kwon, J.-S. (1991). An analysis of current research on physics problem solving. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 11(2), 67-77.
- Pushkin, D. B. (1998). Introductory students, conceptual understanding, and algorithmic success. *Journal of Chemical Education*, 75(7), 809-810.
- Russ, R. S. (2018). Characterizing teacher attention to student thinking: A role for epistemological messages. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 94-120.
- Sánchez-Matamoros, G., Fernández, C., & Llinares, S. (2019). Relationships among prospective secondary mathematics teachers' skills of attending, interpreting and responding to students' understanding. *Educational Studies in Mathematics*, 100(1), 83-99.
- Schwarz, C. V., Braaten, M., Haverly, C., & de los Santos, E. X. (2021). Using sense-making moments to understand how elementary teachers' interactions expand, maintain, or shut down sense-making in science. *Cognition and Instruction*, 39(2), 113-148.
- Son, T., & Hwang, S. (2021). Examining teachers' noticing competency on students' problem-solving strategies: Focusing on errors in fraction addition and subtraction with uncommon denominators problems. *The Mathematical Education*, 60(2), 229-247.
- Song, N., & Yoon, H.-G. (2023). An analysis of elementary pre-service teachers' pedagogical reasoning about students' dissolution and solution conceptions. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 42(1), 64-81.
- Spitzer, S. M., & Phelps-Gregory, C. M. (2017). Using mathematical learning goals to analyze teacher noticing. In E. O. Schack, M. H. Fisher, & J. A. Wilhelm (Eds.), *Teacher noticing: Bridging and broadening perspectives, contexts, and frameworks* (pp. 303-319). Cham, Switzerland: Springer.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Stroupe, D. (2014). Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. *Science Education*, 98(3), 487-516.
- Sung, S., Yeo, S.-I. (2023). Analysis of noticing characteristics presented in pre-service elementary teachers' reflection and peer evaluation on the science teaching. *The Journal of Education*, 43(1), 109-124.
- Sunwoo, J. (2024). An analysis of characteristics on elementary teachers' noticing in fraction division lessons. *Education of Primary School Mathematics*, 27(1), 1-18.
- Sunwoo, J., & Pang, J. (2020). How do prospective elementary school teachers respond to students' mathematical thinking?. *The Journal of Educational Research in Mathematics*, 30(4), 751-772.
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G., & Broekkamp, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), 442-468.
- Talanquer, V., Bolger, M., & Tomanek, D. (2015). Exploring prospective teachers' assessment practices: Noticing and interpreting student understanding in the assessment of written work. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(5), 585-609.
- Talanquer, V., Tomanek, D., & Novodvorsky, I. (2013). Assessing students' understanding of inquiry: What do prospective science teachers notice?.

- Journal of Research in Science Teaching, 50(2), 189-208.
- van Es, E. A., & Sherin, M. G. (2002). Learning to notice: Scaffolding new teachers' interpretations of classroom interactions. *Journal of technology and teacher education*, 10(4), 571-596.
- van Es, E. A., & Sherin, M. G. (2008). Mathematics teachers' "learning to notice" in the context of a video club. *Teaching and Teacher Education*, 24(2), 244-276.
- Wallach, T., & Even, R. (2005). Hearing students: The complexity of understanding what they are saying, showing, and doing. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 8(5), 393-417.
- Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459.
- Yoon, H. (2022). Analysis of noticing characteristics presented in elementary pre-service teachers' self-reflection journals on the science class. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 41(4), 754-770.
- Yoon, H.-G. (2015). Pre-service elementary teachers' pedagogical reasoning about students' science ideas. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 34(1), 58-71.
- Zoller, U. (2002). Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. *International Journal of Science Education*, 24(2), 185-203.
- Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M. B., Tessier, B., & Dori, Y. J. (1995). Success on algorithmic and LOCS vs. conceptual chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, 72(11), 987-989.

저자 정보

송나윤(서울대학교 교육종합연구원 객원연구원)
배신영(서울대학교 학생)
노태희(서울대학교 교수)